

UNIVERSITAT DE VALENCIA

FACULTAD DE FÍSICA

Departament d'informàtica i electrònica



UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

**APLICACIONES DE TÉCNICAS DE VISIÓN
ARTIFICIAL A LA SENSORIZACIÓN
CUALITATIVA DE TRÁFICO Y LA DETECCIÓN
DE INCIDENTES EN TIEMPO REAL**



Tesis Doctoral

presentada por:

Juan José Martínez Durá

Noviembre, 1995

UMI Number: U603092

All rights reserved

INFORMATION TO ALL USERS

The quality of this reproduction is dependent upon the quality of the copy submitted.

In the unlikely event that the author did not send a complete manuscript and there are missing pages, these will be noted. Also, if material had to be removed, a note will indicate the deletion.



UMI U603092

Published by ProQuest LLC 2014. Copyright in the Dissertation held by the Author.
Microform Edition © ProQuest LLC.

All rights reserved. This work is protected against
unauthorized copying under Title 17, United States Code.



ProQuest LLC
789 East Eisenhower Parkway
P.O. Box 1346
Ann Arbor, MI 48106-1346

nº 263 TESIS DOCTORAL

10-11-95

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

UNIVERSIDAD DE VALENCIA

Físicas

263

T.D

APLICACIONES DE TÉCNICAS DE VISIÓN
ARTIFICIAL A LA SENSORIZACIÓN
CUALITATIVA DEL TRAFICO Y DETECCIÓN
DE INCIDENTES EN TIEMPO REAL



UNIVERSITAT DE VALÈNCIA
BIBLIOTECA DE CIÈNCIES

▷ Físicas

Nº de llibre 8580

DATA 24.I.96

SIGNATURA

263.T.D

Nº LIBIS:

30 cms.

i1970415X

DON GREGORIO MARTÍN QUETGLAS, CATEDRÁTICO DEL ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN E INTELIGENCIA ARTIFICIAL DE LA UNIVERSIDAD DE VALENCIA, Y DON SERGIO GUSTAVO GUILLEN BARRIONUEVO DOCTOR EN TELECOMUNICACIONES,

CERTIFICAN: que la presente TESIS DOCTORAL titulada “APLICACIONES DE TÉCNICAS DE VISIÓN ARTIFICIAL A LA SENSORIZACIÓN CUALITATIVA DE TRAFICO Y DETECCIÓN DE INCIDENTES EN TIEMPO REAL”, ha sido realizada bajo nuestra dirección por D. Juan José Martínez Durá, Licenciado en Física.

y para que conste a todos los efectos oportunos, se extiende la presente certificación, en el lugar y la fecha indicados.

VALENCIA, 2 de Noviembre de 1995



Fdo: Dr. D. Gregorio Martín Quetglas



Fdo: Dr. D. Sergio G. Guillén Barrionuevo

LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO HA SIDO POSIBLE GRACIAS AL APOYO FINANCIERO DE UNA BECA DE LA CONSELLERIA DE CULTURA, EDUCACIÓ I CIENCIA DE LA **GENERALITAT VALENCIANA** Y EL SOPORTE PROPORCIONADO POR EL PROYECTO “INVAID” DEL PROGRAMA DRIVE I Y LOS PROYECTOS “INVAID II” Y “ARTIS” DEL PROGRAMA DRIVE II DE LA CEE.

AGRADECIMIENTOS:

A Gregorio Martín Quetglás, que fue quien me alentó a la realización de la presente tesis y sin cuya colaboración no hubiera sido posible llevarla a cabo. En especial durante los últimos meses de trabajo.

A Sergio Guillén Barrionuevo, cuya valiosísima ayuda y consejo durante los años de investigación ha sido decisiva en la realización del presente trabajo.

A Ricardo Ferrís, Vicente Cavero, Ariadna Fuertes, Javier Martínez y Cristina Roda, compañeros de trabajo, por su colaboración durante los años de preparación de la tesis y por todos sus esfuerzos y sacrificios que han tenido que realizar por causa de la misma.

A todos mis amigos y al resto de compañeros de trabajo por el apoyo que me han dado cuando lo he necesitado.

Al LISITT por todos los medios y facilidades que ha puesto a mi alcance para la realización de este trabajo.

A la Dirección General de Tráfico, a Federico Fernández y a los miembros del departamento de informática por las facilidades que me han prestado para la implantación y evaluación del sistema desarrollado.

DEDICATORIA:

A mis padres y abuelos.

A Patricia.

A mi hermano.

INDICE ➤

INDICE

| | |
|---|-----------|
| INDICE | i |
| ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA | xi |
| INTRODUCCION 0.I: CONCEPTO DE INCIDENTE: DEFINICIÓN, CLASIFICACIÓN, CARACTERÍSTICAS. RELACIÓN CON LAS VARIABLES DE TRÁFICO | 1 |
| 0.I.1. ANÁLISIS CUALITATIVO Y CONCEPTO DE INCIDENTE..... | 1 |
| 0.I.1.1 DEFINICIÓN DE INCIDENTE..... | 1 |
| 0.I.1.2 TIPOS DE INCIDENTES | 3 |
| 0.I.1.3 PATRONES QUE DEFINEN LOS INCIDENTES: ESTUDIO PREVIO | 5 |
| 0.I.1.3.1 Aspectos que afectan a los cambios en los patrones de tráfico | 5 |
| 0.I.1.3.2 Incidentes considerados..... | 7 |
| 0.I.1.3.3 Alteraciones de los patrones y conductas de tráfico..... | 7 |
| 0.I.1.3.4 Correlaciones entre tipos de incidentes y variaciones en los patrones de tráfico..... | 9 |
| 0.I.1.4 CARACTERIZACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LOS INCIDENTES | 11 |
| 0.I.2. CARACTERIZACIÓN DEL TRAFICO INTERURBANO | 13 |
| 0.I.2.1 REVISIÓN DE LAS MAGNITUDES DE TRAFICO | 13 |
| 0.I.2.2 CAPACIDAD | 17 |
| 0.I.2.3 NIVEL DE SERVICIO | 18 |
| 0.I.2.3.1 Descripción de los niveles de servicio | 18 |
| 0.I.2.3.2 Estimación del nivel de servicio mediante los métodos clásicos | 19 |
| INTRODUCCIÓN 0.II: REVISIÓN DE LAS TÉCNICAS Y SISTEMAS DE DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE INCIDENTES..... | 21 |
| 0.II.1. TECNOLOGÍAS, TÉCNICAS Y SISTEMAS..... | 21 |
| 0.II.1.1 TECNOLOGÍAS Y DETECTORES DE TRAFICO..... | 21 |
| 0.II.1.1.1 Detectores de área ancha..... | 21 |
| 0.II.1.1.2 Detectores puntuales | 22 |
| 0.II.1.2 TÉCNICAS Y ALGORITMOS | 22 |
| 0.II.1.2.1 Clasificación..... | 22 |
| 0.II.1.3 SISTEMAS DE DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE INCIDENTES | 22 |
| 0.II.2. SISTEMAS DE DAI BASADOS EN TÉCNICAS TRADICIONALES..... | 23 |
| 0.II.2.1 DETECTORES DE LAZOS MAGNÉTICOS | 23 |
| 0.II.2.1.1 Principio de funcionamiento | 24 |
| 0.II.2.1.2 Utilización de lazos en sistemas de DAI..... | 24 |
| 0.II.2.2 ALGORITMOS CLÁSICOS DE DETECCIÓN DE INCIDENTES: GENERALIDADES | 25 |
| 0.II.2.2.1 Estrategias de calibración..... | 26 |

| | |
|---|----|
| 0.II.2.2.2 Naturaleza de los algoritmos | 27 |
| 0.II.2.3 DESCRIPCIÓN DE ALGORITMOS CLÁSICOS [BUSCH, 90]. | 27 |
| 0.II.2.3.1 Californiano | 27 |
| 0.II.2.3.2 Algoritmo de Payne..... | 28 |
| 0.II.2.3.3 Suavizamiento exponencial | 29 |
| 0.II.2.3.4 HIOCC | 30 |
| 0.II.2.3.5 McMaster | 30 |
| 0.II.2.3.6 Filtro de Kalman extendido..... | 31 |
| 0.II.2.3.7 Correlación cruzada | 31 |
| 0.II.2.4 SISTEMAS DE DAI BASADOS EN LAZOS MAGNÉTICOS O SIMILARES. | 31 |
| 0.II.2.4.1 HERMES I ó II..... | 31 |
| 0.II.2.4.2 German Standard AID (Autopistas)..... | 33 |
| 0.II.2.4.3 MAVE-S..... | 34 |
| 0.II.2.4.4 Modelo de Hienberg (autopistas)..... | 36 |
| 0.II.2.4.5 Micro-California..... | 37 |
| 0.II.2.4.6 GERDIEN..... | 38 |
| 0.II.2.4.7 Sistema Holandés de Señalización para el Control de Autopistas. (MCSS) | 40 |
| 0.II.2.4.8 Fuzzy AID..... | 41 |
| 0.II.2.4.9 Detección de Incidentes para Información de Trafico y Seguridad (IDRIS)..... | 42 |
| 0.II.2.5 LIMITACIONES DE LOS DETECTORES TRADICIONALES | 44 |

INTRODUCCIÓN 0.III: REVISIÓN DE LAS TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y VISIÓN ARTIFICIAL EN DAI..... 45

0.III.1. CAPACIDADES DE LOS SISTEMAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES..... 45

0.III.2. ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS DE VISIÓN 46

0.III.3. TÉCNICAS GENERALES DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES..... 47

0.III.4. TÉCNICAS APLICADAS A TRÁFICO..... 48

0.III.4.1 CUENTA DE OBJETOS 49

0.III.4.2 POSICIONES, TRAYECTORIAS 49

0.III.4.3 VELOCIDAD, TRAYECTORIA DE VELOCIDADES 50

0.III.4.4 LONGITUDES Y HUECOS..... 50

0.III.4.5 CLASIFICACIÓN DE OBJETOS..... 50

0.III.4.6 HECHOS Y PROCESOS..... 50

0.III.4.6.1 Segmentación de escenas estáticas..... 51

0.III.4.6.2 Segmentación del movimiento..... 52

0.III.4.7 DESCRIPCIÓN DE OBJETOS 53

0.III.4.8 SEGUIMIENTO..... 53

0.III.4.9 DETECCIÓN DE COLAS 53

0.III.5. METODOLOGÍAS EXISTENTES 55

0.III.5.1 SISTEMAS DE DETECCIÓN BASADOS EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES 56

0.III.5.1.1 CCATS VIP 56

0.III.5.1.2 CCIDS..... 58

0.III.5.1.3 IRB..... 58

0.III.5.1.4 ARTEMIS..... 59

0.III.5.1.5 AUTOSCOPE..... 60

0.III.5.2 SISTEMAS DE DAI BASADOS EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES..... 61

0.III.5.2.1 CCATS / CCIDS..... 62

0.III.5.2.2 El Sistema TRISTAR..... 63

0.III.5.2.3 IMPACTS..... 64

0.III.6. CONCLUSIÓN..... 65

| | |
|------------------------|-----------|
| OBJETIVOS | 67 |
|------------------------|-----------|

CAPITULO I: REQUISITOS DE LOS SISTEMAS DE VISION ARTIFICIAL PARA DAI

| | |
|--|-----------|
| I.1. ANÁLISIS DE NECESIDADES DEL USUARIO | 69 |
| I.1.1 DETECCIÓN Y MEDIDAS PRIMARIAS | 70 |
| I.1.1.1 Nivel de detección..... | 70 |
| I.1.1.2 ¿ Qué detectar ?..... | 70 |
| I.1.1.3 Cobertura de la detección..... | 71 |
| I.1.1.4 Tiempos del sistema..... | 71 |
| I.1.2 VIGILANCIA E IDENTIFICACIÓN DEL TRÁFICO..... | 71 |
| I.1.2.1 Tareas de supervisión..... | 72 |
| I.1.2.2 Requisitos de los sistemas de vigilancia mediante video..... | 72 |
| I.1.3 INFORMACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE DATOS..... | 73 |
| I.1.4 GESTIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA..... | 74 |
| I.1.4.1 Diseño de sistemas..... | 74 |
| I.1.4.2 Rodaje del sistema..... | 75 |
| I.1.4.3 Mantenimiento y personalización del sistema..... | 75 |
| I.1.5 CONEXIÓN CON SISTEMAS EXTERNOS | 75 |
| I.1.6 CONCLUSIONES..... | 76 |
| I.2. REQUISITOS FUNCIONALES DE LOS SISTEMAS DE DAI | 76 |
| I.2.1 REQUISITOS GENERALES..... | 77 |
| I.2.2 REQUISITOS ESPECÍFICOS ACORDES A LOS SCT INTERURBANOS..... | 77 |
| I.3. APORTACIONES A NUESTRO TRABAJO..... | 79 |
| I.3.1 DETECCIÓN Y MEDIDAS PRIMARIAS:..... | 79 |
| I.3.2 VIGILANCIA E IDENTIFICACIÓN DEL TRAFICO..... | 80 |
| I.3.3 INFORMACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE DATOS..... | 80 |
| I.3.4 GESTIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA..... | 80 |
| I.3.5 CONEXIÓN CON SISTEMAS EXTERNOS | 81 |
| I.3.6 REQUISITOS FUNCIONALES | 81 |

CAPITULO II: PROPUESTA DE UNA NUEVA ARQUITECTURA DE SISTEMA DE DAI EN TIEMPO REAL

| | |
|--|-----------|
| II.1. INTRODUCCIÓN | 83 |
| II.2. DESCRIPCIÓN GENERAL..... | 83 |
| II.2.1 ELEMENTOS DEL SISTEMA..... | 85 |
| II.2.1.1 El módulo local de procesamiento (MLP)..... | 85 |
| II.2.1.2 Sistema Central de Procesamiento (SCP)..... | 85 |
| II.2.2 FLUJO DE INFORMACIÓN..... | 89 |
| II.3. SISTEMAS KBES EN TIEMPO REAL | 90 |
| II.3.1 CARACTERÍSTICAS TIEMPO REAL DEL SISTEMA PROPUESTO | 91 |
| II.3.1.1 Mantenimiento de la verdad..... | 91 |
| II.3.1.2 Alta capacidad..... | 92 |
| II.3.1.3 Razonamiento temporal..... | 92 |
| II.3.1.4 Hechos asíncronos | 92 |
| II.3.1.5 Interfaces con los sensores y con el exterior..... | 92 |
| II.3.1.6 Datos inciertos o ausentes..... | 93 |
| II.3.1.7 Operación continua..... | 93 |
| II.3.1.8 Foco de atención..... | 93 |

| | |
|--|------------|
| CAPITULO III: MÓDULO LOCAL DE PROCESAMIENTO: CONCEPCION Y ESPECIFICACION | 95 |
| III.1. INTRODUCCIÓN..... | 95 |
| III.1.1 ORIGEN DEL MLP..... | 95 |
| III.2. DESCRIPCIÓN GENERAL | 96 |
| III.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 96 |
| III.2.2 MÓDULOS FUNCIONALES | 98 |
| III.2.2.1 Módulo de Procesamiento de Imágenes (MPI): | 98 |
| III.2.2.2 Módulo de Visión Artificial (MVA):..... | 100 |
| III.2.2.3 Módulo de Datos Externos (MDE) | 104 |
| III.2.2.4 Módulo de Detección de Incidentes (MDI)..... | 109 |
| III.2.2.5 Módulo de Validación de Datos (MVD)..... | 112 |
| III.2.2.6 Salida al Sistema Central (SSC):..... | 113 |
| III.2.2.7 Novedades aportadas por nuestro sistema. | 114 |
| III.2.3 ARQUITECTURA | 115 |
| | |
| CAPITULO IV: MÓDULO LOCAL DE PROCESAMIENTO: DISEÑO E IMPLEMENTACION | 119 |
| IV.1. INTRODUCCIÓN..... | 119 |
| IV.2. MODULO DE PROCESAMIENTO DE IMAGENES..... | 120 |
| IV.2.1 OPERACIONES DE INICIALIZACIÓN..... | 121 |
| IV.2.1.1 Inicialización del área de trabajo y de los parámetros de configuración. | 121 |
| IV.2.1.2 Distribución de los puntos de análisis. | 123 |
| IV.2.1.3 Adquisición de la imagen de referencia..... | 124 |
| IV.2.2 OPERACIONES DE ANÁLISIS | 128 |
| IV.2.2.1 Filtrado de ruido..... | 128 |
| IV.2.2.2 Detección de objetos | 129 |
| IV.2.2.3 Reforzamiento de objetos | 131 |
| IV.2.2.4 Supresión de sombras | 132 |
| IV.2.2.5 Evaluación de sombras..... | 138 |
| IV.2.2.6 Actualización de los parámetros de los puntos de análisis..... | 139 |
| IV.2.2.7 Cálculo de los parámetros de tráfico..... | 140 |
| IV.2.2.8 Actualización de la imagen de referencia..... | 150 |
| IV.3. MODULO DE VISIÓN ARTIFICIAL | 150 |
| IV.3.1 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DESCRIPTIVOS DE LA CELDA | 151 |
| IV.3.2 CÁLCULO DEL ESTADO DE LA CELDA | 153 |
| IV.3.2.1 Descripción de las reglas..... | 154 |
| IV.3.3 CÁLCULO DEL ESTADO DEL CARRIL..... | 162 |
| IV.3.4 IDENTIFICACIÓN DE COLAS..... | 163 |
| IV.3.4.1 Parámetros descriptivos..... | 163 |
| IV.3.4.2 Descripción del proceso..... | 165 |
| IV.3.5 INTEGRACIÓN DE PARÁMETROS DE TRÁFICO..... | 166 |
| IV.4. MODULO DE DATOS EXTERNOS..... | 167 |
| IV.5. MODULO DE DETECCION DE INCIDENTES..... | 168 |
| IV.5.1 ALGORITMOS DE DETECCIÓN DE INCIDENTES EN CARRIL..... | 169 |
| IV.5.1.1 Vehículos en contra dirección..... | 169 |
| IV.5.1.2 Analisis de colas..... | 171 |
| IV.5.1.3 Tráfico congestionado..... | 174 |
| IV.5.2 CÁLCULO DEL INCIDENTE MÁS SIGNIFICATIVO..... | 175 |

| | |
|---|------------|
| IV.6. MODULO DE VALIDACIÓN DE DATOS | 176 |
| IV.7. MÓDULO DE SALIDA AL SISTEMA CENTRAL..... | 178 |
| CAPITULO V: SISTEMA CENTRAL DE PROCESAMIENTO: MODELIZACIÓN DE LA RED INTERURBANA. | 181 |
| V.1. INTRODUCCIÓN..... | 181 |
| V.2. MODELIZACIÓN DE LA RED..... | 181 |
| V.2.1 DESCRIPCIÓN A NIVEL DE RED..... | 182 |
| V.2.2 DESCRIPCIÓN A NIVEL DE CARRETERA..... | 184 |
| V.2.3 DESCRIPCIÓN A NIVEL DE SEGMENTO..... | 186 |
| V.2.3.1 Segmento "real" / "virtual" | 186 |
| V.2.3.2 Parámetros geográficos de los segmentos..... | 187 |
| V.2.3.3 Parámetros gráficos de los segmentos..... | 188 |
| V.2.3.4 Parámetros lógicos de los segmentos..... | 191 |
| V.2.4 MODELIZACIÓN DE ACCESOS E INTERSECCIONES | 192 |
| V.2.4.1 Descripción de bifurcaciones | 192 |
| V.2.4.2 Tratamiento de segmentos comunes..... | 193 |
| V.2.5 DESCRIPCIÓN DE LA RED DE CÁMARAS | 194 |
| V.2.6 ALMACENAMIENTO EN FICHERO DE LA RED..... | 194 |
| V.2.7 EJEMPLO DE MODELIZACIÓN DE RED INTERURBANA..... | 196 |
| V.3. COMPARACIÓN CON OTRAS MODELIZACIONES..... | 197 |
| V.4. BASE DE DATOS GEOGRÁFICA (BDG) | 198 |
| CAPITULO VI: SISTEMA CENTRAL DE PROCESAMIENTO: ANÁLISIS ESPACIAL DE LA INFORMACION. | 201 |
| VI.1. INTRODUCCIÓN..... | 201 |
| VI.2. MODULO DE ANÁLISIS ESPACIAL DE DATOS | 201 |
| VI.2.1 BASE DE DATOS DINÁMICA | 202 |
| VI.2.1.1 Modelado de la BDD..... | 202 |
| VI.2.1.2 Registros de la Base de Datos Dinámica..... | 203 |
| VI.2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DEL MAE..... | 204 |
| VI.3. ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO. | 205 |
| VI.4. ANÁLISIS DE LAS ZONAS REALES..... | 208 |
| VI.4.1 NIVEL DE SERVICIO EN SEGMENTOS REALES..... | 209 |
| VI.4.1.1 Nivel de servicio en función de la ocupación espacial: | 209 |
| VI.4.1.2 Nivel de servicio en función de la velocidad media | 210 |
| VI.4.1.3 Estimación final del nivel de servicio..... | 212 |
| VI.4.1.4 Justificación de la metodología empleada..... | 212 |
| VI.4.2 VERIFICACIÓN DE LA COHERENCIA DE LOS DATOS | 214 |
| VI.4.2.1 Reconocimiento de segmentos reales..... | 214 |
| VI.4.2.2 Verificación y corrección de la velocidad..... | 215 |
| VI.4.2.3 Verificación y corrección de la ocupación espacial | 218 |
| VI.4.3 CALCULO DE INCIDENTES..... | 220 |
| VI.4.4 CALCULO DE PARÁMETROS ADICIONALES..... | 220 |
| VI.4.4.1 Estimación del flujo de tráfico..... | 220 |
| VI.4.4.2 Nivel de confianza de los datos (NC)..... | 220 |

| | |
|---|------------|
| VI.5. ANÁLISIS DE LAS ZONAS VIRTUALES (OCULTAS) | 221 |
| VI.5.1 ANÁLISIS DE LAS ZONAS VIRTUALES PRIMARIAS | 222 |
| <i>VI.5.1.1 Reconocimiento de segmentos virtuales primarios.</i> | <i>222</i> |
| <i>VI.5.1.2 Estimación del nivel de servicio.</i> | <i>223</i> |
| <i>VI.5.1.3 Detección de incidentes.</i> | <i>228</i> |
| <i>VI.5.1.4 Cálculo del nivel de confianza.</i> | <i>229</i> |
| VI.5.2 ANÁLISIS DE LAS ZONAS VIRTUALES SECUNDARIAS | 231 |
| <i>VI.5.2.1 Reconocimiento de segmentos virtuales secundarios.</i> | <i>231</i> |
| <i>VI.5.2.2 Procesamiento de los segmentos virtuales secundarios.</i> | <i>232</i> |
| VI.6. FILTRADO DE DATOS | 233 |
| <i>VI.6.1.1 Filtrado del NS correspondientes al estado de tráfico.</i> | <i>233</i> |
| <i>VI.6.1.2 Filtrado del NS correspondientes al patrón de comportamiento.</i> | <i>234</i> |
| VI.7. RESULTADO FINAL DEL MAE | 238 |
| | |
| CAPITULO VII: SISTEMA CENTRAL DE PROCESAMIENTO: ANÁLISIS TEMPORAL DE LA INFORMACIÓN. | 241 |
| VII.1. INTRODUCCIÓN | 241 |
| VII.2. MÓDULO DE ANÁLISIS TEMPORAL DE LA INFORMACIÓN. | 241 |
| VII.2.1 BASES DE DATOS IMPLEMENTADAS | 243 |
| <i>VII.2.1.1 Base de datos de incidentes.</i> | <i>243</i> |
| <i>VII.2.1.2 Base de datos periodicos (BDP).</i> | <i>245</i> |
| VII.3. DETERMINACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS DE LOS INCIDENTES | 246 |
| VII.3.1 ESTRUCTURA GENERAL DE LAS REGLAS | 248 |
| VII.3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS REGLAS | 249 |
| <i>VII.3.2.1 Caso NS[t, i]=LIBRE</i> | <i>249</i> |
| <i>VII.3.2.2 Caso NS[t, i]=NORMAL</i> | <i>250</i> |
| <i>VII.3.2.3 Caso NS[t, i]=CONGESTIÓN</i> | <i>250</i> |
| <i>VII.3.2.4 Caso NS[t, i]=ONDA</i> | <i>254</i> |
| <i>VII.3.2.5 Caso NS[t, i]=INCIDENTE</i> | <i>256</i> |
| <i>VII.3.2.6 Caso NS[t, i]=DESCONOCIDO</i> | <i>262</i> |
| VII.4. EVOLUCIÓN DE LOS INCIDENTES | 263 |
| VII.4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS INCIDENTES | 263 |
| <i>VII.4.1.1 Fase y sub-fase del incidente</i> | <i>264</i> |
| <i>VII.4.1.2 Velocidad de evolución</i> | <i>267</i> |
| <i>VII.4.1.3 Tendencia de la cola</i> | <i>268</i> |
| <i>VII.4.1.4 Severidad</i> | <i>269</i> |
| <i>VII.4.1.5 Límite</i> | <i>269</i> |
| <i>VII.4.1.6 Duración</i> | <i>270</i> |
| VII.4.2 COMPARACIÓN CON PARÁMETROS TEÓRICOS | 271 |
| VII.5. MÓDULO DE GESTIÓN DE ALARMAS | 271 |
| VII.5.1 NIVEL DE ALARMA | 273 |
| VII.5.2 VALIDACIÓN DE INCIDENTES | 275 |
| VII.5.3 DESHABILITACIÓN DE SEGMENTOS | 275 |
| VII.5.4 UMBRALES DE RESPUESTA | 275 |
| | |
| CAPITULO VIII: IMPLEMENTACION DEL SISTEMA | 277 |
| VIII.1. INTRODUCCIÓN | 277 |

| | |
|---|------------|
| VIII.2. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA | 277 |
| VIII.2.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA | 277 |
| VIII.2.2 ELEMENTOS HARDWARE | 278 |
| VIII.2.2.1 Módulo Local de Procesamiento | 278 |
| VIII.2.2.2 Servidor de Comunicaciones | 279 |
| VIII.2.2.3 Sistema Central de Procesamiento | 280 |
| VIII.2.3 COMPONENTES SOFTWARE | 280 |
| VIII.2.3.1 Módulo Local de Procesamiento | 280 |
| VIII.2.3.2 Servidor de Comunicaciones | 281 |
| VIII.2.3.3 Sistema Central de Procesamiento | 281 |
| VIII.3. EL SERVIDOR DE COMUNICACIONES | 285 |
| VIII.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO: | 286 |
| VIII.3.1.1 Principio de intercambio | 286 |
| VIII.3.1.2 Formato de datos | 287 |
| VIII.3.2 COMUNICACIONES ENTRE LOS MLPs Y EL SCC | 288 |
| VIII.3.2.1 Descripción del proceso | 288 |
| VIII.3.2.2 Lenguaje de comandos | 289 |
| VIII.3.3 COMUNICACIONES ENTRE EL SCC Y EL SCP | 290 |
| VIII.3.3.1 Descripción del proceso | 290 |
| VIII.3.3.2 Lenguaje de comandos | 291 |
| VIII.4. INTERFACE HOMBRE-MAQUINA | 292 |
| VIII.4.1 ENTORNO DE TRABAJO | 292 |
| VIII.4.1.1 Organización del entorno de trabajo | 292 |
| VIII.4.1.2 Opciones de representación | 294 |
| VIII.4.1.3 Barra de menús | 294 |
| VIII.4.2 MODO DE REPRESENTACIÓN DE LA RED | 295 |
| VIII.4.2.1 Información dinámica de la red | 295 |
| VIII.4.2.2 Información estática de la red | 296 |
| VIII.4.2.3 Configuración del sistema | 298 |
| VIII.4.2.4 Información dinámica de segmento | 302 |
| VIII.4.2.5 Información estática de segmento | 303 |
| VIII.4.2.6 Configuración de segmentos | 304 |
| VIII.4.3 MODO DE REPRESENTACIÓN ESPACIO-TEMPORAL | 305 |
| VIII.4.3.1 Información dinámica del segmento | 306 |
| VIII.4.3.2 Información estática del segmento | 307 |
| VIII.4.3.3 Configuración del modo de representación | 307 |
| VIII.5. CONCLUSIÓN | 307 |
| | |
| CAPITULO IX: EVALUACION DEL SISTEMA: PRUEBAS DE LABORATORIO Y PRUEBAS PILOTO | 309 |
| IX.1. INTRODUCCIÓN | 309 |
| IX.2. PRUEBAS DE LABORATORIO | 309 |
| IX.2.1 PRUEBA DE LOS MLPs | 310 |
| IX.2.2 PRUEBA DEL SCP | 310 |
| IX.2.2.1 Pruebas de simulación | 310 |
| IX.2.2.2 Pruebas con cintas de vídeo | 315 |
| IX.3. PRUEBAS DE CAMPO | 316 |
| IX.3.1 PRUEBA PILOTO DE AMBERES | 317 |
| IX.3.1.1 Localización e infraestructura existente | 317 |
| IX.3.1.2 Descripción de la prueba | 319 |

| | |
|---|------------|
| IX.3.2 PRUEBA PILOTO DE LION | 323 |
| IX.3.2.1 Localización e infraestructura existente | 323 |
| IX.3.2.2 Descripción de la prueba..... | 323 |
| IX.3.3 PRUEBA PILOTO DE MADRID..... | 327 |
| IX.3.3.1 Localización e infraestructura existente | 327 |
| IX.3.3.2 Descripción de la prueba..... | 328 |
| IX.3.4 CONCLUSIÓN | 334 |
| | |
| CAPITULO X: EVALUACIÓN DEL SISTEMA: METODOLOGÍA..... | 337 |
| X.1. INTRODUCCIÓN | 337 |
| | |
| X.2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN | 337 |
| X.2.1 ESCENARIOS DE EVALUACIÓN..... | 337 |
| X.2.2 PROCEDIMIENTO DE TOMA DE DATOS..... | 338 |
| X.2.2.1 Tipos de datos..... | 338 |
| X.2.2.2 Procesos de toma de datos | 339 |
| X.2.2.3 Plan de evaluación..... | 340 |
| X.2.3 CRITERIOS DE EVALUACIÓN | 340 |
| X.2.3.1 Escenario 1a..... | 341 |
| X.2.3.2 Escenario 1b..... | 342 |
| X.2.3.3 Escenario 2a..... | 343 |
| X.2.3.4 Escenario 2b..... | 343 |
| X.2.3.5 Escenario 3b..... | 344 |
| X.2.3.6 Escenario 4b..... | 344 |
| X.2.3.7 Criterios relacionados con la aceptación | 345 |
| | |
| CAPITULO XI: EVALUACIÓN DEL SISTEMA: RESULTADOS EXPERIMENTALES | 347 |
| XI.1. INTRODUCCIÓN..... | 347 |
| | |
| XI.2. EL SISTEMA CENTRAL DE PROCESAMIENTO..... | 349 |
| XI.2.1 PARÁMETROS GENERALES | 349 |
| XI.2.2 RESULTADOS GLOBALES. | 350 |
| XI.2.2.1 Escenario 1b: Detección de Incidentes..... | 350 |
| XI.2.2.2 Escenario 1b: Filtrado de Incidentes: | 355 |
| XI.2.2.3 Escenario 2b: Nivel de Servicio:..... | 356 |
| XI.2.2.4 Escenario 3b: Seguimiento de los incidentes:..... | 357 |
| XI.2.2.5 Escenario 4b: Integrabilidad..... | 359 |
| XI.2.3 ASPECTOS GENERALES DEL SISTEMA | 360 |
| XI.2.3.1 Coste | 360 |
| XI.2.4 ACEPTACIÓN DEL USUARIO | 361 |
| | |
| XI.3. MODULO LOCAL DE PROCESAMIENTO..... | 362 |
| XI.3.1 RESULTADOS DEL MODULO INRETS. | 362 |
| XI.3.1.1 PARÁMETROS GENERALES..... | 362 |
| XI.3.1.2 RESULTADOS GLOBALES..... | 362 |
| XI.3.1.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD..... | 367 |
| XI.3.2 COMPARACIÓN MLP LISITT vs MLP INRETS | 370 |
| XI.3.2.1 Comparación de sistemas | 370 |
| XI.3.2.2 Sensibilidad a fenómenos externos | 372 |
| XI.3.2.3 Conclusión | 373 |
| | |
| CONCLUSIONES | 375 |

GLOSARIO 379

REFERENCIAS..... 381

ANEXO 389

ORGANIZACION
DE LA MEMORIA ➤

ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA

La presente memoria está organizada en dos bloques diferentes y complementarios. El primero, con un contenido mayoritariamente teórico, recoge todos los algoritmos, reglas cualitativas y técnicas de visión que hemos desarrollado del sistema de detección automática de incidentes (DAI) y sensorización cualitativa del tráfico objeto de este trabajo. El segundo bloque (Capítulos IX, X y XI) refleja todo el esfuerzo realizado para la implementación del nuevo sistema, incluyendo su evaluación en condiciones reales, y la presentación de los resultados obtenidos, que discutimos en el Capítulo de conclusiones.

Como introducción hemos incluido un capítulo dividido en tres secciones que tratan de recoger la situación actual de los sistemas de detección automática de incidentes: definiciones, conceptos, nuevas técnicas de sensorización y algoritmos basados sobre elementos puntuales.

La primera sección recoge uno de los aspectos más problemáticos en el campo de la detección automática de incidentes, y que ha sido objeto de frecuentes debates en ingeniería de tráfico: el propio concepto de incidente, y en consecuencia de aquello que debe ser detectado por los sistemas de DAI. En él aparecen definiciones de diversos autores, incluyendo los puntos de vista desde el operador de tráfico, al usuario, pasando por el ingeniero encargado del desarrollo de los sistemas, para concluir con la definición propuesta en el Programa Marco de I+D de la UE [CORD, 94] y aceptada por nosotros. Se describen además, las principales características de los incidentes, sus patrones de comportamiento y parámetros con que se define su evolución. El segundo y tercer apartado corresponden a un estudio comparativo entre las técnicas informáticas empleadas actualmente en sensorización de tráfico y que como subproducto se pueden aplicar a la DAI y de los sistemas dedicados expresamente a la Detección Automática de Incidentes (basados tanto en elementos de sensorización clásicos como en tecnologías de procesamiento de imágenes).

El estudio anterior tuvo su origen, y fue desarrollado, en colaboración con un grupo de investigadores europeos, en el que nos incluimos, bajo la financiación del programa DRIVE*. El interés de esta revisión reside en que se trata de una compilación actualizada, a principios de 1995, de los desarrollos y planes de evaluación de los últimos sistemas de DAI por parte de los principales centros de investigación europeos, académicos e industriales. Y por otro lado, porque incluye una descripción de los algoritmos clásicos de detección de incidentes con especial referencia a las técnicas específicas de procesamiento de imágenes y visión artificial.

El cuerpo principal de la memoria, lo comenzamos describiendo los requisitos y funcionalidades más importantes que operadores e ingenieros de tráfico de diversos países demandan a un Sistema de Detección Automática de Incidentes. Esta primera investigación se

* DRIVE: Commission of the European Communities R & D Programme Telematics Systems in the Area of Transport.

tomó como punto de referencia para definir las características y especificaciones del sistema y las líneas a seguir en el diseño, desarrollo e implementación posterior.

El capítulo II presenta una propuesta de **arquitectura general**. Partiendo de la descripción de las características y funcionalidades que los sistemas de control de tráfico en tiempo real deben poseer, se detalla como el sistema propugnado se adapta a dichas características y se particulariza al caso de sistemas de DAI. Se describen los módulos constitutivos del sistema y sus principales funciones y se presenta también una de las novedades de nuestro diseño, la incorporación de dos elementos de detección de incidentes situados a diferente nivel: el **Módulo Local de Procesamiento (MLP)**, que realiza la detección a nivel de segmento, y el **Sistema Central de Procesamiento (SCP)**, que realiza la detección a nivel de red y es el encargado de la gestión global e integrada de los incidentes sobre la red monitorizada.

El capítulo III está dedicado a las especificaciones del Módulo Local de Procesamiento. Este es un **sensor espacial** orientado a la detección automática de incidentes mediante el empleo de imágenes de vídeo. En el describimos la aproximación que hemos empleado para la modelización de la escena, basada en la división del área de trabajo en carriles y celdas, los tipos de incidentes capaces de ser detectados, y la comparamos con las aproximaciones empleadas por otros centros de investigación que también han desarrollado sus propios MLPs. Cada desarrollo presenta una metodología bien diferenciada en el modo de especificar e implementar los algoritmos de detección de incidentes, aunque los tres se han basado en una estructura modular similar y son adecuados para trabajar conjuntamente con el Sistema Central de Procesamiento, punto básico de la presente memoria.

En el capítulo IV describimos los algoritmos y reglas que hemos empleado para la implementación de nuestra aproximación, haciendo especial hincapié en los principales problemas de la DAI basada en imágenes de vídeo y de como hemos solucionado estos. Incluimos una presentación del razonamiento interno del MLP y las operaciones de cada uno de los módulos especificados en el capítulo anterior.

Con el capítulo V comienzan los dedicados al Sistema Central de Procesamiento y que se extienden hasta el VII. Las principales funciones del SCP son: la estimación cualitativa del estado de tráfico sobre toda la red monitorizada, la determinación de la posible presencia de incidentes en las zonas ocultas de la red y la gestión de todo el proceso de control sobre la evolución de los incidentes y congestiones sobre la red. Para realizar estas tareas, ha sido necesario definir primeramente una **modelización adaptable** a cualquier tipo de carretera interurbana y a las peculiaridades de cada MLP. El capítulo V describe este proceso de modelización, los diferentes niveles descriptivos en que se descompone la red: **carreteras** y **segmentos**, las características asociadas a cada nivel y las relaciones existentes tanto entre los elementos de cada nivel como entre elementos de diferentes niveles. Introducimos el concepto de segmento "virtual", como aquel tramo de carretera situado entre dos áreas monitorizadas por un MLP. Este elemento condicionará el resto de procesos del SCP.

Una vez detalladas las relaciones entre los elementos de la red pasamos al capítulo VI dedicado al **análisis espacial** de los datos se describen los procesos y reglas cualitativas empleadas en la inferencia del estado de tráfico en cada segmento y en la detección de incidentes en las zonas virtuales. Todos los procesos involucrados en las operaciones anteriores se caracterizan por emplear únicamente relaciones locales, es decir, las existentes entre elementos vecinos, sin tener en cuenta los valores históricos de dichos elementos, o por relaciones puntuales con una pequeña influencia retrospectiva. Hemos comenzado presentando las reglas utilizadas en la cualificación de los niveles de servicio de los segmentos reales, donde se pone de manifiesto la dependencia de estos valores de las características geométricas y de diseño del tramo monitorizado para, posteriormente, describir las reglas empleadas en la estimación de las

situaciones de los segmentos virtuales en función de las relaciones entre los segmentos reales vecinos y la aplicación de lógica difusa. Dentro de este módulo de análisis espacial de información nos hemos decidido por incluir ya algunos procesos de filtrado de falsas alarmas en los que no es necesario establecer relaciones entre incidentes.

El capítulo VII está dedicado al **análisis temporal** del SCP y a la **gestión de los incidentes**. Las reglas de este módulo están basadas en las relaciones temporales existentes entre los elementos cercanos a los incidentes. Para ello nos hemos visto obligados a realizar un seguimiento de las consecuencias de los incidentes a lo largo de la red, obteniendo de este modo un conjunto de parámetros con los que describirlos. Este proceso permite eliminar falsas alarmas producidas por situaciones transitorias de las condiciones de tráfico, agrupar las diferentes alarmas generadas por los MLPs y asignarlas a un sólo incidente. Por último describimos la metodología empleada en la gestión de las alarmas, su cualificación y jerarquización en función de las prioridades de los operadores. Con este capítulo se concluye el primer bloque de la memoria dedicado a la descripción de la metodología, reglas y aspectos novedosos realizados en el trabajo presentado.

El capítulo VIII lo hemos concebido como un nexo de unión entre la descripción teórica del sistema y la descripción de las pruebas de campo para su evaluación. Este capítulo está dedicado a la implementación del prototipo del sistema y en él se describen más brevemente las características de otros módulos, como son el **servidor de comunicaciones (SCC)** y el **interface gráfico (MMI)**. Módulos fundamentales para la realización del prototipo, pero que carecen del valor académico del MLP y del SCP, puesto que se basan en metodologías estándar empleadas en muchos sistemas de control.

El capítulo IX constituye, junto con los capítulos X y XI, los dedicados a la evaluación del sistema. En el capítulo IX se describen las **pruebas de campo** que del sistema se realizaron en varios países europeos. Se incluye una referencia a las infraestructuras empleadas, instalaciones de los prototipos, particularidades y objetivos de cada una de ellas. Estas pruebas se orientaron a evaluar los diferentes aspectos del sistema y como tal se encontrarán casos en los que el objetivo fundamental de la evaluación se centró en el Módulo Local, mientras que otros están más enfocados al Sistema Central.

El capítulo X hace referencia a la **metodología de evaluación** que vamos a aplicar en las pruebas piloto. Dividimos el conjunto de pruebas de acuerdo a 2 escenarios: el Módulo Local de Procesamiento, y el Sistema Central de Procesamiento. Para cada uno de ellos definimos un grupo de hipótesis que tratan de recoger los aspectos más importantes a evaluar y para las que definimos los criterios que emplearemos en la determinación de su eficacia. Como complemento a este capítulo hemos incluido un Anexo donde recogemos los cuestionarios empleados durante la fase de evaluación.

El capítulo XI presenta los **resultados globales** obtenidos de las diferentes pruebas. Estos resultados se dividen en dos partes fundamentales: la primera de ellas hace referencia al MLP, la segunda parte de los resultados se refiere al Sistema Central. Los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios, lo que junto a las opiniones de los operadores, han demostrado que el sistema es una herramienta valiosa para aplicaciones de DAI. Hay que reseñar que la comparación con otro tipo de sistema de DAI no pudo hacerse con toda su extensión ya que por un lado los sistemas existentes están basados únicamente en lazos magnéticos y como tal son incapaces de detectar la presencia de vehículos parados, por lo que los resultados no son compatibles y por otro que el resto de sistemas que si permiten detectar vehículos parados están todavía en fase de desarrollo o no se han implantado.

El último capítulo de la memoria hace referencia a las principales **conclusiones** que obtenemos al finalizar el trabajo, y como este se ha adecuado a los objetivos iniciales. Recordamos los aspectos más novedosos introducidos, tanto en la concepción general del sistema como en la metodología de cada uno de los módulos desarrollados, y comentamos las **líneas de trabajo** que hemos dejado abiertas o que se pueden seguir en el futuro.

INTRODUCCION ➤

INTRODUCCIÓN 0.1

CONCEPTO DE INCIDENTE: DEFINICIÓN, CLASIFICACIÓN, CARACTERÍSTICAS. RELACIÓN CON LAS VARIABLES DE TRÁFICO

0.1.1. ANÁLISIS CUALITATIVO Y CONCEPTO DE INCIDENTE

0.1.1.1 DEFINICIÓN DE INCIDENTE

La definición concreta del concepto de incidente no se encuentra en la bibliografía de la Ingeniería de Tráfico. En ella suelen aparecer numerosas definiciones, que en muchos casos tratan de adecuarse más a los resultados de un sistema de detección que al propio concepto aislado del tipo de medida que se utiliza. Esta es una de las razones, como se discutirá más adelante, por las que la comparación de estrategias y resultados de diversos sistemas es difícil de realizar.

A continuación vamos a revisar las definiciones de incidente más significativas que hemos encontrado en la literatura:

- [Collins, 83]: “Incidente es una situación inusual, como un accidente, un vehículo averiado o una carga derramada, que reduce la capacidad de la carretera en donde ocurre. Los incidentes necesitan ser detectados tan pronto como sea posible, de manera que los servicios de emergencia puedan proporcionar la asistencia que puedan necesitar las personas involucradas en el incidente de forma que se pueda avisar rápidamente a los conductores que se aproximan para prevenir futuros accidentes”
- [Busch, 90]: “Un incidente es cualquier cambio en el arrea de la carretera que ocurre tanto en los propios carriles como en su proximidad. El efecto de un incidente es un cambio en las relaciones cuantitativa de las variables macroscópicas de tráfico (volumen, densidad y velocidad) en la zona próxima al incidente”.
- [Lakislinarayanan, 89]: “Un incidente se define como un hecho que ocurre de forma aleatoria en un determinado punto del espacio y del tiempo, en o cerca de las carreteras y que reduce suficientemente la capacidad de una sección de la misma provocando la formación de una congestión”
- [Bell, 86]: “La primera motivación para la Detección Automática de Incidentes (DAI) en carreteras y en túneles es la seguridad, en particular, la necesidad de reducir el riesgo de accidentes secundarios. En intersecciones urbanas semaforizadas, donde las velocidades de los vehículos son mucho menores, la DAI es utilizada más para el control de la



expansión de la congestión a través de la red que para la reducción del riesgo de accidentes secundarios.

- [Roberts, 94]: “Se puede considerar como incidente de un vehículo a cualquier evento que causa un retraso tanto al tráfico en su totalidad, como a un vehículo individual, ya sea en los carriles principales o en el arcén”.
- [EUCO-COST,79]: “Un hecho que ocurre aleatoriamente en el tiempo y en el espacio, que es impredecible y causa una reducción en la capacidad del tráfico y su seguridad. Consideraremos también como incidente las obras y embotellamientos porque los conductores tienen que ser avisados acerca de ellos”.

“Hechos imprevistos que modifican el contexto de conducción (capacidad o seguridad) durante, al menos, un periodo de referencia (cuando los parámetros de tráfico son constantes, o durante una fase semafórica)”.

- LISITT [INVAID I/D1, 89] : “Un incidente es un hecho que puede causar un repentino e inesperado cambio (perturbación) en el comportamiento del tráfico en un cierto punto por un periodo limitado de tiempo, después del cual se recuperan las condiciones anteriores a su presentación”. Los incidentes pueden ser sólo detectados por sus consecuencias, por ejemplo, a través de parámetros de tráfico.
- CGA-HBS [INVAID I/D1, 89]: “Un incidente es una perturbación repentina e inesperada creada por una condición local inestable, provocando una variación de tráfico a corto o medio plazo”. Incidentes muy locales pueden congestionar una gran área. Los efectos secundarios son los que se detectan y no el incidente en sí mismo. Estos efectos secundarios se identifican mediante un conjunto de parámetros que describen las características del flujo de tráfico.
- UCL [INVAID I/D1, 89]: “Un incidente es un evento que produce, o puede producir, una perturbación o un deterioro significativo del flujo de tráfico cuyo resultado es un incremento en el riesgo de accidentes, una reducción de la capacidad de la vía, o un retraso adicional no deseable para los conductores. Un incidente normalmente se detecta por sus efectos, más que de forma directa”.
- DEVLONICS CONTROL [INVAID I/D1, 89]: “Un incidente es un hecho que perturba el flujo normal de tráfico o impide el libre movimiento de un punto a otro”.
- WJC [INVAID I/D1, 89]: “Cualquier cambio en la conducta de tráfico es un incidente siempre y cuando la autoridad encargada de su gestión quiera considerarlo como tal. Los incidentes son detectados mediante cambios en la conducta del tráfico y generalmente no por el incidente en sí”.

La anterior relación, nos permite avanzar hacia un concepto común, siempre que se tenga en cuenta el punto de vista de los diferentes agentes involucrados. Así, el concepto de incidente para cada uno de ellos [INVAID I/D2, 89], se puede presentar como:

- Punto de vista del sistema de detección: Un incidente es un hecho que produce o va a producir cambios en la conducta o patrones de tráfico repercutiendo sobre el contexto de cada conductor (pe. capacidad, ocupación, seguridad o retrasos) durante algunos periodos de referencia. (pe. mientras los parámetros de tráfico se consideran constantes o una fase semafórica).

- **Punto de vista del operador:** Un incidente sería cualquier situación sobre la cual el operador desee estar informado, es decir, si los operadores no realizan ninguna acción ante el hecho producido, éste no es un incidente.
- **Punto de vista del conductor:** Para el conductor un incidente es cualquier circunstancia que se puede dar durante su camino y que le produce retraso o molestias en su viaje.

A modo de conclusión de las definiciones anteriores la Task Force sobre DAI creada por la Comisión de Telemática en el Transporte de la UE dentro del programa DRIVE, en la que hemos participado, ha considerado como incidente la siguiente definición [CORD, 94]:

“Un incidente es un evento inesperado que produce una modificación en el nivel de servicio de la vía, reduciendo su capacidad y disminuyendo su nivel de seguridad, y que puede producir cambios en las condiciones del tráfico anteriores al evento, velocidad, densidad y volumen, en una zona próxima.”

De ella se pueden extraer las siguientes conclusiones, importantes desde un punto de vista de gestión de tráfico:

1. Siempre existe un evento de tráfico que produce el incidente.
2. Se produce una consecuencia directa sobre el nivel de servicio de la vía: capacidad y seguridad. (El concepto de nivel de servicio se describe en la sección 3.3 de este capítulo.).
3. Se puede producir una perturbación en las condiciones actuales de tráfico.

0.I.1.2 TIPOS DE INCIDENTES

Tal como hemos visto en las diferentes definiciones de incidentes que acabamos de revisar, el conjunto de hechos que se consideran como tales difiere también de un agente a otro. Así, desde el punto de vista de las autoridades, los incidentes en carretera incluyen:

- Exceso de flujo.
- Cambio repentino a condiciones meteorológicas adversas.
- Accidentes.
- Colas o vehículos moviéndose lentamente.
- Vehículos parados en alguna parte de la carretera, incluido el arcén.
- Congestionamientos.
- Obras.

Sin embargo, para la Task Force sobre DAI de DRIVE [CORD, 94] este rango de incidentes es un poco más reducido, diferenciándose entre:

- Los **eventos** que producen un incidente
 - vehículo aislado detenido en un carril o en el arcén.
 - múltiples vehículos detenidos en un carril o en el arcén.
 - accidente involucrando a uno o varios vehículos.
 - vehículo averiado.

INTRODUCCION

Concepto de incidente: definición, clasificación y características.

- obstrucciones en la carretera.
- vehículo muy lento o muy ancho (transportes especiales).
- vehículo en dirección prohibida.
- Las **consecuencias** sobre las condiciones del tráfico que el incidente produce
 - ninguna.
 - modificaciones en la velocidad, volumen y densidad (ocupación).
 - congestión.
 - cola aguas arriba.
 - onda de choque.
 - accidente secundario.
 - cambios de carril inesperados.

Dos tipos de situaciones tienen que ser destacados y clasificados, en este punto, por la problemática que se plantea a la hora de considerarlos como incidente: las congestiones y las obras y cuellos de botella.

- **Congestiones.** Estas se pueden clasificar en:
 - Congestiones recurrentes, producidas por un exceso de tráfico, en la que la propia congestión es el hecho que va a provocar modificaciones en los patrones de tráfico y que no tiene una causa definida sobre la que el operador pueda actuar de forma puntual. (Ej. Congestiones producidas a las horas punta en los accesos a una ciudad).
 - Congestiones no recurrentes, producidas por un hecho inesperado. En este caso, la congestión es el resultado de otro incidente, aunque considerando aspectos de seguridad y comodidad, los conductores también necesitan ser alertados de que se pueden encontrar tráfico estacionario o moviéndose lentamente.

Desde el punto de vista de la clasificación de incidentes, la distinción entre ambas se plantea por el hecho de que en las congestiones recurrentes no existe un evento que provoque la congestión, por lo tanto si se considera que se debe informar al operador y/o a los conductores de la misma, está tiene que ser considerada como un incidente. Mientras que la congestión no recurrente se considera como una consecuencia de un evento previo y por lo tanto, es dicho evento el que tiene que ser detectado y corregido y sobre el que hay que informar. Por otro lado otros autores consideran la congestión como el propio incidente puesto que son sus efectos lo que puede ser detectado y sobre lo que se debe informar.

Se presenta, en ambos casos, otra cuestión ¿Debe el operador estar informado acerca de las congestiones que se producen, independientemente del tipo que sean?.

Las opiniones en este sentido están divididas. La argumentación en contra de la práctica de informar sobre congestiones como incidentes se basa, por un lado, en que las congestiones recurrentes presentan unos patrones temporales repetitivos que ya son conocidos por el operador, y que se provocan siempre a las mismas horas y con una duración similar, además de que las posibilidades de repuesta por parte del operador son

bastante limitadas, y por otro, en el hecho de que las congestiones no recurrentes se consideran consecuencia y no causa de un incidente.

En contra, los que se muestran a favor de informar acerca de la presencia de congestiones, argumentan que la información, tanto a los conductores como a los operadores, es necesaria para ambos, puesto que la cola de la congestión puede ser igual de peligrosa para los conductores como el incidente que la ha provocado. Los conductores pueden no estar prevenidos de tales situaciones, aunque se produzcan de forma repetitiva y en tal caso habría que informarlos de dichas situaciones y confirmar a los operadores de las congestiones se están produciendo.

En ambos casos, la última palabra la tiene el propio operador, que es quien decide acerca de lo que debe conocer, y por lo tanto acerca de lo que debe de ser detectado, de acuerdo a las posibilidades de actuación del CGT correspondiente y a la política de gestión que éste siga.

- De los incidentes tales como **obras** y **cuellos de botella** se plantea una situación similar. Se puede decir que en cierto modo son hechos predecibles desde el punto de vista del operador de tráfico que conoce estos eventos de antemano y por lo tanto no necesita ser informado por el sistema de DAI.

Desde el punto de vista de los sistemas de Detección Automática de Incidentes (que se ampliarán en el apartado III de la introducción), la discusión se centra sobre la necesidad de considerar como incidente, únicamente a la congestión no recurrente, como hacen los sistemas clásicos de detección automática de incidentes basados en lazos magnéticos, o en considerar el incidente como la causa de la congestión. La cuestión de fondo es la capacidad de detección del sistema. Si un incidente puede ser detectado por el sistema entonces, este debe de ser encuadrado en los incidentes objeto de información. Esta es la razón de que muchos sistemas clásicos sean tan restrictivos en su definición de incidente, y no consideren como tales a los eventos que no producen una alteración de los patrones tráfico, en condiciones de bajo flujo de vehículos. Incluso, cuando los mismos eventos, producidos en condiciones de un mayor flujo de vehículos, si llegan a producir retenciones [HERMES, 94].

0.I.1.3 PATRONES QUE DEFINEN LOS INCIDENTES: ESTUDIO PREVIO

Esperamos que a estas alturas pueda aceptarse que el único modo de apreciar que ha ocurrido un incidente es mediante la detección de un cambio en la conducta o en los patrones de tráfico. Estos patrones resultantes de un incidente dependen de los siguientes factores:

- **Que ha ocurrido** : Es decir, del tipo de incidente.
- **Donde ha ocurrido**: Es decir, de las condiciones estáticas en las que se ha producido el incidente, tales como las características geométricas de la vía, el área urbana o interurbana, su posición relativa a los detectores, etc.
- **Cuando ha ocurrido**: Es decir, del contexto dinámico que rodeó al incidente en el momento en que éste se produjo. Esto incluye conocer detalles tales como el flujo de tráfico, las condiciones de luminosidad y ambientales, etc.

0.I.1.3.1 Aspectos que afectan a los cambios en los patrones de tráfico

Con el objetivo de determinar cuales son los patrones que definen los incidentes, y como paso previo a la definición del sistema de detección, llevamos a cabo un estudio previo [INVAID I/D1, 89], con la participación de otros centros de investigación, sobre los diferentes cambios



en la conducta y en los patrones de tráfico observados durante y después de un incidente. Estos cambios fueron clasificados respecto a varios aspectos:

- ***Al tipo de carretera:***

El estudio se realizó tanto en áreas urbanas como en carreteras interurbanas, sin embargo nosotros únicamente estamos interesados en los resultados correspondientes a zonas interurbanas, objeto de la presente memoria.

- ***Al flujo de tráfico:***

Se ha puesto de manifiesto, que el nivel de flujo de tráfico en el momento del incidente es un factor primordial a la hora de la clasificación del incidente. Por ello se decidió cualificar el flujo de tráfico en los siguientes tres niveles:

- *Flujo bajo:* No se producen congestiones ni se observan cambios en el comportamiento de los conductores (Corresponde a una relación flujo/capacidad < 0.3).
- *Flujo medio:* Los cambios de comportamiento o las congestiones producidas son debidas únicamente al incidente.
- *Flujo alto:* Las congestiones ocurren o pueden ocurrir independientemente del incidente, aunque este puede extender la duración o severidad de la misma.

- ***A la rapidez de los cambios observados.***

Tres categorías fueron definidas para clasificar la rapidez en que se producen los cambios en los patrones de tráfico como respuesta ante un incidente. Estas categorías son:

- *Rápidos.* Son cambios que pueden ser detectados de forma individual de un vehículo a otro. Como por ejemplo la pérdida de velocidad, si el vehículo $n+1$ esta viajando a 10 km/h menos que el vehículo n se puede determinar una modificación en el patrón de tráfico. Sin embargo, para evitar falsas alarmas este tipo de cambios se tiene que considerar en más de un vehículo.
- *Medios.* Son cambios que se perciben a nivel de grupos, o pelotones, de vehículos. Por ejemplo, un cambio en la ocupación o la aparición de una cola. Respecto a la categoría anterior se necesitan observar un mayor número de vehículos o un número similar pero durante un periodo más largo para poder detectar el cambio.
- *Lentos.* Son cambios que únicamente pueden ser observados después de periodo de tiempo relativamente largo, como pueden ser variaciones en el flujo estadísticamente válidas o la pérdida general de velocidad detectada en la zona posterior al incidente.

- ***Al punto de detección***

Corresponde al punto en que se han observado los cambios respecto al incidente. Se definieron 3 posiciones (ver figura i.1), la zona anterior al incidente (aguas arriba), la zona del incidente, y la zona posterior (aguas abajo).

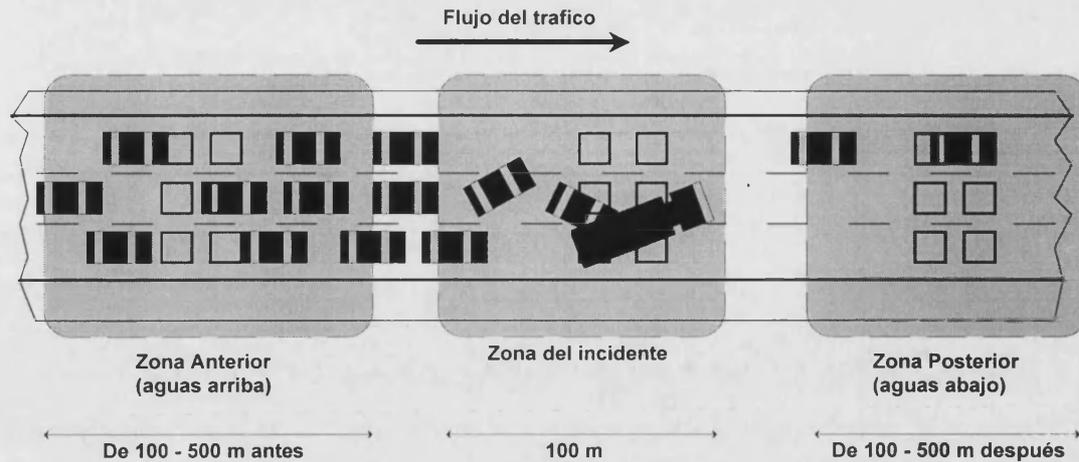


Figura 1.- Localización de las posiciones de un incidente respecto al punto de medida

0.I.1.3.2 Incidentes considerados

Para realizar las pruebas de clasificación de incidentes de acuerdo a los criterios anteriores, se seleccionaron un conjunto de incidentes típicos, tanto para entornos urbanos como interurbanos, siendo los analizados en este último caso los siguientes:

- Vehículo individual parado en un carril.
- Varios vehículos parados en dos o más carriles.
- Obras inesperadas y/o inutilización de carriles.
- Vehículos lentos en vías de alta velocidad.
- Cambios ambientales repentinos.
- Las propias congestiones debidas tanto a cuellos de botella como a ondas de choque.
- Parada de vehículos en el arcén

0.I.1.3.3 Alteraciones de los patrones y conductas de tráfico

Una vez determinados los incidentes, se especificaron los aspectos a estudiar en los cambios de tráfico para clasificar los incidentes. Los siguientes aspectos fueron analizados y sus manifestaciones externas determinadas:

- Relentización del tráfico. Se manifiesta por:
 - Frenazos rápidos, lo que supone la aparición brusca de una onda de choque
 - Uso de las luces de freno.
 - Perdida general de velocidad en la zona inmediatamente posterior al incidente hasta que los conductores aceleran a su velocidad normal.
- Colas. Se manifiesta por:
 - Vehículos parados.
 - Comportamientos de arranque/parada.
 - Velocidades muy bajas aunque constantes.
 - Alta ocupación.

INTRODUCCION

Concepto de incidente: definición, clasificación y características.

- Perdida de capacidad. Se manifiesta por:
 - Alta ocupación.
- Uso/No uso inesperado de carriles. Se manifiesta por:
 - Flujos bajos en un carril y altos en el carril adyacente.
 - Maniobras inesperadas de cambio de carril (pe. si se observa que los vehículos pasan del tercer carril al segundo carril más adelante debe de existir un obstáculo en el tercer carril).
- Modificación en los patrones de flujo. Se manifiesta por:
 - Reducción del flujo posterior a un incidente respecto al flujo esperado o tendencias anteriores.
 - Homogeneización del flujo en el cuello de botella causado por el incidente.
 - Desvío del tráfico por rutas alternativas.
- Movimiento de vehículos con las luces de emergencia en funcionamiento.

De acuerdo a los diferentes niveles de respuesta, de los que dependen los patrones de tráfico, las categorías anteriores se pueden clasificar como se muestra en la tabla 1.

| CAMBIO | NIVEL DE RESPUESTA | | |
|---------------------------------------|--------------------|-------|-------|
| | RÁPIDO | MEDIO | LENTO |
| Relentización del tráfico | | | |
| - Frenazos rápidos. | SI | | |
| - Luces de freno. | SI | | |
| - Pérdida de velocidad. | | | SI |
| Colas. | | | |
| - Vehículos parados. | | SI | SI |
| - arranque/parada. | | SI | |
| - Velocidades muy bajas constantes. | | SI | SI |
| - Alta ocupación. | | SI | |
| Pérdida de capacidad. | | SI | |
| Cambios inesperados de carril | | | |
| - Flujos bajos en un carril. | | SI | |
| - Maniobras inesperadas. | SI | SI | |
| Modificación en los patrones de flujo | | | |
| - Reducción del flujo. | | SI | SI |
| - Homogeneización del flujo. | | | SI |
| - Desvío del tráfico. | | | SI |
| Luces de emergencia | SI | | |

Tabla 1.- Nivel de respuesta de los cambios en los patrones de tráfico

Hagamos notar que aquellos comportamientos o cambios que en la tabla están incluidos en dos niveles de respuesta se consideran que estos dependen del nivel de tráfico que exista en el momento de aparición del incidente. Por ejemplo, una cola puede crearse rápidamente cuando existen elevados valores del flujo o lentamente si los valores del flujo son bajos.

0.I.1.3.4 Correlaciones entre tipos de incidentes y variaciones en los patrones de tráfico.

Los resultados obtenidos de la observación de las variaciones producidas por los incidentes objeto de estudio bajo los diferentes aspectos considerados se muestra de forma resumida en la tabla 2.

De la tabla 2 se obtienen las siguientes conclusiones, dependiendo del lugar específico en que se sitúen los detectores (ver figura 1):

- *Aguas arriba del incidente* (zona anterior): En esta zona los efectos producidos por el incidente son, por lo general, la variación de la velocidad media de los vehículos, cambios imprevistos de carril y la modificación de los niveles de flujo.
- *En el incidente*: Se provoca una alteración del flujo esperado y cambios anormales de carril.
- *Aguas abajo del incidente* (zona posterior): Se detectan variaciones en los patrones de flujo pero únicamente cuando el nivel de tráfico es elevado. En condiciones de bajos niveles de tráfico no se observan modificaciones.

De una forma más generalizada, se puede afirmar, a partir de este estudio previo, la existencia de un conjunto de características asociadas a cada tipo de incidente y que por lo tanto estas pueden ser empleadas para la identificación del mismo, aunque, en algunos casos las características de diferentes tipos de incidentes son muy parecidas. El problema se presenta a la hora de poder identificar con la suficiente precisión el conjunto de efectos asociados al incidente. Normalmente los sistemas de detección únicamente estudian uno o dos de estos efectos para determinar la presencia de incidentes, por lo que su clasificación es imposible de realizar.

Como última conclusión del estudio podemos especificar cual es la utilidad de cada uno de los indicadores analizados, a la hora de emplearse como punto de referencia para la detección de incidentes:

- *Velocidad*: Es un parámetro apropiado para emplear en detectores situados aguas arriba y para todos los tipos de incidentes bajo cualquier condición de tráfico, excepto en situaciones de muy bajo flujo. No se puede utilizar en detectores aguas abajo, excepto con flujos muy elevados.
- *Vehículos parados y colas*: Versátil para flujos altos o moderados aguas arriba del incidente. No es de gran valor en situaciones de bajo niveles de tráfico.
- *Cambios o uso imprevisto de carriles*: Es útil para la mayoría de las detecciones aguas arriba del incidente incluso en condiciones de poco flujo. No tiene utilidad en zonas aguas abajo.
- *Modificaciones en los patrones de flujo*: Únicamente tiene utilidad en detecciones aguas abajo o en la zona del incidente, aunque tiene una respuesta muy lenta.

| INCIDENTE | FLUJO | Tráfico Lento | | | Colas | | | Alta Ocupación | | | Cambios de carril | | | Modificación de patrones | | | Luces de emergencia | | |
|---|-------|---------------|-----|-----|-------|-----|-----|----------------|-----|-----|-------------------|-----|--------|--------------------------|-----|-----|---------------------|-----|-----|
| | | Ant | Inc | Pos | Ant | Inc | Pos | Ant | Inc | Pos | Ant | Inc | Pos | Ant | Inc | Pos | Ant | Inc | Pos |
| Vehículo parado en un carril | Bajo | SI | SI | - | - | - | - | - | - | - | SI | SI | - | - | - | - | SI | SI | - |
| | Medio | SI | - | SI | - | SI | - | SI | - | - | SI | SI | - | - | SI | SI | SI | SI | - |
| | Alto | SI | - | SI | SI | SI | - | SI | - | - | SI | SI | - | - | SI | SI | SI | SI | - |
| Múltiples vehículos parados | Bajo | SI | SI | - | - | SI | - | - | - | - | SI | SI | - | - | - | - | SI | SI | - |
| | Medio | SI | - | SI | SI | SI | - | SI | - | - | SI | SI | - | - | SI | SI | SI | SI | - |
| | Alto | SI | - | SI | SI | SI | - | SI | - | - | SI | SI | - | - | SI | SI | SI | SI | - |
| Escombros | Bajo | SI | SI | - | - | - | - | - | - | - | SI | SI | - | - | - | - | SI | SI | - |
| | Medio | SI | SI | - | SI | - | - | SI | - | - | SI | SI | - | - | SI | SI | SI | SI | - |
| | Alto | SI | SI | SI | SI | SI | - | SI | SI | - | SI | SI | SI (?) | - | SI | SI | SI | SI | - |
| Carril cerrado | Bajo | SI | SI | - | - | - | - | - | - | - | SI | SI | - | - | - | - | SI | SI | - |
| | Medio | SI | SI | - | - | - | - | SI | - | - | SI | SI | - | - | SI | SI | - | SI | - |
| | Alto | SI | SI | - | SI | - | - | SI | - | - | SI | SI | - | - | SI | SI | SI | SI | - |
| Vehículo lento | Bajo | SI | - | - | - | - | - | - | - | - | SI | SI | - | SI (?) | - | - | - | SI | - |
| | Medio | SI | SI | - | - | - | - | SI | - | - | - | SI | - | SI (?) | SI | SI | - | SI | - |
| | Alto | SI | SI | - | - | - | - | SI | - | - | SI | SI | - | SI | SI | SI | - | SI | - |
| Empeoramiento repentino del tiempo | Bajo | SI | SI | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | SI | - |
| | Medio | SI | SI | - | - | - | - | SI | SI | - | - | - | - | - | - | SI | - | SI | - |
| | Alto | SI | SI | - | - | - | - | SI | SI | - | - | - | - | - | - | SI | - | SI | - |
| Congestión producida por un cuello de botella | Bajo | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Medio | SI | SI | - | SI | - | - | SI | - | - | - | - | - | SI | SI | SI | - | SI | - |
| | Alto | SI | SI | - | SI | - | - | SI | - | - | - | - | - | SI | SI | SI | - | SI | - |
| Vehículo parado en el arcén | Bajo | SI | SI | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Medio | SI | SI | - | SI | - | - | SI | - | - | - | - | - | - | SI | SI | - | SI | - |
| | Alto | SI | SI | - | SI | - | - | SI | - | - | - | - | - | - | SI | SI | - | SI | - |

Tabla 2.- Análisis de la conducta del tráfico.

- **Alta ocupación:** Es más efectivo aguas arriba del incidente, y es útil para la detección del final de las colas.
- **Luces de emergencia:** La detección de las luces de emergencia tiene su utilidad en la zona del incidente o aguas arriba.

Sin embargo, como pondremos de manifiesto en el capítulo VII, el mismo tipo de incidente no siempre produce el mismo tipo de patrones, ni existe un patrón específico para cada uno de ellos, por lo que se hace necesario redefinir los tipos de incidentes que serán detectado en función de las características y capacidades del sensor utilizado.

0.1.1.4 CARACTERIZACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LOS INCIDENTES

Como ya se ha mencionado superficialmente en este capítulo, y se profundizará en el Capítulo V, para llevar a cabo la gestión de incidentes no es suficiente detectar la presencia de los mismos, sino que además hay que tratar de obtener una descripción cuantitativa de ellos y de sus consecuencias. Para ello es necesario realizar una caracterización de los incidentes basada en el tipo de incidente y en las consecuencias que produce. En general, estos efectos corresponden a cambios en la relaciones cuantitativas de variables microscópicas de tráfico (flujo, densidad y velocidad) en las zonas próximas al incidente.

Según la relación entre la capacidad de la zona y el flujo de entrada pueden distinguirse dos tipos básicos de incidentes:

- **Tipo a:** Incidentes espacialmente limitados, en los que no hay una extensión de sus consecuencias. y que están limitados por ondas de choque estacionarias, esto es un flujo de entrada menor que la capacidad de la vía. Estos no pueden ser caracterizados según sus efectos.
- **Tipo b:** Incidentes cuya influencia se extiende de forma creciente y que están limitados por ondas de choque crecientes (Flujo de entrada mayor que la capacidad de la vía). Estos se pueden caracterizar por sus efectos.

La figura 2 [Messer, 74] [Busch, 90] muestra un ejemplo de la evolución de un incidente tipo b en el tiempo y en el espacio.

Messer, Dudek y Friebele [Messer, 74] han definido las relaciones que expresan el movimiento de la onda de choque en función de la velocidad cuando se produce un incidente en una autovía y este es inmediatamente eliminado. Estas relaciones las hemos incorporado a la figura 2.

La representación muestra que cuando ocurre un incidente en una carretera, la primera onda de choque que se produce aguas arriba viaja a una velocidad W_{u1} (hemos utilizado u por “up”, arriba). La velocidad de la onda de disminución de flujo que se extiende aguas abajo será W_{d1} (hemos utilizado d por “down”, abajo). Ambas ondas corresponden con los vectores exteriores que nacen del punto A, que define el principio del incidente, hacia adelante y hacia atrás.

Pasado un tiempo t_2 se asume que el incidente ha sido totalmente eliminado de la carretera. Cuando ello ocurre (punto B), la capacidad de la carretera se incrementa hacia su valor normal, y la retención existente aguas arriba del incidente comienzan a desaparecer. El flujo de los vehículos que salen aguas abajo del final de la cola congestionada también comienza a reducir o eliminar la cola aguas arriba del incidente. Asociado con la recuperación del incidente se encuentra el movimiento aguas arriba de la onda de flujo a elevada capacidad de velocidad W_{u2} . Asimismo, la onda que define el límite entre la región de elevada densidad o capacidad, y

la región de disminución de densidad se mueve aguas abajo desde el lugar del incidente (cuando este es eliminado) a velocidad W_{d2} .

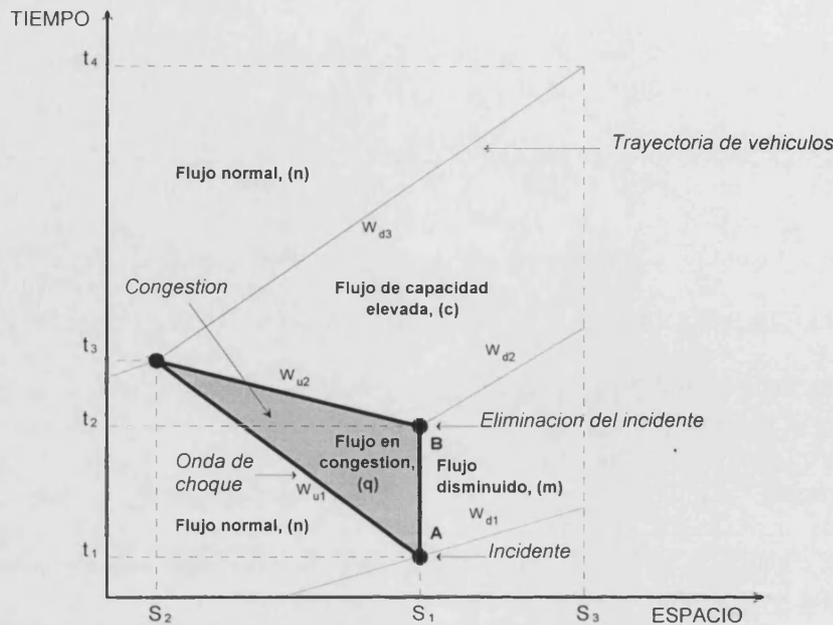


Figura 2: Diagrama espacio-tiempo de la evolución de un incidente

Como muestra la figura 2, una onda remanente aparece antes de que el tráfico vuelva a sus condiciones normales. A veces, después de que se resuelva el incidente, la onda de flujo de elevada ocupación W_{u2} puede alcanzar la onda de choque W_{u1} , y la cola disiparse. En este punto se forma la onda última de recuperación que comienza a moverse aguas abajo a velocidad W_{d3} . Esta onda define el límite entre la región de flujo de alta densidad y la de flujo normal. Es importante hacer notar que el punto donde W_{u1} y W_{u2} se intersectan, define la máxima distancia al incidente desde donde un sensor puede detectar la onda de choque para una duración dada del incidente. Por lo tanto, si el primer punto de medida esta situado más allá, aguas arriba de este punto, probablemente el incidente no será detectado, independientemente de la eficiencia del algoritmo de computación.

Por lo tanto, las dos variables más importantes, con independencia del espaciado entre sensores, son la velocidad de la onda de choque moviéndose aguas arriba, W_{u1} cuando se produce el incidente, y la velocidad de la onda de alta ocupación W_{u2} . La velocidad de la onda de choque puede ser determinada de la siguiente relación:

$$W_{u1} = -u_f + u_n + u_q \quad (1)$$

donde

u_f = la velocidad libre.

u_n = la velocidad normal antes del incidente.

u_q = la velocidad media dentro del área congestionada.

La onda de flujo de alta ocupación puede expresarse como:

$$W_{u2} = -\frac{u_f}{2} + u_q \quad (2)$$

Valores negativos en la expresión para W_{u1} y W_{u2} indica que las ondas se mueven aguas arriba.

Messer también ha demostrado que la velocidad media dentro de la cola congestionada u_q puede expresarse como una función del flujo durante las condiciones del incidente y la capacidad disponible durante condiciones normales de modo que:

$$u_q = \frac{u_f}{2} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{q}{q_m}} \right] \quad (3)$$

siendo

q = El flujo durante el incidente

q_m = La capacidad bajo condiciones normales

Según Euro-Cost 30 (1979) y Busch (1986), los parámetros con los que se debe caracterizar un incidente son los siguientes (ver figura 2):

- a) **Tiempo principal:** La duración del incidente, (t_2-t_1) .
- b) **Tiempo total:** El periodo de tiempo entre la aparición del incidente y el final de todos sus efectos en el lugar del incidente, (t_4-t_1) .
- c) **Arrea principal:** La zona espacio-temporal creada por el incidente y su cola, delimitada por el rectángulo (s_2-s_1, t_2-t_1) de la figura i.2.
- d) **Arrea total:** Es la zona espacio-temporal que presenta perturbaciones en las condiciones de tráfico aguas arriba del incidente, (s_3-s_2, t_4-t_1) .
- e) **Intensidad:** La relación entre el área total y el área principal.
- f) **Extensión:** La distancia entre el lugar del incidente y la cola del mismo, (s_2-s_1)
- g) **Velocidad de la onda de choque:** La velocidad con la que el final de la cola se desplaza en dirección contraria al flujo de tráfico, (W_{u1})

En la figura 3 se representan estos parámetros en el caso de un incidente.

0.1.2. CARACTERIZACIÓN DEL TRAFICO INTERURBANO

0.1.2.1 REVISIÓN DE LAS MAGNITUDES DE TRAFICO

Aunque esta memoria está dirigida hacia la caracterización cualitativa, no podemos prescindir del uso de las variables más generales que se emplean para caracterizar el tráfico, y por tanto en su gestión. Estas son [Conesa, 90]:

INTRODUCCION

Concepto de incidente: definición, clasificación y características.

- **Intensidad o flujo:** Número de vehículos que pasan por una sección de carretera durante cierto período de tiempo expresado en su equivalente por vehículos por hora.
- **Velocidad media:** La velocidad media del conjunto del tráfico, expresada en kilómetros por hora.
- **Densidad:** Número de vehículos que ocupan una longitud de vía. En general se expresa por vehículos ligeros por kilómetro y por carril.
- **Demora:** Tiempo perdido por el conjunto del tráfico al no poder circular a la velocidad máxima permitida. El porcentaje de demora será el tanto por ciento de tiempo perdido y simplificado se supone que coincide con el porcentaje de vehículos que por esa sección de carretera circulan con un intervalo igual o inferior a 5 segundos respecto a los que les preceden.

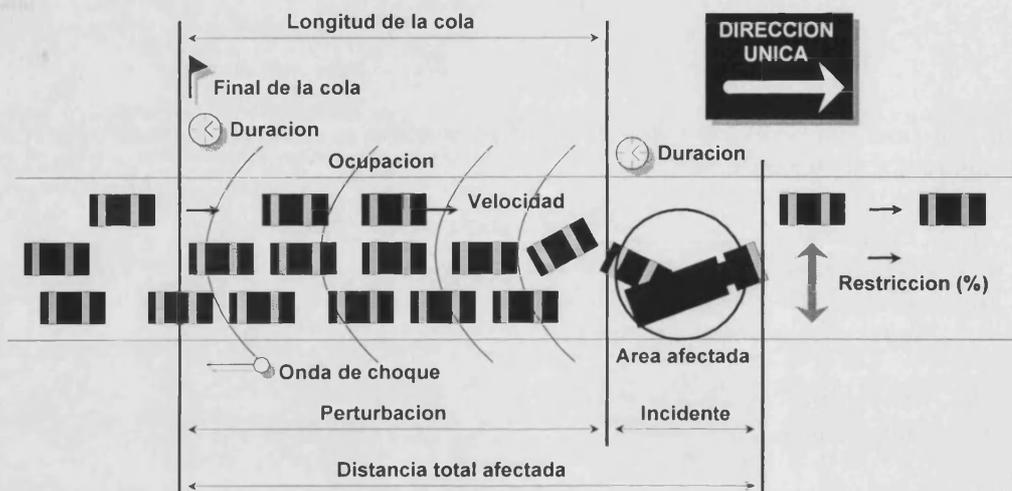


Figura i.3: Parámetros descriptores de un incidente.

Con independencia de la situación inicial de una carretera, es fácil comprender que al aumentar la intensidad disminuye la velocidad. Se sabe que la velocidad viene además condicionada por las características geométricas de la vía (velocidad específica) y por los agentes atmosféricos, sin embargo en ingeniería de tráfico el aumento de intensidad, con independencia del resto de factores siempre representa una disminución de la velocidad.

La intensidad presenta unos valores máximos, para velocidades que oscilan entre 45 y 75 km/h, a partir de éstos, y tal como se muestra en la figura 4 la situación del tráfico se vuelve inestable, disminuyendo la intensidad y la velocidad posible, hasta llegar en el límite al atasco y la congestión.

La relación entre la intensidad y la densidad está representada (figura 5) aproximadamente por una parábola de eje horizontal con un máximo en los 2.000 veh/h, que es la mayor intensidad posible y que se produce con densidades reducidas, del orden de 40-50 vh/km.

Valores mayores de la densidad se producen sólo en situaciones forzadas de tráfico que implican intensidades alejadas del máximo, hasta el colapso total con 167 veh por km., todos ellos parados.

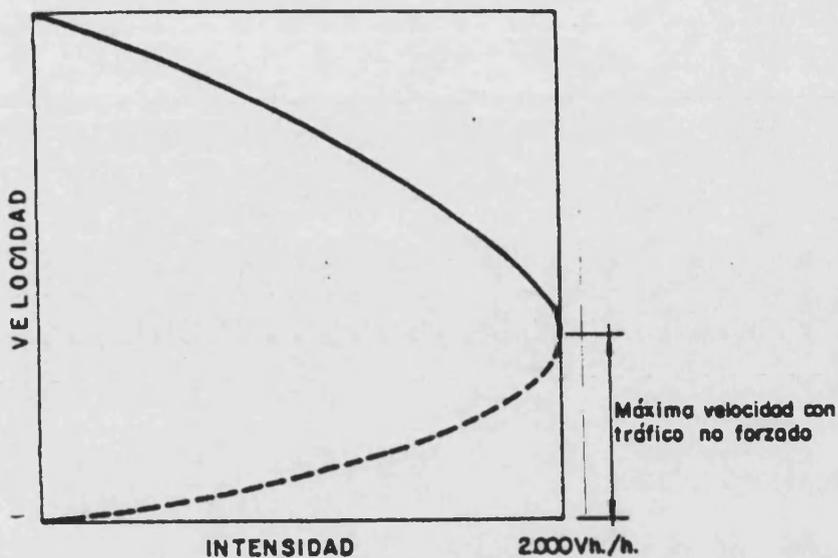


Figura 4.- Esquema relación intensidad - velocidad

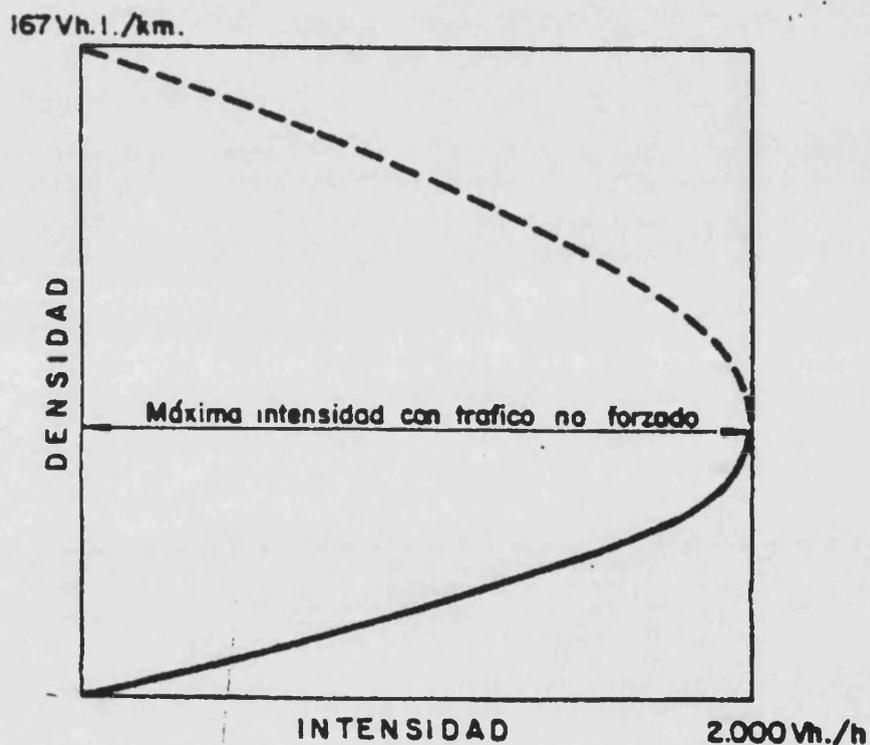


Figura 5.- Esquema relación intensidad - densidad

La velocidad media del tráfico se reajusta y va disminuyendo con la densidad resultando en situaciones forzadas unas velocidades por debajo del máximo admisible y totalmente imprevisibles según el tiempo de parada que se produzca.

INTRODUCCION

Concepto de incidente: definición, clasificación y características.

Al aumentar la densidad de vehículos por kilómetro en una carretera, disminuye la velocidad posible a desarrollar si se quiere mantener la separación de seguridad entre los vehículos. La curva de ajuste entre ambas magnitudes es prácticamente una recta (figura 6). El valor de la velocidad se puede suponer que se anula alrededor del valor 167 veh/km, supuesto separaciones tipo de 6 m., al encontrarse los vehículos a tope sin posibilidad de movimiento.

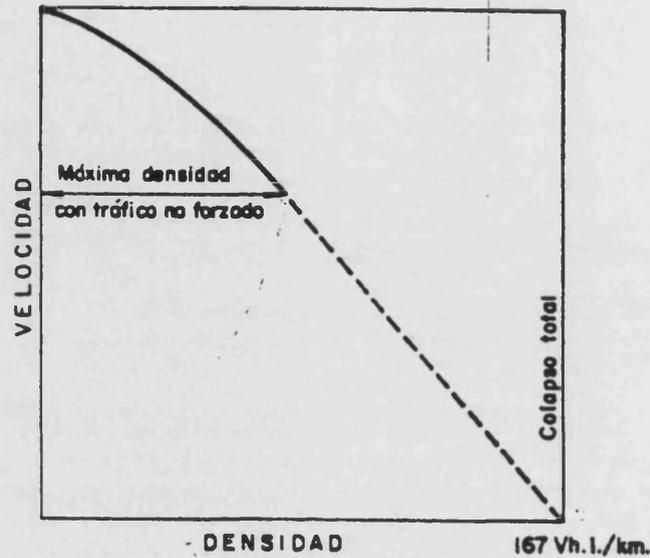


Figura 6.- Esquema relación densidad - velocidad

El ajuste entre velocidad media del tráfico y el tanto por ciento de la demora que se ocasiona es lineal y decreciente (figura 7). Al aumentar la intensidad disminuye la velocidad practicable y en consecuencia se incrementa la demora al no poder circular a la velocidad deseada (figura 8). A partir del máximo practicable la velocidad sigue disminuyendo y en consecuencia aumenta ilimitadamente la demora.

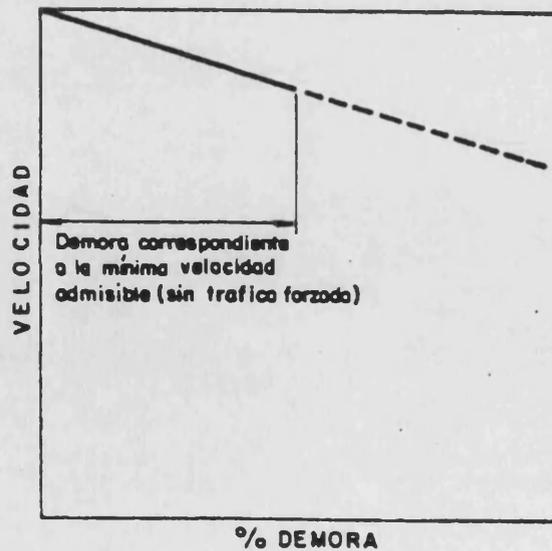


Figura 7.- Esquema relación demora - velocidad

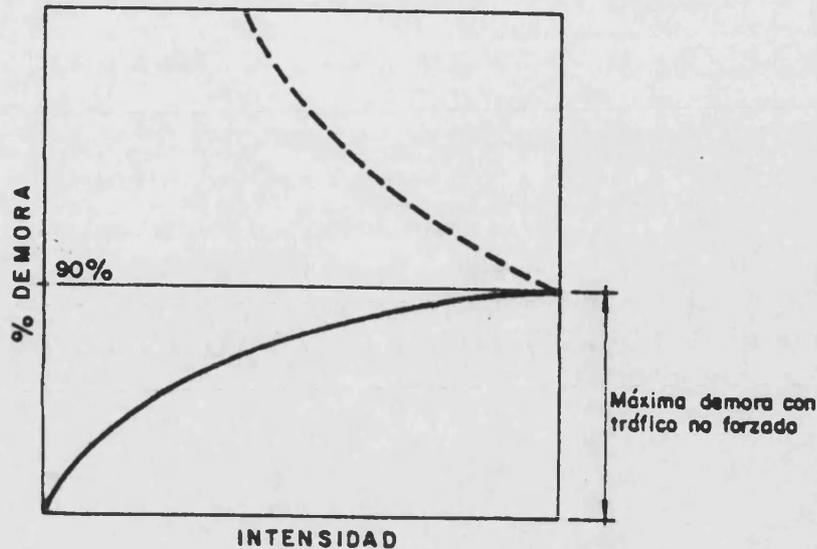


Figura 8.- Esquema relación intensidad - demora

0.I.2.2 CAPACIDAD

De forma general el manual de capacidad y niveles de servicio define la capacidad como el número máximo de vehículos que pueden circular a través de una sección uniforme de carretera durante un periodo de tiempo determinado. Desde un punto de vista puramente teórico, y siguiendo las fórmulas de R. Smeed con valores standard, se obtienen unos valores máximos de capacidad de 2000 vh/h y carril produciéndose para una velocidad de unos 52 Km/h.

De un modo más riguroso se define la capacidad como la máxima intensidad horaria de tráfico capaz de ser soportada por una determinada sección de carretera que tiene unas características geométricas dadas, pero en unas condiciones concretas del funcionamiento del tráfico, y todo ello medido en intervalos de 15 minutos y extrapolando los resultados a valores horarios.

De esta definición se deduce que no existe un valor único de la capacidad para una carretera sino que ésta se refiere a un máximo relativo de un tramo concreto y a unas condiciones de tráfico existentes en un momento dado. Distintas características producen, por lo tanto, distintas capacidades. Los factores de los que ésta depende y, como se verá más adelante de los que también depende el nivel de servicio, son los siguientes:

- Tipo de vía
- Velocidad específica de diseño
- Sección transversal
- Perfil longitudinal.
- Características de la corriente de tráfico.
- Emplazamiento de la vía.
- Distribución o reparto por sentidos.
- Factor de hora punta.

Cuando la intensidad de una carretera es igual a la capacidad de la misma, las condiciones de la circulación son malas, la velocidad es baja, las paradas frecuentes, la comodidad reducida pues

hay poca libertad de maniobra para el usuario, poca seguridad física real y potencial, demora y densidad excesiva y consecuentemente mayores gastos de explotación para el usuario. Si la intensidad supera la capacidad, se producen congestiones de forma natural sin que exista una causa implícita, que se denominan recurrentes.

0.I.2.3 NIVEL DE SERVICIO

El nivel de servicio (NS) es un parámetro con el que se trata describir las condiciones actuales del tráfico en una vía. Con el nivel de servicio se cualifican las condiciones de tráfico existentes en un tramo de carretera independientemente de las características del tráfico y las condiciones de la vía que puedan causar dicho estado. Como veremos éstos se corresponden de forma directa con una cualificación de la densidad espacial existente en la carretera.

De la conjunción de ambas magnitudes se define un nuevo parámetro denominado índice de servicio, que se emplea fundamentalmente en el diseño de carreteras y que se define como el cociente entre la intensidad de servicio, o máxima intensidad compatible con un nivel de servicio y una cierta capacidad. Es pues, aproximadamente el porcentaje de capacidad que corresponde a cada nivel.

0.I.2.3.1 Descripción de los niveles de servicio

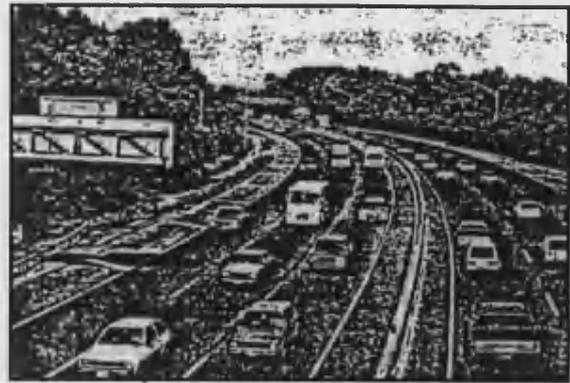
Se definen seis niveles de servicio según el manual de capacidad (ver figura 9):

- **NIVEL A:** Circulación fluida. La intensidad del tráfico es baja y la velocidad alta, función sólo de la vía. El conductor elige libremente la velocidad incluso más allá del límite permitido de circulación sin sufrir restricciones a causa del resto del tráfico.
- **NIVEL B:** Circulación estable con alta velocidad. No hay cambios bruscos en la velocidad aunque ésta comienza a depender del tráfico.
- **NIVEL C:** Circulación estable. La intensidad es alta y la velocidad y la libertad empiezan a estar condicionadas por el tráfico.
- **NIVEL D:** Circulación casi inestable. La libertad de maniobra es reducida, hay cambios bruscos en la velocidad, sufriendo el usuario molestias durante cortos periodos, aunque admisibles, manteniendo altas intensidades.
- **NIVEL E:** Circulación inestable. La intensidad se acerca rápidamente a la capacidad, que es el límite superior de este nivel. Hay paradas frecuentes y la velocidad es reducida, aunque constante. Pequeños aumentos de intensidad o mínimas incidencias provocan colapsos.
- **NIVEL F:** Circulación forzada. La velocidad es muy baja, la intensidad no llega a la capacidad, careciendo de representatividad por las frecuentes colas y embotellamientos, con situaciones frecuentes de arrancada y parada.

El nivel de servicio es por tanto, un concepto poco medible, muy correlacionado con la comodidad, que se puede presentar mediante un conjunto de imágenes de tráfico que dan idea del nivel de congestión que representa cada estado (figura 9)



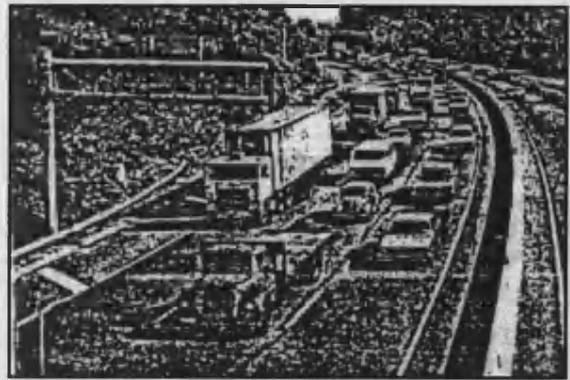
Nivel de servicio A



Nivel de servicio D



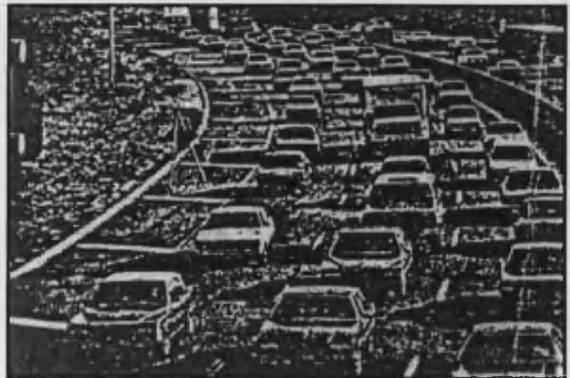
Nivel de servicio B



Nivel de servicio E



Nivel de servicio C



Nivel de servicio F

Figura 9.- Ejemplo de los distintos niveles de servicio.

0.I.2.3.2 Estimación del nivel de servicio mediante los métodos clásicos.

Como se indicó en la definición del nivel de servicio, éste está directamente relacionado con la densidad espacial. Sin embargo, la densidad espacial no puede ser determinada mediante las técnicas clásicas de medida (lazos magnéticos, individuales o dobles). Al no existir un método directo para el cálculo de la densidad espacial, esta se tiene que obtener mediante su relación con la velocidad media y la intensidad:

$$I = V * D \quad (4)$$

Para establecer esta relación se sustituye el valor de la densidad por el de la densidad en vehículos ligeros equivalentes. Así pues una autopista estará en un NS cuando la velocidad

INTRODUCCION

Concepto de incidente: definición, clasificación y características.

media de circulación supere un determinado limite, lo que previsiblemente implicará que la intensidad no superará un determinado valor y en consecuencia la densidad que habría, si pasaran los vehículos ligeros equivalentes a esa situación, no superaría un determinado valor. El cálculo del NS se realizará fijando los límites de la densidad para cada nivel. En la figura 10 se muestra las curvas densidad-intensidad para autopistas en función de su velocidad de diseño y sobre ellas los valores para los diferentes niveles de servicio definidos.

Se observa que el criterio para establecer los NS es homogéneo para todas las carreteras, aunque la intensidad de tráfico que corresponde a este valor no es el mismo, debido a que la capacidad de una carretera depende de factores de diseño, tráfico y temporales, tal como ya se ha mencionado.

El principal problema para determinar los NS mediante los sistemas de sensorización clásicos es la imposibilidad de obtener una medida directa de la ocupación espacial puesto que se trata de sensores puntuales. Se emplea por lo tanto el valor equivalente de la velocidad, pero este valor depende de las características de cada tramo y no es constante para todas las vías. Por otro lado, la relación velocidad-densidad obtenida en situaciones reales no corresponde a la curva teórica, sino a una nube de puntos distribuidos alrededor de la curva, con lo que la estimación de los NS en base a la velocidad no siempre es adecuada.

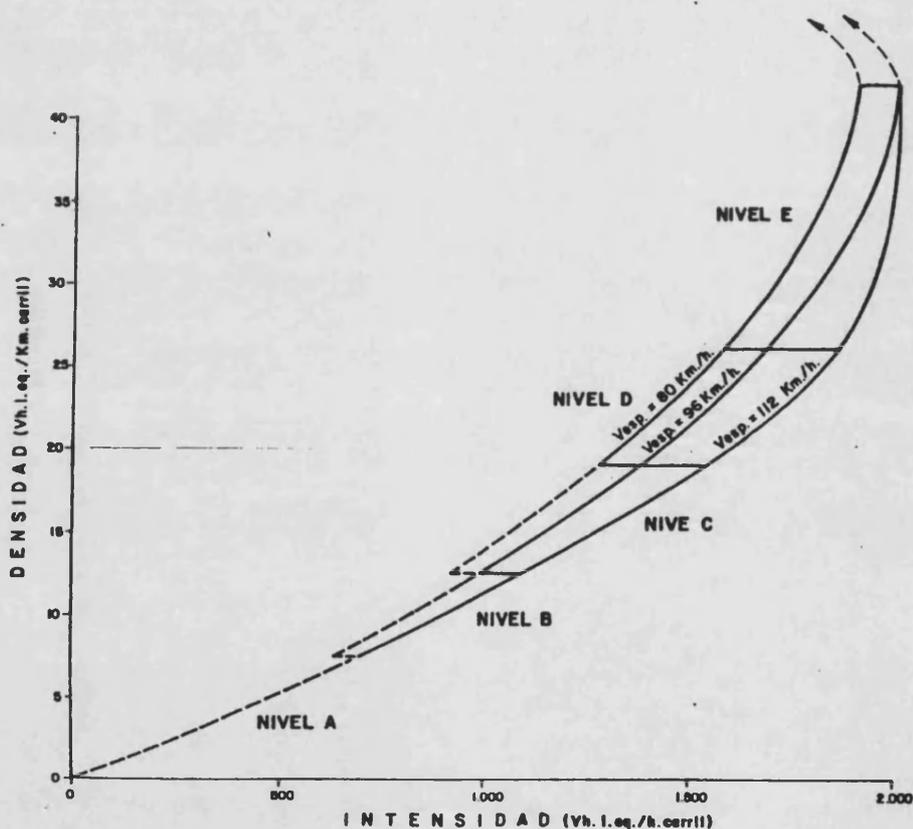


Figura 10.- Curvas densidad-intensidad para autopistas en función de su velocidad de diseño

INTRODUCCIÓN 0.II

REVISIÓN DE LAS TÉCNICAS Y SISTEMAS DE DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE INCIDENTES.

0.II.1. TECNOLOGÍAS, TÉCNICAS Y SISTEMAS

La detección de incidentes se basa en dos elementos: detectores de tráfico y algoritmos de procesamiento de datos. Estos elementos restringen la definición de las tecnologías de detección, las técnicas de detección y finalmente los sistemas de Detección Automática de Incidentes.

0.II.1.1 TECNOLOGÍAS Y DETECTORES DE TRAFICO

La tecnología hace referencia a la metodología y equipos electrónicos empleados para la detección de variables de tráfico. Por ejemplo: lazos inductivos, procesamiento de imagen, infrarrojos, microondas, etc.

Los sistemas de detección de variables de tráfico basados en estas tecnologías pueden ser de propósito general o estar orientados a aplicaciones específicas. Así, son **sistemas de detección de propósito general** los detectores de lazos para la monitorización y toma de datos. Mientras que serán sistemas de detección de propósito específico aquellos equipos de procesamiento de imágenes dedicados a la DAI y los sistemas de radar dedicados a la detección de excesos de velocidad.

En todos los casos, estos sistemas extraen información de la carretera. Dependiendo del área de medida, se distinguen dos tipos de sistemas de detección de tráfico:

- Detectores de área ancha.
- Detectores puntuales o de área pequeña.

Esta distancia es uno de los puntos claves en las aplicaciones de DAI.

0.II.1.1.1 Detectores de área ancha.

Los detectores de área ancha tienen usualmente una gran distancia efectiva de medida sobre la carretera (> 50 m). Este tipo de detectores son especialmente adecuados para realizar medidas sobre secciones, como colas, densidad espacial, y eventos tales como objetos parados sobre la vía. Ejemplos de estos tipos de sensores son:

- Basados en procesamiento de imágenes.
- Radares milimétricos.

0.II.1.1.2 Detectores puntuales

Los detectores puntuales toman las medidas sobre un pequeña área de la carretera (punto). Estos detectores son adecuados para tomar medidas dependientes del tiempo: contaje de vehículos, velocidad, ocupación, tiempo entre vehículos, etc. Ejemplos de este tipo de detectores son:

- Detectores de lazo (simples y dobles).
- Microondas (banda estrecha).
- Detectores de infrarrojos.
- Balizas.
- Sistemas basados en procesamiento de imágenes.

0.II.1.2 TÉCNICAS Y ALGORITMOS

Por técnicas se referirá a los métodos de procesamiento de datos empleados para la DAI. Una técnica intenta extraer información relevante y significativa, sobre una característica específica de una variable de tráfico o sobre relaciones entre variables de tráfico. Un ejemplo son las técnicas de reconocimiento y seguimiento de vehículos en imágenes sucesivas empleado por el sistema TRISTAR [Blosseville, 89].

En algunos casos la técnica es independiente de la tecnología empleada para la detección del tráfico, en otros por el contrario, están fuertemente relacionadas. En general, las técnicas usadas por los sistemas de área ancha están profundamente relacionadas con la tecnología subyacente. Por otro lado, las técnicas de DAI basadas en detectores puntuales pueden ser aplicadas con diferentes detectores como lazos magnéticos, visión, microondas, etc.

Por algoritmo se referirá al modo de implementar una técnica a través de modelos matemáticos y de procedimiento. Usualmente los algoritmos y las técnicas hacen referencia a conceptos similares, sin embargo, debe de tenerse en consideración que una técnica es de dominio público, mientras que los algoritmos están usualmente sujetos a la ley de propiedad intelectual o industrial, aunque los consideraremos a ambos indistintamente.

0.II.1.2.1 Clasificación

Teniendo en cuenta la distribución espacial de los datos procedentes de los detectores usados en la detección de incidentes, los algoritmos (o técnicas) se pueden clasificar en [Bush, 90]:

- Algoritmos locales: Emplean datos de un sólo punto de detección, producidos tanto por un detector puntual como por un detector de área ancha.
- Algoritmos de sección: Usan los datos provenientes de más de un detector, generalmente adyacentes.
- Algoritmos híbridos: Usan ambas aproximaciones.

0.II.1.3 SISTEMAS DE DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE INCIDENTES

Un sistema de DAI es la implementación técnica de una combinación adecuada entre un sistema de detección de tráfico (tecnología de detección) y un algoritmo (técnica de detección de incidentes). La mayoría de estos sistemas que han sido probados se describen en las siguientes secciones, de acuerdo al tipo de sensor empleado.

0.II.2. SISTEMAS DE DAI BASADOS EN TÉCNICAS TRADICIONALES

Vamos a presentar una clasificación de las principales aproximaciones utilizadas en DAI, en donde se refleja la diversidad de métodos de desarrollo y tratamiento de algoritmos de detección existentes. En ella cualquiera que sea el método empleado, las operaciones de observación se basan en la puesta a punto de algoritmos de detección mediante la utilización de datos de tráfico adquiridos en tiempo real. Básicamente en este grupo de sistemas, un algoritmo de detección consiste en la comparación de una función de los datos medidos, respecto a un umbral previamente fijado. Se identifica un incidente si el valor de la función es superior al umbral elegido.

0.II.2.1 DETECTORES DE LAZOS MAGNÉTICOS

La tecnología en la que se basan los lazos inductivos se puede decir que es una tecnología bien conocida y extendida por las empresas dedicadas al desarrollo de sistemas de tráfico, y en la actualidad existen muchos fabricantes capaces de ofrecer un amplio abanico de este tipo de detectores. [Martínez, 89] [INVAID I/D1, 89]. Los bucles electromagnéticos constituyen hoy en día la tecnologías de medida más implantada en las carreteras.

Algunos algoritmos de los empleados en DAI necesitan niveles de precisión que normalmente no se consiguen con detectores dirigidos a la monitorización. La precisión de los detectores de lazos magnéticos, depende de varios factores, tales como geometría, tolerancia, electrónica, etc.

Este tipo de detector de tráfico puede proporcionar los siguientes datos de tráfico:

- Presencia de un vehículo.
- Tipo del vehículo (mediante el empleo de técnicas de reconocimiento de patrones es posible diferenciar entre seis o más tipos de vehículos).
- Velocidad del vehículo (con lazos dobles).
- Ocupación de los lazos.
- Intervalo de tiempo entre vehículos.

Tomando como base estos datos se puede derivar otros parámetros de tráfico y emplearlos posteriormente como datos de entrada para sistemas DAI basados en lazos.

Se definen los siguientes tipos de detectores de lazos magnéticos [Moore, 81]:

- Detectores de doble lazo

Emplean dos lazos por cada carril de manera que es posible medir la velocidad del vehículo. Algunos detectores son capaces de integrar la velocidad media por carril actualizándola en cada detección.
- Detectores de lazos basados en técnicas de reconocimiento de patrones

Este tipo de detector de lazo es capaz de proporcionar datos digitalizados de los patrones de los vehículos que lo atraviesa. Un módulo de clasificación extrae y clasifica las características específicas del vehículo mientras que un módulo analítico compara esta información con los patrones almacenados. Esta técnica permite proporcionar una clasificación de vehículos precisa (seis tipos o más).
- Detector de lazos basados en reconocimiento de patrones y métodos de correlación

Este tipo de detector usa información de patrones de estaciones adyacentes para calcular datos de tráfico relacionados con una sección mediante técnicas de correlación adaptativa multipaso. Se necesita por tanto un tramo de conexión para la transmisión de datos entre estaciones adyacentes y un procesador específico junto a la carretera.

0.II.2.1.1 Principio de funcionamiento

Estos detectores utilizan las características de un lazo metálico situado sobre la superficie de la carretera y las fluctuaciones eléctricas producidas por la aproximación de un objeto metálico (vehículo) para detectar su presencia y su paso. Como muestra la figura 1, mientras circula una corriente alterna por el lazo metálico situado sobre la carretera, se crea un campo magnético de la misma frecuencia cerca de la superficie de la carretera. Si un objeto metálico entra en este campo magnético, entonces la inducción magnética causa corrientes sobre el objeto metálico y como resultado se produce una variación en la impedancia a la salida del lazo magnético. Cuando se detecta un cambio de impedancia, se detecta un vehículo. En este caso, se puede decir que el lazo y el vehículo actúan como un transformador, si el bucle es la bobina primaria, la parte metálica del coche constituye la bobina secundaria, la cual es acortada por la resistencia metálica. El bobinado principal se combina con el secundario mediante una inductancia mutua extremadamente baja, que llega a cero mientras un vehículo está presente sobre el lazo. Cuando el coche se aproxima al lazo metálico, la inductancia mutua se eleva, provocando una modificación de la impedancia en el bobinado primario del transformador. Este cambio de impedancia se manifiesta como un cambio en la resistencia, inductancia y fase.

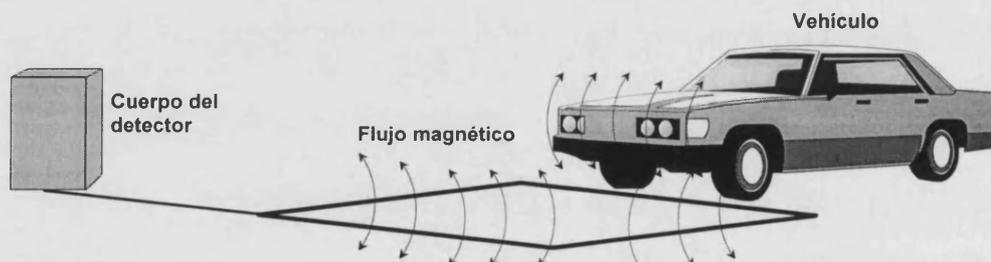


Figura 1.- Principio de funcionamiento de un detector tipo lazo.

Todos estos parámetros se pueden emplear para la detección de vehículos, sin embargo, la mayor parte de los detectores de lazo se basa en el cambio de inductancia. La inductancia del lazo también puede ser modificada por cambios de temperatura, lluvia y transformaciones de la superficie de la vía. Tras largos periodos de funcionamiento, los cambios causados por estos factores pueden ser mayores que los causados por la aparición de un vehículo sobre el lazo. Por lo tanto, estos deben de ser compensados.

El cambio de inductancia provocado por el paso de vehículos varía según el tipo de vehículo, los sistemas son mas sensitivos a vehículos pequeños que a vehículos de un gran volumen. La variedad de formas de lazos es muy amplia y cada país tiene sus propias preferencias, en España es muy común el lazo de 2 x 2 metros.

0.II.2.1.2 Utilización de lazos en sistemas de DAI

Los sistemas de DAI basados en lazos magnéticos obviamente usan **medidas de tráfico puntuales**, sobre las que se puedan aplicar diversas técnicas de detección. Estas se pueden agrupar en:

- *Técnicas de reconocimiento de formas.* Incluye los algoritmos más difundidos, que veremos más adelante: californiano simple, californiano extendido y algoritmo de Payne, que discriminan ciertas formas dentro de los datos relativos a incidentes que parten de los fenómenos que aumentan el índice de ocupación aguas-arriba de los incidentes y que lo disminuyen aguas-abajo.
- Uso de *modelos estadísticos.* Consiste en aplicar las técnicas predicción a corto plazo, a fin de detectar irregularidades (desviaciones significativas entre valores previos y medidas) dentro de las series temporales de los datos de tráfico. Entre estos métodos tenemos: el modelo SND (desviación normal estandar), el modelo bayesiano y los basados en el análisis de series cronológicas (modelo ARIMA [Ahmed, 83], suavizamientos y algoritmo HIOCC), siendo los algoritmos de suavizamiento exponencial (tanto simple como doble) los que juegan un papel más importante.
- Métodos que recurren a *redes neuronales*, que son en la actualidad tema de investigación. Entre ellos se encuentran modelos de percepción multicapa y los modelos de lógica difusa.
- Uso de *teoría de las catástrofes.* Se parte de una modelización del diagrama fundamental, discriminando el nivel de falsas alarmas que son particularmente débiles, después se compatibiliza todo mediante operaciones forzadas de explotación de las grandes infraestructuras. Un ejemplo es el algoritmo de McMaster. [Persaud, 88] [Hall, 93].

Estos sistemas de detección incluyen necesariamente un procesador que continuamente examine los datos de una secuencia de detectores espaciados a lo largo de una carretera, (por lo general con unos 500 metros). Los datos de tráfico obtenidos por los detectores son típicamente: flujo, ocupación y velocidad.

Los sistemas tratan de detectar fluctuaciones en las condiciones del tráfico causadas por congestiones o reducciones de la capacidad en las zonas próximas a los detectores. Obviamente, su actuación depende principalmente de la eficacia de sus algoritmos para la detección de incidentes sin producir falsas alarmas.

0.II.2.2 ALGORITMOS CLÁSICOS DE DETECCIÓN DE INCIDENTES: GENERALIDADES

Los algoritmos utilizados en sistemas de DAI basados en lazos están caracterizados, generalmente, por un conjunto de umbrales $S = \{ S_i ; i = 1, \dots, n \}$. Para cada valor fijo de S , es posible determinar sobre un conjunto dado de datos (incidentes y no-incidentes), los valores correspondientes a los criterios de actuación. La calidad de la detección se evalúa tradicionalmente a partir de tres criterios cuantitativos [Cohen, 93]:

- *la tasa de detección* $\beta(S)$: define la proporción del número de incidentes detectados sobre el número de incidentes efectivos,
- *la tasa de falsas alarmas* $\alpha(S)$: Hay una falsa alarma cuando el sistema diagnostica un incidente que no se ha producido en realidad. Por definición, la tasa de falsas alarmas α corresponde a la relación entre el número de falsas alarmas y el número de pruebas efectuadas a lo largo de un periodo dado,
- *Tiempo medio de detección* $\gamma(S)$: es el tiempo promedio transcurrido entre que ocurre un incidente y su detección por el sistema.



En la fase de explotación operacional, la eficacia de los algoritmos de DAI del sistema de detección dependen estrechamente de la calidad de la calibración, es decir, de la selección de los umbrales que definen los valores de ocupación que responden a situaciones de incidentes. Aunque sean obvios, es bueno recordar algunos principios básicos:

- Umbrales demasiado restrictivos reducen la tasa de detección. Valores elevados de los umbrales reducen el número de falsas alarmas pero pueden pasar por alto algunos incidentes de menor impacto sobre el tráfico.
- Umbrales demasiado bajos generan falsas alarmas de forma sistemática.
- En la práctica y para cada algoritmo particular, conviene buscar un compromiso óptimo entre los índices de detección y los índices de falsas alarmas, considerándose óptimo un conjunto de umbrales si, para un índice dado de detección se induce un índice mínimo de falsas alarmas.

0.II.2.2.1 Estrategias de calibración

Una primera estrategia de calibración consiste en determinar los umbrales de un algoritmo que conducen a un índice más fiable de falsas alarmas. Formalmente, el problema se reduce a resolver un programa de optimización no lineal bajo condiciones del siguiente tipo:

$$P(y) : \text{Min}_S \{ \alpha(S) / \beta(S) > y \} \quad (1)$$

donde 'y' significa un nivel de detección fijo (por ejemplo 80%). La resolución numérica, por ejemplo para el método complejo de Box [Box, 65], suministra los valores de los umbrales buscados. El algoritmo de optimización global de Box no necesita calcular las funciones derivadas [Box, 69] y da mejores resultados que otros muchos algoritmos de optimización para el caso de problemas con algunos mínimos locales. El criterio de minimización es el área absoluta de la diferencia entre la medida y el modelo. En un primer paso, el algoritmo necesita tener definido un dominio de permisión de cada variable para poder ser optimizada (límite superior e inferior). No existen limitaciones para estos valores máximo y mínimo salvo que no pueden ser negativos.

Dentro de ciertos casos prácticos, puede ser útil el resolver el problema dual:

$$P'(y) : \text{Max}_S \{ \beta(S) / \alpha(S) > y \} \quad (2)$$

consistente primero en maximizar el índice de detección para un nivel dado de falsas alarmas, observarlo y juzgarlo aceptable operacionalmente (pe. 1%).

La resolución de estos programas no lineales y sus inversos se efectúan por procedimientos interactivos, dando lugar a los valores deseados de los umbrales. Otras posibles alternativas consisten en dar prioridad al criterio del tiempo de respuesta de los algoritmos. Este tipo de estrategias son convenientes en ciertas infraestructuras y se formulan de forma equivalente a las anteriores.

0.II.2.2.2 Naturaleza de los algoritmos

Como vimos en el apartado i.1 cuando un incidente bloquea un carril, se genera una congestión del tráfico aguas arriba, al tiempo que se desarrolla una región de flujo ligero, aguas abajo del lugar del incidente. El flujo, la ocupación, y la velocidad son afectados inmediatamente en el estado detectado aguas arriba y aguas abajo del incidente.

Se puede considerar un algoritmo de detección de incidentes como aquel que engloba la cuantificación de una o más características del tráfico, que se espera que tomen valores significativamente diferentes según se trabaje bajo condiciones de incidentes, o bajo condiciones libres de ellos.

Por ejemplo, como el valor de ocupación aguas arriba de un incidente es mucho más alto después de que ocurra el incidente que antes se puede definir un algoritmo de detección de incidentes, como:

$$(\text{ocupación}_{\text{aguas arriba}}) > T \Rightarrow \text{incidente} \quad (3)$$

sin embargo, en condiciones de tráfico severas, la ocupación aguas arriba será también muy alta con lo que se generará una falsa alarma.

El algoritmo puede ser corregido mediante la identificación de otras características discriminatorias adicionales. Por ejemplo, es típico que el incremento de la ocupación aguas arriba, causado por un incidente, venga acompañado por un decremento de la ocupación aguas abajo, (este no es el caso en congestiones, pero si en condiciones libres de incidentes). De este modo, el algoritmo sería:

$$(\text{ocupación}_{\text{aguas-arriba}} - \text{ocupación}_{\text{aguas-abajo}}) > T \Rightarrow \text{incidente} \quad (4)$$

Es evidente que los citados algoritmos no están completos sin un valor para el umbral T, el cual debe ser calibrado.

Hay muchas aproximaciones teóricas en cuanto a los algoritmos DAI, pero solamente unos pocos han sido probados exhaustivamente o han estado en funcionamiento durante un periodo largo de tiempo. A continuación se describen algunas familias de algoritmos que han sido probados con datos reales.

0.II.2.3 DESCRIPCIÓN DE ALGORITMOS CLÁSICOS [Busch, 90].

La mayoría de los sistemas referenciados a continuación se encuentran descritos en varios artículos recopilatorios [Aymerich, 91][Busch, 90][Ketselidou, 94].

0.II.2.3.1 Californiano

Uno de los algoritmos más extensamente usados fue desarrollado por el "California Department of Transportation". Este algoritmo, conocido como el "modelo californiano", consiste en tres pruebas secuenciales basadas en cambios de ocupación sobre periodos cortos de tiempo en puntos aguas-arriba y aguas-abajo del incidente. Solamente se detecta un incidente cuando se excede el valor umbral predefinido para las tres variables. Estas pruebas son:

$$\left(\text{ocup}_{\text{Aguas.Arriba}} - \text{ocup}_{\text{Aguas.Abajo}} \right) > T_1 \quad (5)$$

$$\frac{\left(\text{ocup}_{\text{Aguas.Arriba}} - \text{ocup}_{\text{Aguas.Abajo}} \right)}{\text{ocup}_{\text{Aguas.Arriba}}} > T_2 \quad (6)$$

$$\frac{\left(\text{ocup}_{\text{Aguas.Abajo}}^{t-1} - \text{ocup}_{\text{Aguas.Abajo}}^t \right)}{\text{ocup}_{\text{Aguas.Abajo}}^{t-1}} > T_3 \quad (7)$$

donde $[t-1, t]$ es el periodo de tiempo seleccionado.

En relación a la reducción de falsas alarmas, pueden realizarse varias pruebas antes de que se declare un incidente. Estas pruebas incluyen:

- a) verificación del final de un incidente (algoritmo californiano extendido)
- b) comprobación redundante para asegurar que el sobrepasar un umbral no es debido a una fluctuación en los datos (algoritmo 1 de Payne)
- c) una prueba de onda comprimida para distinguir un incidente de una onda de choque (algoritmo 2 de Payne).

El modelo californiano fue implementado en California durante un largo periodo, y la versión 2 de Payne está hoy en día en uso en Los Ángeles. El modelo Californiano simple es a menudo usado como referencia cuando se comparan y evalúan nuevos algoritmos, ya que este tipo de algoritmos de filtrado funcionan bien cuando los lugares adyacentes de toma de datos están uniformemente espaciados y los volúmenes de tráfico son altos o medios.

0.II.2.3.2 Algoritmo de Payne

Vamos a utilizar la notación $\tau(i, t)$ que designa el índice de ocupación medido por el detector 'i', en el instante 't'. El índice de los detectores 'i' crece en el sentido del tráfico mientras que el índice de tiempo 't' varía mediante incrementos. Su cadencia de funcionamiento es la siguiente[Cohen, 93][Payne, F76]:

- Primera fase: Se presupone la existencia de alarma si las tres desigualdades siguientes son simultáneamente verificadas en el instante 't':

$$(i, t) - \tau(i+1, t) \geq k_1 \quad (8)$$

$$\frac{\tau(i, t) - \tau(i+1, t)}{\tau(i, t)} \geq k_2 \quad (9)$$

$$(i+1, t) < k_3 \quad (10)$$

Si se verifican las tres condiciones simultáneamente se activa la segunda fase.

- Segunda fase: corresponde a una condición de persistencia, probado en el incremento de tiempo 't + 1'. Se representa por:

$$\frac{\tau(i, t+1) - \tau(i+1, t+1)}{\tau(i, t)} \geq k_2 \quad (11)$$

Si la condición de persistencia se satisface, la fase anterior del algoritmo es ahora desechada.

- Tercera fase: corresponde a la condición llamada de continuación. Es regida por:

$$\frac{\tau(i, t+2) - \tau(i+1, t+2)}{\tau(i, t+2)} \geq k_2 \quad (12)$$

Los umbrales k_1 , k_2 , y k_3 del algoritmo deben estar calibrados teniendo en cuenta las características propias de cada infraestructura: tipo de tráfico, geometría de la zona, distribución de los sensores, etc.

0.II.2.3.3 Suavizamiento exponencial

Una característica típica de los patrones de tráfico que se producen durante los incidentes es el brusco desarrollo de una discontinuidad en el flujo de tráfico. Las técnicas de suavizamiento exponencial suministran una base para la detección tanto de las discontinuidades temporales en ocupación, volumen, como en alguna de las características simples de tráfico. La idea general es que las series temporales de los valores de una variable pueden usarse para predecir un valor futuro y que un incidente causará una discrepancia significativa entre el valor actual y el pronosticado. Se diferencian:

- *Suavizamiento exponencial simple.* Consiste en producir una alarma cuando un índice excede un umbral determinado. El índice de tráfico fue elegido siguiendo una investigación de Payne e incluye los siguientes factores: volumen, ocupación y velocidad, así como sus diferencias espaciales y temporales.
- *Doble suavizamiento exponencial modificado.* Se produce una alarma si la suma normalizada de errores en valores de índice previstos excede a un umbral predeterminado. Los índices de tráfico elegidos también se basan en las investigaciones de Payne.

Diversas evaluaciones han mostrado que se obtienen buenos resultados usando los siguientes índices:

$$vk_{dif} = \sqrt{\left(\frac{v_f - v_{m2}}{v_f}\right)^2 + \left(\frac{k_1}{k_{max}}\right)^2} - \sqrt{\left(\frac{v_f - v_{m2}}{v_f}\right)^2 + \left(\frac{k_2}{k_{max}}\right)^2} \quad (13)$$

siendo:

- v_f : velocidad libre
- v_{mi} : velocidad media para el punto i medido
- k_i : densidad para el punto i medido
- k_{max} : densidad máxima

Este índice discontinuo vk_{dif} de densidad de velocidad tiene algunas ventajas ya que, una reducción de la velocidad viene acompañada por un crecimiento de la densidad y por tanto se detecta un incidente.

El algoritmo del doble suavizamiento exponencial [Cook, 74], desarrollado por un esfuerzo común de la Universidad McGill en Canadá y la Universidad de Michigan en USA, trabaja en dos pasos:

- Predicción lineal, \hat{x} , para el instante siguiente:

$$\hat{x}(t) = \left(2 + \frac{\alpha}{1-\alpha}\right) \cdot S_1(t-1) - \left(1 + \frac{\alpha}{1-\alpha}\right) \cdot S_2(t-1) \quad (14)$$

donde $S_1(t) = \alpha x(t) + (1-\alpha) S_1(t-1)$, y $S_2(t) = \alpha S_1(t) + (1-\alpha) S_2(t-1)$ son las series temporales de $x(t)$.

- Prueba:

$$TS(t) = \frac{|Y(t)|}{m(t-1)} > Umbral \Rightarrow incidente \quad (15)$$

donde:

$e(t) = \bar{x} - x(t)$ es el error pronosticado.

$Y(t) = Y(t-1) + e(t)$ es el error acumulativo.

$m(t) = (1-a) m(t-1) + a |e(t)|$ es el significado de suavizamiento de la exponencial de la derivación absoluta del error pronosticado.

Los valores más efectivos para los parámetros ' α ' y ' a ' se determinaron experimentalmente en 0.3 y 0.1, respectivamente.

Las técnicas de suavizamiento exponencial de ocupación o volumen se han mostrado ser efectivas en la detección de las ondas de choque generadoras de incidentes en las pruebas realizadas en la autovía John C. Lodge en Detroy, USA. considerado un buen algoritmo para ser empleado en áreas adyacentes, con sensores espaciados de forma compacta y con altos volúmenes de tráfico.

0.II.2.3.4 HIOCC

El algoritmo HIOCC (HIGH OCCUpancy), desarrollado en Inglaterra por TRRL en 1979, es un algoritmo microscópico (emplea únicamente datos individuales de los vehículos) basado en la ocupación. Opera identificando la presencia de vehículos estacionarios o de movimientos lentos sobre los detectores individuales. Se ejecuta mediante la búsqueda, durante segundos consecutivos, de valores elevados de ocupación para detectar colas e incidentes en condiciones de alto flujo de tráfico. Genera una alarma si la ocupación aguas-arriba aumenta anormalmente durante algunos segundos.

El algoritmo HIOCC ha sido probado en la autopista M1 en Inglaterra, y ha probado ser eficiente en situaciones producidas al azar y causadas por vehículos moviéndose lentamente, obras y accidentes, teniendo un porcentaje de falsas alarmas muy bajo.

0.II.2.3.5 McMaster

Este algoritmo para la detección de incidentes fue desarrollado en la Universidad McMaster en Canadá y está basado en la clasificación de las condiciones correspondientes a un detector individual usando relaciones de flujo, ocupaciones y velocidades de ese detector. La aproximación se ha desarrollado mediante un modelo basado en la teoría catastrófica de operaciones de liberación de tráfico. De acuerdo con este método, el diagrama de flujo de ocupación se divide en cuatro estados posibles:

- (1) operación de descongestión normal;
- (2) operación aguas-abajo de un incidente;
- (3) operación sin una cola de tráfico "lenta y moviéndose";
- (4) operación aguas-abajo de un embotellamiento recurrente.

El primer paso consiste en clasificar la situación de un detector en un estado congestionado o descongestionado, usando solamente datos de dicho detector. Si el estado es congestionado, el algoritmo usa los datos de aguas-abajo del detector que ha registrado la congestión, para distinguir entre una congestión recurrente o una causada por un incidente.

El algoritmo McMaster ha sido probado en dos autopistas en Ontario. Los resultados han mostrado que el algoritmo es totalmente efectivo en la identificación de congestiones, y que el rango de falsas alarmas es totalmente aceptable, excepto durante tormentas de nieve.

0.II.2.3.6 Filtro de Kalman extendido

Este algoritmo basado en un filtro Kalman extendido, desarrollado en Alemania [Cremer, 81], está orientado a la detección de incidentes empleando puntos de medida espaciados entre tres y cinco kilómetros. Se basa en el cálculo del llamado volumen de perturbación, mediante un modelo de flujo de tráfico global que trata de detectar el decrecimiento de la capacidad durante un incidente. Si la perturbación en el volumen excede a un umbral se activa una alarma. Para simplificar el proceso, el algoritmo usa dos matrices de ganancia de flujo constante en lugar de una matriz de Kalman ajustada continuamente.

En las previsiones espaciales de los volúmenes de tráfico, se produce una alarma si el error previsto (igual a la diferencia entre la previsión y el volumen actual del tráfico en el lugar del detector aguas-abajo) excede un umbral predeterminado. La previsión se calculada mediante el análisis de la distribución de velocidad y el volumen de tráfico en el lugar del detector aguas-arriba.

0.II.2.3.7 Correlación cruzada

En este algoritmo se produce una alarma si la velocidad estimada de las ondas comprimidas cae por debajo de un umbral o si el algoritmo deja de encontrar estimaciones correctas de la velocidad durante un cierto periodo de tiempo. La estimación de la velocidad se obtiene mediante el cálculo de la función de correlación cruzada de las series temporales de la densidad de tráfico aguas-arriba y aguas-abajo del punto de detección.

Este algoritmo funciona bien cuando los puntos de medida están espaciados de forma compacta y los volúmenes de tráfico son bajos [Busch, 90].

0.II.2.4 SISTEMAS DE DAI BASADOS EN LAZOS MAGNÉTICOS o SIMILARES.

Una vez descritos los sensores y los algoritmos, a continuación vamos a describir los sistemas de DAI que actualmente se están implementado y sometiendo a pruebas en distintos proyectos piloto basados en elementos de sensorización puntuales, principalmente lazos magnéticos. Vamos a dar una referencia esquemática de cada uno de ellos. La mayoría de la información sobre los sistemas siguientes la hemos obtenido de un informe correspondiente a una task force del programa DRIVE [CORD, 94]

0.II.2.4.1 HERMES I ó II

Principios básicos

Los sistemas HERMES se basan en la recogida de datos de tráfico de los detectores de lazos y en dos algoritmos que permiten la detección de perturbaciones de flujos de tráfico como consecuencia de un incidente. El objetivo del sistema es trabajar en condiciones de tráfico denso y moderado.

Detección de tráfico

Tecnología utilizada

Sistema de detector de lazos magnéticos

Parámetros detectados

- Velocidad por carril (km/h)
- Colas (sec.)

Parámetros calculados del tráfico

No se necesitan otros datos

Configuración de los detectores

La sección de medidas está equipada con dos lazos para cada carril. Se han definido unas especificaciones para la instalación de los lazos. La distancia entre los puntos de detección son variables y para el proyecto piloto varían de 580 m a 1041 m., aunque estas diferencias parecen obedecer mas a las posibilidades de cada instalación que a la intencionalidad de sus autores.

Técnica de DAI

Datos utilizados / nivel de integración

Para cada vehículo que pasa por el detector, se graban algunos datos, pe. tiempo, velocidad, longitud del vehículo y el carril. En base a estos datos se calcula la ocupación temporal integrada en 30 y 60 segundos, la velocidad media y el flujo, que son analizados cada 10 segundos.

Descripción de algoritmos

Los sistemas HERMES están basados en dos algoritmos diferentes:

- HERMES I está basado en el conocido CALIFORNIA 8 que puede ser considerado como un método de referencia. Sin embargo, este ha sido mejorado, principalmente en la identificación de la onda de compresión y la situación crítica. El algoritmo de CALIFORNIA es un método de sección que utiliza un árbol de decisión con estados como estructura general para la detección de incidentes. La ocupación, que se mide como el valor medio de todos los carriles en un único punto de la carretera y en intervalos de 30-60 seg. es la variable utilizada para identificar el nivel de servicio. La diferencia espacial de la ocupación (absoluta y relativa) y sus diferencias temporales se analizan y comparan con unos umbrales adecuados para definir el “estado” dentro del árbol de decisión.
- HERMES II se fundamenta en técnicas de filtrado. La idea básica de éste método es un modelo recursivo basado en un esquema de estimación, donde se usa un modelo macroscópico, junto con un esquema de corrección para procesar las medidas de ambos lados de una sección de carretera y generar una estimación del perfil de carga de tráfico sobre una sección entera. El algoritmo utilizado en este concepto recursivo general es el filtro de Kalman

extendido. Una de las características más prometedoras de este tipo de algoritmo es su capacidad para trabajar también con grandes distancias entre puntos de detección.

Incidentes detectables

El sistema HERMES puede detectar perturbaciones en el flujo del tráfico: congestión aguas arriba, colas y ondas de choque.

Clasificación del algoritmo

Ambos algoritmos pertenecen a la clase de algoritmos de sección que utilizan datos de dos detectores adyacentes. Las diferencias están en la longitud máxima de la sección que permite una detección correcta. Mientras que para el método CALIFORNIA el límite es una longitud de 1000 m., el método de filtrado permite una sección más amplia: la distancia más apropiada debería ser 3000 m. aunque una prueba de simulación llevada a cabo muestra un buen funcionamiento del sistema en una sección con una longitud de hasta 7000 m.

Instalaciones existentes y proyectos piloto

Los sistemas HERMES están siendo evaluados en el proyecto MELYSSA (Mediterranean-Lyon-Stuttgart Site for ATT). El área de prueba estará situada en la autopista A7 cerca de Lyon.

0.II.2.4.2 German Standard AID (Autopistas)

Principios básicos

Clarificación del estado del tráfico en base a datos de medidas locales en tiempo real.

Detección del tráfico

Tecnología utilizada

Detector de lazos magnéticos (doble) y radar (puntual).

Parámetros detectados

- Presencia de un vehículo
- Tipo de vehículo (coche de pasajeros / vehículos pesados)
- Velocidad del vehículo
- Ocupación

Parámetros del tráfico calculados

- Volumen del tráfico (coche de pasajeros / vehículos pesados)
- Velocidad media (coche de pasajeros / vehículos pesados)
- Densidad
- Relación de la ocupación
- Índice de discontinuidad de la densidad de velocidad (todos los datos son suavizados)

Configuración de los detectores

Depende de la situación local.

Técnica de DAI

Datos utilizados / nivel de integración

- Velocidad media
- relación de la ocupación
- índice de discontinuidad de la densidad de velocidad

Descripción de algoritmos.

Comprobación de los umbrales prefijados en cada intervalo de adquisición de datos (normalmente 1 minuto).

Incidentes detectables

- Congestión (vehículos parados o moviéndose lentamente en los puntos de medida)
- Onda de choque

Clasificación del algoritmo

Combinación de algoritmos locales y de sección

Instalaciones existentes y proyectos piloto

Varias instalaciones en autopistas de Alemania y Holanda.

0.II.2.4.3 MAVE-S

Principios básicos

Se basa en la clasificación del estado del tráfico de acuerdo a medidas locales y de sección (en tiempo real)

Detección del tráfico

Tecnología utilizada

Detectores de lazo magnético (doble)

Parámetros detectados

- Presencia de un vehículo
- Tipo de vehículo (coche de pasajeros / vehículo pesado)
- Velocidad del vehículo
- Ocupación
- Patrón de señales de detectores
(todos los datos son proporcionados por carril)

Parámetros del tráfico calculados

- Volumen del tráfico (coche de pasajeros / vehículos pesados)
- Velocidad media (coche de pasajeros / vehículos pesados)
- Densidad (local)
- Relación de la ocupación (local)
- Índice de discontinuidad de la densidad de la velocidad
- Tiempo de viaje medio entre puntos de medida adyacentes
- Velocidad del viaje
- Dispersión del flujo del tráfico
(todos los datos son suavizados)

Configuración de los detectores

Depende de la situación local

Se recomienda la adquisición de datos de tráfico en las rampas de entrada y salida a la autovía (pe. se necesitan detectores en los puntos de acceso)

Técnica de DAI

Datos utilizados / nivel de integración

- Velocidad media (carretera)
- Porcentaje de ocupación (por cada carril)
- Índice de discontinuidad de la densidad de velocidad
- Densidad
- Velocidad del viaje
- Desviación entre la velocidad media (local) y la velocidad del viaje

Descripción de algoritmos.

Comprobación de umbrales prefijados en cada intervalo de adquisición de datos (normalmente 30)

Combinación lógica de distintos parámetros.

Incidentes detectables

- Congestión (vehículos parados o moviéndose lentamente en los puntos de medida)
- Onda de choque
- Movimiento del final de la cola.

Clasificación de algoritmo

Combinación de algoritmos locales y de sección

Instalaciones existentes y proyectos piloto

Varias instalaciones en autopistas Alemanas

0.II.2.4.4 Modelo de Hienberg (autopistas)

Principios básicos

Clasificación del estado del tráfico en base a datos de medida local (en tiempo real).

Detección y reconocimiento de vehículos pesados moviéndose lentamente en una sección.

Detección de tráfico

Tecnología utilizada

Radar (puntual)

Parámetros detectados

- Presencia de un vehículo
- Tipo de vehículo (coche de pasajeros / vehículo pesado)
- Velocidad del vehículo
- Ocupación
- Patrón de señales de detectores
(todos los datos son proporcionados por carril)

Parámetros del tráfico calculados

- Volumen del tráfico (coche de pasajeros / vehículos pesados / PCU)
- Velocidad media (coche de pasajeros / vehículos pesados)
- Densidad
- Tipo de ocupación
- Índice de discontinuidad de la densidad de la velocidad
- Tiempo de viaje esperado de vehículos pesados moviéndose lentamente entre puntos de medidas adyacente (secciones)
- Velocidad terminal esperada de vehículos pesados moviéndose lentamente en las secciones de salidas
(todos los datos son suavizados)

Configuración de los detectores

Los sensores del radar se instalan generalmente sobre pasarelas. Para cada carril un sensor.

Técnica de DAI

Datos utilizados / nivel de integración

- Velocidad media (carretera)
- Porcentaje de ocupación (por cada carril)
- Índice de discontinuidad de la densidad de la velocidad
- Velocidad de vehículos pesados en movimiento lento

Descripción de algoritmos.

Comprobación de umbrales prefijados

Incidentes detectables

- Congestión
- Onda de choque
- Vehículos pesados circulando lentamente

Clasificación de algoritmo

Combinación de algoritmos locales y de sección

Instalaciones existentes y proyectos piloto

Autopista Alemana A9 en la subida de Hienberg en dirección a Berlín

0.II.2.4.5 Micro-California

Principios básicos

Algoritmo California modificado. Aplicable a sistemas de control de sección con elevada densidad de puntos de medida

Detección de tráfico

Tecnología utilizada

Detectores de lazo magnéticos (simples y dobles)

Parámetros detectados

- Velocidad del vehículo
- Ocupación
- Duración de la cola
- Presencia de un vehículo
(todos los datos son proporcionados por carril)

Parámetros de tráfico calculados

- Volumen del tráfico (coche de pasajeros / vehículos pesados)
- Velocidad media (coche de pasajeros / vehículos pesados)

- Porcentaje de ocupación
- Tiempo medio de cola
(todos los datos son suavizados)

Configuración de los detectores

Depende en la situación local. Separación de detectores recomendada hasta 500 m

Técnica de DAI

Datos utilizados / nivel de integración

- Velocidad media (carretera)
- Porcentaje de ocupación (por carril)
- Relación del porcentaje de ocupación en puntos de medida adyacentes (separados por carril)
- Relación del tiempo de cola en carriles adyacentes de un punto de medida
- Relación del tiempo de cola en puntos de medida adyacentes.

Descripción de algoritmos

Comprobación de los umbrales prefijados en cada intervalo temporal de adquisición (normalmente 15s)

Incidentes detectables

- Congestión (vehículos parados o moviéndose lentamente en los puntos de medida)
- Onda de choque
- Carril bloqueado
- Carretera bloqueada

Clasificación de algoritmo

Combinación de algoritmos locales y de sección

Instalaciones existentes y proyectos piloto

Berlín (autopista A100 y túnel de Tegel)

0.II.2.4.6 GERDIEN

Principios básicos

El sistema está aplicado a secciones de autopista. Compara series de datos a lo largo de un tiempo de 60 s., tomados de detectores de lazos agregados con el fin de detectar la congestión.

Detección de tráfico

Tecnología utilizada

Lazos inductivos conectados a un elemento de computación.

Parámetros detectados

- Velocidad
- Volumen del tráfico

Parámetros de tráfico calculados

- Tiempo de viaje

Configuración de los detectores

El sistema está aplicado a secciones de autopista de 3 a 8 km de longitud. Los detectores de lazos dobles están presentes al principio y al final de la sección y posiblemente, pero no necesariamente, en las rampas de entradas y salida.

Técnica de DAI

Datos utilizados / nivel de integración

- Velocidad y volumen integrados cada 60 s.

Descripción de algoritmos

El algoritmo utiliza el flujo actual de salida como función lineal del flujo de salida en los intervalos de tiempo anteriores (representación ARMA). Todos los parámetros considerados son re-estimados cada minuto. Se analiza la función impulso respuesta. En base a esto y a las medidas directas, se generan tres niveles de activación. Estos son utilizados para producir un nivel de activación final para determinar la situación de congestión. En base al nivel de congestión y el flujo de tráfico de entrada y salida se estima el número de vehículos dentro de la sección, que se utilizan en combinación con el flujo de tráfico de salida para estimar el tiempo de viaje sobre la sección considerada.

Incidentes detectables

El método detecta congestiones y perturbaciones de tráfico locales.

Clasificación de algoritmo

Combinación de algoritmos locales y de sección

Instalaciones existentes y proyectos piloto

El método se aplica en el proyecto GERDIEN, para la autopista A12/A20 al norte de Rotterdam, Holanda.

0.II.2.4.7 Sistema Holandés de Señalización para el Control de Autopistas. (MCSS)

Principios básicos

El sistema MCSS utiliza detectores de lazos dobles cada 500-1000 m. Produce mensajes variables sobre paneles. Una de las funciones principales del sistema es detectar la congestión y advertir al tráfico aguas arriba mediante la reducción de los límites de velocidad.

Detección de tráfico

Tecnología utilizada

Detectores de lazos inductivos dobles con capacidad de ser conectados a un ordenador.

Parámetros detectados

- Velocidad y volumen del tráfico

Parámetros de tráfico calculados

- Suavizamiento de la velocidad media del vehículo para cada localización

Configuración de los detectores

Detectores de lazos dobles cada 500 - 1000 m.

Técnica de DAI

Datos utilizados / nivel de integración

- Suavizamiento de la velocidad media del vehículo

Descripción de algoritmos

Se compara la velocidad media suavizada con un umbral, para decidir si se produce una señal de detección de congestión.

Incidentes detectables

El método detecta la congestión y tráfico lento.

Clasificación de algoritmo

Algoritmos locales

Instalaciones existentes y proyectos piloto

El sistema MCSS está operativo en un cierto número de autopistas en Holanda, bajo el control del Ministerio de transporte holandes.

0.II.2.4.8 Fuzzy AID

Principios básicos

Estimación del estado de tráfico y detección de incidentes basándose en medidas locales y estableciendo relaciones entre secciones mediante el empleo de lógica difusa [Chatziioanou, 91].

Detección de tráfico

Tecnología utilizada

En principio puede emplear cualquier tecnología de adquisición local de datos:

- Detectores de lazo magnéticos.
- Radar (puntual).
- Etc.

Parámetros detectados

- Presencia de vehículos.
- Tipo de vehículos (vehículos particulares / vehículos pesados)
- Velocidad
- Ocupación
(Todos los datos son proporcionados por carril).

Parámetros de tráfico calculados

- Volumen de tráfico (vehículos particulares / vehículos pesados)
- Velocidad media (vehículos particulares / vehículos pesados)
- Densidad puntual
- Índice de discontinuidad densidad velocidad
- Factor de tendencia
- Tendencia del volumen de tráfico y la velocidad

Configuración de los detectores

Depende de la situación local. La distancia entre puntos de detección puede alcanzar los 3000 metros.

Técnica de DAI

Datos utilizados / nivel de integración

- Volumen de tráfico (por carril).
- Velocidad media (por carril).
- Incide de discontinuidad densidad velocidad.
- Factor de tendencia.
- Tendencia del volumen de tráfico y la velocidad.

Descripción de algoritmos

Para la estimación del estado de tráfico, el algoritmo combina métodos de detección clásicos basados en mediciones locales y en relaciones entre secciones con interpretaciones basadas en lógica difusa y toma de decisiones. Se usa la lógica difusa para combinar diferentes datos de entrada y determinar la posibilidad de una cola. Esta información es combinada junto con algunos indicadores de incidentes, utilizando otra vez lógica difusa, para determinar la posibilidad de un incidente. De este modo, el algoritmo de detección de incidentes presenta un alto porcentaje de detección, un bajo porcentaje de falsas alarmas, un buen tiempo medio de detección incluso cuando las distancias entre los puntos de detección son bastante grandes.

Incidentes detectables

Clasificación del estado de tráfico (incluido incidentes). Los incidentes son detectados antes de que sus consecuencias sean medidas en un punto de medida.

Clasificación de algoritmo

Combinación de algoritmos locales y de sección.

Instalaciones existentes y proyectos piloto

Ha sido probado en laboratorio con datos de tráfico provenientes de diferentes secciones de carreteras alemanas, y en estos momentos está siendo implementado en la autovía A9 cerca de Munich dentro del proyecto Munich-COMFORT.

0.II.2.4.9 Detección de Incidentes para Información de Tráfico y Seguridad (IDRIS)

Principios básicos

El IDRIS fue originalmente desarrollado para ser usado en un túnel de dos carriles. El sistema ha sido actualmente modificado para permitir su aplicación en áreas más amplias, pe. en carreteras de cuatro carriles, con un amplio espaciamiento entre la localización de los lazos. Por otra parte, presenta la posibilidad de configurar sistemas reducidos para monitorizar pasos subterráneos y pequeñas secciones de carretera. Fue originalmente diseñado para carreteras restringidas donde es importante detectar situaciones peligrosas de forma precoz, especialmente situaciones de vehículos individuales parados, en condiciones de bajo flujo de vehículos, de modo que se puedan tomar acciones de control.

Detección de tráfico

Tecnología utilizada

El sistema se ha diseñado para ser usado con cualquier detector apropiado (los sistemas actuales usan detectores de lazo magnético de Peek/Sarasota). El sistema IDRIS incluye estaciones a pie de poste, módulos de comunicaciones y un sistema centralizado.

Parámetros de tráfico detectados

En cada estación de medida y por cada carril:

- Periodo de adquisición de datos (Todas las estaciones de medida y módulos de comunicaciones están sincronizados a +/- 1 ms)
- Contaje de vehículos.
- Tiempos de activación/desactivación de sensores a +/- 1ms
- Presencia
- Ocupación

Parámetros de tráfico calculados

- Velocidad por vehículo.
- Longitud de vehículo.
- Distancia entre vehículos.
- Velocidad media.
- Flujo de tráfico.
- Aceleración/desaceleración.

Configuración de los detectores

El sistema está basado en dos lazos por carril, cada uno de 2 metros cuadrados y separados 2 metros, con un espaciado aproximado de 100 metros entre las estaciones de medida, estas medidas son nominales y se permiten distancias hasta un máximo de 200 m. Un sistema instalado requiere un número suficiente de estaciones de medida con el espaciado escogido en cada carril y conectadas al módulo de comunicaciones. Se requiere un módulo de comunicaciones por cada carril, siendo capaz de gestionar hasta 20 estaciones de medida (más de 2 Km de carretera). Cada estación de medida está constituida por un número suficiente de detectores de lazo, un procesador y un interfase de comunicaciones para proveer datos de tráfico puros a la instalación central a través del gestor de comunicaciones. El sistema central incluye interfases de comunicaciones junto con un procesador estándar que contiene el software de los algoritmos de detección y las estadísticas de tráfico asociadas.

Técnica de DAI

Datos utilizados / nivel de integración

Los algoritmos de IDRIS emplean un paquete de datos por vehículo describiendo la localización del vehículo en el momento de la adquisición de los datos (pe. que carril y en que estación de medida), incluyendo: dirección, velocidad, longitud, distancia al vehículo anterior, duración de paso sobre la estación de medida y cualquier otra información relevante.

Descripción de algoritmos

El sistema incluye una combinación de algoritmos: uno localizado en las estaciones de medida mejorando la calidad de los datos de entrada, y cinco en el sistema central filtrando y analizando todos los datos para dar una imagen de la situación existente. De estos cinco algoritmos, cuatro son ejecutados continuamente, mientras que el quinto, dedicado a la detección de vehículos parados, depende del flujo de tráfico existente. Emplea una técnica de predicción muy dependiente de la calidad de los datos de entrada.

Incidentes detectables

- Colas.
- Tráfico lento.
- Vehículo lento en condiciones de tráfico rápido.
- Vehículos circulando en dirección contraria.
- Vehículos parados en condiciones de poco flujo en cualquier punto de la carretera, no sólo en los puntos de medida.

Clasificación de algoritmo

IDRIS presenta una estructura modular permitiendo el uso de varios algoritmos diferentes (pe. Mac-Master, HIOCC, Algoritmo 8, Californiano además de cualquiera de los algoritmos de IDRIS).

Instalaciones existentes y proyectos piloto

Carretera ASS North Wales Coast (R.U.):

- Túnel Penmaenbach - desde Enero de 1993 - proyecto piloto.
- Conwy Westbound Bore - desde Mayo de 1994.

Principales túneles del aeropuerto de Heathrow (3 sistemas) - Principios de 1995.

0.II.2.5 LIMITACIONES DE LOS DETECTORES TRADICIONALES

La más importante desventaja de estos detectores es su limitación para la medida de algunos parámetros de tráfico y en la valoración exacta de las condiciones del mismo. Esto es debido a que la tecnología empleada sólo es capaz de realizar una detección puntual, de modo que únicamente la presencia o ausencia de vehículos sobre los detectores puede ser detectada con exactitud. Los parámetros de tráfico como composición, longitud de colas, etc. deben obtenerse a partir de la presencia /ausencia de vehículos lo que requiere múltiples zonas de detección aumentando los costos del sistema y disminuyendo la exactitud de los mismos.

Además, estos detectores no son capaces de mantener una vigilancia ni de realizar un reconocimiento adecuado de los vehículos; y lo que es más importante, no son flexibles. Esta última es una importante desventaja para el control de tráfico, puesto que los puntos de detección deben variar con la velocidad, el volumen y los objetivos a controlar.

Otros inconvenientes que presentan los detectores de lazo, es que son invasivos, es decir, para su instalación es necesario realizar obras sobre el pavimento con las consecuentes molestias que ello provoca en los conductores. Además, las instalaciones se degradan y llegan a destruirse cada vez que se cambia o se arregla el pavimento.

INTRODUCCIÓN 0.III

REVISIÓN DE LAS TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y VISIÓN ARTIFICIAL EN DAI.

0.III.1. CAPACIDADES DE LOS SISTEMAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Estos sistemas recaban información de una secuencia de imágenes de la escena, generalmente adquiridas de cámaras de televisión de circuito cerrado (CCTV). La detección de vehículos mediante el procesamiento de imágenes ofrece las siguientes características [Guillén, 91]:

- a) *Capacidades multitarea.* Mientras realiza sus funciones básicas puede simultáneamente obtener parámetros locales de tráfico, realizar funciones de vigilancia, actuar como una estación de clasificación y contaje de vehículos, detectar incidentes y alertar a un operador humano, e incluso reconocer vehículos especiales (ambulancias, bomberos, autobuses, etc.) aunque esto último sólo sea factible en sistemas muy sofisticados.
- b) *Colección y preprocesamiento de datos,* que pueden ser usados para revelar la naturaleza de un incidente, mediante la transmisión de imágenes de la escena, y una vez el incidente ha sido detectado, almacenarse para un análisis posterior.
- c) *Evaluación de mediciones* y valoración del tipo de flujo o medidas de eficacia (tiempos de viajes, retrasos, etc.) empleadas en estudios de tráfico.

Sus ventajas potenciales son:

- a) La instalación de estos sistemas en las carreteras no conlleva modificaciones del pavimento ni la necesidad de reestructurar el tráfico, con las molestias que esto supone a los conductores. Por otro lado, estos sistemas permiten obtener datos de lugares donde otros tipos de sensores no pueden instalarse, como por ejemplo en las proximidades de puentes metálicos, y pueden realizar la función de múltiples detectores a bajo costo. Se ha estimado que los sistemas actualmente en funcionamiento reducen en un 35% los costos y en un 70% las horas empleadas en el mantenimiento de los detectores tradicionales. [INVAID I/D1, 89][Michalopoulos, 89]
- b) La capacidad para modificar sus zonas de localización, esto es, su campo de visión, en función de las variaciones de la demanda, la velocidad y la densidad, y así mismo, su flexibilidad para modificar y añadir elementos de software para la obtención de nuevos datos. Todo esto hace que estos sistemas sean considerados como óptimos en la actualidad para el control de tráfico en redes saturadas.

- c) Estos sistemas pueden medir variables de tráfico que no pueden ser obtenidas ni fácilmente ni precisamente por dispositivos de detección convencionales. Por ejemplo, la longitud y el tamaño de las colas pueden ser extraídas sin mucha dificultad; mientras que la medida tradicional de estos parámetros requiere varios detectores del tipo bucle magnético. Estas variables pueden ser más directa y más exactamente medidas mediante sistemas de procesamiento de imágenes.

Estos sistemas, por otra parte, también presentan algunas desventajas que reducen su uso generalizado como sensores de tráfico: limitaciones espaciales y temporales, dificultad en fijar la posición de la cámara y una pobre calidad de imagen en condiciones de mala visibilidad. Sin embargo, los recientes avances en el procesamiento de imágenes, en la arquitectura de sistemas de propósito específico, y en la tecnología de microprocesadores, han hecho de los sistemas de visión una alternativa prometedora para la detección de vehículos y obtención de información de tráfico. Por esta razón el objetivo básico de esta memoria es apuntar nuevos desarrollos en el campo de la DAI a partir del procesamiento de imágenes y de la visión artificial.

0.III.2. ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS DE VISIÓN

Los sistemas de monitorización y control de tráfico que emplean técnicas de procesamiento de imágenes presentan todos una estructura similar en sus dispositivos ([Dickinson, 88], [Cypers, 90], [Hoose, 92] y otros) en la que únicamente suele cambiar el tipo particular de elementos empleados. Distinguímos las siguientes partes, contenidas en la figura 1:

- ***Dispositivos de captación/almacenamiento de imágenes:***

Son los que proporcionan los datos de entrada al procesador de imágenes. Pueden recibir imágenes en tiempo real, empleando cámaras de televisión u otro tipo de sensores de imágenes. En caso de que el sistema realice un análisis a posteriori se pueden emplear sistemas de grabación-reproducción (cinta de vídeo o disco óptico), para obtener los datos de entrada. Muchos de los sistemas que trabajan en tiempo real van grabando de forma simultánea las imágenes obtenidas a la vez que las analizan.

- ***Digitalizadores de vídeo:***

Se emplean para convertir la imagen analógica, proporcionada por los sensores anteriores, a datos digitales. La resolución empleada dependerá del tipo de procesador que se emplee, ya que a mayor resolución, mayor capacidad de procesamiento se necesita.

- ***Procesador digital:***

Es el sistema encargado de realizar el análisis de la imagen digital. Este dispositivo es el que diferencia principalmente las arquitecturas internas de los sistemas existentes. En tráfico se usan tanto procesadores de imágenes de propósito general, de los cuales existe una amplia gama en el mercado, como hardware diseñado específicamente para el tratamiento de imágenes. Es en este soporte físico donde se ejecutan los algoritmos particulares de tratamiento de la imagen para la obtención de los diferentes parámetros de tráfico.

- **Ordenador de soporte:**

Los procesadores de imágenes se conectan a un ordenador, que se emplea para controlar el procesador anterior y para el tratamiento de los resultados obtenidos por éste. El tipo de ordenador empleado depende de las necesidades computacionales de los algoritmos y de la relación costos - prestaciones. Los sistemas actualmente existentes emplean ordenadores personales y estaciones de trabajo.

- **Monitores de TV:**

Todos los dispositivos analizados utilizan elementos de monitorización para permitir al operador visualizar las imágenes que se están tratando. La diferencia entre las arquitecturas estriba más en el momento en que éstas se visualizan que en el equipo, pudiendo representar: la imagen tal como es captada, los resultados del procesamiento, una superposición de los resultados obtenidos sobre la imagen original, e incluso visualizar la imagen en los diferentes pasos del procesamiento.

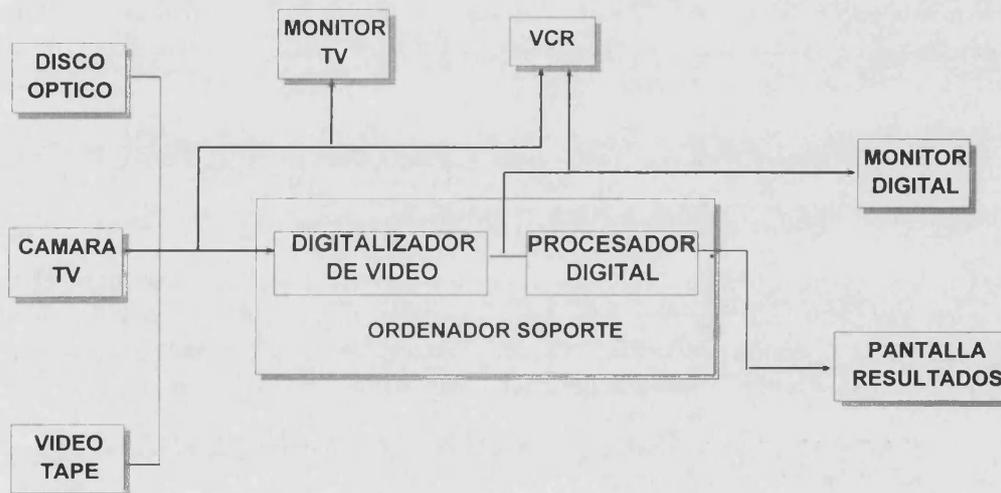


Figura 1.- Elementos de los sistemas de visión.

0.III.3. TÉCNICAS GENERALES DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

El alto nivel de la investigación en el campo del procesado de imágenes durante las últimas décadas ha permitido el desarrollo de numerosos procedimientos y técnicas de tratamiento y extracción de características de una imagen. En la actualidad, el trabajo en este campo se ha dirigido a la implementación de nuevos algoritmos que reduzcan el tiempo de cálculo empleado en las operaciones adaptándolos a las nuevas arquitecturas hardware. Aquí nos reduciremos a dar una perspectiva muy somera del desarrollo de esta rama de la Ciencias de la Computación.

Los algoritmos se pueden clasificar, atendiendo al entorno de puntos que procesan, en:

- *Métodos puntuales:* Se aplican de forma individual a cada pixel de la imagen.
- *Métodos locales:* Se aplican sobre un pixel empleando los valores de sus vecinos.
- *Métodos globales:* Realizan un procesado de la totalidad de la imagen por lo que son los más lentos.

Estos algoritmos permiten la realización de numerosas operaciones sobre las imágenes, como pueden ser:

- Binarización.
- Extracción de bordes.
- Filtrados.
- Regeneración.
- Segmentación.
- Transformaciones.
- Detección de elementos.
- Correlaciones.
- Etc.

Existen otros algoritmos para el procesado de imágenes, de filosofía completamente diferente a los anteriores, que se basan en morfología matemática, y que permiten obtener resultados similares a un más bajo coste computacional.

Es necesario destacar que los sistemas de hardware para procesamiento se encuentran acompañados de amplios conjuntos de librerías de rutinas para el desarrollo de software específico.

Veamos como se pueden combinar estas técnicas para obtención de datos sobre el tráfico teniendo en cuenta que en una aplicación, el uso de un algoritmo u otro, dependerá de distintas características, tales como: la capacidad de procesamiento del sistema, del tiempo de procesamiento que se requiera y la exactitud del resultado deseado.

En el campo del tráfico hay tres tipos básicos de metodologías para la obtención de datos a partir de imágenes de TV digitalizadas:

1. La emulación de detectores de lazo mediante el procesamiento de un grupo de píxeles en diferentes posiciones de una escena dada, informando sobre el número de vehículos, sus velocidades medias, progresiones, ocupación y longitud de los vehículos.
2. Los sistemas diseñados para detectar y seguir vehículos o caravanas a lo largo de un carril de una autovía.
3. Los sistemas centrados en la localización y el seguimiento de vehículos individuales a través de una escena de tráfico.

0.III.4. TÉCNICAS APLICADAS A TRÁFICO

Como acabamos de señalar, la elección de los parámetros que tienen que ser medidos y la exactitud requerida en los resultados depende del propósito particular al que se oriente cada medida. Los parámetros más comunes y por tanto los más básicos se describen a continuación, aunque sólo algunos de ellos pueden ser obtenidos por los sistemas de tráfico actuales.

Se definen tres áreas de aplicación dentro de las que podemos incluir los sistemas de tráfico según los parámetros que midan:

- a) **Vigilancia del tráfico:** Su objetivo es la monitorización de la conducta general del tráfico desde un amplio punto de vista. La detección de vehículos, los cambios de carril y la clasificación de vehículos son medidas de importancia primordial. La detección de colas, la velocidad de los vehículos, cantidad y densidad son también importantes, si bien la exactitud de las mismas no es un factor crítico. Los errores aceptables para este objetivo son del orden del metro para la estimación de la posición, y de un metro/segundo para la velocidad.
- b) **Monitorización del tráfico:** para la valoración del consumo de combustible y emisiones de gases. Exige una mayor exactitud en las medidas y una mayor frecuencia de muestreo, siendo necesarios los datos sobre la aceleración y trayectorias de velocidades. El área monitorizada debe ser más pequeña que en el caso de vigilancia, aunque todavía es bastante amplia. Los errores aceptables para este caso son 1 metro para la posición, 1 m/seg para la velocidad y 0.5 m/seg² para la aceleración.
- c) **Seguridad del tráfico:** Su objetivo principal es encontrar un criterio generalizado de conflicto, donde el movimiento, la velocidad y la aceleración son parámetros de entrada necesarios. El área actualmente monitorizada es pequeña, pero está localizada dentro de un amplio contexto, el cual, debido a la geometría de la escena es imposible ser eliminado. Los errores aceptables en las medidas son: 1 m para la posición, 1 m/seg para la velocidad y 3 m/seg² para la aceleración.

A continuación se describen las principales operaciones, que mediante técnicas de procesamiento de imágenes, se pueden realizar sobre escenas de tráfico.

0.III.4.1 Cuenta de objetos

El conteo de objetos dentro de un ancho entorno de monitorización puede ser expresado tanto como flujo como densidad de objetos. El flujo de vehículos está definido como el número de elementos contados durante un tiempo especificado en un área especificada o un punto. La densidad está definida como el número de objetos contados sobre un área en un instante específico del tiempo.

Tanto el flujo como la densidad, se pueden expresar en forma de ocupación temporal o espacial, respectivamente, la cual está definida como el porcentaje de tiempo o de espacio ocupado por un objeto, más que una simple cuenta de objetos. La exactitud de los resultados depende en gran medida de: la habilidad de los sistemas para separar los objetos del fondo, reconocer objetos de interés y de descartar falsos objetos o objetos formados por la mezcla de varios.

0.III.4.2 Posiciones, trayectorias

Los sensores espaciales hacen posible visualizar subsecuencias de posiciones de objetos de modo que se pueden formar trayectorias de movimiento. Las posiciones de los objetos pueden estar referidas a las coordenadas, en 2-D, de la superficie de la carretera, o a las coordenadas, en una dimensión, de la distancia a lo largo del carril por el que se mueven los vehículos. Cuando una coordenada 1-D está complementada con el carril a que se refiere se denomina posición de dimensión 1.5-D. Esta difiere de las coordenadas de 2-D en que la coordenada perpendicular a la carretera no está determinada. La determinación de posiciones en 1.5-D asume que los cambios de carril son detectados por el sistema. La exactitud de estas medidas depende de la calidad del procesador de imágenes.

0.III.4.3 Velocidad, trayectoria de velocidades

Los sensores espaciales pueden monitorizar la velocidad instantánea de un vehículo y sus continuas variaciones a lo largo su trayectoria. Potencialmente, la velocidad de diferentes partes de un objeto puede también ser monitorizada, lo que puede ser útil en ciertos casos. Los términos "instantáneo" y "continuo" estarán definidos en función de la frecuencia de muestreo de la imagen.

La exactitud en la medida de la velocidad, depende de la exactitud en la estimación de la posición y el tiempo transcurrido entre dos medidas consecutivas. Hay una relación inversa entre la exactitud de la velocidad y la frecuencia en que ésta obtiene: a mayor frecuencia de muestreo, menor exactitud, puesto que la distancia cubierta por el vehículo entre dos instantes consecutivos de medida es más corta, y por tanto con mayor error relativo.

0.III.4.4 Longitudes y huecos

La longitud de los objetos y los huecos entre ellos se miden directamente de la imagen. La exactitud de esta medida depende de la capacidad para aislar los objetos, la exactitud en la posición y el conocimiento en 3-D del tipo de objeto que tenga el sistema. En el caso de 2-D, en donde existe una proyección de las imágenes sobre la superficie de la carretera debe tenerse en cuenta que, el tamaño aparente del objeto puede estar distorsionado por la altura del mismo.

0.III.4.5 Clasificación de objetos

La clasificación más simple se basa sólo en el tamaño de los objetos. Una clasificación más refinada consiste en determinar el tipo de vehículo. Este último caso necesita de un conocimiento de algunos atributos de los contornos de los objetos a identificar, lo que nos lleva al campo del reconocimiento de patrones, que por si sólo supone una rama de investigación.

0.III.4.6 Hechos y procesos

Los hechos y los procesos constituyen el más alto nivel de descripción, y no siempre pueden ser derivados de los datos medidos a bajo nivel. En algunos casos una hipótesis sobre las circunstancias que rodean la aparición de un hecho debe de ser verificada por un análisis adicional de la imagen. La detección y descripción de tales hechos, como colas, incidentes, colisiones y conducta anormal, puede realizarse mediante sistemas de procesamiento de imágenes. En este nivel los objetos de interés lo constituyen grupos de objetos más que los propios objetos individuales.

El análisis del movimiento se realiza en dos etapas:

- 1) Detección de objetos en movimiento, como separación del fondo de la imagen o de otros elementos (segmentación), y extracción de sus características más destacadas (descripción).
- 2) Seguimiento de un objeto previamente detectado, ello supone identificar los objetos actualmente detectados, localizarlos sobre la imagen y dar su descripción.

Existen dos aproximaciones para la extracción de objetos en escenas dinámicas, denominadas "lo estático es lo básico" y "lo móvil es lo básico". La primera asume que cada imagen estática contiene toda la información necesaria tanto para la detección de objetos como para la segmentación, mientras que la segunda asume que la información contenida en cada movimiento simplifica mucho más la detección (nótese que la primera aproximación tiene algo antinatural, puesto que el mundo real no es estático).

0.III.4.6.1 Segmentación de escenas estáticas

En la aproximación "lo estático es lo básico" la segmentación se aplica a la imagen, usando métodos geométricos y criterios de detección de objetos de interés. El proceso de segmentación se realiza en dos etapas:

1. Se detectan todos los objetos bajo el mismo criterio de interés.
2. La imagen resultante se divide en los objetos buscados y en aquellos que se consideran ruido.

Estos procesos son repetidos para cada imagen de una secuencia. El uso más frecuente de este método de segmentación en aplicaciones de tráfico está en la determinación de umbrales, discriminación región-base y extracción de las características más sobresalientes. Vamos a explicar alguno de estos conceptos.

Binarización

Este método consiste en fijar un umbral de luminosidad mínimo respecto de una imagen del fondo de modo que aquellos punto cuya diferencia con el valor del fondo sea superior a dicho umbral se consideren objetos. Este es probablemente el método más simple y frecuentemente usado en sistemas prácticos de monitorización de tráfico, debido, probablemente, a su sencillez, eficiencia de computación y simplicidad de implementación hardware. La binarización se realiza asumiendo que la iluminación es adecuada para la discriminación de los objetos del fondo, de modo que un correcto nivel de binarización permita destacar los objetos de interés. Debido a que un umbral constante generalmente no es satisfactorio, se emplea un mapa espacial de umbrales. Además el mapa de binarización puede ser cambiado dinámicamente en el tiempo. A menudo el mapa de binarización se obtiene con el fondo de la imagen.

El método de binarización tiene muchos inconvenientes, el más importante es que la iluminación no sea la adecuada para poder discriminar los píxeles entre los vehículos. Como remedio, la imagen de entrada se verá sujeta a un preprocesamiento (filtrado) y la imagen binarizada a un posprocesamiento (reducción del ruido, relleno de huecos). Otro inconveniente es la dificultad de encontrar el fondo de una imagen vacío y/o captarlo. La solución más comúnmente adoptada es computar una media temporal de una secuencia de imágenes y usar este valor medio como fondo de la imagen. A pesar de estos inconvenientes, este método ha sido usado en muchos sistemas.

Discriminación región-base

La discriminación región-base es una generalización del método de binarización, la idea se basa en encontrar métodos de medida de semejanzas más avanzados, como la comparación de la intensidad de los píxeles. Los píxeles (o subregiones) están agrupados en regiones basadas en la semejanza entre ellos y sus diferencias con el fondo y otros objetos. Las regiones así obtenidas se suponen que representan objetos de interés. Este método es más efectivo que la binarización, pero supone un mayor coste computacional.

Puntos prominentes y características

La extracción de puntos prominentes y características difiere de los métodos anteriores en que no realiza la segmentación de la imagen en función de la intensidad, sino más bien intenta encontrar pequeñas marcas que son características de los objetos de interés. Tales marcas son a menudo áreas con altos gradientes de intensidad o características más elaboradas derivadas de elementos más simples. Esta aproximación es computacionalmente atractiva, puesto que se consigue una importante reducción de la información, al aproximarse al problema, con un cierto conocimiento previo al objeto que pretende detectarse.

0.III.4.6.2 Segmentación del movimiento

Esta aproximación se basa en alguna clase de diferencia temporal entre imágenes.

Sustracción de imágenes

La sustracción de imágenes o diferencia es el más simple y común método de detección de movimiento. La imagen más reciente es restada de la que le precede, de modo que sólo quede el ruido y los cambios en la escena. Los cambios entre imágenes deben de ser bien marcados de manera que se obtengan diferencias bien definidas entre ellas. A la imagen obtenida se le puede aplicar entonces los procesos ordinarios de tipo estático. Una de las desventajas de este método radica en que la frecuencia de muestreo de las imágenes debe de sintonizarse a la dinámica del movimiento de la escena, para que objetos diferentes no se solapen y para que los objetos que tienen movimiento se desplacen lo suficiente de una imagen a otra para que éste pueda ser detectado.

Flujo óptico

La computación del flujo óptico implica la computación de un espacio continuo en el campo de velocidades sobre la imagen. Una vez el campo de flujo está determinado, este puede ser segmentado en objetos que presenten vectores de velocidad consistentes de forma que las regiones representan imágenes de objetos en movimiento. Los algoritmos también trabajan con sensores de movimiento, pero su complejidad computacional es tal, que en la práctica apenas se usan. Otra razón, por la que apenas se emplean, es que asumen una secuencia continua de imágenes con pequeños cambios entre ellas, puesto que el campo de flujo se obtiene mediante ecuaciones diferenciales. Esta condición desgraciadamente no puede ser asumida como verdadera en todas las situaciones de tráfico.

Desplazamiento regional

El desplazamiento regional es una variante del método del flujo óptico, donde, los vectores de velocidad son determinados para subregiones más que para píxeles individuales. En este método asumimos que podemos detectar pequeños cambios entre imágenes, con lo que ello supone a favor y en contra del método.

Correspondencia punto/característica

El objetivo es determinar un pequeño conjunto de vectores de velocidades, una vez dados dos conjuntos de puntos, provenientes de dos imágenes, consecutivas representando los mismos objetos en movimiento. La aplicación de este método

debe de ser precedida por la detección de puntos/características de interés en las dos escenas estáticas. No se asume ni la continuidad espacial ni temporal. Se puede obtener información en 3-D sobre los objetos. Es un método atractivo por su eficiencia computacional.

0.III.4.7 Descripción de objetos

Cuando un objeto ha sido detectado y separado del fondo se puede realizar el análisis de su descripción a alto nivel. La mayoría de los primeros sistemas de tráfico realizan este proceso a nivel de pixel, aunque algunos grupos de investigación utilizan descripciones muy simples, como por ejemplo, áreas, descriptores globales de formas en 2-D, etc. La computación de descriptores de alto nivel incrementan el costo del sistema, pero aumentan substancialmente su efectividad.

0.III.4.8 Seguimiento

El proceso de seguimiento difiere de la detección de movimiento en que éste usa el conocimiento acumulado sobre un objeto ya detectado. En concreto se conoce, su descripción, su posible proyección en 2-D, y su posición esperada. Esto permite que la imagen a procesar puede limitarse a una región alrededor de la posición esperada del objeto de estudio. Es más, todos los métodos de detección de movimiento pueden ser usados con una restricción espacial y empleando el conocimiento predecible sobre el objeto. El método de seguimiento específico más popular es el comparación de iconos.

Asumiendo que se conoce lo que va a suceder y que la imagen del objeto a seguir no va a cambiar, el método emplea la imagen del objeto de la escena anterior como plantilla de forma que ésta puede ser comparada con la imagen actual, en las proximidades de la posición prevista. El criterio de comparación se puede basar en correlaciones o en otras medidas similares. Este método se basa en el hecho de que la imagen del objeto siempre debe de ser la misma, pero desgraciadamente en las aplicaciones reales esto no es así, ya que la imagen de un objeto puede cambiar, especialmente después de largos periodos de tiempo.

0.III.4.9 Detección de colas

Este es un tema especialmente interesante en tráfico. Afortunadamente en términos de implementación, las carreteras de alta velocidad poseen generalmente algunas características que facilitan el análisis de imágenes espaciales, como por ejemplo que en la mayoría de los casos el fondo de la escena es relativamente simple. Sin embargo, la presencia de un vehículo puede inferirse de un incremento en la complejidad de la escena, por ejemplo, de un incremento en el número de bordes encontrados usando una función de detección de los mismos. El patrón de movimiento dentro de la escena es también bastante sencillo si se restringe a un sólo carril. El movimiento está referido a una dirección general y se puede derivar una información completa de magnitudes tales como el movimiento. Si la carretera tiene un límite de velocidad la detección de tráfico a baja velocidad es mucho más fácil.

Por lo tanto, si la presencia de un vehículo o un grupo de vehículos puede ser detectada sobre la imagen y se pueden obtener algunas medidas sobre la cantidad de movimiento asociada a estos vehículos, es posible tener cierta información sobre el estado del tráfico dentro de la escena e identificar la posición aproximada de cualquier cola que pueda producirse.

Detección de vehículos

Una imagen digital representa el conjunto de los niveles de luz del campo de visión de la cámara. Si estos datos se representan en un gráfico en tres dimensiones donde el eje vertical corresponda a la luminosidad de un pixel en las coordenadas X,Y, entonces las zonas brillantes aparecen como picos y mesetas, y las regiones oscuras como valles y depresiones. Las pendientes de este gráfico representan rápidos cambios en la intensidad de la luz, y que suelen corresponder a algún borde de la imagen. Una imagen puede ser transformada de modo que la intensidad de un pixel represente el tamaño del gradiente en dicha localización para realizar una convolución espacial.

Los resultados obtenidos de aplicar un detector de bordes a estas escenas de tráfico suelen corresponder a los bordes de vehículos brillantes o a un conjunto de ellos. En la mayoría de los casos la zona de carretera que aparece en la imagen contiene muy pocos bordes. La presencia de vehículos puede ser detectada mediante el incremento en la complejidad de los bordes dentro de esta área.

Detección de movimiento

Las diferencias que pueden existir entre una imagen tomada en un tiempo t y otra tomada en un tiempo $t+dt$, se pueden deber a una de la siguientes causas: Movimiento de la cámara, movimiento de objetos dentro de la escena, cambios en la luminosidad o ruido eléctrico. Si la cámara está fijada en una posición y sometida a vibraciones mínimas la primera razón puede descartarse. Si se elige un dt lo suficientemente pequeño, los cambios en los niveles de luz en escenas reales se deben descartar. Faltará discernir si las diferencias se deben a objetos en movimiento o a ruido.

Las diferencias causadas por objetos en movimiento son el resultado de regiones con diferente luminosidad que cubren o descubren a otras. Si dt es pequeño, entonces estas diferencias aparecen en los bordes de las regiones.

Puede verse que a medida que se incrementa la distancia recorrida, el tamaño de la diferencia aumenta tanto en magnitud como en área. Este incremento puede verse construyendo el correspondiente histograma de la imagen, ya que un incremento del movimiento, causa una expansión en la distribución de los niveles de gris sobre el histograma.

Distribución espacial

Para analizar esta distribución en el espacio se divide la imagen en celdas rectangulares de 64×64 píxeles, para cada celda se calcula su histograma y su variancia y se almacenan estos resultados. Así pues, del mismo modo que un pixel representa la intensidad de luz en un área, los valores de estas celdas representan una medida del contenido de la escena en términos de bordes y diferencias sobre un grupo de píxeles.

Se puede establecer el estado de cada celda mediante la comparación de sus contenidos en bordes y movimiento con unos umbrales empleando una sencilla tabla (ver tabla 1)

Por comparación con el estado de las células vecinas se puede generar una descripción de la escena en función del número de células que están en un estado particular.

| | | MOVIMIENTO | |
|--------|------------------------------|-----------------------|--|
| BORDES | < TM | > TM | |
| < TE | Sin tráfico | . | |
| > TE | Estacionario o tráfico lento | Tráfico en movimiento | |

Tabla 1.- Relaciones para establecer el estado de una celda.

0.III.5. METODOLOGÍAS EXISTENTES

Hay tres tipos básicos de metodologías para la obtención de datos a partir de imágenes de TV digitalizadas:

Emuladores de lazos magnéticos

Esta tecnología se basa en la emulación de detectores de lazo, mediante el procesamiento de un grupo de píxeles, en diferentes posiciones de una escena dada, con el objeto de obtener el número de vehículos, sus velocidades medias, progresiones, ocupación y longitud de los vehículos.

La mayoría de estos sistemas miden los cambios en los niveles de luminosidad comparando el resultado con unos valores umbrales y obteniendo una imagen binarizada de la escena para luego procesar un número limitado de píxeles localizados en los carriles de la escena y simular detectores de tipo lazo. Los algoritmos pueden ser implementados con un bajo costo de hardware y se puede obtener la misma información que la que proporcionan los lazos. Sobre estos sistemas se emplean métodos de detección de incidentes similares a los empleados con los detectores de lazos, aunque quizás no se obtengan ventajas sobre estos.

Por lo general operan mediante la identificación de la presencia de un vehículo en puntos fijos de la carretera, definidos por el operador del sistema (denominados seudo detectores). Se pueden definir numerosas localizaciones de seudo detectores y ser procesadas en tiempo real usando un ordenador personal convencional.

La posibilidad de definir múltiples seudo detectores dentro del campo de visión de la cámara permite equiparlo a un sistema de detección de área ancha. A demás, los seudo detectores pueden ser relocalizados mediante un software de control adecuado, para obtener información de interés, tales como, la detección de frentes de colas y la determinación de si están en movimiento o son estacionarias. Esta técnica también puede ser usada para medir y seguir las ondas de choque en el flujo de tráfico en las autopistas.

Monitorización de carriles

La posibilidad de controlar un carril implica la monitorización continuada del tráfico a lo largo del mismo. Los parámetros de tráfico que utilizamos e incluyen datos sobre las velocidades y las posiciones. Este tipo de sistemas analiza necesariamente una amplia zona de la escena, correspondiente con cada uno de los carriles monitorizados de forma independiente para cada uno, permitiendo la detección de vehículos individuales y los valores de sus velocidades.

Seguimiento de vehículos

Durante el seguimiento de vehículos se localizan estos y se siguen sus trayectorias a través de una secuencia de imágenes, lo que permite obtener parámetros de los vehículos tanto en el tiempo como en el espacio. En estos casos, es necesario procesar la imagen entera.

Las simulaciones realizadas en el laboratorio y algunas pruebas usando datos reales, han demostrado la existencia de algunas limitaciones en los estados actuales debidas a los cambios en la luz ambiental y a la fusión de imágenes de vehículos por la oclusión, inevitable que se da en el campo de visión.

Estos sistemas dan una descripción detallada de la posición, velocidad y trayectoria de todos los vehículos visualizados presentando una clara utilidad en la detección de incidentes, y para analizar movimientos y patrones complejos de tráfico en intersecciones y vías urbanas así como en autopistas.

0.III.5.1 SISTEMAS DE DETECCIÓN BASADOS EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

En esta sección vamos a pasar revista a los sistemas actuales que utilizan el procesamiento de imágenes, para la obtención de parámetros de tráfico, y en su caso la posible utilización en DAI, siguiendo el mismo formato que en otros apartados anteriores.

0.III.5.1.1 CCATS VIP

Descripción general

CCATS fue desarrollado por la Universidad de Lovaine en colaboración con el Ministerio de Transporte belga en 1982. Actualmente una empresa belga es la que lo desarrolla, fabrica y distribuye [Tritel, 93][Cypers, 90][Versavel, 89].

CCATS es un sistema que realiza un procesamiento matemático de imágenes digitalizadas para la detección de datos de tráfico por carril en tiempo real. El sistema CCATS VIP (VÍdeo Image Processor- Procesador de Imágenes de Vídeo) constituye el bloque funcional básico de un detector de tráfico completo.

Descripción del detector

Tipo

Sistema de detección puntual. Los puntos de detección se localizan dentro de la imagen emulando detectores de lazo. Se pueden definir hasta 4 detectores sobre la máscara de trabajo.

Tecnología

CCATS se basa principalmente en el procesamiento de señales de vídeo y en técnicas simplificadas de procesamiento de imágenes para obtener datos de tráfico. La señal de vídeo una vez digitalizada es analizada para obtener los cambios en el nivel de gris sobre grupos seleccionados de puntos, al objeto de detectar la presencia de algún vehículo para cada conjunto individualizado. Los parámetros de tráfico se derivan a un nivel de procesamiento más alto.

Variables de Tráfico Detectadas

- Volumen de tráfico (para tres tipos de vehículos)
- Concentración de tráfico [veh/km]
- Ocupación temporal [%]
- Intervalo de tiempo medio [sec]
- Longitud de colas [m]
- Velocidad media por vehículos (para tres tipos de vehículos individualmente) [Km/h]

Otras salidas

- Imágenes de vídeo para la vigilancia de la sección de carretera
- Señal sobre el estado del sistema
- Niveles de umbral de la alarma programable para Velocidad y Ocupación.

Utilización en aplicaciones DAI

CCATS se diseñó en un principio como un detector de tráfico puro. Sin embargo, se puede utilizar para propósitos de DAI, utilizando las técnicas basadas en la aplicación de lazos.

Algoritmos Internos

Se basa en la comparación de la velocidad, ocupación y tiempo de integración. Los resultados de esta comparación sirven para activar o desactivar dos señales de alarmas disponibles.

Algoritmos Externos

Se puede utilizar cualquier algoritmo de DAI que se base en los datos de tráfico proporcionados por CCATS (tanto en el tipo como en la precisión).

Requisitos geométricos y condiciones de instalación

CCATS convierte las señales de vídeo de cámaras existentes, nuevas o de grabadores de vídeo, en datos de tráfico. Las cámaras deben estar instaladas a un mínimo de 10 m de altura y puede analizar hasta 4 carriles. En túneles, a una altura menor, se puede analizar un máximo de 2 carriles de tráfico. La combinación de los valores de inclinación, altura y posición relativa a la carretera, determina el número de carriles y la calidad de la detección.

Instalaciones existentes y Proyectos Piloto

Los sistemas CCATS se han instalado en distintos sitios, por ejemplo:

- El anillo de la autopista en Amberes: 3 áreas, 30 sistemas (Proyecto EUROTRIANGLE)
- Autopista A4 en Colonia: 8 sistemas (Proyecto EUROTRIANGLE)

0.III.5.1.2 CCIDS

Descripción general

CCIDS (Camera Controlled Incident Detection Sensors - Sensores de Detección de Incidentes Controlados por Cámara) se ha desarrollado en base al hardware de CCATS VIP y está orientado a la detección de vehículos parados en la carretera. El CCIDS emplea algoritmos diferentes que el CCATS [Bogaert, 94].

Descripción del detector

Tipo

Sistema de detección de área ancha. Las zonas de detección se definen mediante una línea que se sitúa sobre los carriles de interés.

Variables de Tráfico Detectadas

- No se proporcionan medidas de tráfico
- Alarmas de incidentes
- Presencia de vehículos en movimiento en el carril
- Presencia de vehículos parados en el carril

Otras salidas

- Imágenes de vídeo incluyendo pruebas y presentación de resultados.

Utilización en aplicaciones DAI

El sistema se ha desarrollado específicamente para DAI.

Requisitos geométricos y condiciones de instalación

Dependiendo de la altura, la longitud de la detección puede variar de 80 a 200 m (Longitud de la detección = 15 x altura de la cámara)

Instalaciones existentes y Proyectos Piloto

- Las primeras aplicaciones de CCIDS se operan en túneles situados en Amberes, Tours, Genova y Monza.

0.III.5.1.3 IRB

Descripción general

El sistema IRB ha sido desarrollado por el Instituto de R. BOSCH S.A. en colaboración con EPFL (Escuela Politécnica Federal de Lausana) [CORD, 94].

Descripción del detector

Tipo

Sistema de detección puntual basado en procesamiento de imágenes

Tecnología

El sistema IRB trabaja con la entrada de una cámara de vídeo CCD y su unidad de procesamiento está basada en transputers. Todavía es un sistema experimental.

Variables de Tráfico Detectados

- Número de vehículos detectados
- Ocupación
- Intervalo medio de tiempo
- Velocidad media del vehículo
- Longitud media del vehículo

Otras salidas

- Densidad del tráfico
- Trayectoria anormal

Utilización en aplicaciones DAI

El IRB es un detector de puntos que proporciona datos de tráfico clásicos. Varios algoritmos son candidatos potenciales para hacer pruebas, como el californiano, suavizamiento exponencial doble, Mac Master, Busch cross correlation, etc.

Requisitos geométricos y condiciones de instalación

Las cámaras deben estar situadas en postes fijos (pe. altura aprox. del poste 10 m.)

Instalaciones existentes y Proyectos Piloto

- El IRB está siendo evaluado en el proyecto EUROTRIANGLE (anillo de la autopista de Lausana y Génova).

0.III.5.1.4 ARTEMIS

Descripción general

ARTEMIS (Automatic Road Traffic Event Monitoring and Information System - Sistema Automático de Información y Monitorización de eventos de tráfico en carreteras), de Siemens, ha sido específicamente diseñado para la monitorización de tráfico y la detección de incidentes. ARTEMIS se basa en el procesamiento de imágenes CCTV para proporcionar información sobre incidentes simulando tanto un detector de área ancha como un proceso de "emulación de lazo" [CORD, 94].

Descripción del detector

Tipo

Se basa en el llamado sistema DAA, el cual para la detección de incidentes sobre una zona amplia traza una serie de líneas sobre el área de interés de la imagen. Con una técnica similar se definen las zonas para la medición de datos de tráfico (velocidad, flujo, ocupación).

Variables de Tráfico Detectadas

ARTEMIS agrupa información sobre la velocidad, la ocupación y datos de flujo de vehículos producidos por sistemas “emuladores de lazos” junto con indicadores acerca de vehículos parados producidos por detectores de largo alcance.

Otras salidas

Los ficheros estadísticos de tráfico diario (integrados) de velocidad, ocupación y de flujo se generan y mantienen durante 30 días antes de ser archivados.

El proyecto ROMANSE pretende unir ARTEMIS a otros procesadores de cooperación para proporcionar información de incidentes y de flujo de tráfico al sistema de control semafórico SCOOT y al sistema de información urbana.

Utilización en aplicaciones DAI

ARTEMIS es aplicable tanto la detección de incidentes en áreas amplias como a algoritmos clásicos de emulación de lazos. Ambos se pueden utilizar para complementarse en circunstancias excepcionales (pe. cuando la visión de largo alcance se deteriora). ARTEMIS se ha utilizado tanto en aplicaciones urbanas como interurbanas y más intensivamente en zonas de obras sobre carreteras interurbanas, donde la confusión introducida por la maquinaria de las obras en la imagen puede ser problemática.

Requisitos geométricos y condiciones de instalación

ARTEMIS opera con entradas estándar de CCTV, incluyendo aquellas cámaras que admiten operaciones de control remoto. Mediante algoritmos especiales se reconoce cuando se mueve la escena y se suspende la monitorización hasta que se recupera la zona de operación, entonces se continua con la monitorización, después de aplicar las correcciones necesarias a las zonas de detección.

Las zonas de detección de largo alcance tienen un algoritmo de filtrado temporal, que es extremadamente tolerante al ángulo de incidencia de la cámara a la carretera. En principio ello debería permitir que ARTEMIS “vea a través” del tráfico en movimiento.

Instalaciones existentes y Proyectos Piloto

- Las áreas de referencia incluyen ROMANSE (9 sistemas de cámara) y la expansión del área de la autopista M1, alrededor de Londres

0.III.5.1.5 AUTOSCOPE

Descripción general

AUTOSCOPE es un sistema de visión por ordenador, desarrollado por la universidad de Minesota, que emula lazos magnéticos. La DAI puede ser llevada a cabo mediante algoritmos basados en los datos de un detector individual o mediante la combinación de las salidas de varios detectores [Michalopoulos, 92].

Descripción del detector

Tipo

Detector puntual basado en Visión Artificial.

Variables de Tráfico Detectados

Dependiendo del tipo de detector definido, pueden ser:

- Detector del flujo: volumen, ocupación
- Detector de velocidad: Velocidad, longitud, colas, clasificación por longitud
- Detector de presencia: volumen, ocupación (opcionalmente, únicamente vehículos parados)

Todos los detectores pueden dar la salida como término medio sobre valores internos o individuales.

Otras salidas

- Aviso de pérdida de vídeo
- Aviso de mala calidad de imagen
- Compresión de imágenes.

Utilización en aplicaciones DAI

Algoritmos Internos

Emplea un algoritmo específico, basado en detectores, SPIES: Los incidentes se detectan usando los perfiles de un par de detectores de velocidad

Algoritmos Externos

CLA: Este algoritmo holandés utiliza algoritmos de suavizamiento de los datos de volumen y de tiempos de viaje y se implementa tanto para MCCS como para los detectores de AUTOSCOPE.

Requisitos geométricos y condiciones de instalación

Es necesario calibrar el campo de visión. La altura recomendada de la cámara depende del número de carriles que hay que monitorizar.

Instalaciones existentes y Proyectos Piloto

- Accesos a la ciudad de Minesota y el proyecto FAST-TRACK en USA.

0.III.5.2 SISTEMAS DE DAI BASADOS EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Los sistemas definidos en la sección anterior hacen referencia a sensores de tráfico basados en procesamiento de imágenes y no constituyen por sí sólo un sistema de DAI aunque algunos de ellos sean capaces de proporcionar información acerca de incidentes dentro del campo de visión. A continuación se detallan aquellos sistemas existentes orientados de forma específica a la detección automática de incidentes.

0.III.5.2.1 CCATS / CCIDS

Principios básicos

Provisión de datos de tráfico, detección de colas y vehículos parados mediante la combinación de instalaciones de cámaras CCATS y CCIDS.

Detección de tráfico

Tecnología utilizada

Sistemas basados en procesamiento de imágenes: Los detectores de tráfico son el CCATS y el CCIDS (descritos en los puntos 3.5.1 y 3.5.2).

Parámetros de tráfico detectados

Todos los detectados por CCATS y CCIDS.

- Colas
- vehículos parados
- Datos de tráfico (ver CCATS).

Parámetros de tráfico calculados

- Medidas de tráfico.

Configuración de los detectores

Las cámaras se instalan siguiendo las especificaciones de CCATS y CCIDS. Las instalaciones se pueden realizar sobre infraestructuras existentes o nuevas. No se provee un procesamiento centralizado de las alarmas de incidentes.

Técnica de DAI

Datos utilizados / nivel de integración

Ver el punto anterior.

Descripción de algoritmos

A nivel local, los algoritmos de DAI son los empleados por CCIDS

Incidentes detectables

- Vehículos parados
- Colas.

Clasificación de algoritmo

Algoritmos locales.

Instalaciones existentes y proyectos piloto

Anillo de circunvalación y túneles de Amberes, Monza, Aosta, Lieje y otros lugares dentro de un programa de demostración, actualmente en evaluación.

0.III.5.2.2 El Sistema TRISTAR***Descripción general***

TRISTAR es un sistema de detección de tráfico diseñado especialmente para la DAI. Fue desarrollado por el INRETS y actualmente es fabricado por una compañía francesa (VELEC). Es un sistema basado en el análisis de imágenes de vídeo proporcionadas por una cámara CCTV, que está orientada de forma que pueda tomar la máxima longitud de la carretera. Este sistema proporciona datos de tráfico, como un subproducto de su diseño como un sistema dedicado a DAI [Blosseville, 94].

Descripción del detector***Tipo***

Sistema de detección de área ancha. Trabaja con el contenido de un área de la imagen llamada "máscara de trabajo" que trata de cubrir la máxima distancia de carretera. La longitud de una máscara típica es de 100 a 500 m.

Variables de Tráfico detectadas

La principal salida de TRISTAR son las ALARMAS sobre incidentes detectados dentro de la máscara de trabajo de la imagen. Además, proporciona datos adecuados para la monitorización de tráfico.

- ALARMAS DE INCIDENTES
 - Vehículo parado en el arcén
 - Vehículo parado en un carril principal
 - Múltiples vehículos parados, en condiciones de congestión
 - Baja velocidad
- MEDIDAS
 - Velocidad media por carril
 - Ocupación espacial (en una escala de 1 a 10)
 - Indicador del estado de tráfico (T1, T2, T3)
 - Longitud de vehículos parados (longitud de cola) [m]

Otras variables detectadas

- INFORMACIÓN RELATIVA AL INCIDENTE
 - Posición del incidente (relativo a las coordenadas en la imagen)
 - Duración de la parada
 - Nivel de confianza de la detección

Utilización en aplicaciones DAI

Algoritmos Internos

Los algoritmos para DAI son internos en TRISTAR. Están basados en el seguimiento de los vehículos dentro de la máscara de trabajo, ello permite que el sistema detecte rápidamente un vehículo parado por cualquier motivo y en cualquier sitio (carril principal o arcén). La alarma se produce después de un tiempo de confirmación programable por el operador (normalmente 15s).

Algoritmos Externos

TRISTAR es un sistema cerrado que necesita de una interfaz de operador y un servidor de comunicaciones para la recepción de datos y alarmas. Es adecuado para el empleo de algoritmos externos capaces de procesar información de los detectores instalados.

Requisitos geométricos y condiciones de instalación

TRISTAR utiliza la imagen de una única cámara CCTV, que cumple con los estándares europeos para aplicaciones CCTV. Las cámaras se deben instalar al lado de la carretera o en la mediana, en una posición fija. La altura puede variar de 8 a 15 m. La longitud del foco debe de ser el máximo para cubrir una longitud de carretera lo más amplia posible. TRISTAR se puede aplicar a instalaciones de CCTV ya existentes, siempre y cuando las cámaras se mantengan en una posición fija.

Instalaciones existentes y Proyectos Piloto

- Niza: 8 sistemas (proyecto ESCOTA)
- Lyon Autopista A7: 16 sistemas (proyecto MELYSSA)
- Amberes anillo de la autopista: 4 sistemas (proyecto INVAID-II)
- Madrid anillo de la autopista M40: 16 sistemas (proyecto ARTIS)

0.III.5.2.3 IMPACTS

Descripción general

El IMPACTS (Image Processing for Automatic Computer Traffic Surveillance - Procesador de Imágenes para la vigilancia automática de tráfico) ha sido desarrollado por el Grupo de Estudio de Transporte (Transport Studies Group) del University College London, en una primera fase dentro del proyecto INVAID (V1026) y en una segunda fase en colaboración con Wootton Jeffreys Consultant. Es un sistema para el procesamiento matemático de imágenes digitalizadas. Actualmente se fabrica y se distribuye por una empresa Inglesa (Golden Traffic) [Hoose, 92][Iñigo, 90].

Descripción del detector

Tipo

Sistema de detección de área ancha. Trabaja con el contenido de una “máscara de trabajo” definida dentro del campo de visión de la cámara.

Tecnología

El IMPACTS no trabaja sobre la base de detectar vehículos individuales. No proporciona datos numéricos, ya que se centra en analizar las condiciones de tráfico como conjunto, en relación con algún punto concreto del tiempo.

Variables de tráfico detectadas

- No se proporcionan medidas de variables de tráfico
- Descripción cualitativa del tráfico:
 - Tráfico Nulo (Estado **NONE**)
 - Tráfico en movimiento (Estado **MOVING**)
 - Volumen de tráfico muy alto; tráfico parado (Estado **STOP**)

Otras salidas

Se necesita una estación de trabajo para representar gráficamente el estado del tráfico cualitativo, detectado por cada una de las unidades del detector IMPACTS. Una sola estación de trabajo puede manejar hasta un máximo de 8 detectores.

Utilización en aplicaciones DAI

El sistema IMPACTS no detecta datos de tráfico convencionales, pero proporciona una descripción cualitativa de la situación del tráfico (dentro del campo de visión de la cámara). La congestión y los incidentes (Estado **STOP**) se pueden inferir mediante procesos de unión, estado del tráfico en dirección contraria, etc. ...

Requisitos geométricos y condiciones de instalación

El sistema IMPACTS es un sistema cerrado constituido por el procesador de IMPACTS y una estación de trabajo que se emplea para el procesamiento de datos y como interfaz de operador. No se ha informado de ningún requisito especial para la instalación de las cámaras.

Instalaciones existentes y Proyectos Piloto

- IMPACTS se está evaluando en los proyectos EUROTRIANGLE (Autopista A1 Dortmund - Colonia) y PLEIADES.

0.III.6. CONCLUSIÓN

Una primera conclusión es el interés creciente que los sistemas de DAI han tenido dentro del mundo del tráfico durante estos últimos años y el incremento del desarrollo de sistemas basados en procesamiento de imágenes en aplicaciones de adquisición de datos de tráfico y DAI.

En segundo lugar, llama la atención que se encuentren un buen número de sistemas que combinan los dos objetivos, datos de tráfico y DAI. Sin embargo, el carácter experimental de la mayoría no resta originalidad al objetivo que nos hemos propuesto, ya que el presente trabajo ha corrido en paralelo con estos desarrollos.

En tercer lugar, existe una tendencia en los últimos años hacia una fragmentación y nacionalización de los desarrollos y mercados, que tratan de cubrir las necesidades locales con sistemas propios que tratan de responder a los requisitos de cada país.

Cabe destacar que en la actualidad no existe ningún estudio comparativo de las capacidades de estos sistemas. La mayoría de ellos únicamente han realizado evaluaciones en un entorno de laboratorio y están preparando pruebas de campo, no existiendo resultados finales. Además, la dependencia de los resultados de las características de las instalaciones, las condiciones de evaluación y la orientación hacia las capacidades de cada sistema, hace muy difícil la comparación equitativa de los mismos. La falta de una metodología de evaluación definida y globalmente aceptada se une a esta dificultad a la hora de la comparación de resultados. En este sentido, uno de los aspectos que hemos tratado de reforzar en nuestro trabajo ha sido la definición de una metodología de evaluación generalizada, aplicable a diferentes sistemas, y la definición de unas pruebas de campo lo más amplias posible que abarcasen todos los aspectos evaluables del sistema.

En último lugar se pone de manifiesto la falta de sistemas integrales que combinen un proceso de detección a nivel local, es decir, a nivel del sensor, con algoritmos de detección de sección para obtener una descripción global de la situación de la red y permitir la gestión centralizada de los incidentes.

OBJETIVOS ➤

OBJETIVOS

La presente memoria se descompone en dos bloques diferentes pero complementarios. El primero, con un enfoque teórico, está orientado a proponer la aplicación de nuevas técnicas de visión artificial en el campo de la sensorización de tráfico y la detección automática de incidentes. En particular, hemos investigado aquellos parámetros que son capaces de proporcionar una información espacial del estado de las vías y que únicamente se puede obtener mediante el procesamiento de una zona amplia de carretera. Tomando como base estos elementos, hemos definido un conjunto de reglas y restricciones cualitativas que permitan la descripción espacio-temporal del estado del tráfico en una carretera, la detección de la presencia de incidentes y el estudio de su evolución temporal, respecto a un conjunto de patrones, con el objeto de eliminar el número de falsas alarmas.

El segundo bloque está orientado al desarrollo de un sistema integrado de detección automática de incidentes (DAI) en entornos interurbanos que recoge las anteriores propuestas teóricas. El trabajo comprende el diseño y la implementación de un módulo central encargado de determinar los estados y los incidentes de una red amplia de carreteras, donde hemos incorporado los conceptos y reglas cualitativas desarrolladas en la primera parte. Este módulo se incorporó a un sistema completo de DAI desarrollado bajo el marco del programa europeo DRIVE-II cuya meta ha sido llevar a cabo un proyecto piloto donde validar el comportamiento del sistema, y cuyos resultados expondremos y discutiremos así mismo.

El objetivo final es obtener un sistema robusto y fiable, basado en nuevas técnicas de sensorización, que incorpora el concepto de la detección espacial y nuevas reglas de procesamiento, al campo de la monitorización de tráfico. Donde los sistemas desarrollados hasta la fecha se han basado sólo en informaciones puntuales, sólo integrables, como hemos visto en el Capítulo anterior, dentro de los centros de control de tráfico para constituir un sistema de gestión de incidentes.

En consecuencia, en la presente memoria hemos abordado los siguientes objetivos:

- Estudio de los sistemas tradicionales de detección automática de incidentes basados en elementos de sensorización puntuales y su comparación con las actuales técnicas de sensorización (ya visto en el Capítulo anterior).
- Estudio de los requisitos y necesidades que debe cumplir un sistema de detección automática de incidentes, desde el punto de vista de los operadores de tráfico.
- Desarrollo de un sistema de sensorización basado en técnicas de procesamiento de imágenes y visión artificial que permita el análisis espacial de un tramo de carretera.
- Definición e implementación de un conjunto de reglas cualitativas que permitan la identificación de un mayor abanico de incidentes que los tradicionalmente detectados por los algoritmos clásicos, mediante la información proporcionada por el sistema anterior.

OBJETIVOS

- Construcción de un sistema centralizado, que lleve a cabo un razonamiento cualitativo de la situación existente en la red global de carreteras en base a la información proporcionada por los elementos de sensorización espacial.
- Definición de un conjunto de reglas cualitativas para la determinación del estado de tráfico y la identificación de incidentes, en tramos de carretera no monitorizados, situados entre dos áreas monitorizadas.
- Implementación de un módulo para el seguimiento de la evolución espacio-temporal de incidentes dentro de una área de carretera y la caracterización de los mismos en función de un conjunto de parámetros cualitativos. Aplicación de las características espacio-temporales a la gestión de incidentes y filtrado de falsas alarmas.
- Ejecución de varias pruebas de campo, realizadas en diferentes países, para probar la efectividad de las reglas y metodología empleadas en el desarrollo del sistema.
- Análisis y discusión de los resultados de esta experimentación de campo y su comparación con la potencialidades de otros sistemas alternativos.
- Facilitar la integración del propio sistema en la infraestructura de un centro de control de tráfico permitiendo la incorporación de otros elementos de sensorización, no necesariamente provenientes de un circuito cerrado de televisión.

CAPITULO I ➤

CAPITULO I

REQUISITOS DE LOS SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA DAI.

Este capítulo ha sido elaborado a partir de un informe llevado a cabo por el autor dentro del proyecto PIMS¹, del programa VALUE del Programa Marco de la UE [PIMS D1, 92]. Dicho informe recogió, mediante entrevistas y cuestionarios, los comentarios y opiniones de responsables directos de la gestión del tráfico interurbano (ingenieros, policías, etc.) de varios países Europeos que fueron realizadas en cada país por las empresas e instituciones locales, participantes en el proyecto:

- INRETS y CGA (Francia).
- Wootton Jefreys Consulting (Gran Bretaña).
- Devlonics Control (Bélgica).
- LISITT (España).

El objetivo de esta actividad ha sido el de obtener un punto de referencia acerca de las características externas que un sistema de DAI debía poseer, y del uso que tal sistema tendría como elemento integrado dentro de un sistema más completo de control de tráfico, desde el punto de vista de las necesidades del usuario.

I.1. ANÁLISIS DE NECESIDADES DEL USUARIO

El estudio de las necesidades del usuario se orientó hacia los siguientes niveles, desde los más primario a los más generales:

1. Detección y medidas.
2. Vigilancia e identificación.
3. Presentación de la información.
4. Configuración y control del sistema.
5. Conexión con sistemas externos.

A continuación, vamos a presentar un resumen de los resultados obtenidos en cada uno de estos aspectos, fundamentado en los elementos y características destacados por los responsables de la gestión de tráfico.

¹Prototype of INVAID Motorway System.

I.1.1 DETECCIÓN Y MEDIDAS PRIMARIAS

I.1.1.1 Nivel de detección

Diferenciamos dos niveles:

- *DetECCIÓN de alto nivel:* Supone disponer de informaciones precisas y detalladas sobre el incidente detectado (naturaleza, localización, efectos aguas arriba y aguas abajo, etc.). En estos casos, el operador sólo tiene que realizar un pequeño análisis de la información para tener un conocimiento detallado de la situación. Las acciones a ejecutar en respuesta al incidente son claras y obvias, de modo que podrían ser ejecutadas automáticamente.
- *DetECCIÓN de bajo nivel:* Supone proporcionar una descripción de la situación basada en la medición de parámetros elementales. Sin embargo, dado que los incidentes no son idénticos y, en algunos casos, sus efectos no se ponen realmente de manifiesto (naturaleza incierta del incidente, patrones de tráfico normales, etc.), se requiere por parte de los operadores un análisis más profundo de la información disponible para poder determinar la existencia o no del incidente y su naturaleza. En este caso, los usuarios prefieren poder ajustar los parámetros del sistema de detección a sus necesidades. Por ejemplo, poder detectar cuando la velocidad decrece rápidamente más de "x" Km./hora, donde el valor de "x" se especificaría por el usuario.

En cualquier caso, e independientemente del nivel de información proporcionada por el sistema, la mayoría de los operadores consultados coincidieron en la necesidad de mantener la presencia del elemento humano entre el proceso de detección y la ejecución de acciones correctoras, lo que permite afirmar que, desde su punto de vista, los sistemas de DAI deben de estar dirigidos a informar al operador más que a llevar a cabo acciones automáticas de control.

I.1.1.2 ¿Qué detectar ?

A la hora de definir que datos se deben proporcionar a los operadores se propusieron los siguientes:

Incidentes:

- Vehículos parados en algún carril o en el arcén.
- La posición actual del final de la cola producida por uno o varios vehículos parados (incidente secundario consecuencia del primer incidente).
- Vehículos accidentados, pe. Colisiones frontales, traseras o laterales de vehículos invadiendo el sentido contrario de circulación.
- Objetos sobre la carretera (ruedas, escombros), peatones o animales sobre la vía
- Vehículos moviéndose en dirección prohibida y vehículos lentos.

Patrones de tráfico:

- Estacionamiento dentro del campo de visión de la cámara.
- Invasión de zonas prohibidas.
- Cambios anormales de carril.
- Congestionamientos en ambos lados de la carretera.
- Diferencias notables entre los patrones de tráfico de dos cámaras sucesivas.

Medidas de tráfico:

- Velocidad media, si es posible por carril.
- Flujo de vehículos.
- Ocupación espacial.

Estado del sistema:

- Estado de funcionamiento de cada una de los elementos del sistema.
- Comprobación del estado de las cámaras y del nodo de comunicaciones.

I.1.1.3 Cobertura de la detección

Se discutieron dos distribuciones diferentes según la cobertura de la detección:

- *Cobertura total:* Permitiría, obviamente, realizar una mejor vigilancia de la red y el análisis global de la situación del tráfico, aunque implicaría la instalación de un gran número de monitores de vídeo en el centro de control, lo que supondría de hecho incorporar un sistema automático para manejar todas estas pantallas.
- *Cobertura parcial:* Fundamentada en una distribución parcial de los detectores de vídeo, basada en la capacidad de realizar el análisis de la presencia del incidentes en zonas oscuras situadas entre cámaras. En este caso, los detectores de vídeo se deberían localizar únicamente en lugares potencialmente peligrosos.

Todos los operadores entrevistados consideraron la primera opción como la ideal, pero reconocieron que la segunda opción es más realista económicamente, especialmente cuando se han de cubrir la gran cantidad de kilómetros de una red de carreteras.

I.1.1.4 Tiempos del sistema

Un *tiempo de detección* de 15 a 20 segundos parece ser el límite máximo propuesto por los operadores para que el sistema de detección sea útil, por encima de este umbral, un operador puede detectar el incidente por medios tradicionales.

Sin embargo, el *intervalo de integración* para las variables de tráfico se fijó en un 1 minuto, considerándose éste un buen valor desde el punto de vista de los ingenieros de tráfico.

Otras consideraciones más particulares referentes al proceso de detección de incidentes surgidas durante estas entrevistas fueron:

- La oportunidad de incluir la detección de la velocidad 1 segundo, 5 segundos, 1 minuto después del incidente como medida de confirmación antes de activar la alarma.
- La capacidad del sistema para centrarse en el análisis de un incidente específico.

I.1.2 VIGILANCIA E IDENTIFICACIÓN DEL TRÁFICO

El proceso de vigilancia y monitorización se lleva a cabo a partir de los datos primarios anteriores, y en un importante número de casos, la verdadera tarea comienza después de que el incidente haya sido detectado por la policía. Esta capacidad para la monitorización del tráfico posterior al incidente se ha considerado como un aspecto importante dentro del sistema que perseguimos.

I.1.2.1 Tareas de supervisión

Las tareas de supervisión se suelen concentrar únicamente en lugares potencialmente peligrosos, como:

- Zonas temporalmente peligrosas achacables a acontecimientos específicos:
 - Firmes deslizantes
 - Comienzo de colas
 - Fin de colas
 - Obras
- Zonas permanentemente peligrosas ubicadas en lugares específicos y achacables a las condiciones del diseño de la carretera
 - Rampas de acceso.
 - Zonas sin arcén.
 - Zonas de obras
 - Viaductos
 - Túneles
 - Zonas con muchas curvas.

Se diferenciaron a su vez dos tipos de situaciones en las cuales se recomienda realizar una supervisión del tráfico:

- *En el contexto de un incidente identificado:* En este caso se estableció la necesidad de acceder a imágenes del propio incidente y de su entorno local para proceder a su identificación y a tomar las acciones correspondientes.
- *Fuera del contexto de algún incidente:* Refiriéndose a la identificación continua de la situación actual del tráfico en términos de ocupación, supervisión de convoyes y transportes especiales, así como a la vigilancia de las zonas potencialmente peligrosas.

I.1.2.2 Requisitos de los sistemas de vigilancia mediante vídeo

El siguiente conjunto de necesidades y consideraciones generales quedó establecido como requisitos para un sistema de DAI, basado en procesamiento de imágenes.

- Buena calidad de las imágenes de vídeo (color o B/N)
- Un número elevado de detectores de vídeo.
- Emplazamientos de la cámara en lugares lo más elevado posible para obtener un buen campo de visión.
- Acceso a un cuadro sinóptico general y preciso de la situación de tráfico como complemento a la supervisión.
- Almacenamiento de las imágenes de algunos incidentes con propósitos de una posterior investigación.
- Capacidad de “zoom”, para observar con más detalle el incidente.
- Instalar el número mínimo de cámaras y monitores posibles, mediante un estudio cuidadoso del lugar y las necesidades de emplazamiento.

- En aquellas situaciones en las que no se cuente con información de vídeo, la descripción de la situación del tráfico debe de ser cualitativa, no cuantitativa, debiendo usarse mensajes simples y sencillos (avisos o alarmas).

La principal conclusión de todo ello, es que el requisito clave reside en obtener información acerca del comportamiento de la cola y su desarrollo aguas arriba del incidente, ya que los límites de las colas de tráfico deben de ser controlados, al objeto de poner en funcionamiento los equipos de señalización de restricción de velocidad.

I.1.3 INFORMACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE DATOS

Dejando aparte la calidad de las estrategias utilizadas, la efectividad de un Centro de Gestión de Tráfico depende en gran medida de dos factores:

- La cantidad y calidad del conocimiento que se tenga de la zona objeto de control.
- El retraso que se produzca en la recepción de los datos en el CGT.

De acuerdo con este criterio, aceptado por todos los operadores e ingenieros de tráfico, podemos dividir la información en dos categorías:

- **Información en tiempo real:** Son aquellos datos de tráfico y medidas, disponibles por el operador, unos pocos minutos después de que estos hayan sido registrados. Esta información debe de permitir la toma de decisiones de control más adecuadas en el menor periodo de tiempo. La eficacia de los datos en tiempo real reside en el tipo de información que el operador recibe y como ésta está estructurada, para permitir hacer una composición de lugar acerca de lo que pasa, o ha pasado en la carretera, en unos pocos segundos. Cuando los datos en tiempo real necesitan de un considerable tiempo de preprocesamiento, para poder ser comprendidos, pueden dejar de ser adecuados para aplicar medidas de control al incrementar el tiempo de respuesta. Los operadores reconocieron que en la actualidad, la mayoría de los datos en tiempo real que se obtienen, son extraídos directamente por los propios operadores de las imágenes obtenidas de las cámaras de CCTV, los mensajes de la policía o las llamadas de los conductores, lo que les hace, en su conjunto, poco aptos para cualquier tratamiento automático.
- **Información histórica:** Está compuesta por los datos de tráfico disponibles, mucho tiempo después de que hayan sido recogidos. Generalmente, este tipo de información está constituida por un gran número de medidas y por lo tanto tiene que ser tratada mediante procedimientos estadísticos. Muestran las tendencias de la conducta global del tráfico, durante acontecimientos determinados, y se usan para evaluar los efectos de una determinada acción de control. También son usados para predecir el comportamiento del mismo, mediante la comparación con los datos de otras situaciones de tráfico similares.

Ambos tipos de información son necesarias en los CGT, los primeros son utilizados generalmente por los operadores, mientras que los segundos son más útiles para los encargados de tareas de planificación.

Hay que hacer notar, que aunque el incremento de recursos e instalaciones de sistemas que proporcionan información en tiempo real permite una mejor gestión del tráfico, ésta también reduce la eficiencia del operador de CGT, ya que debe vigilar un mayor número de hechos. Para hacer frente a esta situación, hay que recurrir al uso de sistemas que lleven a acabo de la forma más automática posible los procesos de vigilancia y alerten al operador cuando se detecte un incidente. Estos sistemas sólo deben mostrar datos esenciales, usando una estructura

suficientemente simple para que el operador comprenda de un vistazo lo que esta ocurriendo, donde tiene lugar y pueda tomar las acciones correctivas más de la forma más urgente posible.

De forma general, los requisitos de los operadores a la hora de representar la información se resumen en:

- El personal de los centros de gestión tienen que realizar otras actividades además de las tareas específicas de control de tráfico, por lo que la automatización parece un recurso a considerar.
- Necesitan tener menos monitores de vídeo que los actuales (sólo unos 15 pueden ser seguidos con atención por un operador humano), pero que, sin embargo, los que se utilicen muestren automáticamente imágenes de los lugares con problemas de tráfico (en particular cuando ocurre un incidente).
- Necesitan tener una visión general del estado de tráfico mediante información cualitativa (hay unanimidad en el uso de colores, aunque desgraciadamente no están estandarizados). Esta podría ser:
 - Información cualitativa usando ventanas de mensajes, alarmas, gráficos, etc., para ser empleados por los operadores en situaciones de incidentes.
 - Información cuantitativa para su uso posterior por los ingenieros encargados de la planificación de tráfico.
 - Se requerirán sistemas de gestión de incidentes, siendo la eliminación de falsas alarmas uno de los temas más prioritarios.

Siendo los requisitos propios de la información:

- Fiabilidad, bajo número de falsas alarmas.
- Facilidad de comprensión, dirigida hacia las situaciones de incidentes.
- Uso de datos cualitativos
- Posibilidad de permitir una reacción rápida y de fácil respuesta

I.1.4 GESTIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA

Se diferenciaron dos usuarios finales de los sistemas de control, en función de las tareas que cada uno de ellos tiene asignadas. Así:

- Operadores: Son los encargados de la explotación y el manejo de los sistemas. Trabajan diariamente con ellos y sus funciones están enfocadas a la monitorización y gestión del tráfico.
- Técnicos: Son los encargados de la instalación y mantenimiento de los sistemas, de los que deben de tener un conocimiento más detallado de sus características internas.

En ambos casos, cada uno de ellos prefiere limitar su participación en el CGT a las tareas que tiene asignadas evitando las interferencias entre ellos, así, del operador se requerirá un conocimiento de la estructura básica del sistema que maneja, mientras que los detalles de bajo nivel serán propios de los técnicos.

I.1.4.1 Diseño de sistemas

En el proceso de diseño del sistema, los técnicos jugarán el papel principal, de manera que los operadores estén liberados de los detalles de instalación, debiendo tener conocimiento,

únicamente de la estructura más relevante, que pueda ser de utilidad para entender el funcionamiento de alto nivel, dejando que los técnicos tengan conocimiento de la ejecución a nivel profundo.

Las tareas asociadas con el diseño del sistema se dividieron en:

- Instalación de los elementos físicos: Hay que contar con una ingeniería adecuada al objeto de seleccionar la ubicación de las cámaras, el hardware del sistema y la red de comunicaciones.
- Configuración de los dispositivos físicos.
- Definición de la estructura de datos de la red, estableciendo la modelización más adecuada, de acuerdo a las posiciones de las cámaras y las necesidades de supervisión.

I.1.4.2 Rodaje del sistema.

Una vez la instalación ha sido completada, el operador tiene que estar presente en esta fase, puesto que esta tarea se tiene que realizar desde el interface gráfico del sistema. Durante este periodo de prueba, el operador se familiarizará con el funcionamiento del sistema y, ayudado por los técnicos, procederá al ajuste del sistema.

I.1.4.3 Mantenimiento y personalización del sistema.

Una vez el operador considera que el periodo de prueba ha concluido comenzará con las tareas normales de operación. En primer lugar explorará las opciones de configuración personal del sistema (para representación y gráficos) y completará el ajuste del sistema con la programación de las alarmas en respuesta a la evolución diaria del tráfico. El operador se encargará en este momento del mantenimiento del sistema. En este sentido debe tener la información apropiada. Esto incluye las siguientes funciones:

- *Ajuste de umbrales y parámetros de configuración.* Ello se lleva a cabo tanto mientras el sistema está funcionando (modificaciones en tiempo real) como cuando el sistema está parado.
- *Parada del funcionamiento del sistema.* El sistema debe de ser capaz de pararse a petición del operador, o cuando se detecte un problema técnico. Aunque el sistema también puede caer a causa de un fallo de hardware. En ambos casos la información debe de ser salvada.
- *Reinicio del sistema.* El operador debe de conocer como reanunciar el programa después de una parada normal o anormal, recuperando los datos y trabajando con el funcionamiento normal.
- *Verificación del sistema:* La gestión de errores correrá a cargo del propio sistema, a varios niveles, e incluirá también los procedimientos del sistema operativo del ordenador utilizado.
- *Modificación de la red:* Si se introducen nuevas cámaras en el área cubierta por el sistema, o la propia estructura de la red se modifica por otras causas, la definición ficheros debe de ser actualizada y el sistema reinicializados otra vez.

I.1.5 CONEXIÓN CON SISTEMAS EXTERNOS

Se distinguieron tres niveles de integración con otros Sistemas de Control de Tráfico (SCT):



- *Coexistencia con los sistemas del centro de control:* En este caso no se establece ninguna conexión directa con otros sistemas del CGT. El sistema funciona independientemente y es operado directamente por el usuario desde una terminal propia.
- *Intercambio de datos con otros sistemas:* El sistema de DAI es operado de forma independiente aunque intercambia información con otros sistemas. Este intercambio de datos podría realizarse en una única dirección, del sistema de DAI al SCT, o bidireccionalmente.
- *Inclusión en el SCT:* El sistema de DAI está integrado dentro del sistema de control de tráfico y es gestionado desde el propio SCT.

En un principio los operadores se mostraron reacios al tercer nivel de integración y prefieren el primer o segundo nivel ya que les permite realizar una supervisión más directa.

I.1.6 CONCLUSIONES

De esta investigación podemos obtener algunas consideraciones acerca de los sistemas de DAI basados en procesamiento de imágenes a nivel del CGT:

- Las principales contribuciones de un sistema de vídeo a un CGT tienen que ser:
 - Facilitar la verificación de la situación existente mediante el uso de la cámara.
 - Posibilitar la extracción automática de información a partir de las imágenes.
- La detección del incidente y su aviso posterior al operador debe de realizarse en un corto periodo de tiempo, y siempre antes del tiempo que un operador para realizar una detección manual.
- Información de alto nivel, aunque la aproximación cualitativa es diferente para los operadores de cada país. Así, en el Reino Unido, es preferible una aproximación en la que los sistemas de DAI faciliten la decisión del operador, mientras que en Francia se prefieren los sistemas totalmente automatizados.
- A pesar de que se espera una reducción en los costos y un aumento en la fiabilidad de las cámaras de CCTV, no parecen realistas coberturas del 100 % de las redes de carreteras, siendo preferible una supervisión inteligente en la que se conjuguen la instalación de cámaras en lugares específicos (pe. zonas permanentemente peligrosas) con distribuciones cualitativas de la situación de tráfico (pe. distribución de velocidades).
- Debe de proveerse una información fiable (gestión automática de las falsas alarmas), fácil de obtener y de comprender (aspectos ergonómicos con pocos monitores de visualización) y cualitativa o cuantitativa según al tipo de usuario al que vaya dirigida (policía/operadores o ingenieros de tráfico).
- Se debe favorecer la inclusión de herramientas de ayuda para los procedimientos de intervención

I.2. REQUISITOS FUNCIONALES DE LOS SISTEMAS DE DAI

Los principales requisitos funcionales que vamos a describir a continuación han sido extraídos de un documento realizado por el grupo de trabajo dedicado a la DAI bajo la supervisión y financiación del programa DRIVE II [CORD, 95], en el cual participamos.

I.2.1 REQUISITOS GENERALES

Costo:

Los sistemas de DAI deben de alcanzar un mayor nivel coste/beneficios, de modo que el coste adicional de incorporarlos a sistemas de control de tráfico sea sobradamente compensado por los beneficios que se consiguen.

A la hora de realizar un análisis comparativo de costos entre diferentes sistemas de DAI se ha de tener en cuenta tanto los gastos de inversión, como los de explotación (infraestructura, mantenimiento y gestión). Ambos elementos estarán determinados por el número de unidades y el valor unitario de los detectores y otros equipos necesarios para cumplir las especificaciones definidas. Los costos pueden ser reducidos mediante la estandarización de los componentes de los sistemas de DAI.

Eficiencia:

Los sistemas de DAI deben de caracterizarse por poseer un alto porcentaje de detección junto con un bajo porcentaje de falsas alarmas y un reducido tiempo de reacción, tanto cuando comienza como cuando finaliza el incidente. Como ventajas potenciales, lo sistemas de DAI deben de discriminar entre diferentes tipos de incidentes, cuantificar su impacto (severo, moderado, ligero) y localizar de forma precisa su posición.

Fiabilidad:

Los sistemas deben presentar un tiempo medio entre fallos elevado y no deben de permitir el bloqueo total del sistema cuando se produce un fallo en uno de los equipos o un error en las medidas.

Deben de poder operar bajo diferentes condiciones meteorológicas y de tráfico.

Las tareas de calibración durante la inicialización y operación deben de ser las mínimas posibles, siendo los sistemas auto-configurable los más convenientes.

Los valores aceptables para la medición de las capacidades sólo pueden ser especificados en relación al SCT al que el sistema de DAI debe de estar asociado.

El usuario debe de poder validar la fiabilidad y eficacia de diferentes sistemas por lo que se debe acordar criterios comunes que caractericen sus capacidades. Estos criterios permitirán a los diseñadores comparar los costos y las capacidades de los diferentes prototipos y escoger el más adecuado. En la actualidad este requisito no es aplicado de forma general de modo que cada país o ciudad mantiene su reglamento para homologar y evaluar los sistemas.

I.2.2 REQUISITOS ESPECÍFICOS ACORDES A LOS SCT INTERURBANOS

La gestión de incidentes a parte de requerir sistemas apropiados de control e información de tráfico necesita de sistemas de DAI.

A continuación, y como última referencia a los requisitos exigidos a los sistemas DAI se recopilan aquellos necesarios por algunos sistemas de control interurbanos para realizar su tarea específica:

Sistemas de Control de la velocidad:

La mayoría de los sistemas de control interurbano permiten fijar una velocidad límite sobre el área que controlan. El objetivo de esta medida es reducir o eliminar las dispersiones en el flujo de tráfico (Distribución de vehículos entre carriles, diferencias de velocidades entre carriles) y por lo tanto reducir el riesgo de ondas de choque, accidentes y congestiones. En muchos casos, este tipo de control de la velocidad se lleva a cabo automáticamente mediante algoritmos dedicados (ver “speed control systems” y “Speed Limitation on Freeways” en [Papageorgiou, 91]).

Los detectores puntuales y de área ancha se pueden utilizar como elementos sensores de estos sistemas, debiendo de cumplir los siguientes requisitos:

- Capacidad para distinguir de dos a cinco niveles de servicio (correspondientes de dos a cinco valores diferentes configurables de velocidad).
- Capacidad para interactuar con otras funciones de un sistema de control.

Detección y prevención de congestiones:

La presencia de vehículos parados o moviéndose lentamente es un peligro potencial en cualquier carretera. Los sistemas de señalización, que avisan a los conductores que se aproximan a alta velocidad (normal) a la cola de la congestión, necesitan conocer la localización de esta cola y seguirla durante su crecimiento o disolución. Los requisitos vendrán determinados por la funcionalidad del sistema de avisos disponible (pe. la precisión en la localización de la cola).

Se requerirán detectores puntuales o de área ancha según la longitud de las secciones bajo control. En estos casos es esencial una detección eficiente de vehículos parados o moviéndose lentamente ya que este tipo de situación es la que define los patrones típicos de las congestiones.

Detección de la longitud de las colas y estimación del tiempo de viaje:

Las longitud de cola es una información importante empleada por los sistemas de información de tráfico y los algoritmos de asignación de nuevos itinerarios. (ver “Route Guidance Systems” en [Papageorgiou, 91])

La estimación del tiempo de viaje se puede deducir de la longitud de la cola y de la causa de la congestión mediante los algoritmos adecuados, debidamente comprobados para cada tramo. Los requisitos de los detectores son parecidos a los especificados para la detección de congestión. Los sistemas de DAI que son capaces de detectar la causa de la congestión junto con sus efectos (longitud de la cola) permiten una predicción mucho más precisa de la estimación del exceso de tiempo de viaje.

Control de carriles:

El control de carriles incluye los sistemas de control de flujo tanto como los sistemas que emplean los carriles de emergencia en periodos específicos. Los algoritmos de DAI deberían asegurar que en los carriles abiertos al tráfico no existe ningún vehículo parado u otro obstáculo, ni que se está circulando en dirección contraria. Un requisito clave para este tipo de sistemas de DAI es la cobertura total de la sección controlada de manera que se tenga la absoluta seguridad de que no existen situaciones peligrosas.

Control de tráfico en túneles y puentes:

Los requisitos para el control de velocidad, detección de congestiones y control de carriles en túneles y en puentes son muy similares a los requisitos de estas aplicaciones fuera de ellos, sin embargo, el elevado riesgo de accidentes secundarios y las consecuencias más severas de los accidentes justificarían la instalación de sistemas más costosos.

Control del equipamiento en túneles:

En muchos túneles la ventilación automática sólo es necesaria cuando existe tráfico lento o estacionario. Los sistemas de DAI necesarios para este tipo de aplicación deberían de ser bastante simple y bastaría con distinguir entre dos situaciones: Tráfico a velocidades normales y tráfico lento.

I.3. APORTACIONES A NUESTRO TRABAJO

A la hora de definir las especificaciones propias de nuestro sistemas hemos tenido en cuenta los requisitos y necesidades expuestas en los puntos anteriores, y la posibilidad de su aplicación o incorporación a nuestro desarrollo. En este sentido podemos concluir que el sistema que hemos implementado trata de cubrir los siguientes requisitos:

I.3.1 DETECCIÓN Y MEDIDAS PRIMARIAS:

Nivel de detección.

Hemos optado por una aplicación que realice una detección de alto nivel, tratando de dar una información clara y sencilla del estado de la carretera y una descripción de los posibles incidentes y sus efectos sobre el tráfico. Sin embargo, también proporcionaremos información básica de bajo nivel (datos de tráfico) con dos objetivos, el de poder confirmar la situación existente y el poder ser empleados por los ingenieros de tráfico en estudios posteriores.

Elementos detectables.

Incidentes

- Vehículos parados en algún carril ó en el arcén.
- Congestionamientos y colas.
- Objetos sobre la carretera.

Patrones de tráfico

- Variaciones bruscas de velocidad.
- Diferencias notables entre los patrones de tráfico de dos cámaras consecutivas.

Medidas de tráfico:

En lo referente a las medidas de tráfico, hemos de incidir en el hecho de que las aplicaciones basadas en visión artificial orientadas a la DAI que tratan de cubrir un amplio rango de vía no presentan la configuración más adecuada para la toma de medidas, que relegaremos a un segundo plano y que habrán de ser consideradas como valores estimativos.

- Ocupación espacial.
- Velocidad media.
- Flujo de vehículos.

Estado del sistema:

- Estado de funcionamiento de cada uno de los elementos del sistema.
- Comprobación del estado de las cámaras y del nodo de comunicaciones.

Alcance de la detección

Hemos optado por plantear el sistema hacia instalaciones de cobertura total, de manera que incorporaremos las funciones y algoritmos necesarios para determinar la situación y presencia de incidentes en las zonas oscuras situadas entre cámaras.

Tiempos del sistema

Nos hemos planteado la posibilidad de configurar todos los tiempos que rigen los procesos del sistema, pero por defecto fijaremos un tiempo mínimo de detección de 15 segundos y un tiempo de integración de 1 minuto para las variables de tráfico, aunque estas serán actualizadas cada 15 segundos.

I.3.2 VIGILANCIA E IDENTIFICACIÓN DEL TRAFICO

Los requisitos relacionados con la vigilancia e identificación del tráfico están más directamente relacionados con cada instalación particular del sistema de DAI que con el propio sistema, por lo que no podemos asumir estos elementos de forma global, sin embargo, hay algunos aspectos sobre los que si podemos realizar una toma de postura:

- El campo de visión será lo más amplio posible.
- Emplearemos una descripción cualitativa de la situación del tráfico.
- El empleo de cámaras móviles y con capacidad de “zoom” no es posible en el sistema diseñado, a menos que estas se mantenga inmóviles.
- El almacenamiento de imágenes no lo hemos considerado como un aspecto fundamental dentro del sistema de DAI, aunque este se puede realizar mediante un reproductor de vídeo.

I.3.3 INFORMACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE DATOS

La tarea de la detección automática de incidentes lleva implícita la necesidad de trabajar con información en tiempo real, sin embargo, y atendiendo a los requisitos de los operadores, incorporaremos la capacidad de tratamiento y presentación de información histórica.

En cualquier caso, el proceso de representación de información, ya sea tiempo real o histórica, lo realizaremos a través de un entorno de gráfico de ventanas, tratando de mostrar los datos de la forma más gráfica y cualitativamente posible, tratando de evitar la aglomeración de datos numéricos.

I.3.4 GESTIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA.

Diseñaremos el sistema de modo la mayoría de tareas de configuración puedan realizarse fácilmente desde el propio interfase gráfico, reduciendo la complejidad del proceso. Por otro

lado, asumimos como necesarias las diferentes fases de instalación y personalización del sistema antes de obtener un rendimiento optimo del mismo.

I.3.5 CONEXIÓN CON SISTEMAS EXTERNOS

A pesar de que la conexión con otros sistemas de control de tráfico es deseable con el objeto de la integración de los sistemas y mejora de la operatividad del CGT, ésta no será un elemento prioritario en nuestro diseño aunque lo tendremos en cuenta siempre que esta capacidad no complique su desarrollo. Por lo tanto, el sistema no estará dirigido a cubrir los requisitos de un SCT específico, sino a la tarea de detección y seguimiento de incidentes.

I.3.6 REQUISITOS FUNCIONALES

En relación con los requisitos funcionales, realizaremos una implementación que no sea dependiente de elementos hardware, que a su vez trataremos que sean los más estándar posible, reduciendo de este modo los costos de los equipos y facilitando su mantenimiento.

CAPITULO II ➤

CAPITULO II

PROPUESTA DE UNA NUEVA ARQUITECTURA DE SISTEMA DE DAI EN TIEMPO REAL.

II.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo presentamos el concepto general de arquitectura que proponemos para el sistema de detección automática de incidentes, basado en visión artificial, objeto de esta memoria. Tratamos de dar una visión global de los elementos y funcionalidades del mismo para posteriormente ir detallando cada uno de ellos en el resto de capítulos.

Uno de los aspectos más novedosos de la arquitectura propuesta para DAI es la combinación de las ventajas de los sistemas distribuidos con la de los sistemas centralizados. Siguiendo una aproximación distribuida, hemos separado los procesos para la detección de incidentes en dos módulos independientes, el primero orientado al análisis de los mismos sobre una área localizada de la carretera, y el segundo a la detección sobre toda la red. Este último módulo también presenta peculiaridades propias de una aproximación centralizada, siendo el encargado de gestionar las informaciones inferidas por los módulos locales a más alto nivel, y manteniendo un control sobre ellos.

Por otro lado, hemos procurado que la solución propuesta se adapte a los requisitos y funcionalidades que deben cumplir los sistemas de control de tráfico en tiempo real para ser útiles a los centros de control de tráfico. Prestamos especial atención al modelo teórico propuesto por Stephen Ritchie [Ritchie, 90] para un sistema de soporte de decisiones, dirigido particularmente a congestiones no recurrentes en grandes o complejas redes como base de nuestra arquitectura.

II.2. DESCRIPCIÓN GENERAL

Básicamente, todos los sistemas de control de tráfico trabajan de acuerdo al mismo principio. Sus principales funciones se muestran en la figura 1.

1. **Observación:** Este proceso consiste en la obtención de información sobre la situación actual del tráfico a través de diferentes técnicas de sensorización.
2. **Modelización del tráfico:** La información obtenida necesita ser combinada y extrapolada para crear una imagen detallada y completa de la situación actual. Este proceso lo llevamos a cabo mediante la modelización del mundo real, donde el grado de detalle está influenciado por la información obtenida del proceso anterior y la precisión requerida por el proceso de toma de decisiones.

3. **Toma de decisiones:** La descripción de la situación tiene que ser interpretada y validada para decidir la acción más apropiada a realizar. La decisión depende tanto de la situación local como de la estrategia global seguida y el estado de toda la red.
4. **Ejecución de acciones:** Cuando seleccionamos una acción, esta tiene que ser inicializada y ejecutada.
5. **Coordinación/integración:** Independientemente del flujo de procesos anterior, necesitamos de un proceso de integración y coordinación para:
 - Gestionar el control de la totalidad de la red.
 - El funcionamiento de sistemas de forma paralela.
 - Controlar los subsistemas locales.

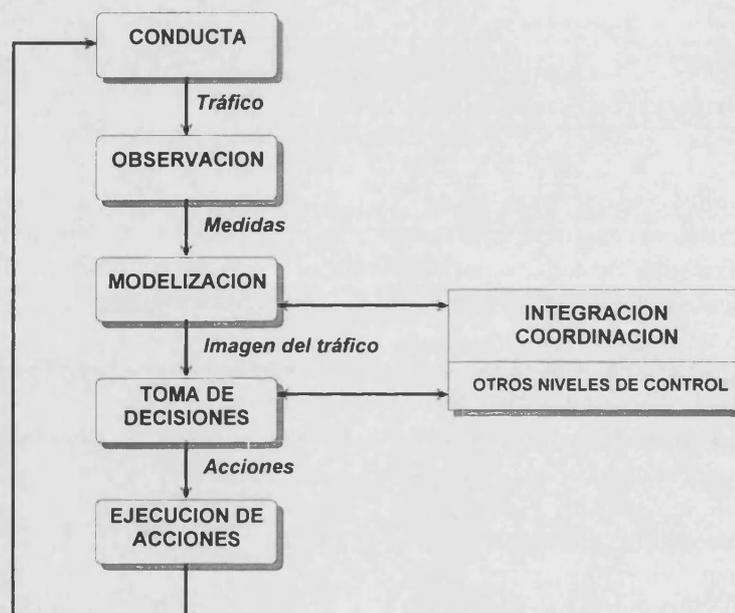


Figura 1.- Funciones básicas de un sistema de control de tráfico

Dentro del esquema general anterior y centrándonos sobre sistemas de DAI basados en técnicas de procesamiento de imágenes, encontramos que estos abarcan fundamentalmente las tareas de observación y modelización. En el primer caso, la observación consiste en un proceso de captación de parámetros a partir de las imágenes, mientras que la modelización consiste en la interpretación de dichos parámetros, en comparación con patrones previamente definidos, para discernir la presencia de hechos anómalos.

La primera novedad que presenta la arquitectura del sistema que proponemos es la incorporación de un segundo nivel de modelización, que emplea como elemento de observación un proceso que por sí sólo ya constituye un sistema de DAI, ejecutando a su vez tareas de integración y coordinación de los procesos inferiores. Desde un punto de vista modular, esta concepción se plasma en la presencia de dos elementos: El **Módulo Local de Procesamiento (MLP)** y el **Sistema Central de Procesamiento (SCP)**.

Tal y como muestra la figura 2, la arquitectura final contará con otro módulo adicional encargado de gestionar la transmisión de datos y comandos entre los dos módulos anteriores: el **Servidor de Comunicaciones (SCC)**.

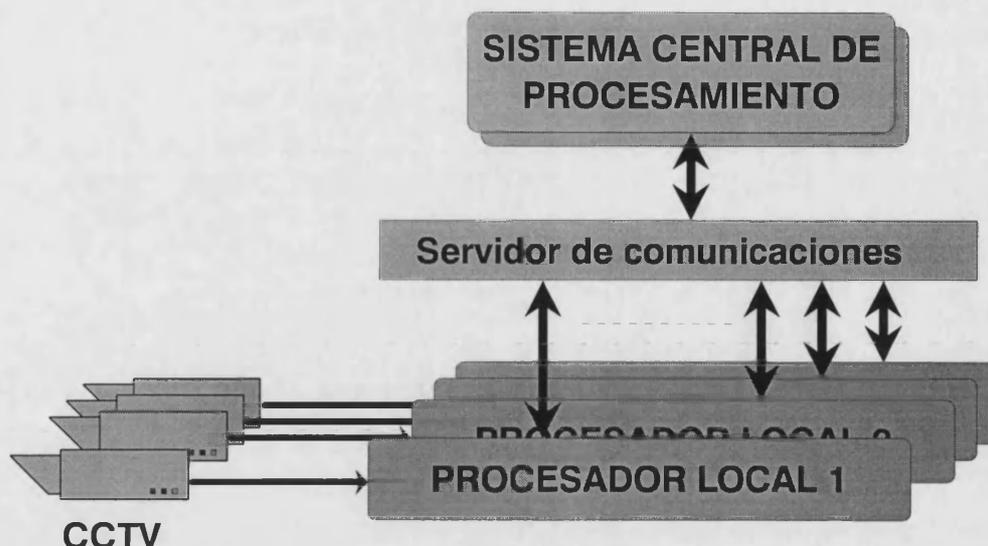


Figura 2.- Bloques funcionales del sistema propuesto de DAI

II.2.1 ELEMENTOS DEL SISTEMA.

El presente trabajo está organizado con una estructura de arriba a bajo, de modo que primeramente expondremos los elementos generales del sistema, para luego ir profundizando en los componentes y reglas internas de cada uno de ellos. En este sentido, y con la finalidad de que el lector tenga conciencia a lo largo de los capítulos restantes de la globalidad del trabajo y de los objetivos primarios que nos hemos planteado, vamos a realizar a continuación una pequeña introducción a cada uno de los dos elementos principales del sistema, indicando sus objetivos, funcionalidades y elementos constitutivos.

II.2.1.1 El módulo local de procesamiento (MLP)

Es el encargado de analizar la presencia de incidentes dentro del campo de visión de la cámara y de proveer información adicional sobre el estado de tráfico en el área de trabajo.

La estructura funcional del MLP fue definida dentro del proyecto INVAID, por un conjunto de centros de investigación europeo, entre los que nos incluíamos, estableciéndose los módulos comunes que constituyen este elemento. La descripción detallada de la concepción del MLP y de su módulos funcionales está tratada en el Capítulo III. A modo de introducción estos son principalmente los siguientes (ver figura 3):

- **Módulo de Procesamiento de Imágenes:** Es el encargado de digitalizar las imágenes y obtener de ellas, mediante un conjunto de técnicas de procesamiento de imágenes, datos elementales que puedan ser posteriormente analizados.
- **Módulo de Visión Artificial:** Es el encargado de proporcionar una descripción, cualitativa o cuantitativa, de la escena de tráfico basándose en los datos sobre la presencia de vehículos dentro del campo de visión.
- **Módulo de Detección de Incidentes:** Es el encargado de interpretar la escena en base a los descriptores y a las condiciones de contorno proporcionadas por los módulos anteriores, para detectar la existencia de incidentes en el área de trabajo.

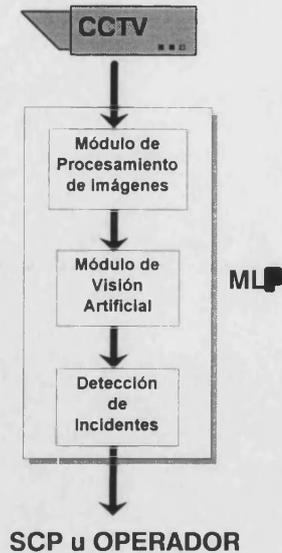


Figura 3.- Principales módulos funcionales del MLP

El MLP lo concebimos como una unidad independiente, capaz de realizar la DAI sobre un área localizada de forma autónoma, y en este sentido puede estar instalado tanto en la carretera, al lado de la cámara de CCTV, de donde recibe la imagen, como en el Centro de Control de Tráfico, junto con otros módulos, siempre y cuando las imágenes de las cámaras estén accesibles en el TCC.

II.2.1.2 Sistema Central de Procesamiento (SCP)

II.2.1.2.1 Justificación del SCP

Como ya hemos dicho, el MLP constituye por sí solo un sensor de DAI basado en visión computerizada, y con el podríamos obtener información sobre los incidentes que ocurren en una carretera mediante la instalación de cámaras de CCTV conectadas a MLP de modo que todos los tramos de la misma quedasen cubiertos (ver figura 4).

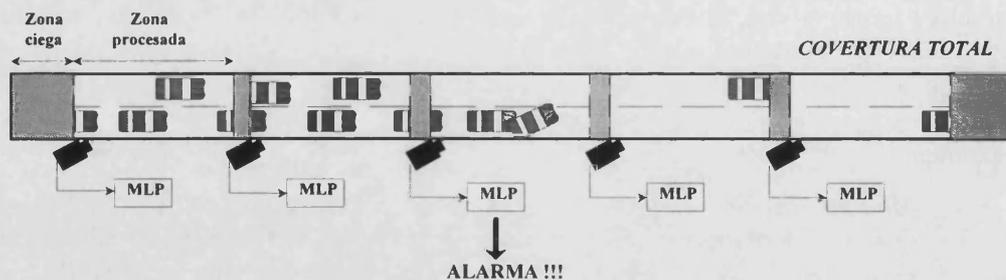


Figura 4.- Detección de incidentes sobre una carretera usando MLPs.

Sin embargo, esta solución tiene dos grandes inconvenientes:

1. A pesar de que los MLPs pueden procesar una amplia zona de la carretera (hasta 500 m), el número de equipos y cámaras que se necesitarían para cubrir una red de carreteras (cobertura total) sería demasiado elevado, no siendo rentable. Por otro lado, si las cámaras se distribuyesen más espaciadas, reduciéndose el número de elementos necesarios, comenzarían a parecer zonas "ciegas" en la carretera (cobertura parcial), que aumentarían la incertidumbre del sistema, reduciendo su eficacia y pudiendo llegar a no detectar incidentes importantes (ver figura 5).

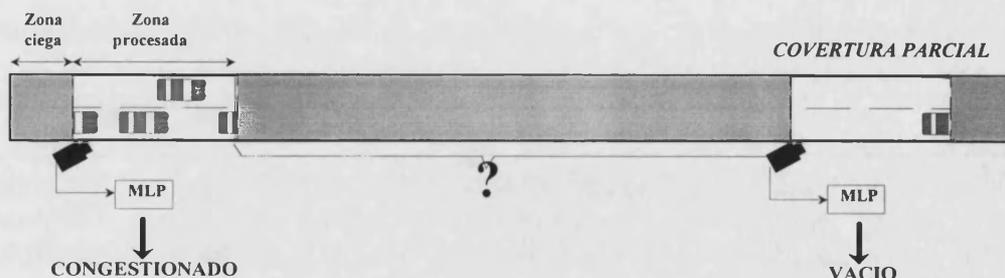


Figura 5.- Inconvenientes de la cobertura parcial con MLPs.

- Debido a la autonomía de los MLPs, existen situaciones que pueden provocar la aparición de numerosas alarmas, todas ellas consecuencia del mismo incidente, como en el caso de grandes congestiones sobre la carretera que afectarían a varios MLPs (ver figura 6).

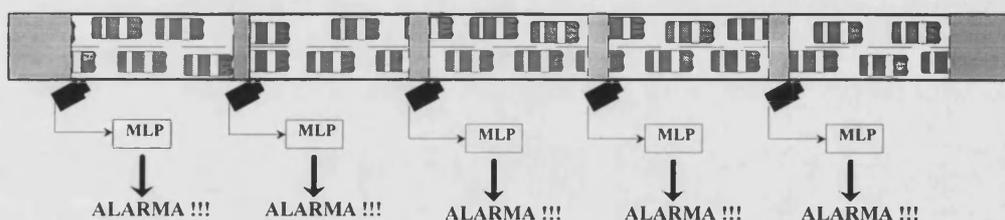


Figura 6.- Múltiples alarmas reportadas por los MLPs.

Para evitar estos inconvenientes hemos introducido un nuevo elemento en la arquitectura propuesta, el Sistema Central de Procesamiento. El SCP constituye el corazón del sistema, y su función principal consiste en obtener información sobre el estado del tráfico y la presencia de incidentes en las zonas NO monitorizadas, situadas entre los MLPs. Además, el SCP incorpora un módulo experto que realiza el análisis de la evolución espacial y temporal de los incidentes, adicionando los niveles de confianza a las mediciones y detecciones a partir del análisis global de la situación, facilitando el proceso de toma de decisiones y gestión de incidentes a los operadores.

II.2.1.2.2 Módulos funcionales.

Dentro del SCP existen tres sub-módulos bien diferenciados (ver figura 7).

Modulo de análisis espacial (MAE):

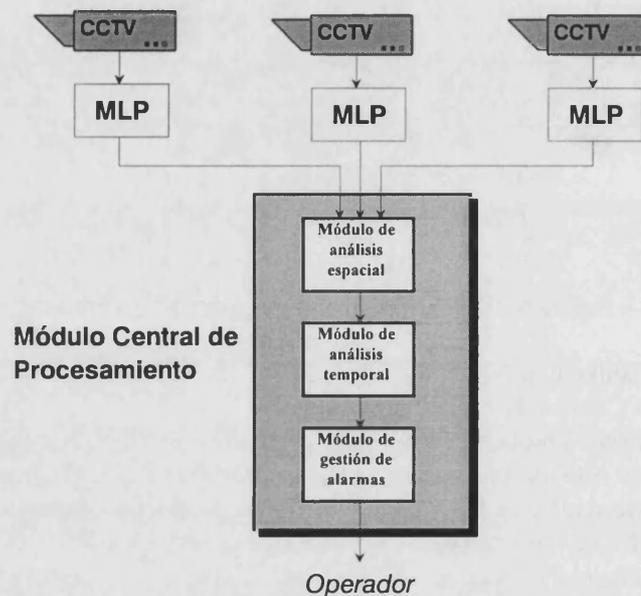
El objetivo principal de este módulo es recoger toda la información proporcionada por los sensores, evaluarla y dar una descripción del estado del tráfico en cada segmento de la carretera.

Sus funciones principales son:

- Reporte de una alarma: Las alarmas procedentes de los sensores son filtradas usando los indicadores de su nivel de confianza, o eliminadas, antes de reportarlas al módulo superior. Los niveles de alarma son calculados de acuerdo al tipo de incidente identificado.
- Detección directa: El sistema central puede realizar la detección directa de un incidente aunque los sensores locales no produzcan ninguna alarma del mismo. Para ello el MAE emplea los datos de tráfico enviados por otros sensores locales o lazos magnéticos.

- c) Confirmación de una alarma: El MAE trata de confirmar las alarmas usando para ello las medidas de tráfico proporcionadas por los sensores adyacentes. Este proceso se lleva a cabo cuando los niveles de confianza asociados con la alarma son bajos.
- d) Creación de cámaras virtuales: El MAE crea una cámara virtual en todas las áreas fuera del alcance del campo de visión de las cámaras reales, y determina, mediante reglas lógicas, su estado de acuerdo con los estados de las cámaras adyacentes.

La salida del MAE corresponde a la distribución espacial de los incidentes y/o alarmas a lo largo de la zona monitorizada en cada ciclo de procesamiento. Esto proporciona una imagen del estado de la carretera, sin correlaciones entre incidentes.



Módulo de análisis temporal (MAT):

El objetivo del MAT es evaluar la información proveniente del MAE y realizar un seguimiento espacial y temporal de los incidentes, asegurando la consistencia global de la totalidad del sistema.

Sus funciones principales son:

- a) Determinación de las consecuencias de los incidentes : Teniendo en cuenta todos los incidentes reportados por el MAE en cada segmento de la carretera, esta función trata de identificar los verdaderos incidentes de los que son consecuencia de otros anteriores, y determinar cuales son sus consecuencias a lo largo la carretera.
- b) Seguimiento temporal: Esta función estudia la vida de los incidentes desde su nacimiento hasta su muerte. Esta es una de las funciones más importantes de la SCP ya que proporciona la evolución temporal tanto del incidente como de sus consecuencias, pe. los segmentos de la carretera influenciados por eventos tales como: nacimiento - crecimiento - fluctuaciones - decrecimiento - muerte.

- c) Minimizar los efectos de las condiciones de tráfico: El MAT conoce el modo en que un incidente normal puede evolucionar bajo diferentes condiciones de tráfico.
- d) Maximizar el numero de incidentes detectados: Usando tanto el seguimiento espacial como el temporal, este módulo es capaz de detectar algunos incidentes, que bajo circunstancias particulares, no se ponen de manifiesto en los sensores locales.
- e) Adaptación de umbrales de los sensores locales: Algunos de los umbrales empleados en los algoritmos de detección de incidentes pueden ser modificados por el MAT, el resto pueden ser ajustados por el operador.

La salida de este módulo corresponde a la distribución temporal de los incidentes y alarmas ocurridas durante un horizonte de una hora.

Módulo de gestión de alarmas (MGA):

Se encarga de la gestión de los incidentes y de determinar la importancia que estos tienen en función de sus características, definidas por el MAT, y los criterios definidos por el operador. Este módulo es el encargado de calcular la importancia de la alarma y permite activar o desactivar diferentes niveles de aviso sobre cada uno de los segmentos de la carretera.

Lleva a cabo un filtrado de falsas alarmas en función de la evolución histórica de los incidentes y el análisis de datos externos.

II.2.2 FLUJO DE INFORMACIÓN

La figura 8 nos muestra la integración del sistema propuesto dentro de un CCT y el flujo de información existente entre sus diferentes elementos.

El proceso de detección seguido por el sistema es el siguiente:

- a. Las imágenes de tráfico son captadas por los sensores (cámaras de CCTV) situadas a lo largo de la carretera o zona sometida a vigilancia. Las cámaras debemos situarlas lo más perpendicularmente posible a la carretera de modo que el ángulo formado por la carretera con la vertical de la imagen sea menor de 15°, y deben de tener un campo de visión que nos permita analizar de 100 a 500 m. de carretera.
- b. Cada MLP recibe las imágenes de una de las cámaras para su análisis, comprobando la existencia de incidentes y el tipo de incidente producido. En segundo lugar, el MLP, actúa como un sensor normal de tráfico procurando información sobre el estado global del tráfico (niveles de servicio de la vía, velocidad media de los vehículos, volumen espacial y densidad).
- c. El resultado de los análisis de cada cámara (que se realiza en tiempo real) se suministra al sistema central de procesamiento para obtener una descripción espacial del estado de tráfico y detectar incidentes a lo largo de la carretera
- d. Toda la información generada por el SCP se comunica al módulo de interface entre la máquina y el usuario, encargado de presentar al usuario la imagen global de la situación de la red y de avisar de cualquier incidente detectado, su evolución, tendencia y alcance. También es el encargado de recibir información del usuario y comunicársela al sistema permitiendo la modificación de los umbrales y parámetros de configuración.

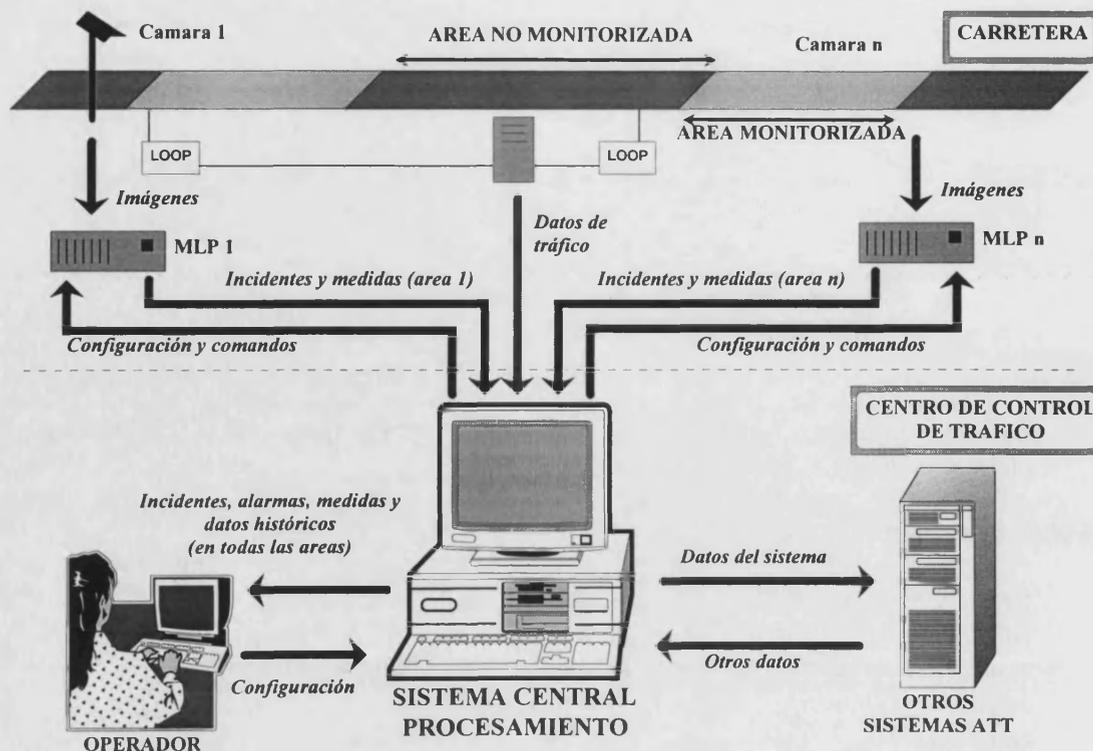


Figura 8.- Integración del sistema en un centro de control. Flujo de información

II.3. SISTEMAS KBES EN TIEMPO REAL

Antes de comenzar a detallar la metodología empleada en el diseño de los diferentes módulos del sistema DAI propuesto, y con objeto de no perder la globalidad del mismo, vamos a definir lo que se conoce por sistema KBES en tiempo real y como el nuestro se ajusta a dicha concepción.

Durante largo tiempo se ha evitado dar una definición precisa de sistema en tiempo-real, aunque se reconoce comúnmente su capacidad para operar a alta velocidad, lo que significa operar más rápido que un humano o tener un tiempo de respuesta mayor o igual que la frecuencia de toma de datos. De un modo más generalizado se considera que un sistema en tiempo real es aquel que es capaz obtener una respuesta en el tiempo en que se necesita [Laffey 88]. Por otro lado, los sistemas KBES en tiempo real debe satisfacer demandas que no existen en dominios convencionales, en los que los datos de entrada y las conclusiones son estáticas y por lo tanto no se requieren respuestas en tiempos críticos.

Estos sistemas son apropiados para aplicaciones sobre entornos dependientes del tiempo, en las cuales los usuarios, y también los niveles de productividad, padecen de una sobrecarga de conocimiento. De ellos se espera que tengan la capacidad para filtrar un gran volumen de información, de relativamente bajo nivel, y presentarla al operador con unos pocos análisis y con recomendaciones de alto nivel. En aplicaciones de gestión de tráfico la detección de incidentes y la respuesta ante ellos se considera una de sus características más importantes de estos sistemas.

Las infraestructuras actuales de control de tráfico que se están implantando en los principales países desarrollados potencian la implantación de sistemas KBES en tiempo real con el fin de proveer un soporte de decisiones para el personal de las salas de control. Hay que considerar

que el alcance de la expansión de los sistemas de vigilancia y control, que están permitiendo emplear la expresión de “carreteras inteligentes”, no sólo está incrementando la dificultad de los operadores humanos, para detectar y analizar todos los problemas, verificar incidentes y desarrollar e implementar estrategias de respuesta de una manera operativa, sino que incluso la imposibilita debido al incremento de su complejidad y la cantidad de elementos de monitorización a los que el operador debe atender.

Estos sistemas permiten reducir la necesidad de que el operador se involucre en la identificación de la verdadera localización del problema, determinando alternativas y cursos de actuación consistentes para todos los cuerpos involucrados, e implementando planes de respuesta, que tratan de reducir los retrasos asociados con congestiones no recurrentes.

Diversos autores, incluyendo Laffey et Al (88) and Moore (87), han discutido las propiedades diferenciadoras de los sistemas en tiempo real. En términos de soporte de decisiones para congestiones no recurrentes en carreteras inteligentes, las características y requerimientos más importantes son:

- a. Mantenimiento de la verdad.
- b. Razonamiento temporal.
- c. Hechos asíncronos.
- d. Interface con sensores y el exterior.
- e. Datos inciertos o ausentes
- f. Operación continua.
- g. Foco de atención.

II.3.1 CARACTERÍSTICAS TIEMPO REAL DEL SISTEMA PROPUESTO

A continuación vamos a detallar brevemente las características de un sistema KBES en tiempo real y como nuestro SCP se va a ajustar a cada una de ellas.

II.3.1.1 Mantenimiento de la verdad

En un proceso de razonamiento monótono, como el usado en la mayoría de los actuales sistemas KBES, todos los hechos y conclusiones se mantienen como verdaderos, creciendo, de forma estable y monótona, la cantidad de información cierta del sistema. En un sistema KBES de gestión de tráfico la validez de los datos de los detectores, de otras fuentes de información, y de los hechos deducidos, puede decaer con el paso del tiempo, y dejar de ser valida después de un cierto intervalo. Previamente al establecimiento de dependencias lógicas y conclusiones, el sistema debe de ser capaz de eliminar o modificar los datos históricos a la luz de nuevos datos. Tal razonamiento es conocido como nomonótono. Por ejemplo, con el tiempo, el estado de los incidentes y las estrategias de respuesta, se modificarán a medida que los incidentes son detectados, verificados, respondidos y solucionados. Para dirigir un razonamiento nomonótono y sus elementos asociados, un sistema KBES en tiempo real debe incorporar un módulo para el mantenimiento de la verdad o gestión de la consistencia.

En nuestro sistema, el proceso de mantenimiento de la verdad se lleva a cabo mediante el análisis continuado de la situación existente de manera que, de un ciclo de procesamiento a otro, las conclusiones y recomendaciones del sistema en el ciclo anterior son confirmadas o modificadas de acuerdo a las variaciones existentes en las condiciones de tráfico. Sin embargo, este proceso de mantenimiento de la verdad, no produce una modificación retroactiva de los resultados inferidos por el sistema, que se consideran validos en el entorno espacio/temporal en

el que se produjeron, sino que realizamos un nuevo análisis de la situación, teniendo en cuenta los datos históricos almacenados y la nueva información adquirida, obteniendo nuevas conclusiones.

II.3.1.2 Alta capacidad

A menudo se requieren tiempos de respuesta muy cortos debido a la rapidez en que se modifican los datos. Por lo general, deseamos que los sistemas KBES en tiempo real generen planes de respuesta ante incidentes a los pocos minutos de que estos se produzcan. Idealmente, se debería de garantizar una respuesta, (preferiblemente la “óptima”) dentro de un intervalo de tiempo prefijado.

Hemos diseñado nuestro sistema para obtener unos tiempos reducidos de respuesta, permitiendo el procesamiento y el análisis de la información en un intervalo considerablemente menor al periodo de recepción de datos, prefijado en 15 segundos. La detección del incidente también presenta unos tiempos de respuesta que pueden oscilar entre los 15 segundos y un minuto según el criterio seleccionado por el operador. En el capítulo III y IV se describen con más detalles el proceso y los tiempos de detección de los incidentes.

La validación del incidente se realiza a nivel central, y emplea aproximadamente un minuto de tiempo, según el nivel de certeza asociado a la validación. Por otro lado, el sistema permite la rápida verificación del incidente por parte del operador a través de las imágenes de las cámaras de CCTV mediante la referencia directa que a ellas realizamos cuando reportamos un incidente (Ver el apartado dedicado al MMI en el capítulo VIII).

II.3.1.3 Razonamiento temporal

Es la capacidad de razonar sobre eventos, secuencias y relaciones dependientes del tiempo. La incorporación y representación de modelos heurísticos dinámicos, hechos y datos dependientes del tiempo en una base de conocimientos debe ser ciertamente necesaria.

El razonamiento temporal, en mayor o menor alcance, se encuentra contenido en casi todos los procesos de análisis del sistema y muy especialmente en la inferencia de conclusiones acerca de los incidentes. (ver capítulos VI y VII).

II.3.1.4 Hechos asíncronos

El sistema debe de poder ser interrumpido para procesar hechos inesperados o no programados, y para jerarquizar el procesamiento de hechos síncronos de acuerdo a su importancia. En este caso, los hechos asíncronos a los que está sometido el sistema son los propios incidentes. La detección de un incidente se puede producir en cualquier instante. En ese momento, la información sobre el incidente es reportada inmediatamente al sistema, que comienza el análisis del mismo, aunque la señal sea recibida fuera del periodo normal de procesamiento.

II.3.1.5 Interfaces con los sensores y con el exterior

Los sistemas KBES convencionales son interactivos y reciben entradas del usuario. Los sistemas en tiempo real generalmente reciben datos, a veces de muchos cientos de variables, de sensores o vía interfaces con bases de datos y proveen pantallas continuamente actualizadas al usuario.

En el sistema que nos ocupa hemos optado por emplear como elementos de sensorización las imágenes proporcionadas por cámaras de CCTV situadas sobre la carretera, permitiendo

trabajar con diferentes módulos locales de procesamiento de sensorización mediante la configuración del tipo de entrada que se espera.

Tanto los métodos de procesamiento de imágenes empleados como la bondad y capacidad de las variables obtenidas se encuentran detalladamente descritas los capítulos III y IV.

II.3.1.6 Datos inciertos o ausentes

El sistema debe de ser capaz de reconocer y procesar apropiadamente los datos inciertos o ausentes, incluidos aquellos debidos a fallos o detectores inoperantes. En este sentido, hemos diferenciado el conceptos de dato incierto o erróneo del de dato ausente y el modo de operar con ellos.

Para el primer caso, hemos incluido dentro del proceso cognitivo varios filtros encargados de chequear y corregir la coherencia de la información en los diferentes niveles de abstracción sobre los que trabajamos. La presencia de este tipo de datos tiene una respuesta en el nivel de confianza agregado a los procesos de validación.

En el segundo caso, los datos ausentes los manejamos de acuerdo a su grado de influencia sobre los procesos de síntesis. La ausencia de informaciones que consideramos como complementarias, tales como las condiciones meteorológicas o datos de tráfico de detectores auxiliares, únicamente reducen la profundidad del análisis y su falta se limita a no considerar la distinción entre casos de acuerdo a dicha información. Respecto a información relevante, como la proporcionada por los sensores de imágenes, su falta conlleva una modificación en el modelo de la red, pasando la sección cubierta por el detector inoperante de ser una sección sobre la que existe información real a una sección en donde la información ha de ser inferida por el sistema. Este echo implica la reducción de los niveles de confianza de la sección afectada y de las secciones adyacentes, pudiéndose incluso llegar a anularse un área de la red por falta de información (Ver capítulo VI)

II.3.1.7 Operación continua

Debe ser posible que el sistema opere las 24 horas del día, incluso con fallos parciales del sistema de monitorización, tales como una perdida temporal de los nodos de comunicaciones. Debiendo planearse una degradación “amistosa”, más que catastrófica, de la capacidad en tales circunstancias.

En el capítulo VIII, donde hemos incluido una sección dedicada al sistema de comunicaciones, detallamos los procesos y alarmas que se activan cuando se produce un fallo en alguno de los nodos de comunicaciones. Brevemente, se puede adelantar que el sistema está chequeando continuamente el funcionamiento de los elementos exteriores e informa al operador de cualquier circunstancia anómala, activándose automáticamente un proceso que trata de restablecer la conexión perdida.

II.3.1.8 Foco de atención.

Este se refiere a la capacidad del sistema para enfocar de forma selectiva sus recursos cuando ocurre un hecho particularmente significativo. También puede requerirse una atención concurrente en varios problemas individuales (pe. incidentes). Esto implica la aplicación de un metaconocimiento, que básicamente es la habilidad del sistema para razonar sobre su propio conocimiento, y sobre que respuestas aplicar en situaciones dadas.

Esta característica se encuentra representada en dos aspectos, el primero de ellos consiste en la jerarquización de los incidentes de acuerdo a las prioridades mostradas por el operador. Esta

jerarquización es la que determina la respuesta del sistema. El segundo aspecto hace referencia a la distribución de recursos del sistema a una tarea u otra de acuerdo a la presencia o no de incidentes que requieran la aplicación de procesos de análisis más detallados (Ver capítulo VII).

En los puntos anteriores se ha puesto de manifiesto que el sistema posee las características que se esperan de un sistema para el soporte de decisiones en tiempo real, y que están completamente detalladas en los siguientes capítulos de la memoria.

CAPITULO III ➤

CAPITULO III

MÓDULO LOCAL DE PROCESAMIENTO: CONCEPCIÓN Y ESPECIFICACIÓN

III.1. INTRODUCCIÓN

Una vez discutidos en el capítulo anterior los elementos conceptuales que deben de formar parte de un sistema de ayuda para la toma de decisiones, y particularizando a el caso de la gestión de incidentes, vamos a pasar a analizar el primero de estos elementos, el Módulo Local de Procesamiento (MLP).

El MLP es el encargado de llevar a cabo la obtención de los parámetros de tráfico y de detectar los incidentes existentes dentro del campo de visión de una cámara, y es el elemento de sensorización básico empleado por el Sistema Central de Procesamiento, jugando como tal un papel destacado dentro del presente trabajo aunque no constituye el elemento más novedoso que corresponde al mencionado SCP.

Hemos dividido la presentación del MLP en dos capítulos, siguiendo una planteamiento “up” to “down”, así, en éste planteamos el problema de la DAI mediante técnicas de visión artificial, describiendo las diferentes aproximaciones aportadas por otros autores (Blosseville y House) y las especificaciones funcionales propuestas, comparando los pros y contras de nuestra solución generales con la de cada uno de ellos.

III.1.1 ORIGEN DEL MLP.

El diseño y desarrollo del MLP ha tenido su origen en la colaboración de tres instituciones de investigación Europeas:

- INRETS* (Francia)
- University College of London (UCL) (Reino Unido)
- LISITT**, Universidad de Valencia (España)

Estas instituciones se agruparon dentro del proyecto INVAID I, financiado por el programa DRIVE de la CEE, donde plantearon las bases, especificaciones y requisitos comunes que debía de reunir un módulo local de procesamiento orientado a la DAI. Tomando como base estos

* INRETS: Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité

** LISITT: Laboratorio Integrado de Sistemas Inteligentes y Tecnologías de la información en Tráfico

requisitos se han implementado tres aproximaciones diferentes que han dado lugar a tres versiones del MLP, todas ellas acoplables al SCP.

En teoría, todos los incidentes que pueden ser detectados por un operador humano deberían de poder ser detectados automáticamente, mediante la correcta interpretación de la imagen. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con un experto humano [Ritchie, 90], que es capaz de sacar conclusiones de forma directa de la observación de la situación del tráfico sin necesidad de traducir lo que esta viendo a unidades de medida, la actual tecnología de sensorización nos obliga a muestrear un conjunto de parámetros cuantitativos o cualitativos de la escena para interpretarlos y, posteriormente, poder llegar a las mismas conclusiones que el operador humano. Como se puede deducir de la figura 1, el proceso realizado por un sistema para la inferencia de conclusiones se ve degradado por el proceso previo de captación y transformación de la información de la escena, que además, en ningún momento puede ser tan depurada como la mentalmente obtenida por el operador humano.

Además, el operador posee información adicional, como la existencia de situaciones especiales, el conocimiento de las condiciones meteorológicas, la presencia de obras, etc., que le permite discernir entre diferentes condiciones, que desde el punto de vista de un sistema incapaz de acceder a dicha información, son analíticamente iguales.

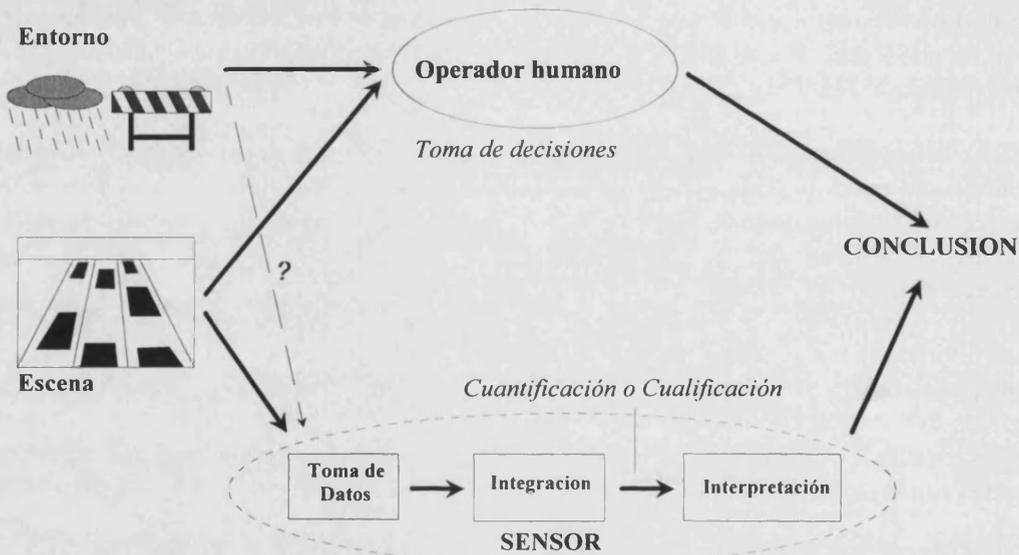


Figura 1.- Esquema general de proceso de inferencia de conclusiones

Es evidente que cuanto mayor sean los datos de la escena que seamos capaces de obtener mayor será la capacidad de interpretación y mejores las conclusiones aportadas por el sistema. Sin embargo, la necesidad de realizar un procesamiento en tiempo real nos obliga a establecer un compromiso entre el alcance de los análisis realizados y el tiempo empleado en dicho análisis [Hoose, 91 y Rourke, 91] como pondremos de manifiesto a lo largo de este capítulo.

III.2. DESCRIPCIÓN GENERAL

III.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Tomando como punto de partida el concepto de incidente reflejado en el capítulo I podemos decir de forma general que el problema de la DAI basado en imágenes consiste en detectar un

comportamiento anómalo del tráfico dentro de la imagen (consultar el capítulo I para obtener una información más detallada del concepto de incidente).

Como primera aproximación para atacar el problema vamos a descomponer el mismo en problemas más pequeños. Siguiendo el esquema de la figura 1 podemos distinguir 3 sub-problemas:

1. Obtener de la imagen analógica de la escena algún tipo de dato, o datos, elementales capaces de ser procesado analíticamente (TOMA DE DATOS).
2. Realizar un integración de los datos elementales, que de forma aislada carecen de utilidad, en datos de más alto nivel y con una mayor significación (INTEGRACIÓN)
3. Analizar la información proporcionada por los datos de más alto nivel para descubrir si existen comportamientos que se escapan de los patrones normales, identificando la causa de su divergencia (INTERPRETACIÓN)

Partiendo de esta división podemos localizar ya tres módulos lógicos dentro del MLP, cada uno de los cuales estaría encargado de resolver uno de los aspectos anteriores:

- Módulo de Procesamiento de Imágenes.
- Módulo de Visión Artificial.
- Módulo de Detección de Incidentes.

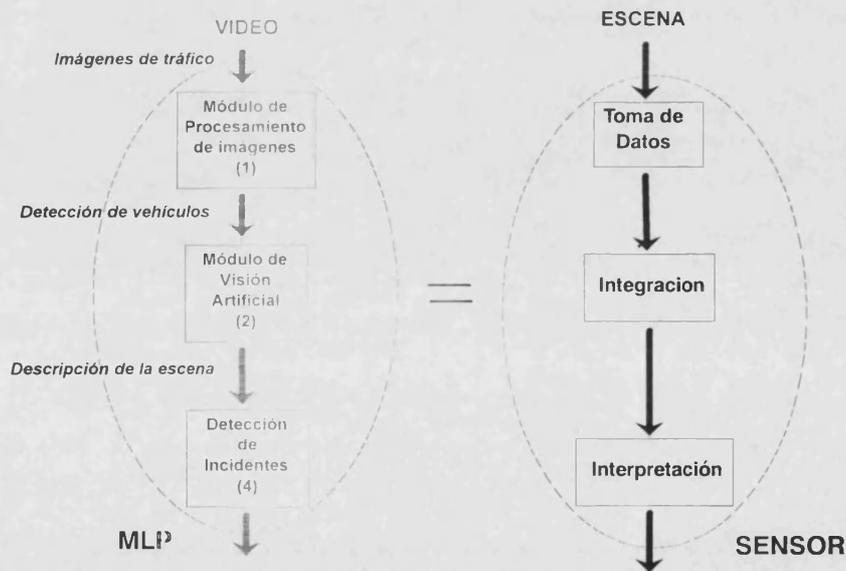


Figura 2.- Primera aproximación al problema.

Como descubrimos también en la bibliografía ([Martínez, 89 y Hoose, 91]) los módulos 1, 2 y 4 son comunes a cualquier aplicación orientada a la DAI, e incluso son comunes a sistemas de captación de datos de tráfico basados en visión artificial sustituyendo el módulo 4 por otro específico para el cálculo de las variables de tráfico.

Profundizando un poco más en el proceso de la figura 1, llegamos a la conclusión que los módulos anteriores, siendo suficientes para resolver el problema, no son los únicos existentes, ya que encontramos otros que permiten mejorar las bases del proceso de interpretación,

detectados con su posición y el tiempo en que permanece en dicha posición [Blosseville, 89].

$$\forall P_{veh}(p, t) \quad (1)$$

UCL

Descompone el área de procesamiento en un conjunto de puntos indicando, en cada uno de ellos, la presencia o ausencia de objetos. Proporciona una información sobre el estado del punto [Hoose, 89, 91 y 92].

$$\forall P_{pix}(e) \quad (2)$$

siendo los posibles valores del estado:

- Vacío: El valor del pixel corresponde con el del fondo de la imagen.
- Movimiento: El valor del pixel no corresponde con el del fondo ni con el del ciclo anterior.
- Parada: El valor del pixel corresponde con el del ciclo anterior.

LISITT

Realizamos un procesamiento similar al de UCL seleccionando un conjunto de puntos de la imagen e indicando la presencia o ausencia de objetos en dichos puntos. Sin embargo, y a diferencia de UCL, añadimos al estado de cada pixel, el tiempo en que permanece el pixel en dicho estado, tal como hace INRETS.

$$\forall P_{pix}(e, t) \quad (3)$$

Tenemos por lo tanto que nuestra aproximación, aunque sigue más de cerca el planteamiento propuesto por UCL, incorpora como novedad el parámetro temporal, tal como hace INRETS. Este último ya muestra un distanciamiento en su filosofía de trabajo, orientada a la identificación y seguimiento de objetos, con respecto a la seguida por UCL y nosotros, orientada únicamente a la identificación de objetos.

El principal problema que nos encontramos en este módulo es la necesidad de proporcionar la información anterior en tiempo real, o cuasi-real, agravada por el hecho de que las imágenes de tráfico se caracterizan por la presencia de objetos en movimiento a gran velocidad. Esto supone que la velocidad de muestreo y extracción de parámetros tiene que ser suficientemente elevada para no perder información de una imagen a otra, e introduce dos limitaciones a la hora de implementar el MPI, cualquiera que sea la aproximación empleada:

1. Hay que reducir el conjunto de operaciones aplicables sobre la imagen a operaciones puntuales o locales (Ver apartado iii del Capítulo de introducción).
2. Hay que reducir el número de píxeles de la imagen que pueden ser analizados.

En el capítulo IV detallamos en profundidad la metodología y los algoritmos de procesamiento de imágenes empleados para resolver los problemas que se nos han planteado para poder obtener la descripción de la escena en función de la fórmula (3).

III.2.2.2 Módulo de Visión Artificial (MVA):

El MVA es el encargado de proporcionar una descripción de la escena de tráfico basándose en los datos sobre la presencia de vehículos dentro del campo de visión. Esta descripción puede realizarse tanto con un conjunto cuantitativo de parámetros de tráfico, como con un conjunto de descriptores cualitativos. La opción que se escoja será la que determinará el modo de trabajo del resto de módulos.

INRETS

Emplea una aproximación totalmente **cuantitativa** enfocada a la obtención de un conjunto de parámetros de tráfico. Basada en la identificación de la trayectoria de los vehículos individuales a lo largo del área procesada (ver figura 4).

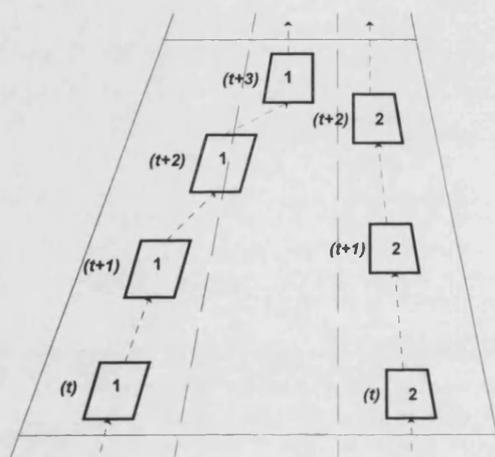


Figura 4.- Identificación de las trayectorias de los vehículos

Una vez definida la trayectoria, y mediante la aplicación de los algoritmos adecuados, se obtienen el siguiente conjunto de variables y medidas (ver tabla 1).

| VARIABLES | MEDIDAS |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Punto de entrada. • Tiempo de entrada. • Velocidad instantánea de entrada • Velocidad durante la trayectoria. • Aceleración durante la trayectoria • Número de detección en la trayectoria. • Presencia de una onda de choque. • Posición de la onda de choque. • Histograma de presencia. • Histograma de volumen. • Capacidad. | <ul style="list-style-type: none"> • Duración y posición del vehículo. • Velocidades extremas. • Aceleraciones extremas. • Velocidad de la onda de choque. • Concentración media. • Histograma de concentración. • Volumen. • Histograma de volumen. • Velocidad media. • Aceleración media. • Cambios de carril. • Indicador de tráfico. |

Tabla 1.- Datos proporcionados por el MVA de la aproximación INRETS

A estas alturas ya podemos anticipar las claras diferencias que existen entre la aproximación INRETS y la nuestra:

1. Proporciona una descripción cuantitativa de la escena, lo que constituye una restricción a la hora de implementar los algoritmos de DAI, puesto que es más difícil modelizar los patrones de comportamiento mediante valores numéricos.
2. Realiza la identificación y el seguimiento individual de los vehículos, lo que conlleva una mayor complejidad algorítmica con el consiguiente incremento del tiempo de cálculo.

UCL

Emplea una aproximación **cualitativa** cuyo objetivo final es la identificación del objeto más significativo de cada carril. Su metodología está basada en la división del área de trabajo en celdas individuales y en la determinación del estado de cada una de ellas creando, a partir de este, los diferentes niveles de agregación con los que define la escena (ver figura 5).

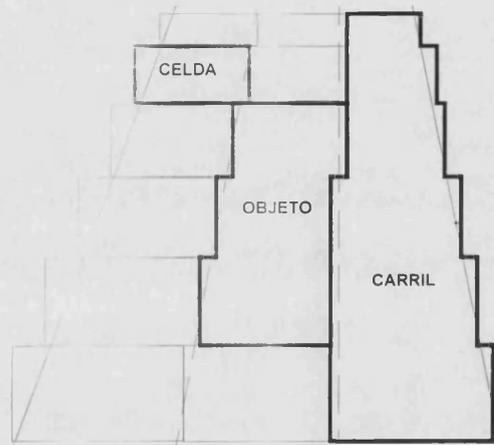


Figura 5.- Identificación de los elementos descriptivos de la escena.

CELDA:

Es el elemento mínimo de representación que proporciona información sobre la escena de la imagen. Las celdas se distribuyen a lo largo de cada carril de la carretera y tienen un tamaño que cubre aproximadamente 1 coche de longitud.

Cada celda tiene asociada los siguientes datos:

- *Estado*: Representa la situación de tráfico en la celda.
 - Vacío: La celda no contiene ningún vehículo.
 - Movimiento: La celda contiene la totalidad o parte de un vehículo que se está moviendo.
 - Parado: La celda contiene la totalidad o parte de un vehículo que se encuentra parado.
- *m_par*: Da una medida de proporcional a la cantidad de movimiento detectable "visualmente" dentro de la celda.
- *b_par*: Representa una medida del contenido de "bordes" dentro de la celda.

OBJETO:

Las celdas se agrupan a lo largo de un carril para constituir objetos. Estos corresponden a grupos de celdas adyacentes que tienen un estado común (Objetos Simples), o a grupos de objetos simples (Objetos Compuestos).

Cada objeto tiene asociada la siguiente información:

- *Tipo*: Define el tipo de objeto:
 - Hueco: Un grupo continuo de una o más celdas con estado “vacío”.
 - Pelotón: Una grupo continuo de una o más celdas con estado “movimiento” localizado entre dos objetos de tipo “hueco”.
 - Bloque: Un grupo continuo de una o más celdas con estado “parado” localizadas entre dos objetos de tipo “hueco”.
 - Cola: Un objeto tipo “Bloque” seguido inmediatamente por un objeto tipo “pelotón” sin que exista entre ellos un “hueco”. Definen la parada de un grupo de vehículos causada por una cola aguas abajo o por un incidente ocurrido en la escena.
 - Onda: Cualquier combinación de objetos “Pelotón” y “Bloque” sin que exista entre ellos “Huecos”, con la condición de que el primer objeto sea siempre un “Pelotón”. Describe situaciones debidas a perturbaciones aguas abajo, la desaparición de una cola aguas abajo, y colas del tipo “stop and go” (parada y marcha).
- *Inicio*: Celda en el que empieza el objeto.
- *Longitud*: Longitud en celdas del objeto.
- *N_Par*: Número de celdas en estado de “parada” que contiene el objeto (si hay).
- *Peso*: Es un parámetro que evalúa la importancia del objeto dentro de la imagen.
- *Velocidad*: Da una descripción cualitativa de la rapidez con que se está moviendo el objeto: parado, lento, moderado, rápido y muy rápido.

CARRIL:

Corresponde al nivel más alto de agregación y tiene asociados los siguientes datos:

- *n_obj*: El número de objetos que se han definido en el carril.
- *Ocupación*: Representa el porcentaje de carril ocupado por vehículos (ocupación espacial).

LISITT

Empleamos una aproximación **mixta** fundamentada en los principios empleados por UCL, realizando la descomposición del tramo en carriles y estos a su vez en celdas. Sin embargo, no agrupamos las celdas en OBJETOS, sino que identificamos la presencia de COLAS dentro del carril, siendo esta la primera gran diferencia con UCL.

Por otro lado y al tratarse de una aproximación mixta también calculamos un conjunto de parámetros de tráfico asociados a cada carril, posibilidad que UCL no realiza.

Veamos los elementos descriptivos empleados que empleamos y los descriptores asociados.

CELDA:

Constituye el elemento mínimo de representación, como en el caso de UCL y tiene asociados un conjunto de datos primarios a partir de los que obtenemos otros secundarios:

Datos primarios:

- *Porcentaje de ocupación:* Representa la proporción de puntos con estado ocupado o parado que se encuentran contenidos dentro de la celda.
- *Porcentaje de parada:* Representa la proporción de puntos con estado parado contenidos dentro de la celda.
- *Tiempo medio de ocupación:* Representa el tiempo promedio en estado de ocupación o parada de los pixeles ocupados o parados.
- *Tiempo medio de parada:* Representa el tiempo promedio en estado de parada de los pixeles parados.
- *Relación de presencia:* Representa la relación temporal existente entre los ciclos en que una celda se encuentra vacía u ocupada

Datos secundarios:

- *Estado:* Representa la situación del tráfico en la celda.
 - Vacío: No existe ningún vehículo dentro de la celda.
 - Normal: Existen vehículos dentro de la celda circulando en condiciones normales.
 - Denso: Existen vehículos dentro de la celda que circulando de forma continua a velocidad baja o moderada.
 - Congestionado: Existen vehículos dentro de la celda que circulan lentamente o que incluso se encuentran parados momentáneamente.
 - Parado: Los vehículos se encuentra parados.
- *Tiempo:* Representa el tiempo en que la celda permanece en un estado determinado.

CARRIL:

Constituye el elemento superior a la celda y tiene asociado los siguientes descriptores:

- *Estado:* Representa la situación general del tráfico sobre el carril.
- *Cola:* Modeliza el comportamiento del tráfico en el carril y constituye la base para el proceso de detección de incidentes. Sólo asociaremos una cola al carril cuando exista una o más celdas con un estado “Denso” o superior. Las colas se encuentran caracterizadas por los siguientes parámetros:
 - Posición inicial: Corresponde al punto donde comienza la cola.
 - Posición final: Corresponde al punto donde termina la cola

- Lista de discontinuidades: Está constituida por las celdas con estado “Vacío” o “Normal” existentes entre la posición inicial y final de la cola.
 - Estado más severo: Situación más crítica existente en las celdas del carril.
 - Tendencia: Indica cual es la tendencia de expansión de la cola (Crecimiento, decrecimiento o estable).
 - Dirección: Indica cual es la dirección del movimiento de la cola (aguas arriba o aguas abajo).
 - Tiempo: Indica el tiempo de vida de la cola.
 - Severidad: Indica la gravedad de la cola en función de su tamaño y el estado de las celdas que la componen.
- *Velocidad media.*
 - *Flujo de vehículos.*
 - *Ocupación espacial.*

Después de presentar las características de nuestra aproximación, aparecen claramente las diferencias existentes entre UCL y nosotros. Por un lado, nuestra modelización incluye el entorno temporal como factor importante en todas las descripciones, elemento que no está presente en la aproximación UCL, y que nos permitirá identificar un mayor número de incidentes y nos facilitará la introducción de relaciones históricas en los procesos de interpretación.

Por otro lado, la capacidad de obtener parámetros cuantitativos de tráfico, además de ser un aspecto muy requerido por los operadores de tráfico, tal y como se pone de manifiesto en el capítulo I, nos permitirá llevar a cabo un proceso de filtrado de falsas alarmas mediante el análisis de la coherencia entre la situación descrita cualitativamente y los valores cuantitativos obtenidos en dicha situación.

Hemos de recordar que la explicación detallada de como obtenemos y cualificamos los parámetros anteriores se encuentra contenida en el capítulo IV y que en éste sólo presentamos la estructura funcional del Módulo Local de Procesamiento y las diferentes líneas de razonamiento empleadas en su diseño.

III.2.2.3 Módulo de Datos Externos (MDE)

Antes de introducirnos en el módulo encargado de la interpretación de la escena hemos de presentar el módulo de datos externos. A semejanza con el operador humano, el sistema necesita conocer las condiciones de contorno que afectan a la situación descrita por el MVA para poder llegar a unas conclusiones coherentes con la situación real.

Entendemos por datos externos cualquier tipo de información relacionada con el área procesada, excepto los parámetros de tráfico medidos directamente sobre ella (pe. ocupación, flujo, etc.), y pueden ser muy variados. Para facilitar su identificación, los hemos clasificado en función de tres parámetros:

- *Tipo de dato:*
 - *Ambientales:* Hacen referencia a condiciones atmosféricas y luminosas, que afectan tanto a la conducta de los conductores como a la calidad de las medidas del sensor. (pe. niebla).

- *Carretera*: Incluye el tipo de carretera, sus características geométricas y físicas, y otros datos adicionales. (pe. número de carriles, velocidad de diseño, etc.)
- *Control de tráfico*: Son parámetros que describen la existencia y el estado de las medidas de control que están afectando al área de estudio (pe. la clausura de un carril).
- *Categoría de los datos*: Cada uno de los tipos anteriores se puede subdividir a su vez en tres categorías:
 - *Variables*: Datos que pueden cambiar en cualquier momento (pe. el estado de los paneles de mensajes variables).
 - *Estáticos*: Son parámetros fijos que no cambian con el tiempo (pe. el tipo de carretera).
 - *Temporales*: Son aquellos que permanecen con un valor constante durante intervalos de tiempo más o menos largos. Por lo general su modificación puede ser precedida con suficiente antelación (pe. obras).
- *Localización*: El rango de parámetros potenciales que se pueden encontrar dentro de cada categoría y tipo, depende del punto de emplazamiento de la cámara. Hemos identificado tres emplazamientos básicos:
 - *Carreteras*.
 - *Túneles*.
 - *Puentes*.

Las tablas 2 a 4 muestran los parámetros que hemos identificado para cada localización, por categoría y tipo. De ellas se deduce que existen un gran número de factores externos que pueden influenciar, en mayor o menor medida, tanto en la efectividad del proceso de detección de incidentes como en los propios incidentes.

Aunque hemos realizado el ejercicio de identificar y clasificar estos datos en ninguna de las aproximaciones analizadas se han incluido, excepto aquellos datos estáticos relacionados con la carretera que son fundamentales para la interpretación de la situación, la localización de la posición de los incidentes, la determinación de su gravedad, el establecimiento de relaciones lógicas entre las posiciones de los píxeles y la escena real, etc.

La aplicación de todos los datos definidos en las tablas 2 a 4 supondría la incorporación de elementos adicionales de sensorización dentro del MLP, con las dificultades de integración que conllevarían y retrasaría notablemente el objetivo del MLP. Además, no sería fácil, por no decir imposible, acceder a muchos de los parámetros identificados aún en el caso de que se empleasen en los procesos internos de cálculo. Este aspecto de integración de diferentes elementos de medida en una arquitectura compatible y con unas estructuras de datos comunes y asequibles a todos ellos, aunque es un aspecto que se nos sale de los objetivos básicos de nuestro trabajo, es un tema que cada vez preocupa más a los responsables de los CGT [Blonk, 91 y 94].

| TIPO DE DATO | CATEGORÍA | | | APLICACIÓN | |
|---------------------------------|--|---|--|--|---|
| | Medida o Monitorizada | Almacenada | Horaria | Proceso de detección | Procesamiento del sistema. |
| CARRETERA | | | | | |
| Geometría | | Numero de carriles Ancho Arcén Mediana central Gradiente Curvatura Dirección del tráfico | | Configuración | Configuración Incidente potencial |
| Tipo de carretera | | Multipropósito Dos direcciones Autovía Autopista | | Configuración | Configuración Incidente potencial |
| Características | | Abierta Cortada Excavaciones Terraplén Sección elevada Rampa de enlace Enlace Punto negro Hormigón Asfalto | | | Incidente potencial |
| Firme | | | | Reflejos | |
| CONDICIONES AMBIENTALES | | | | | |
| Salida/puesta del Sol | Luz directa | | Salida/puesta del sol Horarios Efecto sobre la visión Horario | Efecto sobre la operatividad del sistema | Efecto sobre el conductor. |
| Entretenimientos | | Tipo de entretenimiento Factor de distracción. | | | Efecto sobre el conductor. |
| Condiciones meteorológicas | Viento: dirección; velocidad; ráfagas. Niebla: visibilidad, claros repentinos. Hielo: temperatura, humedad | | | Efecto en el funcionamiento del sistema | Efecto sobre el conductor. Efecto sobre la red Incidente potencial. |
| Iluminación | Estado del alumbrado Condiciones en niebla | | Horas de iluminación Periodos de atardecer/amanecer | Efecto sobre el funcionamiento del sistema | Efecto sobre el conductor |
| TRAFICO | | | | | |
| Restricciones de carriles | | Restricción a largo plazo | Imposiciones regulares | Configuración de la escena. | Efecto sobre el conductor Efecto en la red Incidente potencial |
| Obras | | | Alcance límites de velocidad | Configuración de la escena | Efecto sobre el conductor Efecto en la red Incidente potencial |
| Control de flujos | Inicialización del sistema de control de flujos | | Hora y día del programa | Configuración de la escena | Efecto en la red Incidente potencial durante el cambio del control de flujos |
| Activación de señales y tiempos | Establecimiento de PMV. Operación y activación manual o automática | | | | Efecto en la red Incidente potencial |
| Áreas de peaje | Situación del peaje | | | Configuración de la escena | Efecto en la red Incidente potencial |

Tabla 3.- Categorías y tipos de datos aplicables a una carretera.

| TIPO DE DATO | CATEGORIA | | | APLICACION | |
|---|---|--|---|--|---|
| | Medida o Monitorizada | Almacenada | Horaria | Proceso de detección | Procesamiento del sistema. |
| CARRETERA | | | | | |
| Geometría | | Número de carriles Ancho Arceñ Mediana central Gradiente Curvatura Dirección del tráfico | | Configuración | Configuración Incidente potencial |
| Tipo de carretera | | Multipropósito Dos direcciones Autovía Autopista | | Configuración | Configuración Incidente potencial |
| Firme | | Hormigón Asfalto | | Reflejos | |
| CONDICIONES AMBIENTALES | | | | | |
| Salida/puesta del Sol | Luz directa | | Salida/puesta del sol Horarios Efecto sobre la visión | Efecto sobre la operatividad del sistema | Efecto sobre el conductor. |
| Entretenimientos | | Tipo de entretenimiento Factor de distracción. | Horario | | Efecto sobre el conductor. |
| Iluminación | Estado del alumbrado Condiciones en niebla | | Horas de iluminación Periodos de atardecer/amanecer | Efecto sobre el funcionamiento del sistema | Efecto sobre el conductor |
| TRAFICO | | | | | |
| Restricciones de carriles | | Restricción a largo plazo | Imposiciones regulares | Configuración de la escena. | Efecto sobre el conductor Efecto en la red Incidente potencial |
| Obras | | | Alcance límites de velocidad | Configuración de la escena | Efecto sobre el conductor Efecto en la red Incidente potencial |
| Finalización del Mantenimiento en túneles | Inicialización de señalización de rutas alternativas | | Programa de finalización | Configuración de la escena | Efecto sobre el conductor Efecto en la red Incidente potencial |
| Control de flujos | Inicialización del sistema de control de flujos | | Hora y día del programa | Configuración de la escena | Efecto en la red Incidente potencial durante el cambio del control de flujos |
| Activación de señales y tiempos | Establecimiento de PMV. Operación y activación manual o automática | | | | Efecto en la red Incidente potencial |
| Monitorización de túneles | Sumideros Detección de hidrocarburos Detección de inundación Ventilación Visibilidad Alumbrado Puertas de emergencia Teléfono de emergencia Boca de incendios | Nivel de alarma | | Efecto sobre el funcionamiento del sistema | Efecto sobre el conductor |
| Áreas de peaje | Situación del peaje | | | Configuración de la escena | Efecto en la red Incidente potencial |

Tabla 4.- Categorías y tipos de datos aplicables a túneles.

CAPITULO III

Módulo Local de Procesamiento: Concepción y especificación.

| TIPO DE DATO | CATEGORIA | | | APLICACION | |
|---|--|--|--|--|---|
| | Medida o Monitorizada | Almacenada | Horaria | Proceso de detección | Procesamiento del sistema. |
| CARRETERA | | | | | |
| Geometría | | Numero de carriles Ancho Arcén Mediana central Gradiente Curvatura Dirección del tráfico | | Configuración | Configuración Incidente potencial |
| Tipo de carretera | | Multipropósito Dos direcciones Autovía Autopista | | Configuración | Configuración Incidente potencial |
| Firme | | Hormigón Asfalto | | Reflejos | |
| CONDICIONES AMBIENTALES | | | | | |
| Salida/puesta del Sol | Luz directa | | Salida/puesta del sol Horarios Efecto sobre la visión Horario | Efecto sobre la operatividad del sistema | Efecto sobre el conductor. |
| Entretenimientos | | Tipo de entretenimiento Factor de distracción. | | | Efecto sobre el conductor. |
| Condiciones meteorológicas | Viento: dirección; velocidad; ráfagas. Niebla: visibilidad, claros repentinos. Hielo: temperatura, humedad | | | Efecto en el funcionamiento del sistema | Efecto sobre el conductor. Efecto sobre la red Incidente potencial. |
| Iluminación | Estado del alumbrado Condiciones en niebla | | Horas de iluminación Periodos de atardecer/amanecer | Efecto sobre el funcionamiento del sistema | Efecto sobre el conductor |
| TRAFICO | | | | | |
| Restricciones de carriles | | Restricción a largo plazo | Imposiciones regulares | Configuración de la escena. | Efecto sobre el conductor Efecto en la red Incidente potencial |
| Obras | | | Alcance límites de velocidad | Configuración de la escena | Efecto sobre el conductor Efecto en la red Incidente potencial |
| Finalización del mantenimiento en puentes | Inicialización de señalización de rutas alternativas | | Programa de finalización | Configuración de la escena | Efecto sobre el conductor Efecto en la red Incidente potencial |
| Control de flujos | Inicialización del sistema de control de flujos | | Hora y día del programa | Configuración de la escena | Efecto en la red Incidente potencial durante el cambio del control de flujos |
| Detección de gálibo | Condición de detector de alarma | | Estado de restricción | | Efecto en la red Incidente potencial |
| Activación de señales y tiempos | Establecimiento de PMV. Operación y activación manual o automática | | | | Efecto en la red Incidente potencial |
| Áreas de peaje | Situación del peaje | | | Configuración de la escena | Efecto en la red Incidente potencial |

Tabla 5.- Categorías y tipos de datos aplicables puentes.

III.2.2.4 Módulo de Detección de Incidentes (MDI)

El problema que se nos plantea en este módulo es el de interpretar la escena en base a los descriptores y a las condiciones de contorno proporcionadas por los módulos anteriores, siendo el objetivo de la misma la detección de incidentes en el área de trabajo. Obviamente, los algoritmos empleados para detectar la presencia de incidentes son muy dependientes de los descriptores de la escena y son diferentes para cada aproximación. No es nuestra intención describir aquí los algoritmos empleados por cada una de ellas (los nuestro están explicados en el capítulo IV), sino comparar los tipos de incidentes y la información final que son capaces de proporcionar al operador.

En este sentido, vamos a comenzar definiendo la estructura común que presentan las tres aproximaciones. Todas ellas están enfocadas a producir una alarma indicando la presencia de un incidente, junto con la descripción de la situación existente dentro del campo de visión de la cámara. Esta información se estructura en dos niveles de descripción, tal como muestra la figura 6:

- NIVEL 1: Proporciona una descripción simple y única de la presencia de incidentes dentro del campo de visión de la cámara. Emplearemos este dato para definir los datos de segundo nivel y para dirigir las operaciones del módulo de soporte de decisiones.
- NIVEL 2: Proporciona una descripción más detallada de la situación existente en el área analizada y está constituida por dos estructuras de datos diferentes, una relacionada con el incidente detectado, y otra describiendo la situación global de la escena.



Figura 6.- Información proporcionada por el MDI.

A continuación describimos los contenidos proporcionados por cada aproximación.

INRETS

NIVEL 1:

- *Vehículo parado en el arcén:* Se detecta un vehículo parado situado dentro del arcén por un tiempo superior al umbral definido (40 s)
- *Vehículo parado en carril principal:* Se detecta un vehículo parado situado dentro de algunos de los carriles principales en condiciones normales de circulación. El umbral mínimo de tiempo de parada en este caso es mas restrictivo (15 s).

- *Múltiples vehículos parados en congestión:* Se detecta la presencia de varios vehículos parados en una situación de congestión. La escena corresponde a colas de vehículos en los que alguno de ellos permanece parado más tiempo que el umbral mínimo (15 s).
- *Descenso de velocidad:* Se detecta un descenso brusco de la velocidad media por debajo de un umbral mínimo. En este caso, la alarma sólo es reportada durante el ciclo de procesamiento en el que se detecta la caída de velocidad.
- *Incremento de velocidad:* Se detecta un incremento de la velocidad media por encima del umbral mínimo anterior. Aunque esta situación no corresponde a ningún patrón anormal se ha definido para indicar la finalización de la alarma de descenso de velocidad. Esta alarma siempre va precedida por una de descenso de velocidad.

NIVEL 2:

- *Detalles del incidente:*
 - *Duración:* El tiempo en que permanece parado el vehículo y es siempre mayor que el umbral mínimo.
 - *Número de carril:* El carril en que se sitúa el incidente.
 - *Longitud de la cola:* La longitud aproximada de la cola producida por el incidente. Sólo se proporciona en caso de vehículos parados en congestión.
 - *Posición longitudinal del incidente:* Posición en metros de donde se localiza el incidente. En caso de que existan más de un vehículo parado, la posición se determina de acuerdo al vehículo que tiene un mayor tiempo de parada.
- *Datos de la escena:*
 - *Ocupación espacial:* Representa el porcentaje de área ocupada del área total procesada.
 - *Velocidad media:* Corresponde al valor medio de la velocidad en todos los carriles. Esta velocidad es un valor integrado y corresponde a la media del último minuto.
 - *Nivel de tráfico:* Se definen tres niveles de tráfico en función de la velocidad y la ocupación existente:
 - T1: Tráfico normal
 - T2: Tráfico lento
 - T3: Tráfico congestionado
 - *Nivel de congestión:* Se definen cuatro niveles de congestión, también a partir de los valores de la velocidad y la ocupación:
 - C0: No congestión
 - C1: Congestión baja
 - C2: Congestión media
 - C3: Congestión alta.

UCL

NIVEL 1:

- *Incidente en el campo de visión:* El objeto más significativo de uno de los carriles indica la presencia de vehículos parados. El inicio del objeto no ha de coincidir con el borde anterior del campo de visión.
- *Incidente aguas abajo:* El objeto más significativo detectado corresponde a un incidente, pero el principio del objeto coincide con el borde anterior del área procesada por lo que la causa del incidente se localiza en el tramo posterior.
- *Congestión aguas abajo:* El objeto más significativo detectado corresponde a un incidente con el principio del objeto en el borde anterior del área procesada. Se diferencia de la alarma anterior en función de las variaciones en los patrones de tráfico a lo largo del tiempo.
- *Incidente aguas arriba:* Se detectan cambios temporales en los patrones de tráfico producidos por la presencia de un incidente situado a corta distancia antes del campo de visión de la cámara (pe. caídas repentinas de la ocupación espacial).

NIVEL 2:

- *Detalles del incidente:*
 - *Carril:* Indica el carril en el que se localiza el incidente.
 - *Objeto:* El tipo de objeto que define el incidente.
 - *Posición de parada:* La primera celda en estado de parada más cercana al borde anterior de la zona de procesamiento.
 - *Características del objeto:* Corresponde a la descripción del objeto más significativo: Tipo de objeto, Peso, Comienzo, Longitud, N° paradas y Velocidad (ver punto III.2.2.2)
- *Datos de la escena:*
 - *Número de objetos identificados.*
 - *Ocupación espacial.*

LISITT

NIVEL 1:

- *Vehículo lento:* Detectamos la presencia de un vehículo moviéndose lentamente por un carril en condiciones normales de tráfico.
- *Congestión:* Detectamos una situación de tráfico denso o congestionado, en la que no existen vehículos parados por un tiempo superior al umbral. Representa una degradación de las condiciones de tráfico.
- *Vehículo parado:* Detectamos un vehículo parado en algunos de los carriles principales de la vía, o en el arcén. Se trata de un vehículo individual detenido un tiempo superior al umbral mínimo en condiciones normales de tráfico.
- *Cola:* Se detectan varios vehículos parados sobre algún carril, o sobre el arcén.

- *Onda*: Detectamos una cola de vehículos parados en una situación de tráfico fluido o denso, pero no congestionado, en la que se dan zonas con vehículos parados y otras sin vehículos.
- *Vehículo en contra dirección*: Detectamos un vehículo circulando en dirección contraria a la dirección definida como normal.

NIVEL 2:

- *Detalles del incidente*: Se incluyen los parámetros asociados a la descripción de la cola más significativa (descritos con más detalle en el punto 3.2.4), más información obtenida de la relación con los otros carriles.
 - *Características de la cola más significativa*: Descritas en el punto III.2.2.2
 - *Carriles que afecta*: Aunque el incidente más significativo se selecciona de todos los existentes en el tramo, puede que un mismo incidente esté afectando a más de un carril, en este caso se indica el número de ellos.
 - *Tipo de carriles*: Indica el tipo de carril sobre el que se ha producido el incidente.
 - *Nivel de confianza*: Es un porcentaje calculado en función de las reglas de validación del incidente e indica el tanto por cien de veracidad del mismo.
- *Datos de la escena*:
 - *Velocidad media*.
 - *Ocupación media*.
 - *Flujo medio*.
 - *Estado del tráfico*:
 - Libre
 - Normal
 - Denso
 - Congestionado
 - Parado.

III.2.2.5 Módulo de Validación de Datos (MVD)

El objetivo del MVD es la verificación de los datos que están siendo usados en la detección del incidente, comprobando que se encuentran dentro de los límites permitidos, que son coherentes con la descripción de la escena y que son consistentes con el resto de los datos. Para ello aplicamos un conjunto de reglas relacionadas con el rango de datos, deducciones lógicas y consistencia interna que detectarán errores en los datos y que permiten calcular el nivel de confianza asociado a las conclusiones del MDI.

Hemos dividido las reglas en tres categorías de acuerdo al tipo de dato que se quiere validar.

- Reglas de rango.
- Reglas de coherencia.
- Reglas de consistencia.

A continuación describimos la base teórica de cada uno de estos tipos de regla, no siendo posible comparar en este aspecto las tres aproximaciones, puesto que cada una de ellas tiene su propio conjunto de reglas de acuerdo a sus variables internas. (Las reglas aplicadas por nosotros se definen en el punto IV.5)

Reglas de rango

Los datos proporcionados por el módulo de visión tienen ciertos límites, fuera de los cuales los valores son claramente un error del sistema o un error de cálculo. En algunos casos, estos límites están bien definidos, pero en otros corresponden a una banda de valores que indican un incremento en la probabilidad de que se haya producido un error. Aplicaremos por tanto dos tipos de estrategias diferentes: una aproximación booleana y una aproximación porcentual.

La aproximación booleana se cumplirá cuando $X_{\min} \leq X \leq X_{\max}$, siendo X la variable a validar. En caso de que esta condición no se cumpla rechazaremos dicha variable y los cálculos que con ella se ejecutan.

La aproximación porcentual responde a la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Si } X_{\min} \leq X \leq X_{\max} \quad & \text{error} = 0; & (4) \\ \text{sino error} = \alpha (X_{\min} - X) \text{ ó } & \text{error} = \alpha (X - X_{\max}) \end{aligned}$$

siendo α un factor de suavizamiento que depende de la variable analizada

en estos casos evaluamos el valor del error en un rango de 0 a 100.

Reglas de coherencia.

Las reglas de coherencia comparan los valores de varios parámetros dentro del conjunto de datos proporcionados por el módulo de visión. Inicialmente emplearemos una sencilla aproximación booleana, pero si no es satisfactoria, la regla se dividirá en dos o más partes y el resultado será evaluado como un porcentaje.

Reglas de consistencia

Estas reglas buscan factores de consistencia entre áreas adyacentes de la escena, pe. entre carriles o entre los datos proporcionados por sensores externos, si existen, y los del sistema.

En general no es fácil establecer una correlación entre carriles, aunque es de esperar que las condiciones de un carril afecten al mismo tiempo a los carriles adyacentes. Sin embargo, algunas condiciones extremas que afectan a todos los carriles al mismo tiempo pueden indicar errores del sistema.

III.2.2.6 Salida al Sistema Central (SSC):

Este es un módulo subsidiario que no es necesario para el funcionamiento autónomo del Módulo Local de Procesamiento, aunque es clave cuando este es empleado como elemento sensor por parte del Sistema Central de Procesamiento.

El SSC combina la salida del MDI y del MVD adaptándola a la estructura de los datos de entrada del SCP, de modo que cualquier aproximación sea compatible con ella. En función de la aproximación implementada pueden existir algunos parámetros recibidos por el SCP que no

sean capaces de cubrir el rango de valores definido, ya sea porque no alcanza los valores máximos o mínimos, o porque se trata de una descripción cualitativa.

La tabla 5 nos muestra aquellos datos que son proporcionados directamente por cada aproximación, indicando como “ADAPTADO” aquellos que pueden ser obtenidos tras una conversión de los datos del MLP y como “PARCIAL” los que no cubre todo el rango de valores.

| SCP | INRETS | UCL | LISITT |
|----------------------------|----------|----------|----------|
| Estado del MLP | SI | SI | SI |
| Tipo de incidente | SI | ADAPTADO | ADAPTADO |
| Carril en que ocurre | SI | SI | SI |
| Duración del incidente | SI | SI | PARCIAL* |
| N. Confianza de la alarma | SI | SI | SI |
| N. Confianza del MLP | SI | SI | SI |
| Estado del tráfico | ADAPTADO | SI | SI |
| Velocidad media | SI | PARCIAL* | SI |
| Ocupación espacial media | SI | SI | SI |
| Densidad media | NO | NO | SI |
| Flujo medio | NO | NO | SI |
| <u>Datos por carril</u> | | | |
| - Longitud de cola | SI | SI | SI |
| - Velocidad media | NO | PARCIAL | SI |
| - Ocupación espacial media | NO | SI | SI |
| - Densidad media | NO | NO | SI |
| - Flujo medio | NO | NO | SI |

Tabla 5.- Información que es capaz de proporcionar cada aproximación del MLP

Podemos observar que INRETS es el módulo que mejor se adapta a la estructura de datos del SCP. Esto es así, puesto que fue este módulo el que se seleccionó para la realización de las pruebas piloto, ya que nuestro desarrollo se implementó con fecha posterior, aunque es el que más información es capaz de proporcionar.

III.2.2.7 Novedades aportadas por nuestro sistema.

Desde el punto de vista de la detección de incidentes, podemos concluir que todas las aproximaciones son capaces de detectar vehículos parados sobre la escena y de localizar la posición en que ocurren, siendo capaces de separar las situaciones de detención producidas por situaciones de congestión de las producidas por vehículos individuales. En este sentido podemos considerar los tres desarrollos como iguales, independientemente de la eficiencia de cada uno de ellos. Hasta este punto no parece que la nueva metodología que hemos propuesto aporte novedades sobre las anteriores, salvo el echo de aplicar una aproximación diferente. Sin embargo, a la hora de considerar otros tipos de incidentes, no asociados a la detención de un vehículo nos damos cuenta de dos importantes mejoras aportadas por nuestro modelo:

1. El sistema es capaz de detectar *vehículos circulando en dirección contraria*. La detección de este tipo de situaciones ha sido uno de los requerimientos más solicitados por los operadores de los CCT, puesto que los llamados “conductores suicidas” son causa de numerosos accidentes y en la mayoría de los casos son difíciles de localizar y de detener, a menos que ellos mismos estén involucrados en un accidente.
2. El sistema es capaz de detectar situaciones de *tráfico congestionado*. La posibilidad de detectar las situaciones de tráfico congestionado, producidas por un incremento de la demanda, antes de que sean detectadas por la presencia de vehículos parados y de que la situación se agrave, permite a los operadores tomar acciones de control adecuadas más rápidamente para tratar de reducir sus efectos.

Desde el punto de la descripción de la escena, hemos de mencionar la capacidad para obtener *parámetros de tráfico*, a pesar de realizar una aproximación cualitativa semejante a la de UCL, añadiendo a la información sobre la velocidad y la ocupación espacial (proporcionadas también por INRETS) información sobre el flujo de vehículos y proporcionando más información al SCP que el resto de desarrollos.

III.2.3 ARQUITECTURA

La arquitectura que hemos escogido para la implementación del Módulo Local de Procesamiento es independiente del tipo de aproximación y esta constituida por un conjunto standard de elementos hardware.

Tres factores nos han influido a la hora de decidir el tipo de arquitectura sobre la que diseñar el MLP, la cual hemos tratado que esté lo más orientada posible a una futura industrialización:

- *Robustez*: El MLP es un equipo que debe de poder trabajar tanto en el centro de control de tráfico junto al sistema central de procesamiento, en una sala adecuadamente acondicionada, como en carretera situado a pie de poste. En este último caso, los elementos hardware han de ser capaces de soportar condiciones ambientales extremas.
- *Modularidad*: El sistema tiene que ser modular de modo que permita la rápida sustitución de alguno de los elementos cuando se estropeen y facilite su adaptación a diferentes plataformas.
- *Coste*: Aunque el coste no es primordial en la fase de desarrollo y prototipación, si se quiere que el sistema sea lo suficientemente competitivo debe de tener un precio que no sobrepase en demasia el coste de otros elementos de sensorización. Tal y como pone de manifiesto Michalopoulos [Michalopoulos, 94], y como demostraremos en el capítulo de evaluación de resultados, una instalación de DAI basada en un sistema de visión llega a ser más económica que la misma instalación basada en un sistema de lazos magnéticos, siempre y cuando los elementos de sensorización no tengan un coste excesivo. Sin tener en cuenta los beneficios que los sistemas de visión tienen asociados a su instalación no invasiva en la carretera, el bajo costo de mantenimiento y las ventajas funcionales sobre los lazos magnéticos.

Considerando los requisitos anteriores hemos propuesto una arquitectura basada en una plataforma PC, constituida por cinco elementos (representados en la figura 7) que mantiene la estructura general empleada por la mayoría de los sistemas de visión que hemos revisado en la introducción (ver apartado 0.III.2). Estos elementos son:

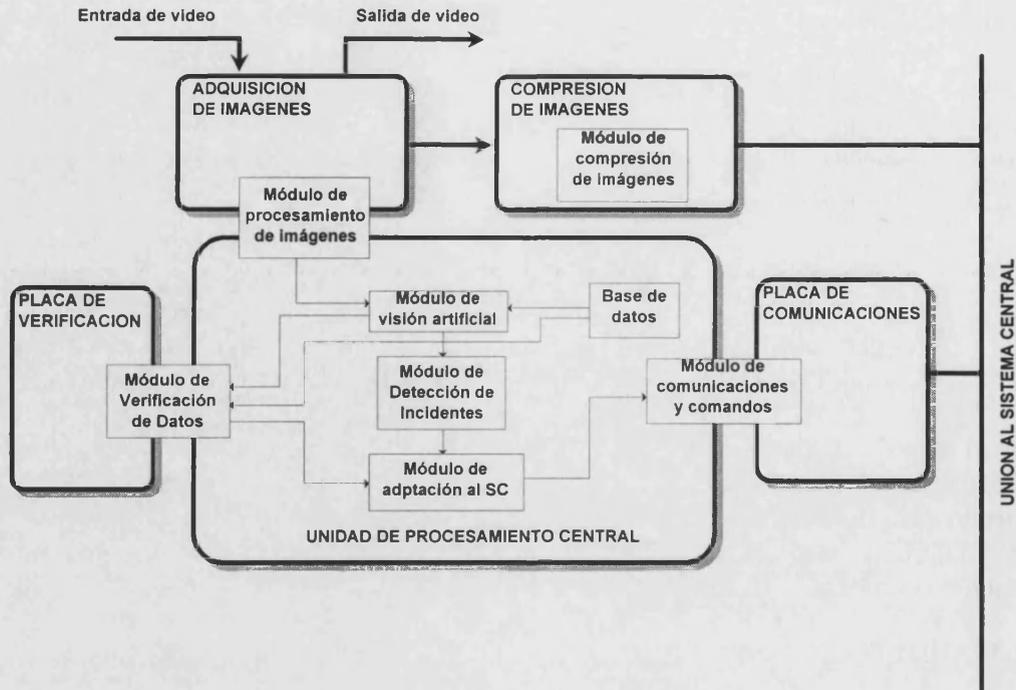


Figura 7.- Arquitectura general del MLP

- **Unidad de procesamiento central:** Es la placa principal del equipo y tiene el control sobre el resto de elementos.
- **Placa de adquisición de imágenes:** Se encarga de la digitalización de las imágenes de video. Los únicos requisitos necesarios es el de permitir trabajar con una resolución de 512 x 512 puntos.
- **Placa de verificación:** Se encarga de reportar las anomalías en el funcionamiento de los componentes hardware locales. Los siguientes elementos deberían de ser comprobados:
 - Toma de corriente.
 - Señal de vídeo.
 - Adquisición de la imagen.
 - Funcionamiento de la UCP.
 - Funcionamiento de la línea de comunicación.
- **Placa de comunicaciones:** Esta placa constituye el elemento físico que soporta las capas más bajas de la estructura OSI. En función del tipo de comunicación requerida esta placa podrá tratarse de una placa de bajo nivel (instalación punto a punto, bajos volúmenes de datos, dispositivos de bajo costo, como el RS232) o de una placa con funcionalidades de alto nivel (instalación multipunto, altos volúmenes de datos).
- **Placa de compresión de imágenes:** Este módulo se encarga de muestrear una imagen, comprimirla y transmitirla al sistema central en un modo condensado. Esta posibilidad es muy útil en el caso de que se trate de un sistema descentralizado en el que las imágenes de las cámaras no lleguen al centro de control. Esta última placa es opcional dentro de la arquitectura general definida.

Como pondremos de manifiesto en el capítulo VIII, algunos de estos elementos estarán incluidos en una única placa física, reduciéndose de este modo el número de elementos hardware empleados. La elección de las placas depende fundamentalmente de los requisitos de capacidad de procesamiento, de la compatibilidad entre las funciones de procesamiento de imágenes implementadas y del tipo de comunicaciones a emplear.

CAPITULO III

Módulo Local de Procesamiento: Concepción y especificación.

CAPITULO IV ➤

CAPITULO IV

MÓDULO LOCAL DE PROCESAMIENTO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.

IV.1. INTRODUCCIÓN

A continuación, y siguiendo la descomposición en módulos del MLP definida en el capítulo anterior, vamos a describir como hemos implementado cada uno de ellos en base a las especificaciones generales previas. La figura 1, nos recuerda cuales son estos módulos y la relación funcional que existe entre ellos:

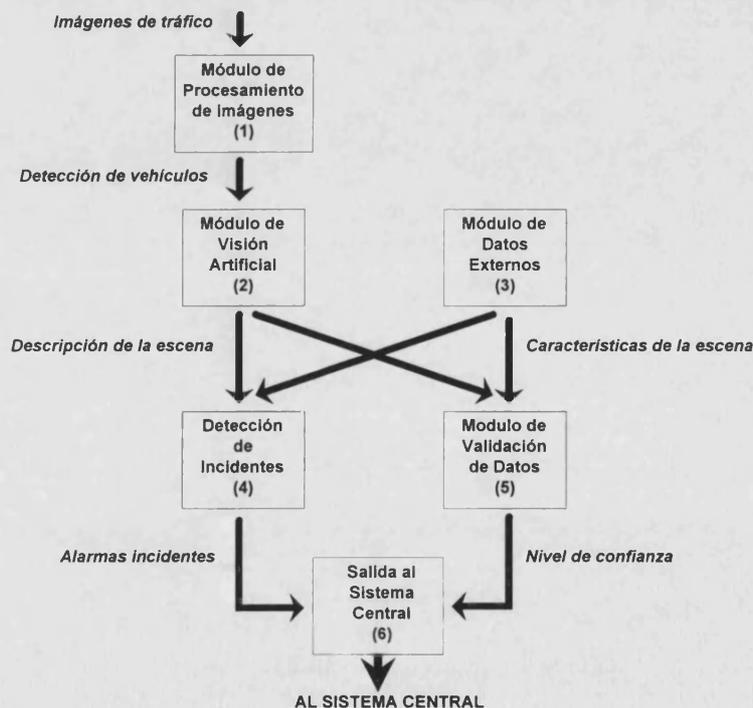


Figura 1.- Bloques funcionales y flujo de datos del MLP

Hemos de mencionar que en el capítulo III, realizamos una descripción comparativa de la metodología empleada en las aproximaciones implementadas por los centros de investigación participantes en el proyecto INVAID, haciendo especial mención de aquellos aspectos novedosos de nuestro desarrollo, mientras que en este vamos a describir los algoritmos

empleados para solucionar los diferentes problemas que nos hemos encontrado sin realizar una comparación con el resto de aproximaciones.

IV.2. MODULO DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

El MPI es el encargado de realizar la conversión de la imagen de tráfico analógica, proporcionada por las cámaras de CCTV, en una señal digital y obtener de ella los datos primarios que vamos a emplear como base para la interpretación posterior de lo que está ocurriendo en la escena.

Las operaciones ejecutadas por el MPI las hemos agrupado en dos categorías (figura 2):

- ***Operaciones de inicialización:*** Se ejecutan una sola vez y únicamente al arranque del MLP o cuando éste es reinicializado. Estas se caracterizan por no estar restringidas por ninguna limitación temporal, no existiendo por tanto ningún inconveniente en aplicar cualquier tipo de algoritmos a la imagen. Dentro de las operaciones de inicialización vamos a identificar las siguientes funciones:
 - Definición del área de trabajo.
 - Distribución de los puntos de análisis.
 - Adquisición de la imagen de referencia.

El tiempo medio empleado por el proceso de inicialización varía de 2 a 4 minutos dependiendo de las condiciones de tráfico existentes durante el proceso de adquisición de la imagen de referencia (ver punto IV.4.1.3).

- ***Operaciones de Análisis:*** Se ejecutan cada vez que se procesa una imagen y por lo tanto están restringidas por el hecho de que para poder obtener una información adecuada en tiempo real de la escena de tráfico hay que analizar 2 o más imágenes por segundo. Si la cantidad de imágenes procesadas por segundo es menor, se pueden perder objetos de una imagen muestreada a otra degradándose la calidad de la información obtenida.

El proceso de análisis del MPI estará constituido por las siguientes operaciones, constituyendo todas ellas el bucle de procesamiento que se ejecuta de forma continuada.

- Digitalización de la imagen.
- Filtrado de ruido.
- Sustracción de la imagen de referencia.
- Reforzamiento de objetos.
- Eliminación de sombras o luces.
- Evaluación de sombras o luces.
- Cálculo de los datos de salida.
- Cálculo de parámetros de tráfico.
- Actualización de la imagen de referencia.

El tiempo medio que empleamos en la ejecución de todas estas operaciones es de 1/5 de segundo, lo que nos permite procesar entre 5 imágenes por segundo.

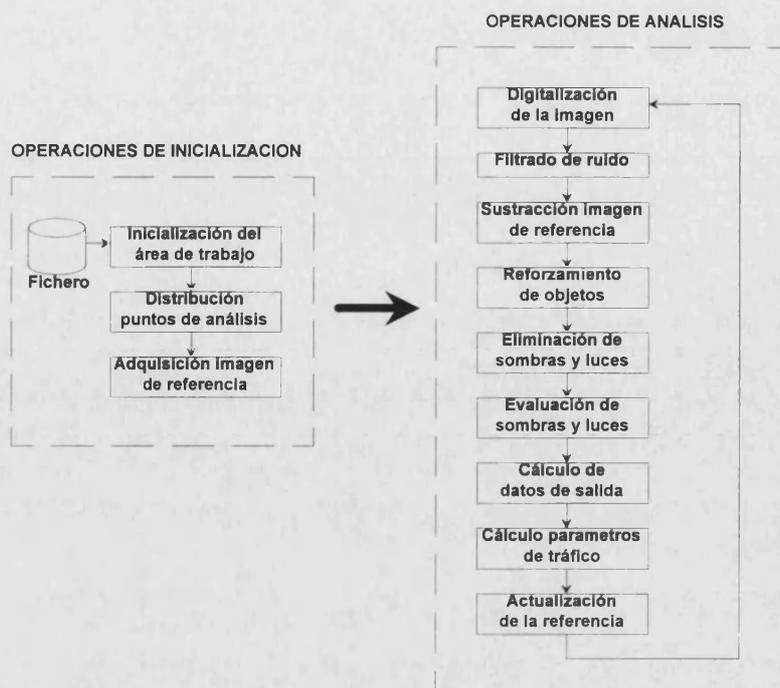


Figura 2.- Operaciones del MPI.

IV.2.1 OPERACIONES DE INICIALIZACIÓN.

IV.2.1.1 Inicialización del área de trabajo y de los parámetros de configuración.

Como ya hemos comentado en puntos anteriores, para poder procesar las imágenes en tiempo real es necesario reducir el número de puntos que se van a analizar. Así, nos restringiremos únicamente a aquellas áreas de la imagen que nos interesan, despreciando el resto, como se puede ver en la figura 3.a. Por lo general, en todas las imágenes de tráfico existen zonas que no contienen información de tráfico y que corresponden al entorno que rodea a la calzada y que suponen un porcentaje considerable de la imagen.

Necesitamos, por tanto, determinar aquella o aquellas áreas de la imagen que realmente necesitan ser analizadas y que denominaremos Máscaras. La definición de la zona de análisis estará regida por un conjunto de restricciones que hemos decidido imponer al MLP:

1. Definiremos únicamente una máscara por MLP
2. La máscara estará delimitada por un único polígono de cuatro lados.
3. No se podrán definir más de 6 carriles por máscara.
4. No se podrán definir más de 20 celdas por carril.

La razón de estas restricciones a la definición de la máscara en los tres primeros casos es la sencillez a la hora de implementar el proceso de definición de la misma y algunas de las funciones del MPI, mientras que en los dos últimos se debe a la necesidad de reducir el tiempo procesamiento. Sin embargo, la estructura de datos y los algoritmos definidos están diseñados para trabajar con varias mascarar por cada MLP, pudiendo estar constituidas por más de un polígono de cuatro lados y pudiendo contener carriles con sentidos diferentes.

IV.2.1.1.1 Proceso de definición de la máscara

La definición de la máscara es un proceso de configuración que se ejecuta de forma independiente en un programa diseñado a tal efecto.

Los pasos que debe de seguir el operador para definir la máscara y la metodología empleada en este proceso, son:

1. *Definición del área de trabajo.* El área de trabajo se define situando las 4 esquinas del polígono de cuatro lados que delimita la máscara (ver figura 3.a).
2. *Definición de los carriles.* El operador debe fijar únicamente la posición transversal de cada uno de los carriles, la posición longitudinal se hace de forma automática por el programa de configuración (ver capítulo VIII). El ancho de cada carriles, a diferencia de otras aproximaciones, es independiente. El operador va situando carriles de forma sucesiva hasta que todos están definidos (ver figura 3.b).
3. *Definición de la dirección del tráfico y del tipo de carril.* Indicamos si el punto de entrada del tráfico se realiza por la parte superior o inferior de cada carril (Ej. en la escena de la figura 3 de arriba a abajo) y el tipo de carril de que se trata.

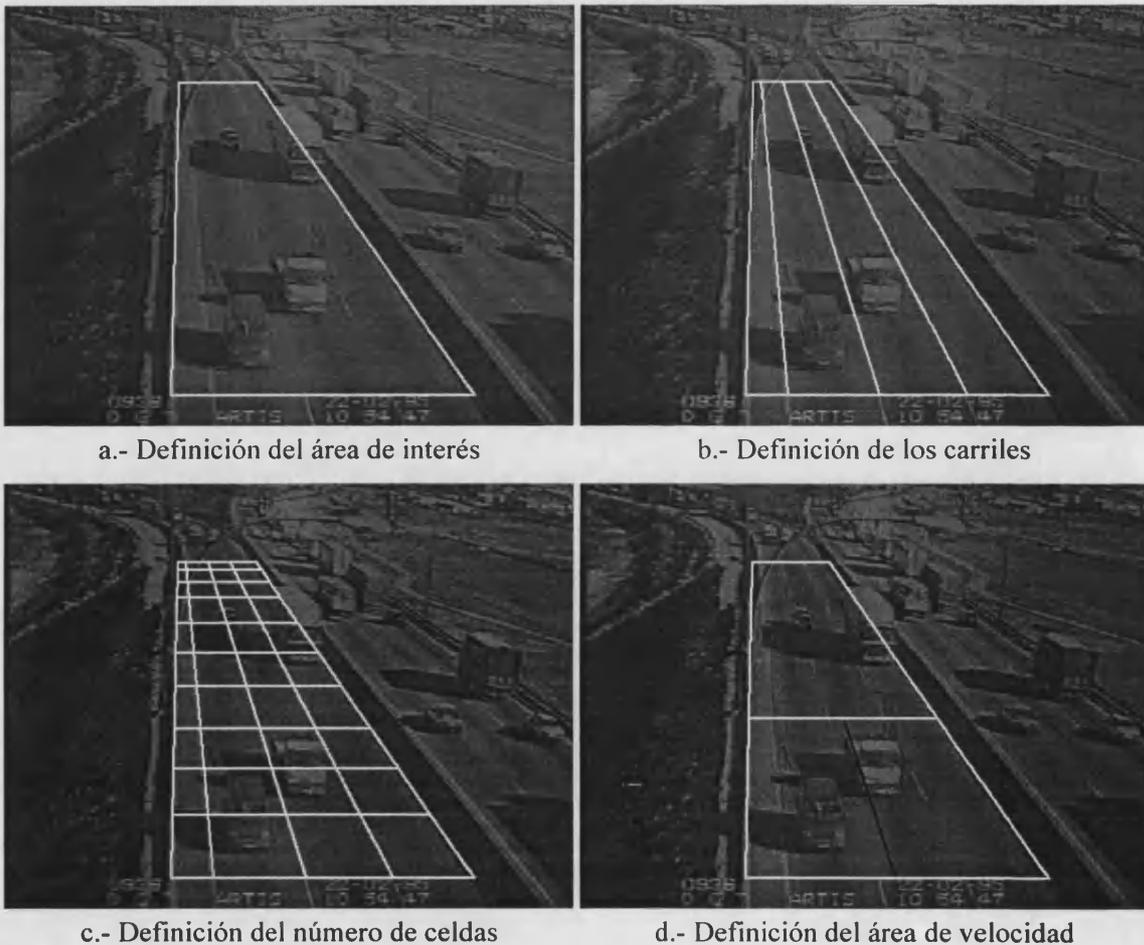


Figura 3.- Definición de la máscara para el MLP.

4. *Definición del ancho y largo de la máscara.* Introducimos la distancia, en metros, del ancho y largo reales de la máscara. Supondremos que el ancho es el mismo para cualquier línea transversal y que el largo es el mismo para todos los carriles.
5. *Definición del número de celdas.* Decidimos el número de celdas en que se va a dividir la máscara de manera que el tamaño de cada celda coincida, aproximadamente, con el tamaño de un vehículo en la imagen. La distribución del tamaño de cada celda (dx,dy) la realizamos de forma automática, siguiendo una aproximación geométrica definida por Hoose [Hoose, 91]. Si consideramos que X,Y representan las coordenadas en el mundo real, x,y las coordenadas de la imagen, W el ancho de la máscara en metros y w_j el ancho de la fila j en puntos, tenemos que la escala S_{xj}, en metros/puntos, para dicha fila viene dada por:

$$S_{x_j} = W / w_j \quad (1)$$

La escala correspondiente al eje vertical es:

$$S_{y_j} = s_{x_j} * a \quad (2)$$

donde 'a' es la razón de aspecto de la imagen.

Escogiendo una longitud real para cada celda L, la longitud proyectada l_j en puntos, viene dada por:

$$l_j = L / s_{y_j} \quad (3)$$

Asumimos que para valores pequeños de L, del orden de metros, la escala vertical s_{yj} permanece constante. Esta aproximación es menos cierta cuanto consideramos longitudes más alejadas de la cámara, aunque la experiencia ha demostrado que es una aproximación razonable.

6. *Definición del área de velocidad.* Para el cálculo de la velocidad empleamos la zona inferior de la máscara, en donde los problemas de ocultación y de detección de vehículos son menores, y donde la aproximación empleada para la distribución de celdas es más correcta. El operador debe de introducir la distancia real de la longitud del área de velocidad (ver figura 3.d).
7. *Almacenamiento.* Una vez configurada el área de trabajo, sus parámetros son almacenados en un fichero para poder ser empleada por el MLP.

Cuando el MPI realiza la inicialización del área de trabajo se cargan dos ficheros, uno con la descripción de la máscara y otro con los parámetros de configuración del MLP. Estos parámetros serán descritos a medida que vayan empleándose en los diferentes algoritmos.

IV.2.1.2 Distribución de los puntos de análisis.

Una segunda técnica que vamos a emplear para reducir el tiempo de procesamiento es la de reducir el número de puntos del área de trabajo que van a ser analizados. Para ello definimos primeramente el número de filas y columnas de la máscara de manera que la distancia entre cada fila y cada columna sea homogénea y el número máximo de puntos definidos no supere un valor predefinido (inicialmente este valor se ha fijado en 2000 puntos, puesto que nos permite procesar entre 4 y 5 imágenes por segundo, dependiendo de la presencia de incidentes o no).

Una vez determinado el número de filas y columnas se distribuyen de manera que la distancia real existente entre filas sea aproximadamente la misma. Para ello empleamos la misma aproximación que la empleada para distribuir las celdas (fórmulas 1, 2 y 3).

La figura 4 nos muestra la distribución de puntos sobre una máscara típica. En ella se puede observar que cada vehículo es cubierto por un número suficiente de puntos permitiendo su detección, como veremos más adelante, sin necesidad de procesar toda la máscara.



Figura 4.- Distribución de los puntos de análisis sobre una máscara típica.

IV.2.1.3 Adquisición de la imagen de referencia.

El problema que se nos plantea en la metodología por la que hemos obtenido, es el de obtener una buena imagen de referencia, cualquiera que sean las condiciones de inicialización. Como vamos a demostrar, el algoritmo que hemos desarrollado permite la inicialización en condiciones de congestión y es una versión que combina el método de promediado de imágenes con el de actualización selectiva. En el estudio realizado por Seed y Houghton [Seed, 88], se propone como el método más adecuado el segundo de ellos, mientras al primero se le señalan los siguientes inconvenientes:

- La imagen final aparece con pocos niveles.
- La imagen responde más rápidamente a variaciones bruscas que a pequeños cambios del fondo.

Estas objeciones son realmente ciertas bajo la hipótesis de trabajo empleada por estos autores, que realizaban realmente un promediado exponencial en aritmética de enteros, produciéndose los efectos descritos. Sin embargo, en nuestra implementación emplearemos una aritmética en coma flotante que evita la acumulación de errores de redondeo obteniendo una imagen de referencia precisa. El empleo de esta aritmética está justificado por las siguientes razones:

- El proceso de creación de la imagen de referencia, es un proceso de inicialización por lo que no tiene un tiempo de procesamiento limitado.

- El empleo de un conjunto seleccionado de puntos de la imagen reduce el tiempo de procesamiento considerablemente.
- El empleo de un hardware más potente y dotado de procesador matemático reduce el tiempo empleado por la aritmética de coma flotante.

IV.2.1.3.1 Metodología empleada

El algoritmo que vamos a implementar se descompone en dos partes:

1. Primeramente realizaremos un promediado de los puntos seleccionados durante un periodo prefijado (240 imágenes muestreadas cada 500 ms = 2 minutos) a la vez que vamos calculando el histograma de valores durante dicho periodo. Consiste en calcular la media de un conjunto de imágenes a lo largo del tiempo:

$$a_r(x, y) = \frac{f_r(x, y) + (r - 1) \cdot a_{r-1}(x, y)}{r} \quad (4)$$

siendo:

a_r : El valor medio de la imagen en el instante r .

f_r : El valor de la imagen en el instante r .

x, y : Las coordenadas espaciales de la imagen.

Para el cálculo del histograma cuantizaremos los pixeles a 6 bits (64 valores) en lugar de 8 (256). De este modo evitamos que pequeñas variaciones en el valor del fondo puedan difuminar el valor predominante y reducimos los requerimientos de memoria necesarios para almacenar el histograma de cada punto (2000 puntos x 64 valores x 1 byte = 128 Kb).

2. Una vez hemos procesado el número prefijado de imágenes (240), analizamos el histograma temporal de cada punto para decidir si el valor hallado es correcto o no. Para ello calculamos el número de valores no consecutivos que superan 1/3 del número de imágenes procesadas (80). Distinguiremos tres casos:
 - a) No ha aparecido **ningún valor predominante** debido a la presencia de vehículos en movimiento durante el periodo de cálculo. No podemos asegurar que el valor promediado obtenido corresponde realmente con el fondo. La figura 5 muestra un ejemplo de este caso.
 - b) Existe un **único conjunto de valores predominante** que debe corresponder al valor del fondo. En este caso consideramos que el valor obtenido para el fondo es correcto. La figura 6 muestra el histograma típico de este caso.
 - c) Existen **dos o más valores predominantes**. Este caso es similar al 'a' y cuando se produce tampoco se puede validar el valor del fondo calculado, puesto que el valor promediado no coincidirá con ninguno de los máximos, uno de los cuales coincidirá probablemente con el fondo, como muestra la figura 7.



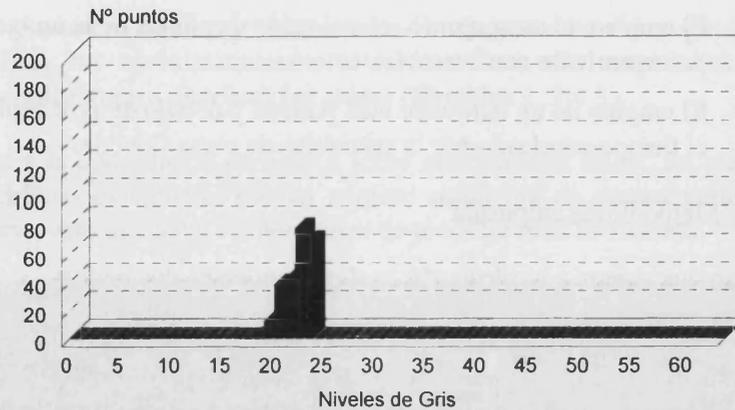


Figura 5.- Histograma del fondo sin un valor predominante

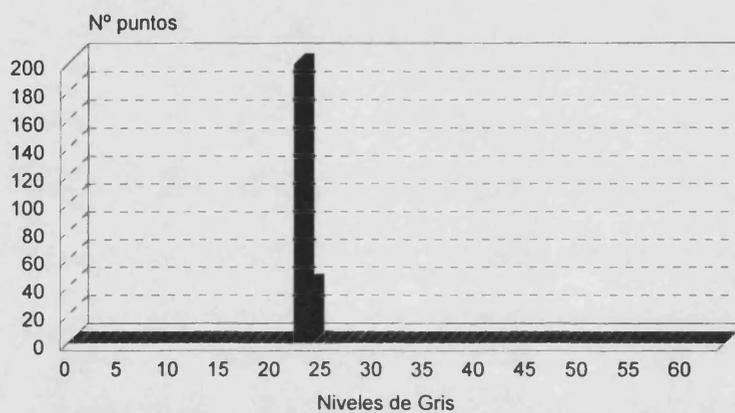


Figura 6.- Histograma del fondo con un único valor predominante

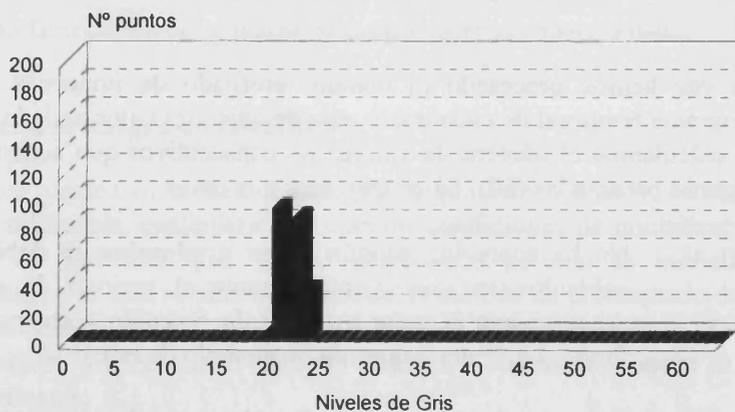


Figura 7.- Histograma del fondo con dos valores predominantes

En condiciones de tráfico fluido o denso, el periodo de integración seleccionado nos permite evitar situaciones del tipo 'a' ó 'c', de modo que todos los pixeles del fondo son aceptados como correctos. Sin embargo, en condiciones de tráfico congestionado, y cuanto más lentamente se mueven los vehículos, mayor es el número de puntos que no pueden ser considerados correctos (ver figura 8.a).

3. Comprobamos si **existen puntos sin validar**. Si no existen, pasamos directamente al paso 5 si no, recalculamos el valor del fondo para el punto sin validar empleando los

puntos validados en un entorno de 5 x 5 puntos, bajo la suposición que el valor del fondo será semejante al valor promedio de sus vecinos.

4. Una vez calculado el valor estimado del fondo, aplicamos un algoritmo basado en una **actualización selectiva**. Asignamos primeramente un peso al valor actualmente calculado, que fijaremos en 1/4 del número de imágenes procesadas (60). Corresponde a fijar en la fórmula (4) el valor de $r = 60$.

Seguidamente procesamos de nuevo un número determinado de imágenes (fijado en 240) en donde vamos calculando la diferencia entre la imagen actual y el fondo. Si el valor absoluto de esta diferencia es menor que un umbral prefijado, consideramos que el punto es fondo y actualizamos el valor del mismo, añadiéndolo al valor promediado:

$$\text{Si } |f(x,y) - a_r(x,y)| < U_{\text{fondo}} \text{ entonces} \quad (5)$$

$$a_{r+1}(x,y) = \frac{f_r(x,y) + r \cdot a_r(x,y)}{r+1}$$

$$r \leftarrow r+1$$

Este método permite la aceptación entre el 90 % y el 100 % de los puntos no validados con el primer algoritmo (ver figura 8.b).

5. **Actualizamos el peso** asociado a todos los puntos de la imagen de referencia a un valor igual a 1/4 el número de imágenes procesadas (60). El valor de este peso determinará la sensibilidad a los cambios del fondo, cuanto mayor sea este valor más resistente a los cambios será el fondo.

La figura 8 muestra un ejemplo del resultado de adquisición de la imagen de referencia en condiciones de tráfico congestionado. En la imagen 8.(a) aparecen en blanco aquellos puntos que no han podido ser validados en la primera parte, mientras que la imagen 8.(b) muestra el fondo obtenido al final del proceso.



a) Puntos no validados en el primer proceso.



b) Imagen de referencia final

Figura 8.- Ejemplo del resultado del proceso de adquisición de la imagen de referencia.

IV.2.2 OPERACIONES DE ANÁLISIS

Una vez concluidos los procesos de inicialización, el sistema comienza el **bucle de análisis**. Este bucle se ejecuta hasta que detenemos el sistema, ya sea de forma hardware (caída de la alimentación) o software (pulsando la tecla de salida, inicializando el equipo, etc.), repitiéndose entre 4 y 5 veces por segundo para el número máximo de puntos prefijado (2000).

Las operaciones que aplicaremos en cada ciclo de análisis son las enumeradas en la figura 2, sin embargo, no todas ellas se ejecutan realmente en cada ciclo, ya que un conjunto de ellas sólo lo hacen en periodos de tiempos prefijados, que podemos modificar en el fichero de configuración. Son estas:

- La integración de parámetros de tráfico. Cada 15 segundos.
- La evaluación de sombras y luces. Cada 60 segundos.

Incidiremos más detalladamente en esta característica cuando describamos las funciones correspondientes.

Reseñemos que el proceso de análisis también necesita de un periodo de inicialización, de aproximadamente dos minutos, durante los cuales la información proporcionada por el MLP puede resultar poco coherente con la situación real, en especial en aquellas variables basadas en la integración de un conjunto temporal de medidas. Hasta que no transcurra el tiempo necesario para que tengamos un conjunto suficiente de medidas los datos inferidos pueden no ser correctos.

IV.2.2.1 Filtrado de ruido

Las imágenes digitales contienen algunos puntos aleatoriamente distribuidos cuyo nivel de gris no corresponde con el valor real y que se denominan ruido [González, 87] y [Hoose, 91]. Esta función debe de eliminar la presencia de estos puntos o reducir su efecto, para que no presenten diferencias elevadas con el valor de la imagen de referencia.

El método que emplearemos para eliminar este de la imagen, es el de aplicar a cada punto la mascara de convolución 3x3, ($\{1,1,1\}, \{1,1,1\}, \{1,1,1\}$), con la que promediamos el valor del punto con el resto de sus vecinos más cercanos, reduciendo de este modo el efecto del ruido sobre la imagen. La fórmula empleada es:

$$r_i = \frac{1}{9} \sum_{i \in N_i} p_i \quad (6)$$

siendo:

N_i : el conjunto de vecinos de p_i .

r_i : el nivel de gris filtrado del punto i .

p_i : el nivel de gris original del punto i

Hemos de mencionar, que el proceso de filtrado de ruido se aplica también cuando calculamos la imagen de referencia, siendo el resultado de esta función el valor promediado de la luminosidad existente en el entorno de un punto de procesamiento y que consideraremos a partir de ahora como el valor del punto. Representaremos el valor filtrado de cada punto procesado de la imagen por el par $i(x,y)$.

IV.2.2.2 Detección de objetos

Una vez hemos obtenido el valor, filtrado, de cada uno de los puntos de la imagen ($i(x,y)$), vamos a tratar de determinar si en dicho punto existe o no un objeto ($p(x,y)$). Este proceso lo basamos simplemente en la comparación de la imagen actual con la imagen de referencia ($f(x,y)$). Si el resultado de esta comparación es, en valor absoluto, mayor que un umbral prefijado (UMBRAL_FONDO: U_f) consideramos que el punto pertenece a un objeto y marcamos dicho punto como MARCA 1 (M_1), sino lo marcamos como FONDO (F) ó 0.

$$p(x, y) = \begin{cases} 0 & |i(x, y) - f(x, y)| < U_f \\ M_1 & |i(x, y) - f(x, y)| \geq U_f \end{cases} \quad (7)$$

De este modo estamos realizando una binarización de la imagen, de manera que los puntos del fondo toman un valor 0 y los que corresponden a un objeto M_1 .

Como ya comentamos durante el proceso de adquisición de la imagen de referencia, la calidad de la detección depende en gran medida de la calidad de la imagen de referencia, y del umbral prefijado para el fondo. Cuanto más alto sea este umbral mas correctos sean los puntos detectados y menos errores existirán, aunque el número de puntos no detectados es mayor. Después de trabajar con múltiple imágenes, hemos prefijado el valor prefijado de U_f en 15.

En las imágenes de la figuras 9(a) a 9(d) aparecen diversas escenas mostrando en color blanco los puntos en los que el MPI ha detectado la presencia de un vehículo. Los puntos negros representan zonas del vehículo que serán posteriormente incorporadas como objeto, como veremos en el punto siguiente.

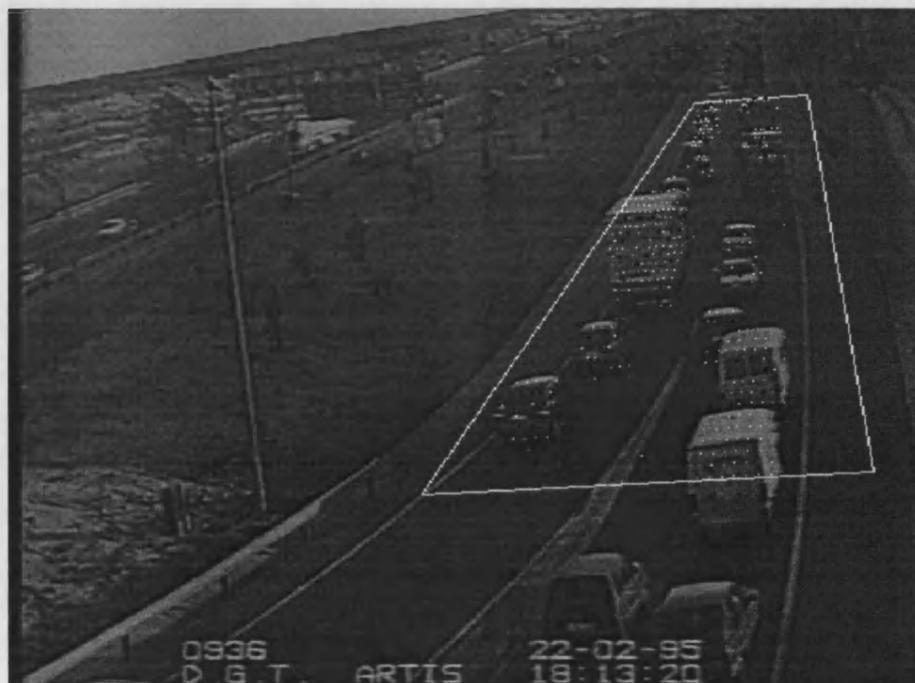


Figura 9.a.- Ejemplo de detección de objetos en una escena de tráfico.



Figura 9.b.- Ejemplo de detección de objetos en una escena de tráfico.



Figura 9.c.- Ejemplo de detección de objetos en una escena de tráfico.



Figura 9.d.- Ejemplo de detección de objetos en una escena de tráfico.

IV.2.2.3 Reforzamiento de objetos

Si observamos las imágenes de las figuras 9, podemos observar que existen zonas de los vehículos que no son detectadas (o están marcadas con un punto de color negro). Esto se debe a que dichos puntos no superan el umbral prefijado para considerarlos objetos. Vamos a tratar de aplicar una función que nos permita reforzar los grupos de puntos pertenecientes a un objeto añadiendo puntos menos sobresalientes y eliminando a su vez puntos aislados de la imagen.

El fundamento del algoritmo que hemos implementado se basa en dos características de las escenas de tráfico:

1. Los vehículos ocupan zonas de la imagen de más de un punto de análisis.
2. Los vehículos constituyen elementos sólidos con discontinuidades en su superficie (v.g. los parabrisas y los parachoques).

Teniendo en cuenta estas características, y después del primer proceso de detección de objetos, volvemos a realizar la comparación entre los puntos de la imagen considerados como FONDO y la imagen de referencia, pero vamos a reducir el valor del umbral mínimo necesario para detectar la presencia de un objeto. Modificamos la fórmula (7) de modo que empleamos un UMBRAL_FONDO2 (U_{f2}) igual a un tercio de su valor original ($U_{f2} = U_f/3 = 5$) y asignamos a dichos puntos una marca diferente (MARCA2: M_2) para diferenciarlos de los puntos detectados en el primer caso, con lo que tendremos una doble umbralización de la imagen

$$\text{Si } p(x,y) = 0 \text{ entonces } p(x,y) = \begin{cases} 0 & |i(x,y) - f(x,y)| < U_{f2} \\ M_2 & |i(x,y) - f(x,y)| \geq U_{f2} \end{cases} \quad (8)$$

Seguidamente vamos a determinar que puntos de los considerados como M_2 podemos tomar realmente como objetos y cuales hay que rechazar. Supondremos como correctos aquellos que permitan establecer una conexión entre dos puntos vecinos del tipo M_1 . Es decir, aquellos

puntos que permitan mantener la continuidad sobre alguna de las 4 posibles direcciones, rechazando el resto de posibilidades. La figura 10 muestra un ejemplo de estos casos:



Figura 10.- Correlaciones aceptadas para los puntos M_2 .

Con este método reforzamos el interior de los objetos detectados, mediante la incorporación de aquellos puntos incluidos en el contorno del objeto que presentan una diferencia con el fondo menos significativa, sin incrementar los límites que constituyen el objeto.

En las figuras 9.(a-d). se muestran los resultados de la aplicación de este algoritmo correspondiendo los puntos negros a los puntos del tipo M_2 aceptados como válidos. Se puede observar que únicamente puntos pertenecientes al cuerpo del vehículo son correctos, salvo en los casos de detección errónea de sombras (figura. 9.d.) que tratamos a continuación.

IV.2.2.4 Supresión de sombras

La presencia de las sombras de los vehículos sobre la carretera introducen un error en los cálculos y en el proceso de detección que depende en gran medida del tamaño de las mismas. Desde el punto de vista de la detección de incidentes el efecto más grave es la superposición sobre vehículos parados dando la sensación de movimiento en dichas zonas, mientras que desde el punto de vista de la medición de parámetros incrementan el error de la ocupación espacial e incluso del flujo si llegan a ocupar el carril adyacente.

El algoritmo que hemos diseñado para la eliminación de sombras se basa en un conjunto de hipótesis sobre las características de las sombras y su efecto sobre la carretera, son estas

1. Las sombras son siempre más oscuras que el fondo, por lo tanto, sólo los objetos con una luminosidad menor que el fondo serán analizados.
2. Las sombras sólo son perjudiciales cuando se proyectan a los laterales del vehículo, al sobreponerse sobre los carriles adyacentes o sobre otros vehículos.
3. Sólo consideraremos como sombras con un efecto apreciable sobre la carretera, aquellas que tengan un tamaño mayor que un mínimo prefijado. Las sombras más pequeñas que dicho umbral las consideraremos como parte del objeto puesto que de este modo incrementamos la calidad de la detección y compensamos otros puntos no detectados del vehículo.
4. Las sombras presentan una luminosidad más o menos constante sobre un fondo homogéneo, por lo tanto, si presentan una variación mayor que un umbral, consideraremos que dicha discontinuidad corresponde a un borde y terminaremos la evaluación de la sombra (Veremos que esta suposición no es del todo correcta en los extremos de las sombras).

5. Cuando el fondo presenta discontinuidades (pe. las líneas de los carriles) la luminosidad de las sombras no es constante, aunque la luminosidad relativa si puede considerarse más o menos constante.
6. Los vehículos tienen un ancho mayor de un punto de análisis.

Tendiendo en cuenta estas suposiciones iniciales vamos a describir el algoritmo para la supresión de sombras. La figura 11 muestra los distintos pasos en que éste se descompone.

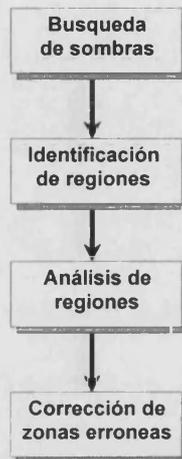


Figura 11.- Pasos del algoritmo de supresión de sombras.

IV.2.2.4.1 Búsqueda de sombras

Recorremos las filas de puntos seleccionados de la imagen buscando grupos de ellos que cumplan las siguientes condiciones:

1. Que sean puntos considerados como objeto.

$$p(x,y) \neq F \quad (9)$$

2. Que sean más oscuros que el fondo

$$i(x,y) < f(x,y) \quad (10)$$

3. Que la diferencia absoluta o relativa de luminosidad con el siguiente esté incluida dentro de un umbral máximo (UMBRAL_SOM: U_s) fijado en 15 unidades.

$$\begin{aligned} & |i(x,y) - i(x+1,y)| < U_s \\ & \text{ó} \\ & |(i(x,y) - f(x,y)) - (i(x+1,y) - f(x+1,y))| < U_s \end{aligned} \quad (11)$$

4. Que las sombras tengan un tamaño más grande que un umbral mínimo, es decir, que el número de puntos conectados entre sí, que cumplen las condiciones anteriores sea mayor que MIN_TAM_SOM (prefijado en 2 puntos).

Cuando encontramos un grupo de puntos que cumple las condiciones anteriores consideramos que son sombra y cambiamos su valor de MARCA1 o MARCA2 a SOMBRA (S).

IV.2.2.4.2 Identificación de regiones

A continuación vamos a localizar sobre todas las filas de puntos de procesamiento de la imagen los diferentes tipos de regiones, de acuerdo al tipo de puntos que las constituyen. Consideramos una región como un punto o grupo de puntos continuos con la misma marca. Distinguimos tres tipos de regiones (R[x,y]):

- Fondo: Puntos marcados como FONDO.
- Sombra: Puntos marcados como SOMBRA.
- Objeto: Puntos marcados como MARCA1 o MARCA2.

Recorremos todas las filas de la imagen determinando para cada región su tipo (R[x,y].pun), tamaño (R[x,y].tam) y punto de inicio (R[x,y].ori).

La figura 12 muestra un ejemplo del resultado del proceso de identificación de regiones en una fila del eje X.

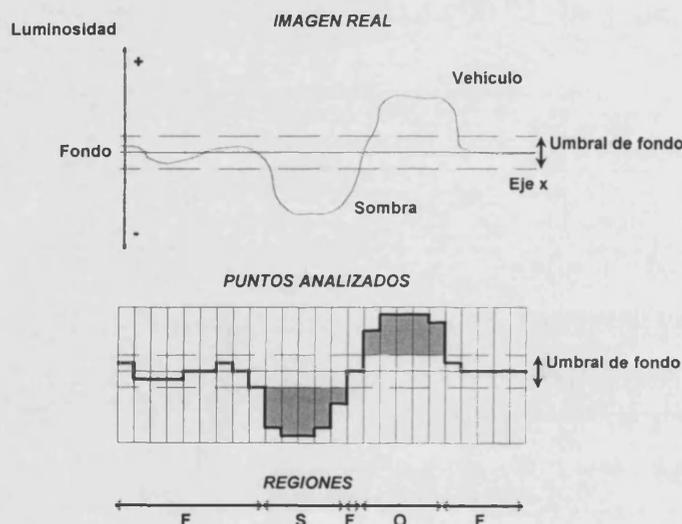


Figura 12.- Identificación de regiones en el eje horizontal

IV.2.2.4.3 Análisis de regiones

Una vez definidas las distintas regiones de cada fila de la imagen, vamos a analizar aquellas regiones de tamaño 1, suprimiéndolas y ajustando su tipo al de alguna de sus regiones vecinas reforzando de este modo las zonas más importantes de la imagen y reduciendo zonas poco representativas.

Este proceso consiste en recorrer las regiones de cada una de las filas de la imagen. El análisis por filas está justificado por las características de las regiones que nos interesan eliminar, en este caso las sombras. Como ya hemos comentado, las sombras que nos interesa detectar son aquellas situadas en los laterales de los vehículos y que se extienden a los carriles o vehículos adyacentes, es por ello que partiendo, como condición de trabajo, que el tráfico se desplaza verticalmente en la imagen, realizamos el primer análisis por filas. Un segundo proceso, realizará un análisis vertical.

En una primera pasada, se analizan únicamente **regiones de tipo FONDO**. Cuando se encuentra una de ellas se comparan las regiones anterior y posterior de modo que si el

punto de fondo corresponde a una discontinuidad entre una sombra y un objeto claro, se transforma a tipo OBJETO. Para ello se debe de cumplir la siguiente condición:

$$\begin{aligned} \text{Si } & (R[x-1,y].\text{pun} = \text{SOMBRA y } R[x+1,y].\text{pun} = \text{OBJETO y} \\ & R[x+1,y].\text{tam} > U_{\text{MIN_TAM_SOM}+1}) \\ \text{ó } & (R[x+1,y].\text{pun} = \text{SOMBRA y } R[x-1,y].\text{pun} = \text{OBJETO y} \\ & R[x-1,y].\text{tam} > U_{\text{MIN_TAM_SOM}+1}) \end{aligned} \quad (12)$$

entonces $R[x,y].\text{pun} = \text{OBJETO}$.

De este modo, y como se puede observar en la figura 13, el punto con valor fondo, producido por el paso de sombra a objeto, que en realidad debe de pertenecer a alguno de ellos, es asignado a la región OBJETO, ajustando el tamaño del objeto detectado a un valor más real.

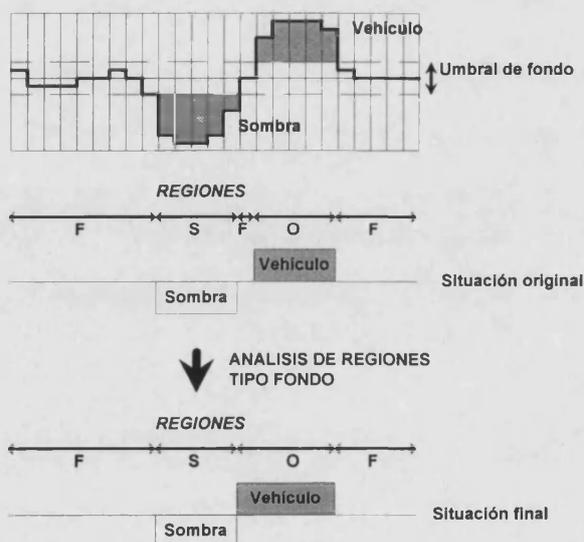


Figura 13.- Resultado del análisis de regiones tipo FONDO.

Después de analizar las regiones de tipo fondo, recalculamos de nuevo las regiones y procedemos a analizar las de **tipo OBJETO** de tamaño 1. De un modo similar al caso anterior, modificaremos el tipo de la región cuando se cumplan alguna de las siguientes condiciones:

1. La región anterior y posterior son de tipo sombra y tienen un tamaño mayor que $U_{\text{MIN_TAM_SOM}+1}$. Esta situación corresponde a dos sombras grandes con una discontinuidad entre ellas y se suele producir cuando el fondo presenta zonas con un contraste muy pronunciado respecto a los puntos vecinos, como ocurre con la señalización horizontal de la carretera (pe. líneas de separación de carriles o flechas de dirección). En estos casos y trabajando bajo la suposición de que un vehículo tiene un ancho mayor de un punto, cambiaremos el tipo de la región a SOMBRA.

$$\begin{aligned} \text{Si } & R[x-1,y].\text{pun} = \text{SOMBRA y } R[x-1,y].\text{tam} > U_{\text{MIN_TAM_SOM}+1} \text{ y} \\ & R[x+1,y].\text{pun} = \text{SOMBRA y } R[x+1,y].\text{tam} > U_{\text{MIN_TAM_SOM}+1} \end{aligned} \quad (13)$$

entonces $R[x,y].\text{pun} = \text{SOMBRA}$.

2. La región de tipo OBJETO está situada entre una región de tipo FONDO y una región de tipo SOMBRA, siendo esta última de un tamaño considerable. La causa de estas situaciones es similar a la que descrita para las regiones de tipo FONDO, pero en este caso se produce en los extremos laterales de las sombras. Como ya incluimos en nuestras hipótesis de trabajo, la homogeneidad de las sombras no se mantiene en sus extremos, lo que hace que en muchos casos, el punto de comienzo de la sombra no sea considerado como perteneciente a ella, sino que aparezca como un objeto de tamaño unidad. En estos casos, la región de tipo OBJETO es transformada en una región de tipo SOMBRA.

$$\text{Si } \begin{aligned} R[x-1,y].\text{pun} &= \text{FONDO y } R[x-1,y].\text{tam} \geq U_{\text{MIN_TAM_SOM}} \text{ y} \\ R[x+1,y].\text{pun} &= \text{SOMBRA y } R[x+1,y].\text{tam} > U_{\text{MIN_TAM_SOM}+1} \end{aligned}$$

$$\text{ó } \begin{aligned} R[x-1,y].\text{pun} &= \text{SOMBRA y } R[x-1,y].\text{tam} > U_{\text{MIN_TAM_SOM}+1} \text{ y} \\ R[x+1,y].\text{pun} &= \text{FONDO y } R[x+1,y].\text{tam} \geq U_{\text{MIN_TAM_SOM}} \end{aligned} \quad (14)$$

entonces $R[x,y].\text{pun} = \text{SOMBRA}$.

La figura 14 muestra un ejemplo de este tipo de situaciones y el resultado que se obtiene tras el proceso de análisis de regiones.

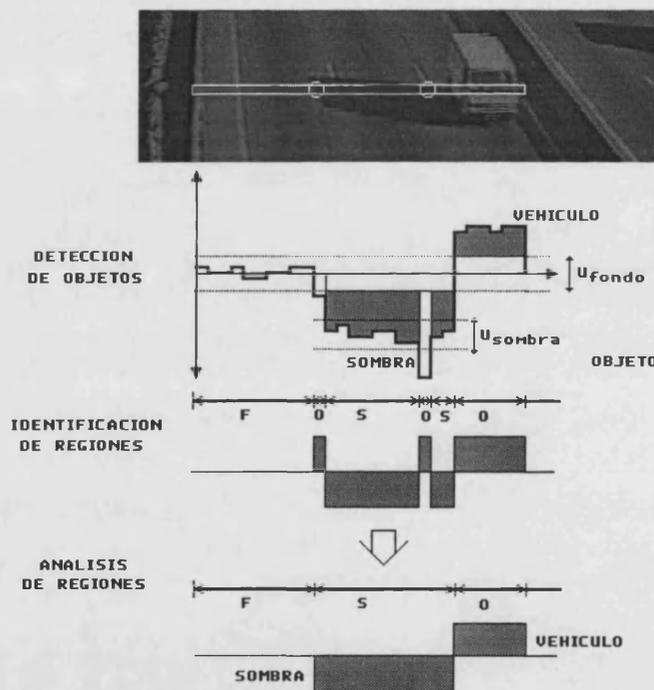


Figura 14.- Resultado del análisis de regiones tipo MARCA

Las regiones de tipo SOMBRA no las analizaremos puesto que, por definición, deben de tener un tamaño mayor que $U_{\text{MIN_TAM_SOM}}$.

IV.2.2.4.4 Corrección de zonas erróneas

El problema más difícil que aparece durante la identificación de sombras lo constituye la presencia de vehículos oscuros o partes oscuras de los mismos (pe. parabrisas), que son confundidas con sombras. Aunque el primer caso es difícil de diferenciar y provoca la

perdida de algunos vehículos, si podemos recuperar una partes de vehículos confundidas como sombras.

A diferencia de todos los procesos anteriores, basados en análisis horizontales de la imagen, realizaremos ahora una búsqueda vertical de regiones identificadas como sombras, de tamaño menor o igual a $U_{MIN_TAM_SOM}$. Si estas regiones se encuentran situadas entre dos regiones OBJETO consideraremos que realmente se trata de zonas de vehículos confundidas con sombras y las convertiremos a tipo OBJETO, mediante la siguiente regla o procedimiento.

$$\text{Si } \begin{aligned} R[x,y-1].pun = OBJETO \text{ y } R[x,y-1].tam \geq U_{MIN_TAM_SOM} \text{ y} \\ R[x,y+1].pun = OBJETO \text{ y } R[x,y+1].tam \geq U_{MIN_TAM_SOM} \end{aligned} \quad (15)$$

entonces $R[x,y].pun = OBJETO$.

Este proceso se basa en las suposiciones de que existe homogeneidad en las sombras y que se puede definir un tamaño mínimo para las mismas.

Las figuras 15 y 16 muestran el resultado de aplicar el procedimiento para la eliminación de sombras en dos escenas diferentes. En ambas figuras, los puntos blancos corresponden a puntos de análisis clasificados como sombras y por lo tanto que no serán tenidos en cuenta a la hora de interpretar las imágenes, mientras que los puntos negros corresponden a objetos. Podemos observar que en la primera de ellas, el tamaño de las sombras hace que éstas deban de ser eliminadas para evitar errores en la interpretación de la escena, mientras que en la segunda, las sombras no producen un efecto de superposición considerable y podrán ser interpretadas como parte del objeto para mejorar su detección.



Figura 15.- Resultado del proceso de filtrado de sombras en una imagen con sombras grandes.



Figura 16.- Resultado del proceso de filtrado de sombras en una imagen con sombras pequeñas

IV.2.2.5 Evaluación de sombras

El proceso anterior de supresión de sombras es eficaz cuando el tamaño de las sombras es considerable, sin embargo, cuando no existen sombras, o estas son pequeñas, la aplicación de este proceso perjudica la detección de vehículos, ocultando algunos vehículos oscuros (como se muestra en la figura 16). Para evitar esta situación, el MPI realiza una evaluación de las sombras existentes en la imagen decidiendo la aplicación o no del algoritmo de supresión de sombras, de modo que si estas son pequeñas se adjuntan como OBJETO.

Para ello, en cada ciclo de procesamiento, el sistema evalúa el número y el tamaño de las sombras frente al tamaño y número de los vehículos. Para evitar confusiones entre vehículos oscuros y sombras, sólo consideraremos aquellas situadas junto a un vehículo claro y los propios vehículos claros. El proceso se basa en la evaluación de regiones horizontales en una de las filas de puntos de la imagen:

- Cuando localizamos una región aislada de tipo OBJETO, con una diferencia positiva respecto del fondo, incrementamos el contador de vehículos. En caso de que esta diferencia es negativa no la consideramos como tal.
- Cuando localizamos una región SOMBRA seguida o precedida por una OBJETO, incrementamos el contador de vehículos y el de sombras. En el caso de que la región SOMBRA este aislada no la consideramos.

Cada minuto comparamos el número de sombras detectadas, frente al número total de vehículos, de modo que si el porcentaje es mayor del 10% aplicamos el proceso de supresión de sombras, sino transformamos los puntos identificados como SOMBRA a MARCA2. De las escenas representadas en las figuras 15 y 16, la primera de ellas cumple la condición para aplicación de sombras con lo que únicamente los puntos negros serán considerados como puntos donde se ha detectado un vehículo, mientras que en la figura 16, la proporción de sombras sobre la imagen no es suficientemente significativa, por lo que todos los puntos de la

imagen diferentes del fondo los vamos a considerar pertenecientes a vehículos, obteniendo una imagen final con los puntos de detección que muestra la figura 17.



Figura 17.- Resultado del proceso de evaluación de sombras sobre la figura 16.

IV.2.2.6 Actualización de los parámetros de los puntos de análisis.

Una vez determinados aquellos puntos de análisis en los que existe o no un vehículo, pasamos a calcular un conjunto de datos sobre el estado del tráfico en ellos. Estos son:

- **Estado de ocupación (ocu):** Indica si existe, o no, un vehículo en el punto.
- **Tiempo de ocupación (t_ocu):** Indica el número de ciclos de procesamiento en los que un punto ha estado ocupado por un vehículo.
- **Estado de parada (par):** Indica si el vehículo detectado en un punto se mueve o se encuentra parado.
- **Tiempo de parada (t_par):** Indica el número de ciclos de procesamiento en los que un punto se encuentra en estado de parada.

Veamos como calculamos estos valores.

- Estado de ocupación: Se calcula mediante los procesos de detección del MPI, que hemos descrito anteriormente.

$$ocu(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{si } p(x, y) = F \text{ o } p(x, y) = S \\ 1 & \text{si } p(x, y) = M_1 \text{ o } p(x, y) = M_2 \end{cases} \quad (16)$$

- Tiempo de ocupación:

$$t_ocu(x, y)_{t+1} = \begin{cases} 0 & \text{si } ocu(x, y) = 0 \\ t_ocu(x, y)_t + 1 & \text{si } ocu(x, y) = 1 \end{cases} \quad (17)$$

- Estado de parada:

Si no existe objeto no puede existir un estado de parada.

$$par(x, y) = 0 \quad si \quad ocu(x, y) = 0 \quad (18)$$

Si existe objeto, se calcula la diferencia entre el valor del punto anterior y el actual, si ésta es menor que un umbral prefijado (UMBRAL_DIF: U_{DIF}), se considera que el objeto se encuentra parado, y se activa el estado de parada. Para evitar que situaciones de variaciones de luminosidad de una imagen a otra produzcan errores en la identificación del estado de parada, este tendrá tres valores:

- 0: Si no existe objeto o no esta parado.
- 1: Si es el primer ciclo en que el objeto se encuentra parado, o el primer ciclo en el que se mueve.
- 2: Si el ciclo de parada es el segundo o posterior.

$$par(x, y)_{i+1} = \begin{cases} 0 & si \ |i(x, y)_{i+1} - i(x, y)_i| > U_{DIF} \ y \ par(x, y)_i = \\ 1 & si \ |i(x, y)_{i+1} - i(x, y)_i| > U_{DIF} \ y \ par(x, y)_i = 2 \\ 1 & si \ |i(x, y)_{i+1} - i(x, y)_i| < U_{DIF} \ y \ par(x, y)_i = 0 \\ 2 & si \ |i(x, y)_{i+1} - i(x, y)_i| < U_{DIF} \ y \ par(x, y)_i = \end{cases} \quad (19)$$

- Tiempo de parada

$$t_par(x, y)_{i+1} = \begin{cases} 0 & si \ par(x, y)_{i+1} = 0 \\ t_par(x, y)_i & si \ par(x, y)_{i+1} = 1 \\ t_par(x, y)_i + 1 & si \ par(x, y)_{i+1} = 2 \end{cases} \quad (20)$$

Estos parámetros constituyen la información básica que proporciona el Módulo de Procesamiento de Imágenes al resto de módulos del MLP.

IV.2.2.7 Cálculo de los parámetros de tráfico

Tres son los parámetros de tráfico que podemos obtener del análisis de la imagen: la ocupación espacial, la velocidad y el flujo. Previamente a detallar la metodología empleada para el cálculo de estos parámetros, hay que recalcar que el MLP diseñado está fundamentalmente orientado a la detección de incidentes, por lo que la zona de análisis trata de cubrir la mayor longitud de carretera, no siendo significativa la ocultación de algunos vehículos o de la separación existente entre ellos. Esta orientación es totalmente opuesta a la empleada por sistemas orientados a la medición de parámetros (CCATS, EVA, etc.), donde es fundamental que no se produzcan ocultaciones o agrupaciones de vehículos (ver capítulo introducción). Como consecuencia en nuestro sistema, la precisión en el cálculo de estos parámetros se resiente en favor de la sensibilidad en la detección de incidentes.

El MPI proporciona todos los parámetros de tráfico por carril, para después ser integrados y poder obtener los valores medios por tramo.

IV.2.2.7.1 Ocupación espacial.

La ocupación espacial representa el porcentaje de vía que permanece ocupado por vehículos del total del área procesada:

$$\% \text{ Ocupación (carril)} = \frac{\sum_{CENTRO} Pixel - \sum_{CENTRO} Pixel_{vacío}}{\sum_{CENTRO} Pixel} \cdot 100 \quad (21)$$

Para determinar si un punto está ocupado o vacío, nos remitimos al valor del estado de ocupación obtenido en los procesos anteriores.

En el cálculo de la ocupación espacial empleamos únicamente una selección de columnas situadas en el centro del carril, para evitar en lo posible el efecto de sobrestimación producido por la superposición de sombras y vehículos de carriles adyacentes (ver figura 18). El criterio empleado para situar la posición de la franja central depende de la posición de la cámara respecto a la máscara.

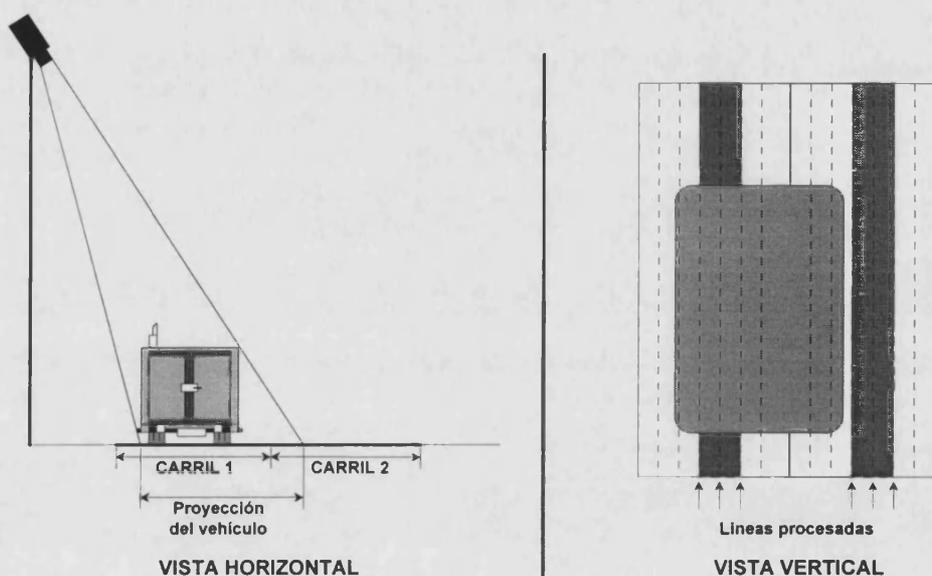


Figura 18.- Selección de columnas para el cálculo de la ocupación espacial.

IV.2.2.7.2. Velocidad media

El objetivo principal del cálculo de la velocidad media es obtener un valor promedio, que sea representativo de la velocidad existente en el carril y no obtener velocidades individuales. Por ello preferimos rechazar aquellas medidas dudosas o incompletas y “perder” algunos vehículos, concentrándonos en medidas fiables, antes que obtener valores incorrectos.

Definición y localización de un lazo magnético virtual

Tanto para la determinación de la velocidad, como para la determinación del flujo, empleamos un método basado en la emulación de lazos magnéticos sobre la imagen. Estos lazos virtuales proporcionan básicamente información sobre la presencia o ausencia de un vehículo dentro del área comprendida por el lazo. Esta información se complementa con la anchura del vehículo, el tiempo de parada de los puntos definidos como ocupados y la fila en que se detecta el vehículo.

La base de funcionamiento empleada por el lazo es muy sencilla, comprobamos el estado de ocupación de los puntos de cada fila que comprenden el lazo y sumamos el tiempo de parada de aquellos que se encuentren ocupados, si el número de puntos es mayor que un

umbral que depende de la anchura del bucle (MIN_ANC), consideramos que existe vehículo. Una vez detectado un vehículo en una de las filas del bucle se dejan de analizar el resto de filas.

Para situar un lazo sobre la imagen tenemos que determinar los siguientes parámetros:

- **Carril.** Indicaremos el número de carril en el que situaremos el lazo. Para evitar la influencia de la superposición de vehículos de carriles adyacentes, el ancho del lazo es un poco más pequeño que la anchura del carril.
- **Posición longitudinal.** Para determinar la posición longitudinal del lazo, daremos esta como un porcentaje sobre la longitud total de la máscara, situando el origen en la parte superior. El lazo se sitúa sobre la fila de puntos de procesamiento en los que hemos dividido la imagen, así, un lazo situado a $2/3$ en una máscara de 60 filas, estará localizado en la fila 40.
- **Anchura del lazo.** Dependiendo de la velocidad y del tamaño relativo algunos vehículos puede pasar por encima del lazo en el periodo de tiempo entre dos imágenes. Para evitar estas situaciones podemos modificar la anchura del lazo, de modo que se compruebe la presencia o ausencia de vehículos en un área más grande. La anchura del lazo determina el número de filas de puntos que se considera.

Cálculo de la velocidad

El cálculo de velocidad se realiza empleando un lazo doble, es decir, dos lazos situados sobre la carretera espaciados una distancia conocida (m), tal como se muestra en la figura 19.

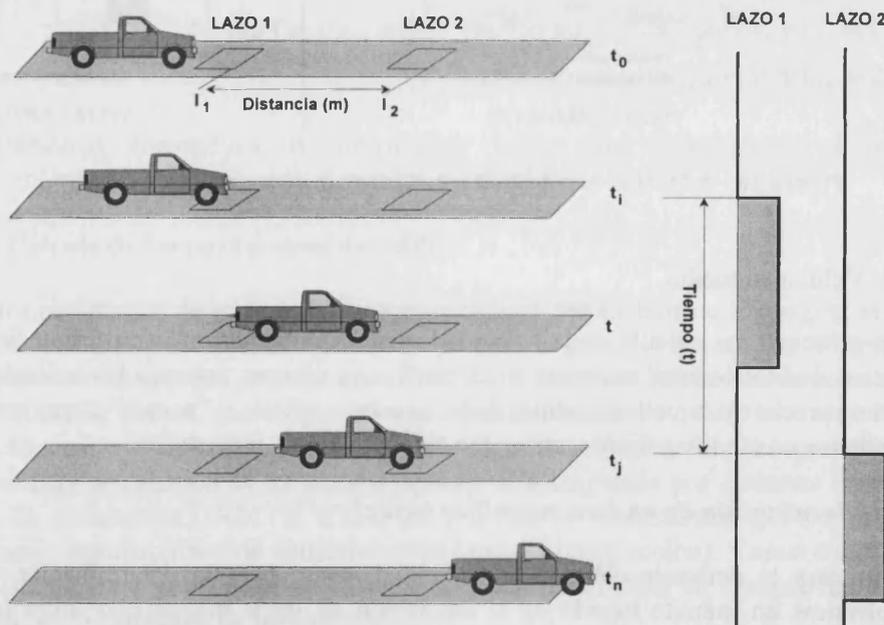


Figura 19.- Cálculo de la velocidad mediante lazos magnéticos.

El proceso que se sigue consiste en activar un reloj cuando se detecta la presencia de un vehículo en el primer lazo, que se para cuando el vehículo alcanza el segundo lazo, obteniéndose el tiempo empleado por el vehículo en atravesar el lazo.

La velocidad se obtiene de forma directa mediante la fórmula:

$$v = \frac{m}{t} = \frac{l_2 - l_1}{t_j - t_i} \quad (22)$$

Metodología empleada

El procedimiento que vamos a seguir para el cálculo de la velocidad se basa en la metodología anterior, salvo que su aplicación en el sistema diseñado presenta un problema adicional, que los lazos no poseen, y que es una secuela del objetivo básico de obtener un sistema de DAI. Este problema es consecuencia del periodo de muestreo del sistema, debido al número de operaciones que se realizan sobre la imagen, desgraciadamente, con la tecnología usada, sólo somos capaces de procesar entre 4 y 5 imágenes por segundo, con lo que obtenemos un error absoluto en el cálculo del tiempo entre 0.20 y 0.25 s. Este error produce un error relativo inversamente proporcional al tiempo empleado por el vehículo en atravesar los dos lazos, error que se refleja en la medición de la velocidad.

$$\varepsilon_r(v) = \varepsilon_r(e) + \varepsilon_r(t) \quad (23)$$

El tiempo está condicionado por dos factores:

- La distancia entre los lazos (cuanto mayor sea la distancia a recorrer mayor será el tiempo empleado).
- La velocidad del vehículo (a menor velocidad mayor tiempo).

Como es obvio, no es posible alterar la velocidad del vehículo puesto que es el parámetro a medir, pero si podemos fijar la distancia existente entre los lazos. Lo primero que se nos ocurre es situar los lazos lo más alejados posible, reduciendo de este modo los errores relativos de la distancia y del tiempo. Sin embargo esta no es una buena solución puesto que grandes distancias entre puntos de medida lleva implícitos otros problemas:

- Al no poder identificar individualmente los vehículos, no es posible reconocer la relación existente entre las marcas de entrada y salida.
- Los vehículos pueden entrar o salir del carril en un punto intermedio entre los lazos, con lo que se pierde la relación entre marcas de entrada y de salida.

Desde este punto de vista, es preferible que la distancia entre los lazos sea menor que la longitud media de un vehículo, contrariamente a lo que en un principio hemos considerado como óptimo. Debemos por tanto, llegar a un compromiso a la hora de determinar la distancia entre los lazos, de manera que el error relativo que introduzcamos en la medida, no sea muy grande y no tengamos muchos problemas a la hora de determinar la correlación entre las detecciones de vehículos. La solución que hemos adoptado, consiste en tener una **distribución dinámica** de los lazos, de modo que la distancia entre ellos se modifique de acuerdo a la velocidad existente. A velocidades altas, aumentamos la distancia para que el intervalo de detección sea mayor y el error cometido sea menor, con la ventaja adicional de que la distancia entre vehículos se incrementa con la velocidad, lo que facilita la identificación individual y reduce el número de vehículos que aparecen entre los lazos. A velocidades bajas disminuiríamos la distancia, puesto que los vehículos están más agrupados, reduciendo el número de vehículos que pueden estar situados entre los lazos.

Para evitar utilizar los valores de la velocidad a la hora de fijar esta distancia, utilizaremos el valor de la ocupación espacial, puesto que ésta se encuentra directamente

relacionada con la velocidad (ver el capítulo de introducción). Ocupaciones elevadas corresponden a velocidades bajas, mientras que ocupaciones bajas lo hacen con velocidades elevadas.

A la hora de implementar el algoritmo para el cálculo de la velocidad hemos fijado tres valores para la posición longitudinal y la anchura del lazo en función de la ocupación (La tabla 1 nos muestra los valores fijados)

| OCUPACIÓN | ANCHURA | LONGITUD |
|-----------------|---------|----------|
| < 25 % | 3 | 2/3 |
| entre 25 y 55 % | 2 | 3/4 |
| > 55 % | 1 | 4/5 |

Tabla 1.- Relación de las características de los lazos en función de la ocupación espacial.

Por defecto, el primer lazo se sitúa siempre dos filas de puntos antes del extremo inferior de la máscara, puesto que en esta zona la ocultación de los vehículos es menor y se distinguen mejor las marcas de separación entre ellos.

En la figura 20 se observa un ejemplo de la localización de las diferentes posiciones y los tamaños de lazos. Únicamente los puntos incluidos dentro del rectángulo serán los empleados en el procesamiento de detección.

Implementación del algoritmo

Para realizar el cálculo de la velocidad creamos una lista circular doble, que tendrá dos índices de acceso, uno correspondiente al lazo de entrada y otro al lazo de salida (ver figura 21). Cada registro está compuesto por los siguientes datos:

- Posición de entrada. Corresponde a la fila en que se detecta la presencia de un nuevo vehículo en el lazo de entrada (l_1)
- Posición de salida. Es la fila correspondiente al lazo de salida. (l_2)
- Hora de entrada: Corresponde al momento en que entra el vehículo en el lazo de entrada (t_i)
- Hora de salida: Es el instante en que se detecta el vehículo en el lazo de salida. (t_j)
- Velocidad: Corresponde a la velocidad calculada para el vehículo.

En cada ciclo de procesamiento comprobamos la existencia de un vehículo tanto dentro del lazo de entrada y como en el de salida, comparamos el estado actual con el anterior, y verificamos si se ha producido una transición de un estado vacío a un estado ocupado, en cuyo caso hemos detectado la entrada de un nuevo vehículo, o parte de éste, en el lazo.

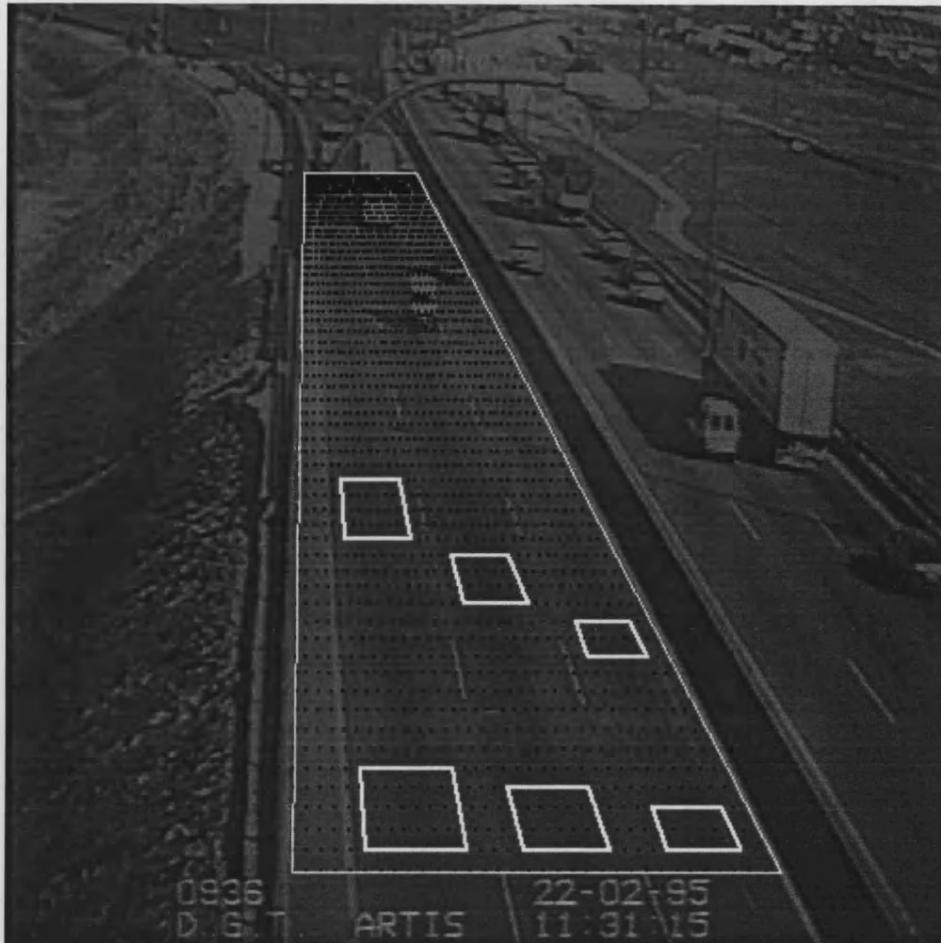


Figura 20.- Ejemplo de distribución de lazos sobre la carretera.

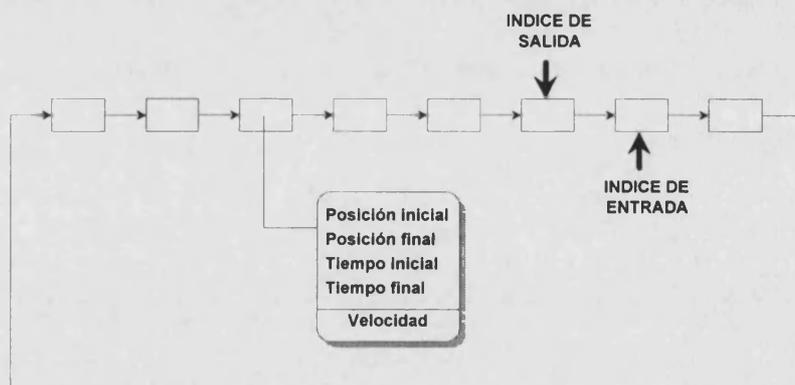


Figura 21 .- Estructura de datos para la estimación de la velocidad.

En caso de que se detecte la presencia de un nuevo vehículo procedemos del siguiente modo, dependiendo del lazo en que se haya detectado.

- Lazo de entrada.

Obtenemos la posición y la hora en que se ha localizado el vehículo e incrementamos en una posición el índice de entrada. Para evitar posibles errores, producidos por la salida de un vehículo en un punto anterior al lazo de salida o en

su detección, comprobamos el número de entradas existentes sin salida asociada (diferencia entre el índice de entrada y de salida). Si este número supera un umbral prefijado, que depende de la distancia entre lazos, consideramos que existe un desfase entre la relación de entradas y salidas e inicializamos ambos índices. Entonces, el sistema entra en una fase de inicialización en la que: se borran los contenidos de la lista, se fijan los índices al mismo registro y no se calculan nuevas velocidades hasta que se comprueba que no existen vehículos entre los lazos y la relación entrada/salida vuelve a ser correcta, es decir, no existen más marcas de salida que de entrada.

- Lazo de salida.

Como en el caso anterior obtenemos la posición y el tiempo en que se ha localizado el vehículo e incrementamos el índice de salida. Realizamos un conjunto de comprobaciones antes de validar la velocidad (en caso de error pasamos a la fase de inicialización):

- Verificamos que ni los índices ni los tiempos de entrada y salida tienen el mismo valor, puesto que ello significaría que en el mismo instante el vehículo ha entrado y salido de la zona de medición no existiendo otro vehículo en la misma, lo cual no es físicamente posible.
- Verificamos que el índice de salida no ha superado al de entrada, lo que supone que algún vehículo a entrado en la zona de medición sin ser detectado. Como no es posible decidir que marca de salida corresponde a dicho vehículo, inicializamos la lista.
- Verificamos que la velocidad obtenida se encuentre dentro de unos límites superior e inferior, respecto a los últimos valores obtenidos y que ésta sea coherente con la ocupación espacial existente, en caso contrario anulamos la velocidad y reinicializamos el proceso.

Como explicaremos más adelante (en el punto 3.5), los valores de velocidad obtenidos los mantenemos en la lista, hasta que se recalcula uno nuevo, puesto que dichos valores serán los que empleemos para obtener el valor medio de la velocidad.

IV.2.2.7.3 Cálculo del flujo

A diferencia de los procesos de cálculo de la ocupación espacial y velocidad media, que son parámetros básicos para el Sistema Central de Procesamiento, el cálculo de flujo lo hemos incorporado como respuesta a los requisitos propuestos por los ingenieros de tráfico (ver capítulo I).

Recordemos que el cálculo del flujo mediante lazos magnéticos se realiza empleando un lazo sencillo para la obtención del número de vehículos que circulan en un periodo de tiempo determinado (ver figura 22).

$$f = \frac{Veh}{t} \quad (24)$$

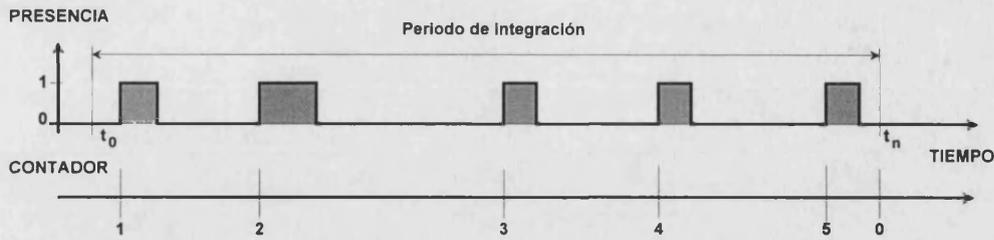


Figura 22.- Esquema del proceso de cálculo del flujo mediante un lazo.

Metodología empleada.

El procedimiento que seguimos para el cálculo del flujo consiste de nuevo en emular el funcionamiento de un lazo. Situamos sobre la imagen un lazo virtual, que como en el caso de las velocidades, fijamos en la zona inferior de la máscara y vamos comprobando la presencia de un vehículo sobre el lazo, considerando que ha pasado un vehículo cuando el lazo pasa de un estado de ocupado a vacío (ver figura 23).

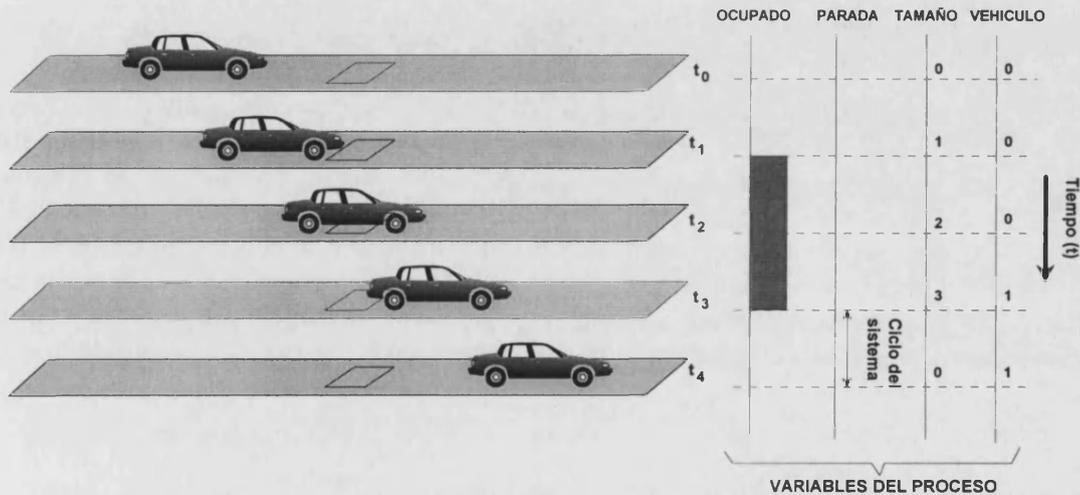


Figura 23.- Esquema del proceso de cálculo de flujos.

Sin embargo, este proceso no es sencillo, dentro de nuestra orientación hacia la DAI, ya que presenta varios problemas. Vamos a detallarlos y a ver como los hemos resuelto, para poder obtener un proceso que nos proporcione un valor del flujo lo más aproximado al real.

- Sobreposición de vehículos.

La sobreposición de vehículos está relacionada con la perspectiva de la imagen y a la hora de tratar este problema vamos a distinguir entre dos tipos de sobreposiciones: la longitudinal y la lateral (ver figura 24).

En una primera aproximación, la ocultación longitudinal aparece como más problemática, sin embargo, no es así. La ocultación lateral introduce un efecto que provoca errores en la medición que no pueden ser corregidos, mientras que el efecto que provoca la longitudinal ocultando la separación entre vehículos si es posible compensarla. Para ello vamos a definir el flujo que proporcionamos como

el número de vehículos equivalentes por hora [Conesa, 90], considerándose como vehículo equivalente a un vehículo de tamaño medio.

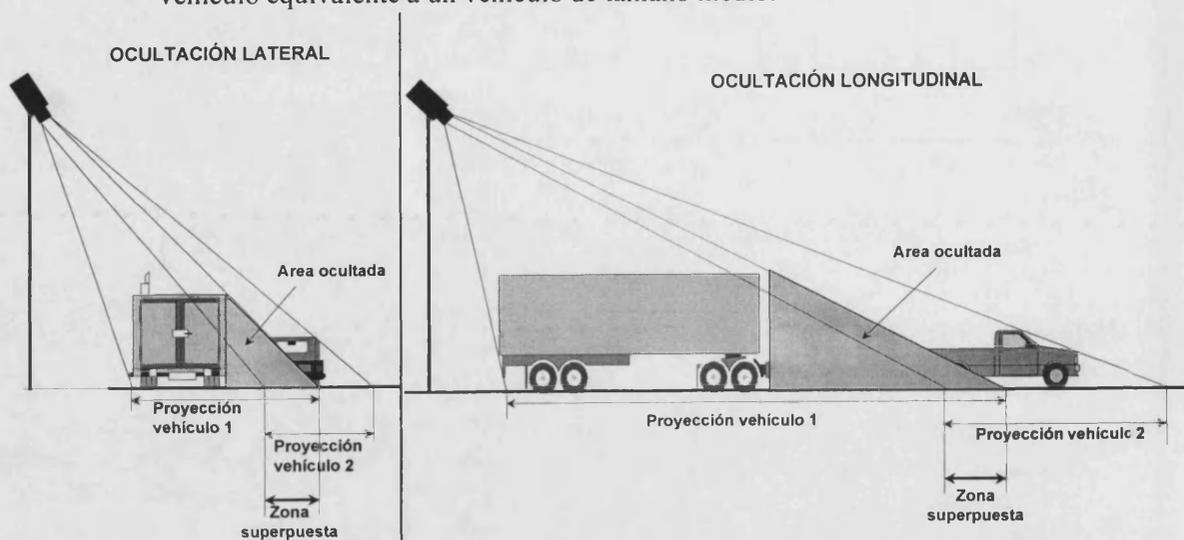


Figura 24.- Oclusión producida por la perspectiva de la cámara.

El proceso que seguimos para determinar la separación entre vehículos, cuando el sistema detecta un pelotón continuo consiste en dividir éste por el tiempo de ocupación promedio de un vehículo, obteniéndose el número de vehículos equivalentes que lo componen. (ver figura 25). Este tiempo de ocupación ("tamaño") viene expresado en ciclos de procesamiento durante los cuales el lazo virtual se encuentra ocupado y es dependiente tanto de la velocidad con la que circulan los vehículos como de la geometría de la imagen, por este motivo es un parámetro que vamos actualizando durante todo el proceso, adaptándolo a los cambios de velocidad.

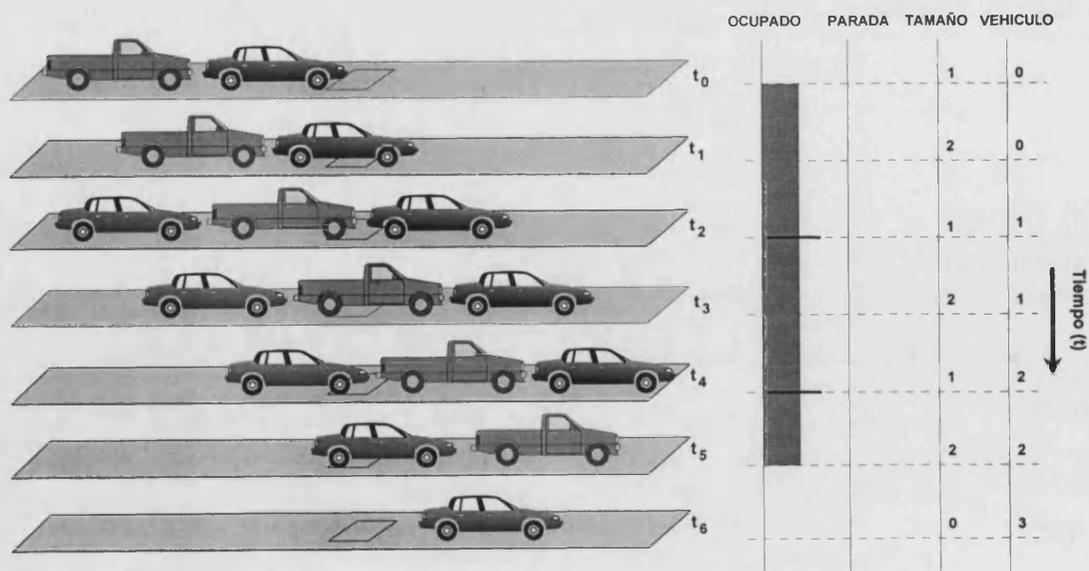


Figura 25.- Metodología empleada en casos de oclusión longitudinal.

- Parada de vehículos.

El hecho de emplear el tiempo promedio para diferenciar vehículos hace que cuando uno se para encima del lazo se incremente el contador de forma continua y periódica provocando un resultado totalmente erróneo. Para evitar esta situación no consideramos como periodo de ocupación aquel en el que el lazo se encuentra en un estado de parada (ver figura 26).

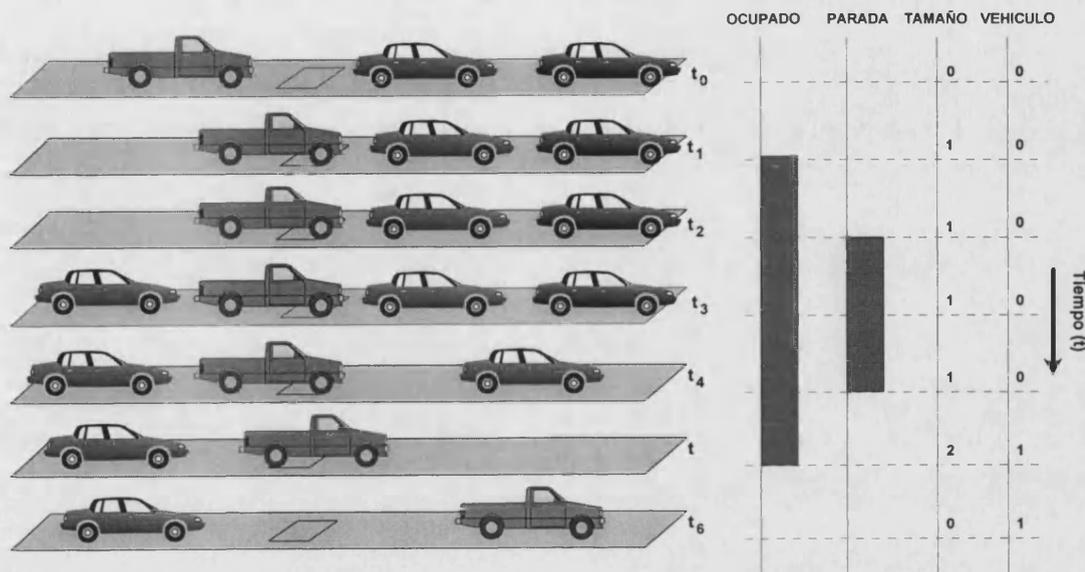


Figura 26.- Metodología empleada en situaciones de parada sobre el lazo.

- Discontinuidades en los vehículos.

La última dificultad que se nos plantea es que a diferencia de lo que ocurre con un lazo magnético real, donde los vehículos producen una perturbación continua, en la imagen no siempre es así. Ello es debido a que pueden existir vehículos que debido a su color presentan una zona que no es detectada y que puede ser confundida como una separación entre dos vehículos. La diferenciación de estos casos dependerá de las condiciones de tráfico en que se produzcan, así distinguimos entre tres niveles de ocupación:

- Baja ocupación. Los vehículos se mueven a velocidades elevadas, presentando un “tamaño” promedio muy pequeño, por lo que cualquier estado vacío obtenido por el lazo lo consideraremos asociado a los intervalos entre vehículos.
- Ocupación Media. Los vehículos se mueven a velocidades notables, presentando también un “tamaño” promedio pequeño. Serán necesarios dos ciclos vacíos para considerar la separación entre vehículos. Así, en caso de que el espacio vacío corresponda realmente a un mismo vehículo, éste será tratado como uno totalmente homogéneo, mientras que si corresponde a una separación entre dos vehículos ambos serán considerados como un sólo bloque, aunque serán divididos en dos debido al “tamaño” del mismo.
- Alta ocupación. La velocidad media es más reducida existiendo incluso periodos de paradas prolongados y teniendo los vehículos un

tamaño promedio elevado. En este caso, el número de ciclos necesarios para establecer la diferencia entre dos vehículos será proporcional al tiempo en que ha estado etiquetado como parado el estado ocupado previo. En este caso, los vehículos deben superar un “tamaño” mínimo, para poder considerarse como independientes e incrementar el contador.

IV.2.2.8 Actualización de la imagen de referencia

Recordemos que uno de los procesos de la fase de inicialización consistía en la adquisición de la imagen de referencia. Esta imagen, que en principio corresponde con el fondo, se va degenerando gradualmente, al modificarse las condiciones de luminosidad de la escena, por lo tanto hay que ir actualizándola de forma dinámica.

La metodología que hemos escogido para llevar a cabo esta actualización es el de **actualización selectiva**, (descrito en el punto IV.2.1.3) cuya fórmula corresponde a:

$$a_r(x, y) = \frac{f_r(x, y) + (r - 1) \cdot a_{r-1}(x, y)}{r} \quad (25)$$

donde hemos fijado $r = 30$, para determinar la tendencia de la imagen de referencia a cambios en el fondo.

Dos van a ser los criterios de selección que determinarán que puntos de la imagen que serán actualizado en cada ciclo de procesamiento:

1. Que se trate de un punto clasificado como fondo.
2. Que se trate de un punto clasificado como objeto, con un tiempo de parada superior a un umbral (UMBRAL_ACT) y que no tenga vecinos clasificados como objetos.

La primera condición se emplea para considerar pequeñas variaciones en el fondo de la imagen, puesto que supondremos que el fondo no varía de forma brusca de una imagen a otra.

La segunda condición permite actualizar zonas de la imagen que por una razón u otra, se están considerando como objetos estáticos pero que no tienen un tamaño lo suficientemente grande para constituir un vehículo. Este efecto se produce cuando existen sombras fijas sobre la carretera que se van desplazando lentamente produciendo variaciones notables del fondo en sus límites.

IV.3. MODULO DE VISIÓN ARTIFICIAL

El papel del módulo de visión artificial es el de describir la escena, en función de los datos sobre la presencia de vehículos proporcionados por el MPI, como paso intermedio para su posterior interpretación por el módulo de detección de incidentes. La figura 27 describe el conjunto de procesos realizados dentro del MVA.

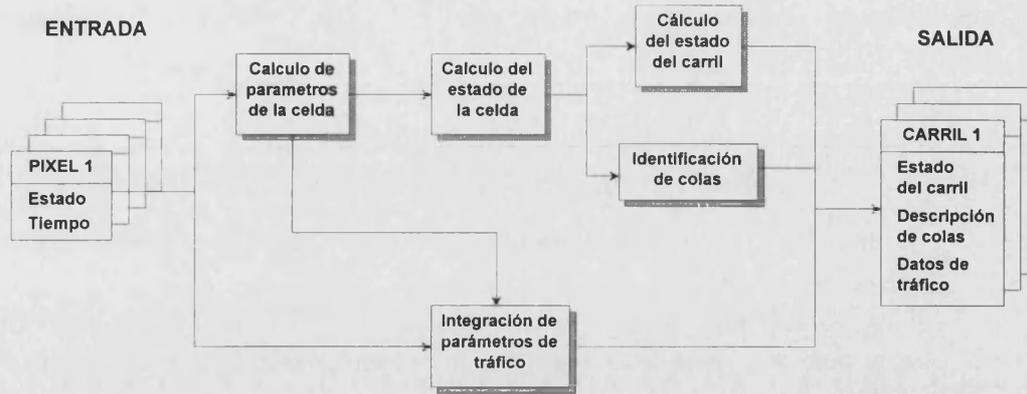


Figura 27.- Procesos del módulo de visión artificial

IV.3.1 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DESCRIPTIVOS DE LA CELDA

Como ya se ha indicado, nuestra aproximación trabaja descomponiendo el tramo de carretera analizado en carriles y estos en celdas (ver figura 28).

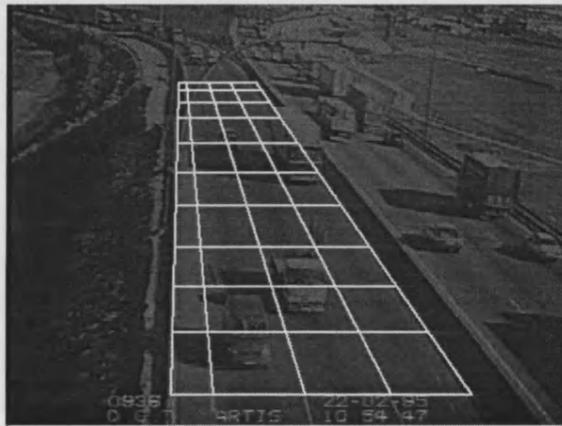


Figura 28.- Descomposición de la carretera en carriles y celdas

Esta descomposición está inspirada en la empleada por UCL (ver capítulo III). El primer proceso consiste en la determinación de los parámetros básicos asociados a cada celda. Estos parámetros son cinco:

- **Porcentaje de ocupación:** Representa la proporción de puntos con estado ocupado o parado que se encuentran contenidos dentro de la celda. Todos los pixel en estado de parada se encuentran obviamente ocupados. El porcentaje de ocupación tiene un rango de 0 a 100 y viene calculado por la siguiente fórmula:

$$\%_{OCUP} = \frac{\sum Pixel - \sum Pixel_{vacío}}{\sum Pixel} \cdot 100 \quad (26)$$

Sin embargo, existen perspectivas en las cuales hay puntos de las celdas que nunca están ocupados por vehículos, por lo que el % de ocupación deja de poseer la misma relación de una celda a otra. Con el fin de homogeneizar la relación entre celdas, hemos modificado la definición del porcentaje de ocupación, para pasar a interpretarlo como la proporción de puntos ocupados respecto al número máximo

de puntos que pueden estar ocupados en la celda (MAX_OCU) . Así la fórmula 1 pasa a ser:

$$\%_{OCUP} = \frac{\sum Pixel - \sum Pixel_{vacio}}{MAX_OCU} \cdot 100 \quad (27)$$

El valor de MAX_OCU lo vamos recalculando periódicamente para ir adaptándolo a la situación existente.

- **Porcentaje de parada:** Representa la proporción de puntos etiquetados con estado de parada respecto a los puntos ocupados de la celda. Se calcula mediante la fórmula:

$$\%_{PARA} = \frac{\sum Pixel_{parada}}{\sum Pixel - \sum Pixel_{vacio}} \cdot 100 \quad (28)$$

- **Tiempo medio de ocupación:** Representa el tiempo promedio en estado de ocupación o parada de los pixeles ocupados o parados. La fórmula empleada es la siguiente:

$$T_{OCUP} = \frac{\sum t_{ocupado}}{\sum Pixel - \sum Pixel_{vacio}} \quad (29)$$

Tiempos bajos de ocupación suelen corresponder a vehículos que pasan a alta velocidad, mientras que valores elevados corresponden a situaciones de tráfico lento, o grandes camiones.

- **Tiempo medio de parada:** Representa el tiempo promedio en estado de parada de los pixeles parados. La fórmula empleada es:

$$T_{PARA} = \frac{\sum t_{parada}}{\sum Pixel_{parado}} \quad (30)$$

- **Relación de presencia:** A diferencia de los parámetros anteriores, la relación de presencia representa la relación temporal existente entre los ciclos, durante los cuales una celda se encuentra vacía u ocupada:

$$T_{PRES} = \frac{C_{ocupado}}{C_{vacio}} \quad (31)$$

Siendo:

$C_{ocupado}$: El número de ciclos en que la celda tiene estado ocupado.

C_{vacio} : El número de ciclos en que la celda tiene estado vacío.

El valor de $C_{ocupado}$ se incrementa en una unidad cada vez que la celda está ocupada y se decrementa en una unidad, cuando está vacía, y al revés ocurre con C_{vacio} . Por lo tanto, cuanto más tiempo se encuentre una celda en estado ocupado, mayor será el valor de la relación de presencia.

IV.3.2 CÁLCULO DEL ESTADO DE LA CELDA

Este módulo trata de estimar el estado de tráfico dentro de cada una de las celdas de forma individual. Hemos diferenciado 5 niveles, que corresponden a diferentes situaciones:

- **VACÍO:** No existe ningún vehículo dentro de la celda.
- **NORMAL:** Cuando existen vehículos dentro de la celda que circulan en unas condiciones que se consideran normales. No existe ninguna situación anómala.
- **DENSO:** Cuando existen vehículos dentro de la celda que circulan de forma continua, aunque la ocupación sea bastante elevada. La velocidad con la que circulan es moderada o baja.
- **CONGESTIONADO:** Cuando existen vehículos dentro de la celda que circulan lentamente o que incluso se encuentran momentáneamente parados.
- **PARADO:** Cuando los vehículos situados dentro de la celda se encuentra parados durante un tiempo que supera un umbral mínimo.

La identificación de estos estados la realizamos mediante la aplicación de un conjunto de reglas basadas en los parámetros característicos de cada celda, que hemos definido anteriormente.

- Porcentaje de ocupación
- Porcentaje de parada
- Tiempo de ocupación
- Tiempo de parada
- Relación de presencia.

Para simplificar el proceso de análisis y reducir el número de reglas que se emplean clasificaremos los valores de los parámetros en tres niveles (NULO, BAJO y ALTO) de acuerdo con la siguiente función:

$$f(x) = \begin{cases} x < U_{MIN} & \rightarrow NULO \\ U_{MIN} \leq x < U_{MAX} & \rightarrow BAJO \\ x \geq U_{MAX} & \rightarrow ALTO \end{cases} \quad (31)$$

representando:

- **NULO:** Cuando el parámetro no alcanza el valor suficiente para ser considerado como significativo dentro de la celda.
- **BAJO:** Cuando el valor del parámetro es suficiente para ser considerado como significativo, aunque se considera como bajo respecto al valor umbral.
- **ALTO:** Cuando el valor del parámetro se puede considerar como significativo y además supera el umbral máximo.

Para cada parámetro existe unos umbrales diferentes predefinidos y que pueden ser modificados fácilmente por el operador. Los valores fijados por defecto son los que muestra la tabla 2.

| PARÁMETRO | U_{MINIMO} | U_{MAXIMO} |
|--------------|---------------------|---------------------|
| % ocupación | 20 | 50 |
| % parada | 0 | 85 |
| T ocupación | 1 | 5 |
| T parada | 1 | 4 |
| R. presencia | 10 | 30 |

Tabla 2.- Valores de los umbrales empleados en el cálculo del estado de la celda

Es conveniente ajustar estos parámetros para cada MLP instalado para obtener mejores resultados de acuerdo a las características propias de cada zona.

Una vez cualificados los parámetros de cada celda, pasamos a calcular el estado de la misma, para lo que seguimos el proceso representado en la figura 29, y que describimos a continuación.

- (a) Comprobamos si la celda se encuentra vacía, para lo cual verificamos la siguiente condición.

*“Si el % de ocupación es NULO entonces el estado es: VACÍO, (32)
sino se pasa a (b).”*

- (b) Comprobamos si los tiempos de parada y ocupación son pequeños, lo que significa que el tráfico es fluido y se mueve a una buena velocidad.

*“Si el tiempo de ocupación y de parada son NULOS, entonces (33)
el estado es: NORMAL, sino se pasa a (c).”*

- (c) En función de los valores de los cuatro parámetros anteriores buscamos en la base de reglas la combinación que corresponde a la situación descrita y obtenemos el estado asociado a la misma. A la hora de realizar la búsqueda, los valores NULO se transforman en BAJO puesto que tienen la misma repercusión.

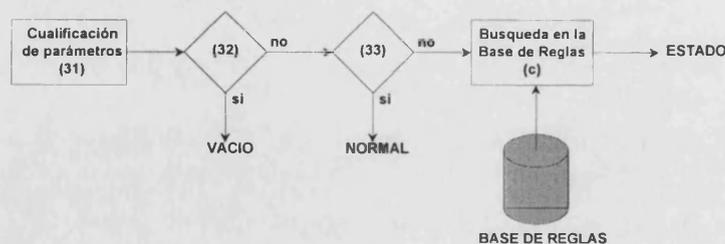


Figura 29.- Algoritmo para la determinación del estado de la celda

IV.3.2.1 Descripción de las reglas

La base de reglas contiene todas las combinaciones de los posibles valores de estado de la celda (% ocupación, % parada, t.ocupación, t.parada, relación de presencia) y asociados a las mismas la descripción de la escena correspondiente a dicha combinación.

Cada regla está formada por una clave de acceso, correspondiente a un quinteto de valores, y un valor de salida, correspondiente al estado (ver figura 30). De este modo, podemos conocer fácil y rápidamente cual es el estado de la celda correspondiente a sus descriptores.

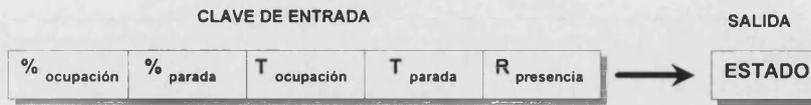


Figura 30.- Estructura de la reglas de estado

A continuación vamos a detallar las reglas constitutivas del corazón del MVA, incluyendo la descripción de la situación asociada a cada quinteto de valores. Hemos de mencionar que estas reglas hacen referencia únicamente a los cuatro primeros descriptores de la situación de la celda, puesto que la *relación de presencia* únicamente la hemos utilizado para incrementar el estado asociado a los valores en un nivel debido a que la celda se encuentra ocupada la mayor parte del tiempo. Además, algunas de las reglas aplicadas llevan asociados dos estados diferentes, siendo necesario acudir a la información sobre el estado anterior para poder determinar cual de ellos es el que corresponde a la celda (para poder identificar este tipo de reglas definimos un estado mixto). Para facilitar la interpretación de las reglas, muchas de ellas están acompañadas de una figura explicativa. En ella encontramos dos partes:

- *Escena*: En la que tratamos de representar gráficamente la evolución de situación real a lo largo del tiempo, y que esta formada por un tramo de carretera, dividido en celdas, sobre la que se mueven vehículos y que contiene una celda más destacada que corresponde a la celda analizada. El tamaño del vector de velocidad es proporcional a la velocidad del vehículo.
- *Celda*: En la que representamos la interpretación teórica que el sistema da a los píxeles que componen la celda de estudio. Hemos definido una escala de colores para representar esta situación (figura 31), y que será válida para todas las figuras.



Figura 31.- Significado del estado de la celda.

Las posibles situaciones son las que vamos a describir a continuación.

1. *(Bajo, Bajo, Bajo, Bajo) = NORMAL*

La celda está poco ocupada, lo que significa que contiene sólo parte de un vehículo, además el tiempo que ha permanecido en estado de ocupado es bajo lo que interpretamos como el vehículo se mueve rápidamente y además está suficientemente espaciado del de delante. Los valores de parada no son relevantes en este caso. (Puede corresponder al caso "t" o "t+2" de la figura 32).

2. *(Bajo, Bajo, Bajo, Alto) = NORMAL*

Este caso corresponde a la misma situación que el anterior. La presencia de un tiempo de parada elevado no es significativa puesto que el porcentaje de píxeles en estado de parada es pequeño respecto al de píxeles ocupados que también es pequeño, por lo que el total de píxeles en estado de parada será muy pequeño. Esta

situación puede estar producida por alguna pequeña marca dentro de la imagen que se considera como algo estático dentro de la imagen pero que no tiene efecto sobre el estado final.

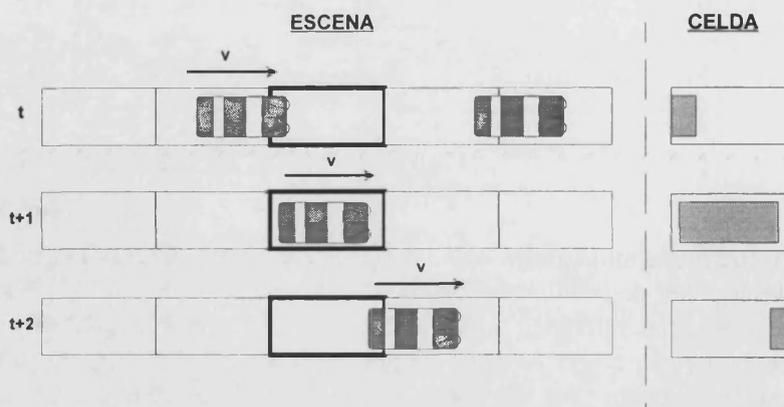


Figura 32.- Detección de un vehículo con velocidad normal.

3. (Bajo, Bajo, Alto, Bajo) = NORMAL o DENSO

Como en los casos anteriores La celda está poco ocupada, lo que significa que un vehículo puede estar entrando o saliendo de la misma, no existiendo otros vehículos dentro de ella. Además, el hecho de que el porcentaje y el tiempo de parada sean bajos implica que el vehículo se está moviendo en los dos casos. Analicemos las dos situaciones posibles:

- Entrada: Si el tiempo de ocupación es alto, ello es debido al hecho de que las celdas permanecen mucho tiempo ocupadas, pero como el vehículo acaba de entrar, la causa sólo puede estar en que dicho vehículo se mueve lentamente (Ver situación "t" en figura 33). Tenemos un incidente de vehículo lento, sin embargo, como sólo hay una pequeña parte del mismo dentro de la celda, a esta celda se marca con estado NORMAL si el estado del ciclo anterior es menor o igual a NORMAL, o DENSO si es mayor. En cualquier caso, será la celda anterior, que contiene la mayor parte del vehículo, la que refleje esta situación.

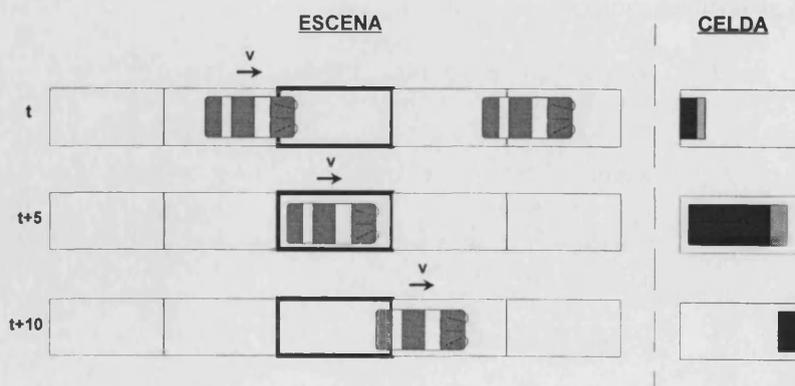


Figura 33.- Detección de un vehículo lento.

- Salida: Si el vehículo se encuentra en la zona de salida la causa también puede ser un vehículo o grupo de vehículos lentos (ver caso “t+10” en figura 33), sin embargo, como el vehículo está saliendo de la celda también puede ser que su velocidad sea moderada dentro de los límites de una situación normal (ver caso “t+6” en figura 34). Por tanto, se comprobará el estado en el ciclo anterior y se asignará un estado NORMAL si anteriormente tenía un estado menor o igual a NORMAL sino se le asigna DENSO.

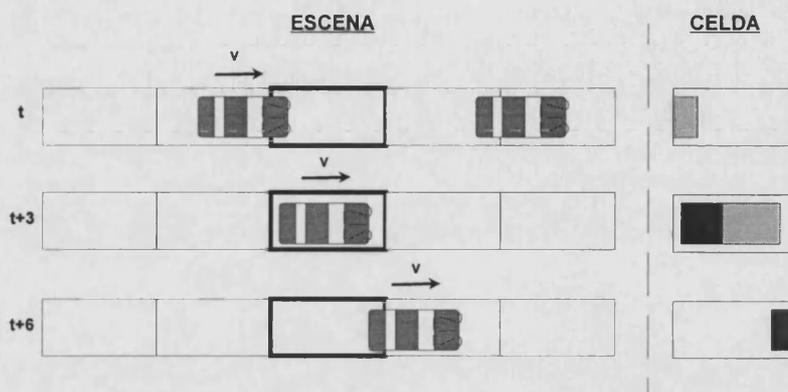


Figura 34.- Detección de un vehículo con velocidad moderada.

4. (Bajo, Bajo, Alto, Alto) = NORMAL o DENSO

En este caso es el mismo que el 3, y ocurre la misma situación que entre el caso 1 y 2.

5. (Bajo, Alto, Bajo, Bajo) = NORMAL

El bajo porcentaje de ocupación indica que sólo una parte de un vehículo está contenida en la celda. El elevado porcentaje de parada indica que el vehículo se ha parado, y como el tiempo de parada es bajo este indica que el vehículo acaba de detenerse. Dos situaciones pueden producir este efecto, en función de que el vehículo se encuentre a la entrada o a la salida de la celda:

- Si el vehículo se encuentra a la entrada este podía llevar cualquier velocidad antes de detenerse, puesto que el valor del tiempo de ocupación es bajo. Como el vehículo se acaba de detener y no ocupa más que una parte pequeña de la celda consideraremos el estado de la celda NORMAL. La celda anterior reflejara el verdadero estado de parada. Puede tratarse de una parada ante una cola, aunque lo más probable es que se trate de una parada de un vehículo aislado.
- Si el vehículo se encuentra a la salida, el hecho de que el tiempo de ocupación sea bajo significa que el vehículo se movía normalmente y se ha parado de forma más o menos repentina, porque ha llegado al final de una cola (ver caso “t+3” de la figura 35) o se ha detenido voluntariamente. Como el porcentaje dentro de la celda es pequeño consideraremos el estado de la celda NORMAL, puesto que la celda de delante estará reflejando la situación de cola, además si realmente se trata de una cola, en pocos ciclos el porcentaje de ocupación dentro de la celda se habrá incrementado cuando se detenga otro vehículo.

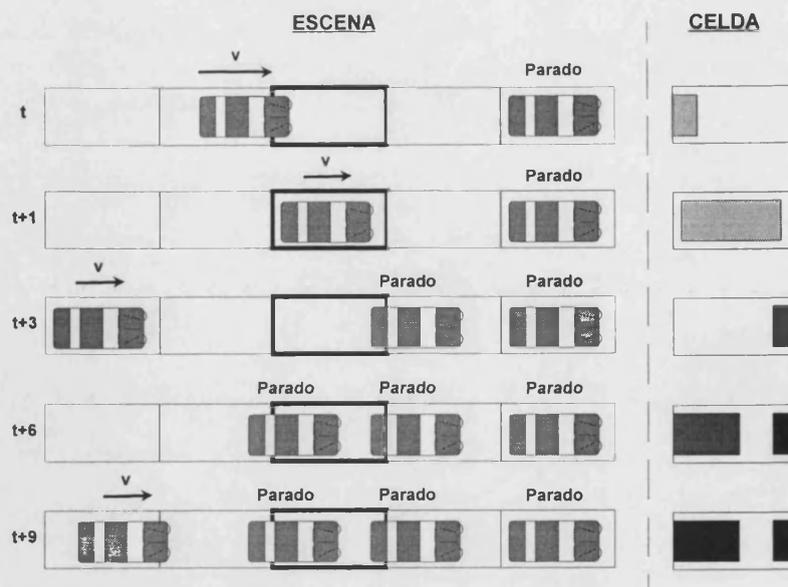


Figura 35.- Detección de una cola.

6. *(Bajo, Alto, Bajo, Alto) = NORMAL*

Este no es un estado que tenga una correlación con una situación real. Supone que la celda se encuentra poco ocupada, en su mayor parte en estado de parada. Sin embargo el tiempo de parada es alto mientras que el de ocupación es bajo, lo que no es compatible en este caso. Sin embargo, es posible obtener esta combinación como pequeñas desviaciones de otras combinaciones que provocan un desplazamiento de alguno de los umbrales a esta situación. Puede corresponder a:

- *(Bajo, Alto, Alto, Alto)*: en donde aparecen algunos puntos ocupados, no parados, con un tiempo de ocupación muy bajo causados por ruido de la imagen o por pequeñas partes de otros vehículos en movimiento que afectan a la celda.
- *(Bajo, Alto, Bajo, Bajo)*: la presencia de algún pixel erróneo con estado de parada tendría valores de parada muy elevados que podrían subir la media del tiempo de parada sobre el umbral máximo.
- *(Bajo, Bajo, Bajo, Alto)*: la explicación es la misma que para esta situación, salvo la excepción de que el número de celdas de parada llega a superar el umbral máximo.

En cualquier caso, este estado corresponde a una situación transitoria, que tiende a desplazarse a otros estados mejor definidos, por lo tanto y con tal de no incrementar el número de falsas alarmas del sistema se ha optado por asignarle un estado de NORMAL.

7. *(Bajo, Alto, Alto, Bajo) = DENSO*

Esta situación puede corresponde a grupos de vehículos circulando lentamente, con pequeñas paradas entre ellos. Situación de tráfico lento. El bajo porcentaje de ocupación puede estar debido a tres causas:

- La presencia de espacios vacíos entre los grupos de vehículos.

- Errores de detección del módulo de procesamiento de imágenes que hace que el número de píxeles asociados a un vehículo sea menor que el realmente ocupado por dicho vehículo.
- Únicamente afecten al carril una parte de los vehículos, quedando el resto de la celda sin reportar circulación.

En cualquier caso el estado que se le asigna es DENSO.

8. *(Bajo, Alto, Alto, Alto) = PARADO*

Es una situación típica de un vehículo parado que se encuentra parcialmente situado dentro de la celda. El estado de la celda corresponderá por tanto a PARADA.

9. *(Alto, Bajo, Bajo, Bajo) = NORMAL*

Tenemos una situación análoga al caso 1, pero ahora el vehículo, o grupo de vehículos, ocupa una gran parte de la celda, por lo que el valor de la ocupación es alto. Como el valor del tiempos de ocupación es bajo significa que el vehículo se mueve con una buena velocidad, por lo que el estado de la celda será NORMAL. (ver caso "t+1" en la figura 32).

10. *(Alto, Bajo, Bajo, Alto) = NORMAL o PARADA*

Esta situación no puede ser producida por un único elemento ya sea por un vehículo o grupo de vehículos juntos. Para que se de deben de coexistir sobre la misma celda dos elementos diferentes. El primero de ellos ocupará la mayor parte de la celda y se moverá a una velocidad considerable, mientras que el segundo ocupara una porción de la misma y permanecerá parado (ver figura 36). El objeto parado puede ser parte de un vehículo o una pequeña marca o sombra sobre la carretera. En el primer caso, el estado deberá corresponder a PARADA y en el segundo a NORMAL. Para ello se verificará el estado anterior de la celda, si es mayor que NORMAL se le asignará un estado de PARADA, sino NORMAL. El hecho de considerar el elemento parado como vehículo o no, es un tema de umbrales. Si el objeto es mayor que el umbral de ocupación mínimo se admitirá sino se rechazará.

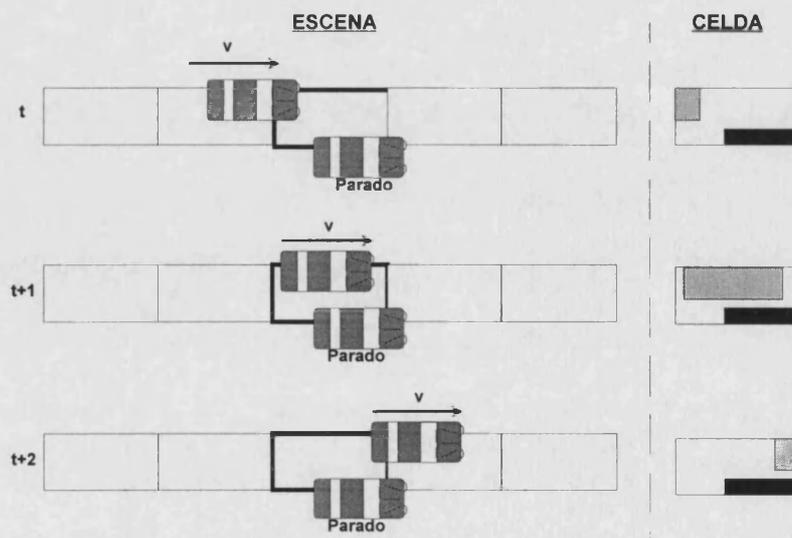


Figura 36.- Detección de una vehículo parado parcialmente en la celda.

11. (Alto, Bajo, Alto, Bajo) = *DENSO*

Existe un alto porcentaje de ocupación, lo que supone que la mayor parte de la celda se encuentra ocupada por vehículos y el tiempo de ocupación es alto, lo que supone que los vehículos circulan suficientemente juntos para que no se detecten huecos entre ellos, es decir, van a baja velocidad. Sin embargo, como los valores del tiempo de parada son bajos, implica que estos no llegan a pararse prácticamente, sino que se mueven de forma más o menos continua (ver figura 37). Su estado se define como *DENSO*.

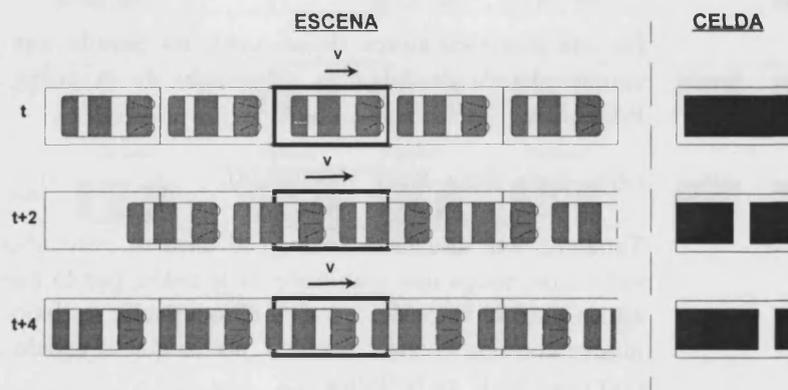


Figura 37.- Detección de circulación lenta.

Existe otra situación que puede responder a este patrón de comportamiento, y es cuando se trata de un vehículo lento circulando por el carril y que ha entrado en su mayor parte dentro de la celda (ver caso "t+5" figura 33). Aunque los vehículos lentos se pueden considerar como un tipo de incidente que debe ser reportado, el estado de la celda se va a definir como *DENSO*. La interpretación de la situación de incidente será realizada por el módulo de detección de incidentes.

12. (Alto, Bajo, Alto, Alto) = *CONGESTIÓN*

Esta situación es similar al caso anterior, pero ahora existen algunas zonas de la celda que permanecen paradas durante largo tiempo. El porcentaje de estas zonas es relativamente pequeño por lo que estos puntos suelen corresponder a sombras o a un vehículo, mayoritariamente ocultado, que permanecen inmóviles sobre la celda, con un elevado tiempo de parada. En este caso, se va a despreciar el objeto parado pero se va a incrementar la severidad de la situación pasando el estado de la celda de *DENSO* a *CONGESTIÓN*.

13. (Alto, Alto, Bajo, Bajo) = *DENSO*

Esta situación corresponde a un vehículo o grupo de vehículos que moviéndose a una velocidad razonable, se acaba de parar dentro de la celda, ya que los tiempos de ocupación y parada son ambos bajos. La parada de este vehículo puede ser producida por una cola aguas arriba (ver caso "t+6" figura 34) o tratarse de un incidente correspondiente a un vehículo parado (ver caso "t+6" de la figura 38). Sin embargo, como el tiempo en que el vehículo permanece parado es pequeño, y para evitar de que se trate de un error, antes de definir el estado de la celda como *PARADO* lo definimos como *DENSO*. Esta definición, aunque no es totalmente exacta con la realidad es útil en la determinación de las colas y puede considerarse

como transitoria, puesto que si el vehículo permanece más tiempo al final se considerará como PARADO.

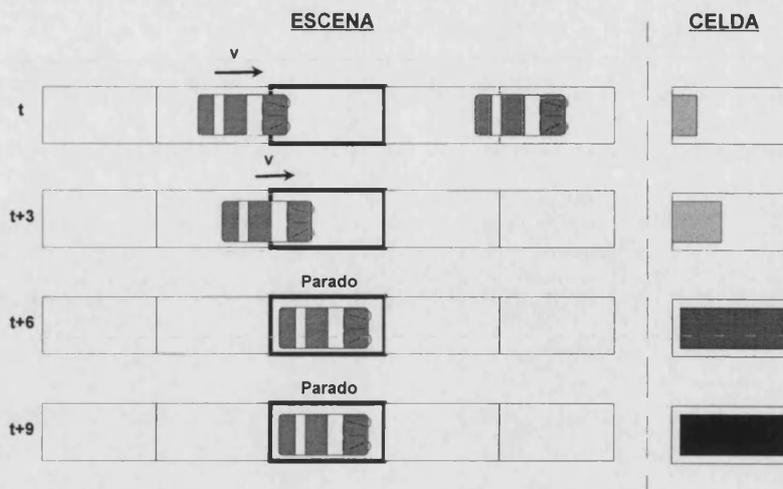


Figura 38.- Detección de la parada de un vehículo.

14. *(Alto, Alto, Bajo, Alto) = PARADO*

Esta situación puede parecer poco real por el hecho de que el tiempo de parada sea mayor que el tiempo de ocupación. Sin embargo, si se tiene en cuenta la definición del tiempo de parada y ocupación, esto puede ocurrir cuando la proporción de vehículo dentro de la celda esta cercana a los valores umbrales, semejante a lo que ocurre en el caso 10. Si sobre la celda pasan sombras o partes de vehículos que circulan por otros carriles el porcentaje de ocupación aumentará, pero estas nuevas zonas ocupadas tendrán un tiempo de ocupación muy bajo, por lo que el tiempo medio se reducirá, manteniéndose o incrementándose el tiempo de parada. El caso típico que responde a esta situación es un vehículo parado, arrimado al arcén pero con parte del vehículo dentro de la celda. En cualquier caso, el estado corresponderá a PARADA.

15. *(Alto, Alto, Alto, Bajo) = CONGESTIÓN*

Corresponde a situaciones de tráfico denso, en las que los vehículos se mueven muy despacio, con paradas frecuentes pero de corta duración. Esta situación se combina con la correspondiente a *Alto, Bajo, Alto, Bajo*, definida como DENSA, aunque el estado actual es más severo que el anterior y se define como CONGESTIÓN.

16. *(Alto, Alto, Alto, Alto) = PARADA*

Esta es la típica situación de un vehículo parado sobre la celda (ver caso “t+9” de la figura 38), en la que el porcentaje de ocupación y de parada son ambos altos, la mayor parte de los pixeles están en estado de parada y los tiempos de ocupación y parada son también altos. El vehículo ha permanecido parado durante un tiempo considerable. La causa de la parada, por una cola aguas arriba o por el propio vehículo no se puede determinar a nivel de celda y se realizará en el MDI.

IV.3.3 CÁLCULO DEL ESTADO DEL CARRIL

El estado del carril define la situación global del tráfico para el tramo de carril incluido dentro del campo de visión de la cámara. Esta situación se describe con los mismos estados definidos para las celdas. Para poder realizar operaciones matemáticas con los estados le asignamos a cada uno de ellos un peso, que corresponde con la severidad de la situación representada:

- Vacío 0
- Normal 1
- Denso 2
- Congestionado 3
- Parado 4

Definimos el estado del carril como la moda de todas las celdas que componen el carril. En caso de que existan dos o más valores que se repitan el mismo número de veces, este corresponderá al valor medio de los estados. El ejemplo de la figura 39 muestra que la moda nos indica de forma más exacta el estado de tráfico existente en la carretera, independientemente de la existencia de incidente. En dicha figura hemos representado un carril en el que se ha parado un vehículo grande en condiciones de tráfico normales. Calculando la moda, el estado predominante es el NORMAL, mientras que con la media obtenemos un estado DENSO, que no corresponde al valor real.

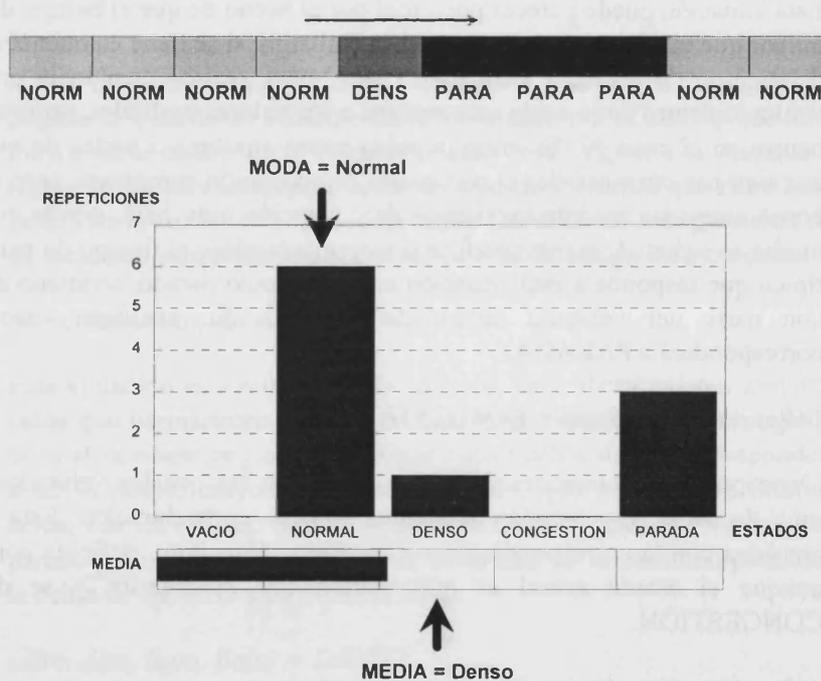


Figura 39.- Ejemplo de estimación del estado del carril

De la definición anterior deducimos fácilmente que cuando existe una cola dentro del carril, el estado del mismo puede pasar de ser NORMAL a PARADO de un ciclo a otro. Parece más lógico incluir un estado más que abarque este tipo de situaciones, que corresponden claramente a una onda.

Dos son las razones por las que no se ha empleado este estado:

- La primera es que el estado de ONDA es un estado transitorio de corta duración y no es adecuado a la hora de incluirlo como descripción de la situación del tráfico.
- La segunda y más importante, es que las situaciones de onda se describen mucho más detalladamente en el proceso de identificación de colas. Informando en el punto en el que se crean, las celdas que afectan, etc.

IV.3.4 IDENTIFICACIÓN DE COLAS

Mediante el proceso de identificación de colas tratamos de describir la situación existente en el carril. Dos son las hipótesis iniciales con las que trabajamos:

1. El tramo de carril comprendido en el campo de visión de la cámara no presenta discontinuidades
2. Sólo es necesario reportar la presencia de un incidente dentro del carril aunque existan varios.

IV.3.4.1 Parámetros descriptivos

Teniendo en cuenta estas hipótesis clasificamos las colas en función de los siguientes parámetros, la figura 40 muestra el valor de estos parámetros sobre un ejemplo.

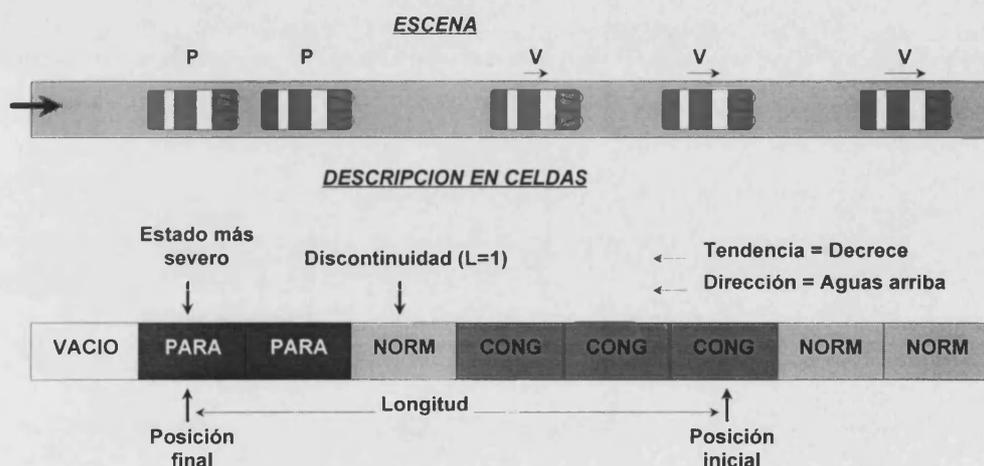


Figura 40.- Parámetros con los que se describe una cola.

- *Posición inicial:* Corresponde al punto donde comienza la cola tomando como origen del carril la celda más próxima al tramo situado aguas arriba del segmento analizado.
- *Posición final:* Corresponde al punto donde termina la cola.
- *Lista de discontinuidades:* Como consecuencia de la segunda hipótesis admitimos la posibilidad de que existan celdas con estado NORMAL o VACÍO entre la posición inicial y final de la cola. Por lo que en la descripción de la misma le asociaremos una lista con el número y tamaño de las discontinuidades.
- *Estado más severo:* Corresponde al estado más severo existente en las celdas del carril.
- *Tendencia:* Indica cual es la tendencia de expansión de la cola. Distinguimos tres posibilidades:

- **Crece:** La cola incrementa su tamaño en número de celdas que la componen.
- **Decrece:** La cola decreta su tamaño en número de celdas.
- **Estable:** No varía el tamaño de la cola.
- **Dirección:** Indica cual es la dirección del movimiento de la cola. Distinguimos tres posibilidades que se definen en función de la tendencia de la cola:
 - **Aguas arriba:** Cuando la cola se desplaza aguas arriba.
 - **Aguas abajo:** Cuando la cola se desplaza aguas abajo.
 - **Nulo:** Cuando no se mueve la posición de la cola
- **Tiempo de crecimiento:** Indica el tiempo de vida de la cola, y es valido mientras que la interpretación de la cola corresponda al mismo tipo de incidente. El tiempo de permanencia se va incrementando siempre que la cola tenga un signo de tendencia positiva y se mantiene sin modificar si tiene signo negativo. Como se observa en la figura 41, el signo es positivo cuando la cola pasa a una tendencia de crecimiento y negativo cuando pasa a uno de decrecimiento, manteniéndose el valor del signo mientras permanece estable.

El hecho de que el tiempo de cola se mantenga congelado cuando la tendencia de la cola es a desaparecer se emplea para comparar, junto con la severidad, la situación de dos colas, permitiendo que el tiempo de crecimiento de una cola nueva pueda llegar a superar el de una ya existente, siempre y cuando la primera tenga una tendencia positiva y la última negativa.

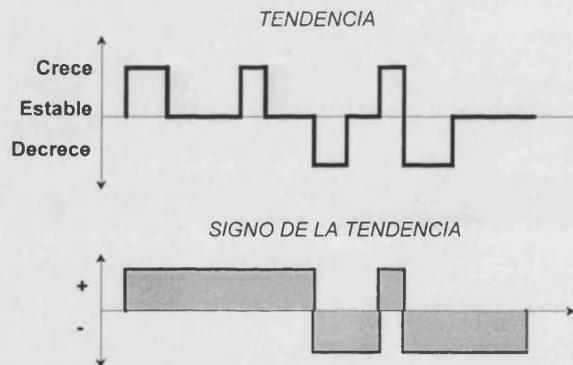


Figura 41.- Signo de la tendencia de evolución de una cola.

- **Severidad de la cola:** Indica la severidad de la cola en función de su tamaño y el estado de las celdas que la componen. La fórmula empleada es la siguiente:

$$Seve = \frac{\sum_{Inicio}^{Fin} Estado}{L_{carril} \cdot Parada} \cdot 100 \% \quad (34)$$

IV.3.4.2 Descripción del proceso

Una vez conocidos los descriptores empleados para clasificar las colas vamos a describir el proceso de caracterización. La figura 42 nos muestra las fases de este procesos, que detallamos a continuación:

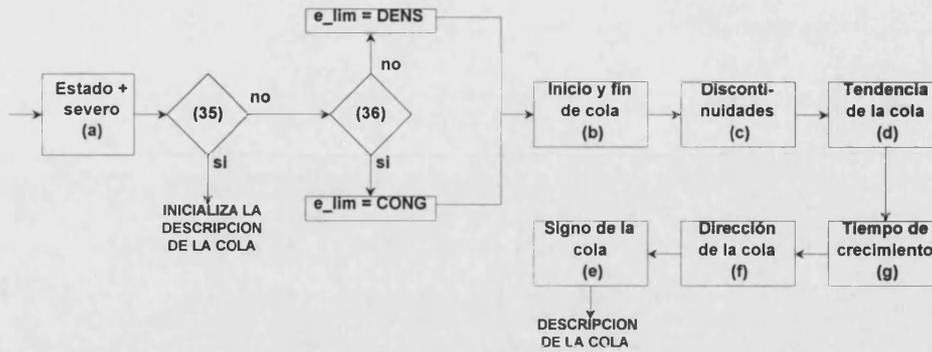


Figura 42.- Proceso de descripción de colas.

- (a) Identificamos el estado más severo. Localizamos el estado más severo existente en las celdas que componen el carril. En función del tipo de objeto vamos a aplicar un algoritmo u otro para lo que emplearemos una variable auxiliar interna (e_lim):

“Si el estado más severo es VACÍO o NORMAL, entonces no existe cola y las descripciones son inicializadas a valores nulos.” (35)

“Si el estado más severo es DENSO, entonces e_lim es igual a DENSO y se calculan el resto de parámetros.” (36)

“Si el estado más severo es PARADO o CONGESTIONADO, entonces e_lim es igual a CONGESTIONADO y se calculan el resto de parámetros.” (37)

- (b) Identificamos el principio y final de la cola.

- (c) Buscamos las discontinuidades existentes entre el principio y fin de la cola, y obtenemos su tamaño en celdas. La condición para considerar una celda discontinua es:

“Si el estado de la celda es menor que e_lim , entonces la celda es una discontinuidad de la cola.” (38)

- (d) Calculamos la tendencia de la cola comparando la longitud actual con la anterior.

“Si $L(t)$ es mayor que $L(t-1)$ la cola CRECE, sino, si $L(t)$ es menor que $L(t-1)$ la cola DECRECE, sino permanece ESTABLE.” (39)

- (e) Calculamos el signo de la tendencia de la cola.

“Si la tendencia de la cola pasa a un estado de crecimiento el signo cambia a positivo, si pasa a un estado de decrecimiento el signo cambia a negativo, manteniéndose igual en el resto de los casos.” (40)

- (f) Calculamos la dirección del movimiento de la cola. El algoritmo que utilizamos depende de la posición final y de la tendencia, y se basa en comprobar el siguiente conjunto de reglas hasta encontrar una que se cumpla.

“Si $P_{FIN}(t) > P_{FIN}(t-1)$, entonces $Direc(t) = AGUAS ARRIBA.$ ” (41)

“Si $P_{FIN}(t) = P_{FIN}(t-1)$ y Tendencia = CRECE, entonces $Direc(t) =$

AGUAS ABAJO.”

“Si $P_{FIN}(t) = P_{FIN}(t-1)$ y *Tendencia = ESTABLES*, entonces *Direc(t) = Direc(t-1)*.”

“Si $P_{FIN}(t) = P_{FIN}(t-1)$ y *Tendencia = DECRECE*, entonces *Direc(t) = AGUAS ARRIBA.*”

“Si $P_{FIN}(t) < P_{FIN}(t-1)$ y *Tendencia = CRECE*, entonces *Direc(t) = AGUA ABAJO.*”

“Si $P_{FIN}(t) < P_{FIN}(t-1)$ y *Tendencia = ESTABLE*, entonces *Direc(t) = AGUAS ABAJO.*”

“Si $P_{FIN}(t) < P_{FIN}(t-1)$ y *Tendencia = DECRECE*, entonces *Direc(t) = AGUAS ABAJO.*”

(h) Calculamos el tiempo de crecimiento.

“Si el signo de la tendencia de la cola es +, entonces *tiempo = tiempo + 1*, si no permanecerá con el mismo valor.” (42)

Una vez hemos determinado la presencia de colas en un carril y las hemos caracterizado pasamos a interpretar la situación existente y determinar el tipo de incidente al que esta responde, si corresponde alguno. El proceso de interpretación lo realizamos en otro de los módulos del MLP, el Módulo de Detección de Incidentes, pero antes de describir este módulo debemos de concluir las funcionalidades del MVA, para ello falta detallar el proceso de integración de parámetros de tráfico.

IV.3.5 INTEGRACIÓN DE PARÁMETROS DE TRÁFICO.

En el punto III.1.2.7 describíamos la metodología empleada en el MPI para obtener parámetros de tráfico a nivel individual. Sin embargo, y debido a los problemas que se suscitan en ciertas situaciones para poder obtener un valor asociado a cada vehículo, o medida individual, vamos a facilitar un valor integrado de dichos parámetros. Antes de definir el periodo de integración aplicado hemos de tener en cuenta que la frecuencia de los datos de salida del MLP tiene un valor prefijado en 15 segundos (aunque éste puede ser modificado en el archivo de configuración), por lo que cualquier integración por debajo de este umbral supone una pérdida de información, por lo tanto hemos predefinido los siguientes valores, que en cualquier caso pueden ser modificados por el operador:

| | |
|--------------------------|--------------|
| - Flujo (Vh. eq. h.) | 1 minuto. |
| - Ocupación espacial (%) | 15 segundos. |
| - Velocidad media (Km/h) | 15 segundos. |

El método empleado para obtener los valores integrado consiste en calcular la media de los valores medidos durante el intervalo de integración.

$$flu = \frac{1}{i} \sum veh \quad (43)$$

$$occ = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n occ_i \quad (44)$$

$$vel = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n vel_i \quad (45)$$

siendo t el tiempo de integración y n el número de medidas obtenidas en dicho tiempo.

Estos parámetros se proporcionan tanto a nivel de carril como de tramo, obteniéndose la media de los carriles que lo componen, no considerándose como tales aquellos definidos como “arcén”.

$$v_{tramo} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^{carril} \quad (46)$$

IV.4. MODULO DE DATOS EXTERNOS

Este módulo contiene toda la información sobre las características del tramo a analizar (Descripción estática) y sobre información adicional a la producida por el módulo de procesamiento de imágenes (Descripción dinámica). El objetivo del mismo es emplear esta información para incrementar el nivel de descripción de la escena y aumentar la robustez de las implicaciones. Sin embargo, como ya hemos comentado, en la práctica y para las diferentes aproximaciones del MLP, el MDE únicamente contiene información acerca de las relaciones existentes entre los diferentes elementos que constituyen el área de trabajo y sobre características de la propia área.

Nuestro módulo MDE contiene la siguiente información, que se emplean el módulo de detección de incidentes y el módulo de validación de datos:

- **Tipo de carril:** Dentro de un mismo tramo de carretera, pueden existir diferentes tipos de carriles, con lo que las reglas relacionales entre ellos no tienen por que poder aplicarse del mismo modo a cada uno de ellos. El tipo de carril nos determinará la importancia del incidente y la relación entre ellos. Hemos diferenciado los siguientes tipos de carriles:
 - **Arcén o de emergencia (E).** Es un carril por donde se espera que no circulen vehículos de forma regular y en donde se admite la presencia de un vehículo parado sin provocar consecuencias en el resto de carriles.
 - **Acceso de entrada o Salida (A).** Son carriles de aceleración o desaceleración para facilitar la entrada o salida de vehículos de una vía rápida a otra. Definiremos como carril de entrada o de salida a los carriles adicionales, si existen, o a un tramo del carril principal si no existe un carril propio para facilitar la entrada o salida. Dentro de este tipo de carriles se pueden producir colas o retenciones que pueden llegar o no a afectar a los carriles principales.
 - **Circulación (C).** Corresponde a los carriles principales de la vía. La presencia de un vehículo parado o una cola en ellos es causa potencial de incidentes secundarios y siempre tienen prioridad sobre el resto de carriles.
 - **Reversible (R):** Se considera como un carril de circulación, en el cual se puede modificar la dirección de circulación de los vehículos. Por lo general, los carriles reversibles suelen afectar a un sólo carril, por lo que la presencia de un incidente en ellos es mucho más grave para el resto de conductores,

que se encuentra atrapados sin poder evitar el incidente que en una vía normal.

Cada tipo de carril tiene asociado un peso diferente valorado de 1 a 10, que se emplea para determinar cual es el incidente más significativo. La tabla 3 muestra los pesos empleados para cada tipo de carril.

| CARRIL | IDENTIFICADOR | PESO |
|-------------|---------------|------|
| Arcen | 'E' | 1 |
| Acceso | 'A' | 5 |
| Circulación | 'C' | 9 |
| Reversible | 'R' | 10 |

Tabla 3.- Peso asociado a cada tipo de carril

- **Efecto entre carriles:** El tipo de carril determina las relaciones que pueden existir entre ellos. Estas relaciones las estableceremos en función de la influencia que un evento puede producir sobre los carriles vecinos, en condiciones de tráfico denso o saturado. La relación entre carriles tiene un efecto sobre el índice de confianza del incidente aunque siempre con efecto positivo, nunca negativo. Es decir, si se verifican las relaciones se incrementa el nivel de confianza, pero si no se verifican no se disminuye su valor. La tabla 4 muestra esta relación expresada en un porcentaje de 0 a 10.

| | | Efecto | | | |
|--------|---|--------|----|----|----|
| | | E | A | C | R |
| Evento | E | 0 | 3 | 0 | 0 |
| | A | 5 | 10 | 6 | 0 |
| | C | 1 | 4 | 10 | 0 |
| | R | 0 | 0 | 0 | 10 |

Tabla 4.- Relación de la influencia de un carril sobre sus vecinos.

IV.5. MODULO DE DETECCIÓN DE INCIDENTES

El módulo de detección de incidentes se encarga de analizar la descripción en colas empleada por el sistema para determinar si corresponde o no a una situación de incidente. Una vez localizados los posibles incidentes a nivel de cada carril se determina cual de ellos es el más significativo y se asocia al al tramo, puesto que sólo uno de ellos es reportado.

IV.5.1 ALGORITMOS DE DETECCIÓN DE INCIDENTES EN CARRIL.

Una vez se caracterizan las colas de cada carril se procede a analizar si la situación reflejada corresponde a un incidente o no. El proceso seguido lo hemos descompuesto en tres partes de acuerdo a las bases empleadas para la identificación del incidente:

1. En la primera comprobamos la presencia de vehículos en contra dirección, puesto que este tipo de incidentes no se reflejan en la descripción de colas, hemos de analizar el desplazamiento de los vehículos.
2. En la segunda parte consiste en la identificación del estado de tráfico sobre el carril y en combinación con el estado más severo realizar el análisis del tipo de incidente al que corresponde la cola formada.
3. El último proceso se encarga de comprobar la presencia de situaciones de tráfico congestionado, en donde no se llegan a producir detenciones que permitan su identificación mediante la evolución de colas.

Los procesos anteriores, que vamos a describir a continuación, tiene que ser aplicados en el orden en que están descritos para evitar que incidentes de menor importancia se superpongan a otros más graves.

IV.5.1.1 Vehículos en contra dirección

La detección de vehículos en contra dirección se basa en el análisis del desplazamiento de los vehículos a lo largo del carril. Estudiamos el movimiento de la onda que producen sobre las celdas en que hemos dividido el carril, para lo cual diferenciaremos únicamente dos estados: VACÍO, que corresponde a cuando no existe ningún vehículo sobre la celda y el RESTO ESTADOS, que identifican la presencia de algún vehículo. Si el movimiento de alguna discontinuidad entre estado vacío y el resto de estados se desplaza en contra del sentido de tráfico establecido en tres o más celdas consideramos que se trata de un vehículo circulando en contra dirección o moviéndose en marcha atrás, aunque no es posible diferenciar estas situaciones.

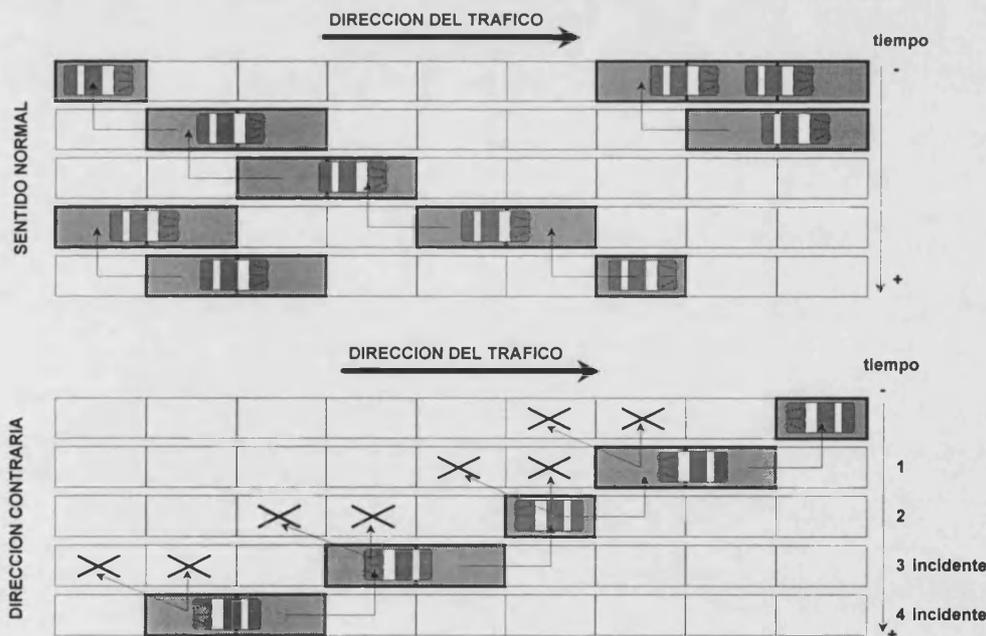


Figura 43.- Comportamiento de un vehículo en dirección contraria.

La figura 43 muestra el diferente comportamiento que detecta el sistema al circular un vehículo en dirección contraria. El algoritmo empleado se basa en estudiar, por cada celda en estado OCUPADO, la presencia en el instante anterior de otra celda similar en la misma posición, o en la anterior, correspondiente a una situación normal (figura 43). En caso de que no se verifiquen

la condición anterior comprobamos si en el ciclo anterior existe una celda OCUPADA en una posición posterior, correspondiente a un vehículo en contra dirección (figura 43). Si detectamos este comportamiento en 3 o mas ciclos de procesamiento habremos detectado un vehículo circulando en dirección contraria

En la figura 44 podemos observar un ejemplo de detección de vehículo en contra dirección que ha sido simulado fijando el sentido de tráfico contrario al realmente existente.



Figura 44.- Detección de un vehículo en contra dirección.

IV.5.1.2 Análisis de colas

El proceso de análisis de colas nos va a permitir localizar situaciones correspondientes a vehículos lentos, congestiones, vehículos parados, colas y ondas sobre los carriles. El algoritmo seguido se basa en estudiar la descripción de las colas, y lo detallamos a continuación.

“Comprobamos si el estado más severo existente en la cola es mayor o igual que CONGESTIÓN, en cuyo caso pasamos a (55), sino pasamos a (47).” (46)

“Comprobamos que el tiempo de ocupación de la cola es mayor que el tiempo mínimo de ocupación (t_{MIN_OCU}) y pasamos a (48) si no la situación corresponde a NO INCIDENTE.” (47)

“Comprobamos el tipo de carril que estamos estudiando, si es ARCEN pasamos a (49), si no a (51)” (48)

“Comprobamos la longitud de la cola, si es mayor que 2 celdas la situación corresponde a COLA (ver ejemplo figura 45), si no pasamos a (50)” (49)

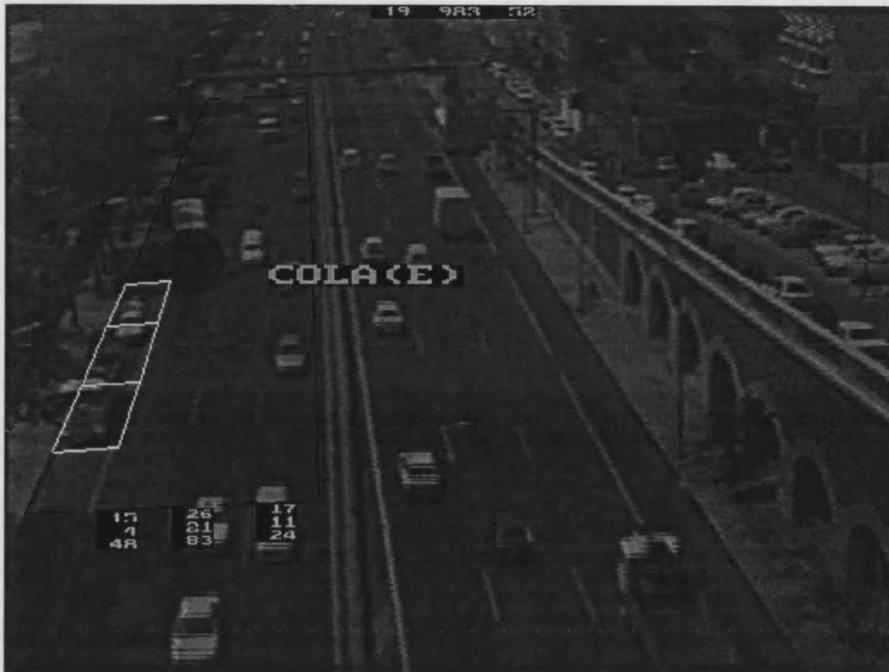


Figura 45.- Detección de una cola de vehículos en el arcén.

“Comprobamos si existen vehículos parados en el carril adyacente, en caso afirmativo la situación corresponde a NO INCIDENTE, si no corresponde a V. PARADO (ver ejemplo figura 46).” (50)

“Comprobamos la velocidad media del carril, si es superior a 60 Km/h anulamos el incidente y asociamos la situación a NO INCIDENTE, sino pasamos a (52).” (51)

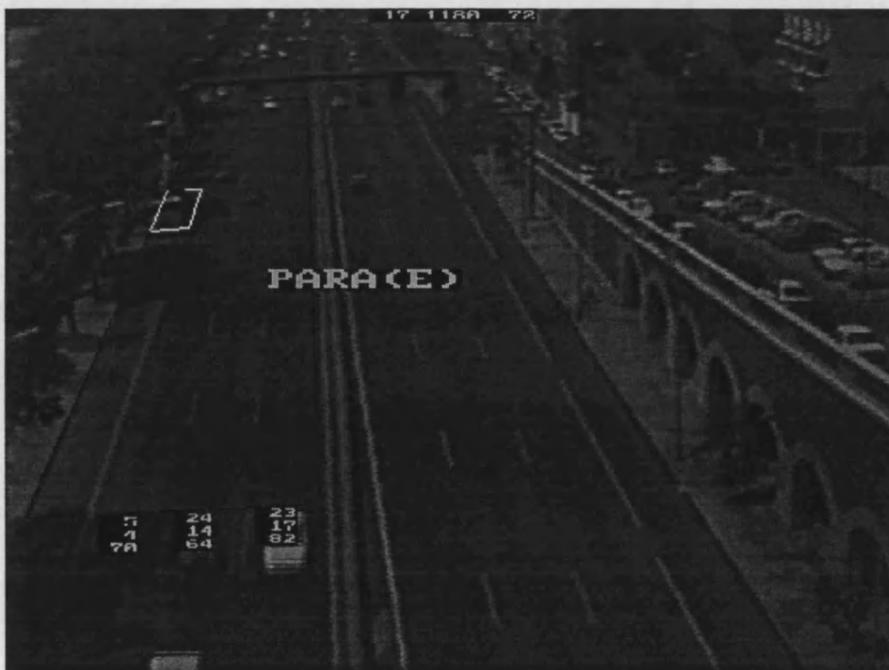


Figura 46.- Detección de un vehículo parado en el arcén.

“Comprobamos la longitud de la cola, si es mayor de 2 celdas pasamos a (53), si no pasamos a (54). (52)

“Comprobamos el estado global del carril, si es menor o igual que NORMAL corresponderá a un V. LENTO, si no a un V. PARADO. (53)

“Comprobamos el estado global del carril, si es menor o igual que NORMAL corresponderá a CONGESTIÓN, si no a COLA. (54)

“Comprobamos si el estado más severo de la cola es mayor o igual que congestión, en caso afirmativo pasamos a (56) si no se trata de NO INCIDENTE”. (55)

“Comprobamos si el tiempo de ocupación de la cola es mayor que el tiempo mínimo de ocupación (t_{MIN_OCU}) o si el tiempo de parada de la cola es mayor que el tiempo mínimo de parada (t_{MIN_PAR}), en caso afirmativo pasamos a (57) sino NO INCIDENTE. (56)

“Comprobamos el tipo de carril que estamos estudiando, si es ARCEN pasamos a (58), si no a (59)” (57)

“Comprobamos la longitud de la cola, si es mayor que 2 celdas la situación corresponde a COLA, si a V. PARADO”. (58)

“Comprobamos la velocidad media del carril, si es superior a 60 Km/h anulamos el incidente y asociamos la situación a NO INCIDENTE, sino pasamos a (60). (59)



Figura 47.- Detección de un vehículo parado en congestión.

“Comprobamos la longitud de la cola, si es menor de 3 celdas la situación corresponde a V. PARADO (ver ejemplo de la figura 47), si no pasamos a (61)”.

“Comprobamos si la cola tiene sentido positivo y dirección aguas arriba, en cuyo caso se trata de una ONDA, si no de una COLA (ver ejemplo de la figura 48).”



Figura 48.- Detección de una cola en congestión.

El esquema del algoritmo anterior está representado en la figura 49.

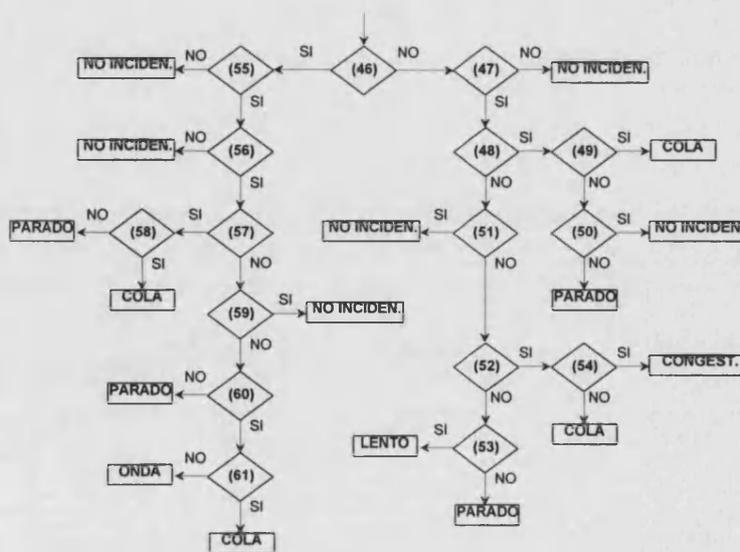


Figura 49.- Esquema del algoritmo empleado para la detección de incidentes.

IV.5.1.3 Tráfico congestionado

Como último incidente, hemos diseñado el sistema para que sea capaz de detectar situaciones de tráfico congestionado sobre un carril, aunque no se lleguen a producir detecciones de vehículos. Para ello realizamos un muestreo de las celdas que conforman el carril y comprobamos que estas han permanecido en estado ocupado de forma continua durante los últimos ciclos de procesamiento. Como condición adicional imponemos que la velocidad media del carril sea menor que un umbral prefijado. La figura 50 nos muestra un ejemplo de este tipo de detección.



Figura 50.- Detección de una situación de congestión.

IV.5.2 CÁLCULO DEL INCIDENTE MÁS SIGNIFICATIVO.

Una vez determinados los incidentes a nivel de carril, en caso de que exista más de un incidente en todo el tramo hay que analizar cual de ellos es el incidente más significativo. El incidente más significativo tiene una dependencia directa del tipo de carril en que se produce y del tipo de incidente, en función a estas características a cada incidente se le asocia una prioridad. La tabla 5 muestra la prioridad de los incidentes. A mayor prioridad un valor más elevado.

| INCIDENTE | TIPO DE CARRIL | | | |
|-------------|----------------|--------------|--------------|------------|
| | Arcén | Acceso (E/S) | Circulación. | Reversible |
| Veh. Contra | 5 | 9 | 10 | 10 |
| Cola | 5 | 7 | 9 | 9 |
| Onda | 4 | 6 | 8 | 8 |
| Veh. Parado | 3 | 5 | 7 | 7 |
| Congestión | 2 | 3 | 3 | 3 |
| Veh. Lento | 1 | 1 | 1 | 1 |

Tabla. 5.- Tabla de prioridades de los incidentes en función del tipo de carril y el tipo de incidente

En el caso de que existan dos incidentes con la misma prioridad, el incidente más significativo se obtiene en función de su nivel de gravedad. El nivel de gravedad es una medida que trata de cuantificar la importancia de un incidente en función de 4 parámetros:

- *Longitud*: Hace referencia a la longitud de celdas en estado de congestión o de parada. Cuanto más larga sea la cola producida por el incidente mayor será la gravedad del mismo, puesto que los efectos que provoca son mayores.
- *Tiempo activo*: Hace referencia al tiempo en que permanece activo el incidente. Obviamente, cuanto mayor sea la duración del incidente, mayor gravedad, sobretodo en las consecuencias que tiene sobre el resto del tráfico.
- *Tendencia*: Es la tendencia de crecimiento de la cola. Si la cola tiene una tendencia creciente, el incidente será más grave que si la cola decrece. En el primer caso, el incidente se acaba de producir y comienza a crecer con lo que es potencialmente más peligroso para el resto de conductores. Cuando la cola decrece es porque el incidente se ha solucionado o se produce una disminución en la demanda, mejorándose la situación existente.
- *Prioridad*: La prioridad definida para el incidente también tiene que estar reflejada en la gravedad del mismo. Aparte de los valores de los tres parámetros anteriores, que pueden ser más o menos independientes del tipo y carril en que se produce el incidente, estas características tienen un efecto directo sobre la gravedad del mismo. En caso de que la prioridad de dos incidentes sean iguales, serán los otros valúables los que decidan cual es el más significativo.

El peso de los parámetros no lo hemos definido de forma equitativa, sino que cada uno tienen un peso diferente en función de la importancia que le hemos asignado. Estos pesos se reflejan en la fórmula siguiente:

$$N.G.= \frac{30 \cdot V_{PRIORIDAD} + 30 \cdot V_{TIEMPO} + 20 \cdot V_{TENDECIA} + 20 \cdot V_{LONGITUD}}{10} \quad (62)$$

siendo:

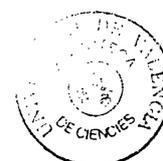
$V_{PRIORIDAD}$: El valor definido en la tabla 5 para el tipo de incidente y el tipo de carril dado.

V_{TIEMPO} : Es un valor entre 0 y 10 proporcional al tiempo transcurrido, hasta que este supera los 120 segundos por encima de los cuales toma un valor fijo de 10.

$V_{TENDECIA}$: La tendencia es un parámetro cualitativo que puede tener tres niveles, el valor de cada uno es:

- Creciente 10
- Estático 5
- Decreciente 0

$V_{LONGITUD}$: Es un valor entre 0 y 10 proporcional al porcentaje de carril ocupado por la cola.



IV.6. MODULO DE VALIDACIÓN DE DATOS

De acuerdo a las especificaciones que hemos definido en el capítulo III a continuación vamos a describir el conjunto de reglas que se emplean para la validación de los datos del MLP.

Reglas de rango:

Los valores límites definidos para cada parámetro se representan en la tabla 6 y en caso de que alguno de ellos se salga del rango permitido, los resultados asociados al ciclo de procesamiento actual serán anulados:

| DATO | MÍNIMO | MÁXIMO |
|-------------------------------|--------|------------------------|
| Nº de carriles | 1 | 6 |
| Longitud del carril en celdas | 1 | 20 |
| Pixeles ocupados/celda | 0 | Nº máximo pixeles |
| Porcentaje de ocupación | 0 % | 100 % |
| Ocupación máxima | 0 % | 100 % |
| Pixel parados/celda | 0 | Pixeles ocupados/celda |
| Porcentaje de parada | 0 % | 100 % |
| Tiempo ocupación | 0 | 100 s. |
| Tiempo de parada | 0 | 100 s. |
| Tiempo de Ausencia | 0 % | 50 % |
| Velocidad | -1 | 200 Km/h |
| Ocupación espacial | 0 % | 100 % |
| Flujo | -1 | 5000 vh/h |
| Estados de celda | 1 | 5 |
| Tipos de incidentes | 0 | 7 |
| Posición inicio cola | 1 | Longitud del carril |
| Posición final cola | 1 | Longitud del carril |
| Severidad incidente | 0 | 100 |
| Gravedad incidente | 0 | 100 |

Tabla 6.- Valores permitidos de los parámetros del sistema.

Reglas de coherencia.

Las siguientes reglas de coherencia indican una condición de error si el resultado se cumple. Todas ellas se encuentran asociadas a un tipo de incidente y sólo tienen validez para dicho incidente. Las reglas de coherencia sólo tienen en cuenta relaciones sobre el mismo carril:

CONGESTIÓN

$$N_{OCUPACION} < L_{CARRIL}/2 \quad y \quad Velocidad \geq MODERADA \quad (63)$$

$$N_{PARADAS} < 3 \quad y \quad Velocidad \geq MODERADA \quad (64)$$

V. PARADO

$$\frac{\%OCC}{100} < \frac{2}{L_{CARRIL}} \quad (65)$$

$$N_{PARADAS} = 1 \quad y \quad Velocidad \geq MODERADA \quad (66)$$

COLA Y ONDA

$$N_{PARADAS} < 3 \quad y \quad Velocidad \geq MODERADA \quad (67)$$

CONTRA DIRECCIÓN

$$\frac{S_{occ}}{100} < \frac{1}{L_{CARRIL}} \quad (68)$$

$$S_{occ} \geq 80 \% \quad o \quad Velocidad < LENTA \quad (69)$$

Reglas de consistencia

Hemos definido las siguiente reglas basadas en las relaciones que deben existir entre carriles, estas relaciones únicamente son validas para carriles conectados entre sí.

“Si la ocupación en todos los carriles es ALTA, el incidente más significativo es una COLA, ONDA o CONGESTIÓN y la velocidad es mayor o igual a MODERADA entonces existe un error.” (70)

“Si la ocupación en uno de los carriles es ALTA y el carril adyacente es del mismo tipo y tiene una ocupación BAJA, el entonces existe un error en uno de ellos.” (71)

“Si la ocupación en todos los carriles es del 0 %, y el incidente más significativo es diferente de NO INCIDENTE, entonces existe un error.” (72)

“Si la ocupación en el arcén es ALTA y mayor que la ocupación en el carril adyacente, entonces existe un error.” (73)

Aunque hemos considerado a la hora de estructurar los módulos del MLP que las reglas para la validación de los datos se incluyen todas en un sólo módulo, su implementación práctica se realizan en los módulos en donde se calculan las variables afectadas. En el caso de las reglas de coherencia, que afectan al resultado final del MLP, las localizamos como un filtro final para depurar las conclusiones y evitar falsas alarmas.

IV.7. MÓDULO DE SALIDA AL SISTEMA CENTRAL

El MSSC Constituye el último módulo del MLP, y a diferencia del resto de módulos, no realiza ninguna operación sobre los datos elaborados en el MLP sino que se limita a seleccionar y dar el formato adecuado a la información de salida para que pueda ser interpretada y recibida correctamente por el SCP. Los datos transmitidos y su rango de valores son los siguientes:

- ***Tipo de incidente:***

Los tipos de incidentes que hemos permitido identificar al SCP para que sea compatible con los MLP de UCL e INRETS es menor que los proporcionados por el nuestro, lo que supone que es necesario reducir y eliminar algunos de ellos. Así la identificación de los incidentes definidos para el SCP corresponde a la siguiente combinación de datos del MLP (tabla 7):

| SCP | MLP |
|--------------------------------|--|
| <i>No Incidente</i> | <i>No Incidente</i> <i>V. Contra dirección</i> |
| <i>V. parado arcén</i> | <i>V. Parado + Carril = Arcén</i> <i>V. Lento + Carril = Arcén</i> <i>Cola + Carril = Arcén.</i> |
| <i>V. parado en carril</i> | <i>V. Parado + Carril ≠ Arcén</i> |
| <i>V. parado en congestión</i> | <i>Cola + Carril ≠ Arcén</i> <i>Onda + Carril ≠ Arcén</i> |
| <i>Caída Velocidad</i> | <i>V. Lento + Carril ≠ Arcén</i> |

Tabla 7.- Conversión entre los tipos de incidentes del SCP y del MLP.

- ***Posición incidente:***

Indica el número de carril en el que se detecta el incidente. Corresponde al número de carril detectado, no hemos de realizar ninguna transformación.

- ***Duración:***

Corresponde a la duración del incidente en segundos. No hemos de realizar ninguna transformación para transmitirla al SCP.

- ***Nivel de alarma:***

Es un valor de 0 a 100 que representa la “gravedad” de la alarma producida. Corresponde con la gravedad del incidente, que también está expresada de 0 a 100.

- ***Nivel de confianza:***

Indica si los valores empleados para detectar el incidente son adecuados y tiene un rango de 0 a 100. En nuestro caso, transmitiremos un 0 cuando no se cumpla alguna de las reglas del MVD y un 100 en caso contrario.

- **Nivel de servicio:**

Representa la situación del estado de tráfico y se identifican tres niveles: Fluido, Denso y Congestionado. Estos niveles corresponderán a los siguientes estados del tramo analizado (tabla 8):

| SCP | MLP |
|---------------|----------------------------|
| Fluido | Vacío y Normal |
| Denso | Denso |
| Congestionado | Congestionado y Bloqueado. |

Tabla 8.- Relaciones entre los NS del SCP y del MLP

- **Nivel de congestión:**

Corresponde a tres niveles que determinan la gravedad del estado congestionado, estos niveles, denominados N1, N2 y N3 se identifican mediante la siguiente clasificación (tabla 9):

| SCP | MLP |
|-----|--|
| N1 | Estado = <i>Congestionado</i> y $N_{OCUPADO} \leq L_{TRAMO}/2$ |
| N2 | Estado = <i>Congestionado</i> y $N_{OCUPADO} > L_{TRAMO}/2$ |
| N3 | Estado = <i>Parado</i> . |

Tabla 9.- Relaciones entre los NS del SCP y los valores del MLP

- **Velocidad:**

Corresponde a la velocidad media del tramo medido, el rango de valores valido va de 0 a 255, representando 255 (-1) un error en la medida.

- **Flujo:**

Corresponde al flujo medio por carril en el tramo y toma un rango de valores válido de 0 a 65536.

- **Ocupación:**

Corresponde a la ocupación espacial media sobre el tramo y se mide en porcentaje, siendo el rango de valores válido de 0 a 100.

CAPITULO IV

Módulo Local de Procesamiento: Diseño e implementación.

CAPITULO V ➤

CAPITULO V

SISTEMA CENTRAL DE PROCESAMIENTO: MODELIZACIÓN DE LA RED INTERURBANA.

V.1. INTRODUCCIÓN

Una de las funciones básicas de cualquier sistema de control [Papageorgious, 91] es la modelización del tráfico para poder obtener una imagen de la situación que se esta produciendo en base a los datos recogidos por los elementos de sensorización. Esta modelización se debe producir a dos niveles:

- **Estático:** Trata de reproducir las características de contorno que definen la situación analizada.
- **Dinámico:** Trata de reproducir el comportamiento dinámico del sistema en base a las mediciones obtenidas del mundo real. La modelización dinámica está directamente influenciada por el modelo estático sobre el que se trabaje.

En este capítulo vamos a describir todos los aspectos relacionados con el modelo estático de la red de carreteras. Este modelo lo descomponemos en dos descripciones fundamentales: la de las características de la carretera, que emplea un mayor nivel de detalle y esta constituida por diversos niveles de descripción, y la de las cámaras y los elementos de sensorización, mucho más simple y relacionada con la primera (figura 1). El modelo dinámico se describe en los capítulos VI y VII.

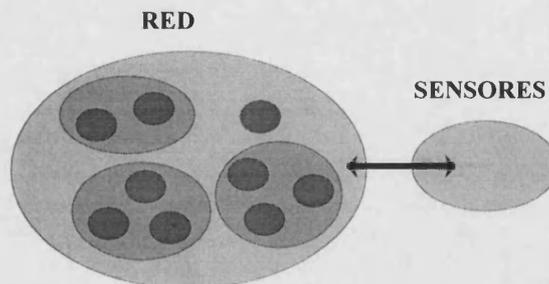


Figura 1.- Representación de las dos descripciones empleadas por el SCP.

V.2. MODELIZACIÓN DE LA RED

La modelización de la red de carreteras es el elemento básico sobre el que se asientan todos los procesos de análisis y reglas definidos en el SCP. La necesidad de obtener una visión general de los hechos que están ocurriendo en la carretera, mediante el muestreo de información

proporcionada por los módulos de sensorización, nos obliga a describir las zonas cubiertas por estos módulos tanto por sus características geográficas como por las relaciones lógicas que mantienen con otras zonas.

Para ello hemos establecido tres niveles de modelización. Cada nivel está constituido por un conjunto de objetos básicos y contiene la descripción de las características de cada objeto y las relaciones entre ellos. A medida que profundizamos de nivel, tratamos cada unidad básica de forma independiente y la descomponemos en otras sub-unidades. Con esta estructura (ver figura 2) podemos describir cualquier red sobre la que se instale el sistema.

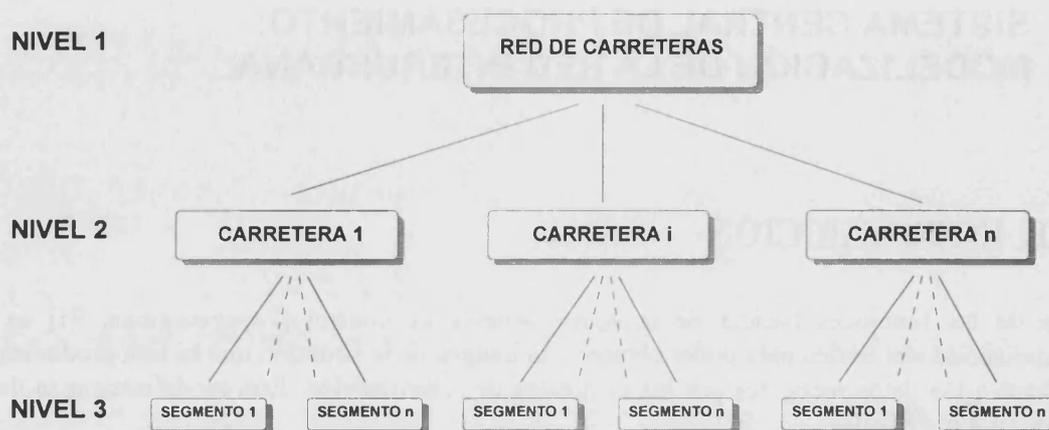


Figura 2.- Niveles de modelización de la red de carreteras

A continuación vamos a describir cada uno de estos niveles, como podremos observar, la información asociada a los dos primeros niveles será, básicamente, información sobre las relaciones lógicas existentes entre cada nivel.

V.2.1 DESCRIPCIÓN A NIVEL DE RED.

Consideramos la red sobre la que se instala el sistema como el elemento de más alto nivel de integración. Por regla general, esta está compuesta de una o varias carreteras principales y un conjunto de cruces, accesos y carreteras secundarias, que unen o están asociados a las principales. La figura 3 nos presenta un ejemplo de un esquema de representación de red.

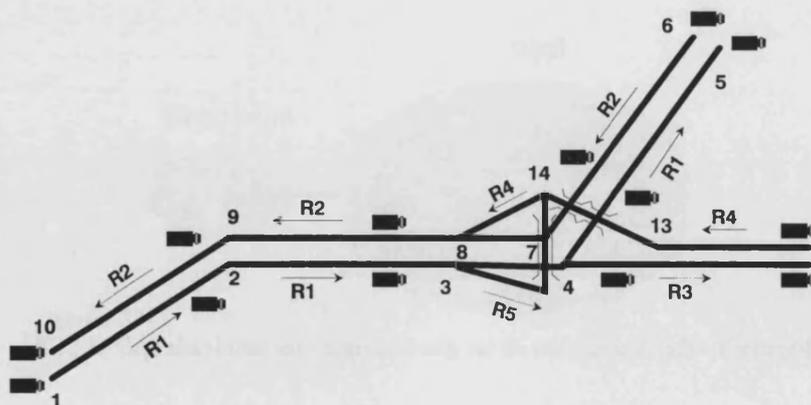


Figura 3.- Descripción a nivel de red.

Vamos a emplear este ejemplo durante la exposición para describir los diferentes niveles de la red. En él encontramos los siguientes elementos:

- La posición de la cámara, representada por una cámara.

- Los puntos de unión de dos o más tramos, representados por un número.
- La dirección de las carreteras, representadas por una flecha y el número de carretera (pe. R1).

La red de carreteras la representamos por un grafo dirigido, más concretamente, las bifurcaciones, uniones y rampas de acceso representan los nodos del grafo, mientras que las extensiones de carretera entre estas zonas constituyen los tramos. La figura 4 representa el ejemplo 2 descompuesto en grafo.

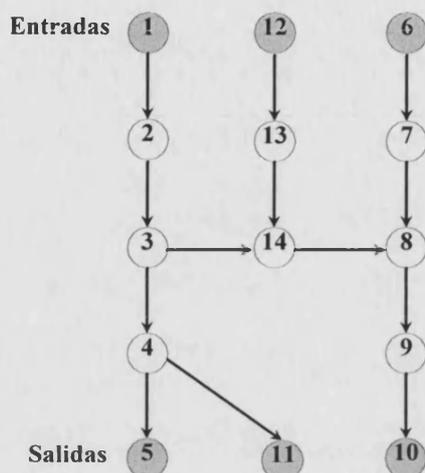


Figura 4.- Representación en grafo de la red ejemplo.

Los nodos constituyen por lo general áreas comunes, o de intersección, entre dos carreteras y tienen una extensión real. Cada tramo existente entre dos nodos lo consideramos de unas características geométricas homogéneas. Sólo en casos particulares, en los que no se mantiene esta homogeneidad podemos definir nodos de extensión nula en el punto donde se produce el cambio geométrico.

Hemos de hacer notar que en la práctica, los Centros de Control de Tráfico suelen dividir las redes de carreteras en áreas de trabajo, cada una de las cuales suele asignarse a un operador, de modo que este pueda realizar de forma eficiente las tareas de supervisión y vigilancia del estado del tráfico sobre dicha área y ejecutar las acciones de control con un tiempo de respuesta aceptable. Este es uno de los factores que nos ha influido a la hora de determinar el número de redes que el sistema debía de poder gestionar, por lo que al final decidimos limitar estas a una única área que por lo general suele corresponder con el área asociada al operador. Sin embargo, para no reducir sus capacidades, hemos diseñado el sistema de manera que podamos ejecutar conjuntamente, sobre la misma máquina, más de una copia del mismo, dependiendo de la capacidad de memoria, de modo que cada una de ellas pueda estar asociada a una red diferente.

El hecho de que el sistema únicamente pueda trabajar sobre una sola red nos facilita la descripción de sus parámetros característicos:

- **Nombre de la red:** Es el identificador de la red, y corresponde con el nombre de los ficheros de configuración asociados a la red. (Estos ficheros se describen en los próximos puntos).
- **Numero total de carreteras:** Corresponde con el número total de carreteras en las que se va a descomponer la red.
- **Número total de segmentos:** Corresponde con el número total de segmentos en los que se va a descomponer todas las carreteras.

- **Número total de analizadores de imágenes:** Corresponde con el número total de analizadores de imágenes instalados sobre la red.

Todos los datos anteriores se utilizan como información de referencia para crear las estructuras de datos internas del sistema.

V.2.2 DESCRIPCIÓN A NIVEL DE CARRETERA.

Las carreteras constituyen el segundo nivel de integración. Definimos por carretera a “un tramo continuo constituido por un conjunto de segmentos adyacentes, con un único sentido de circulación, cuyos extremos deben siempre estar delimitados por una cámara o por un punto de unión con otra carretera.”

Las dos direcciones de una carretera las modelizamos como tramos separados de direcciones opuestas.

Siguiendo la definición anterior, cualquier red monitorizada la podemos descomponer en un conjunto de carreteras independientes. Tomando como ejemplo la red representada en la figura 3, su descomposición en carreteras sería como se muestra en la figura 5. En ella observamos que la red ha sido descompuesta en cinco carreteras, siendo los elementos terminales de cada una de ellas o una cámara, o un nodo (representado por un círculo).

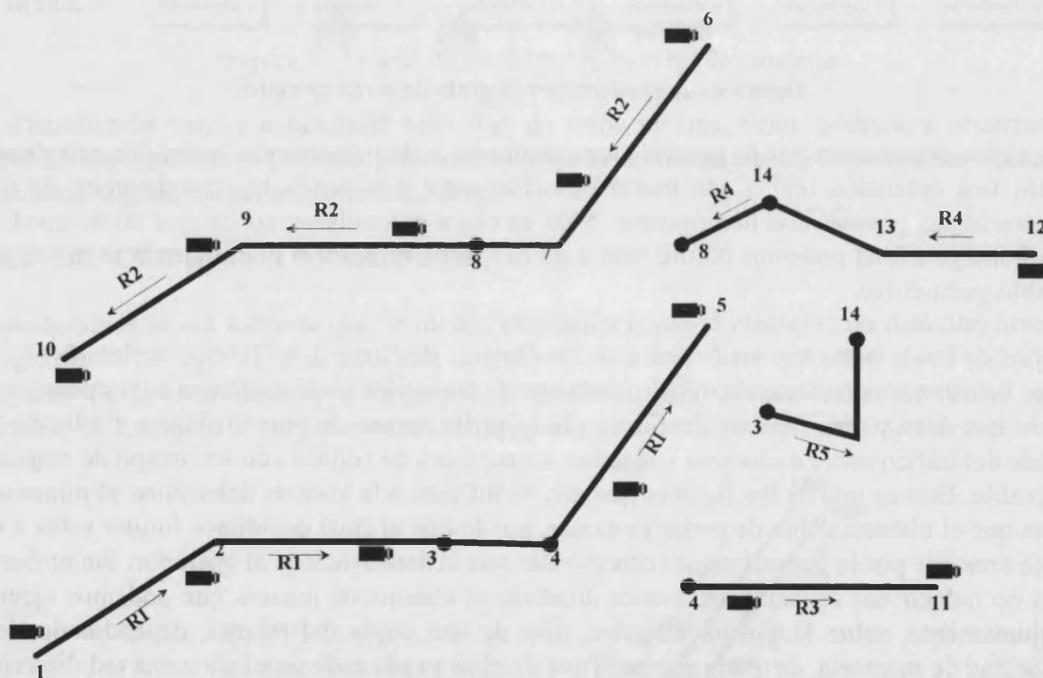


Figura 5.- Descripción a nivel de carretera.

La descripción de cada carretera es:

- **CARRETERA R1:** Comienza en el punto 1 y termina en el punto 5. Ambos corresponden a una cámara, y presenta 2 zonas de intersección (nodos) en los puntos 3 y 4. Sentido de 1 a 5.
- **CARRETERA R2:** Comienza en el punto 6 y termina en el punto 10. Ambos corresponden a cámaras, y presenta una zona de intersección en el punto 8.
- **CARRETERA R3:** Comienza en el punto 4, que corresponde a un punto de intersección con la carretera R1, y termina en el punto 11, asociado a una cámara.

- CARRETERA R4: Comienza en el punto 8, correspondiente a una intersección con la carretera R2, y termina en el punto 12, asociado a una cámara. Tiene una zona de intersección en el punto 14
- CARRETERA R5: Comienza en el punto 3, intersección con la carretera R1 y termina en el punto 14, intersección con la carretera R4.

La división, a su vez, de las carreteras en elementos de más bajo nivel, (segmentos), nos permite realizar su definición en base a dichos elementos. Los segmentos corresponden tanto a zonas de intersección (nodos) como a tramos de carretera (tramos).

Los parámetros con los que caracterizamos la descripción a nivel de carretera son:

- **Nombre de la carretera:** Es el identificador de la carretera de cara al operador. Permite referenciar cualquier situación a un punto geográfico conocido por el operador.
- **Número de carretera:** Es el identificador interno de cada carretera. Todas las carreteras tienen un número asociado.
- **Dirección:** Corresponde al sentido de circulación del tráfico. Este sentido se define en relación a como se han numerado los segmentos que constituyen la carretera (ver figura 6). El sentido de tráfico puede ser:
 - Aguas arriba 'U' (en referencia al término inglés "Upstream") si el flujo de tráfico coincide con el sentido decreciente de la numeración de los segmentos de la carretera.
 - Aguas abajo 'D' (en referencia al término inglés "Downstream") si el flujo de tráfico coincide con el sentido creciente de la numeración de los segmentos de la carretera.

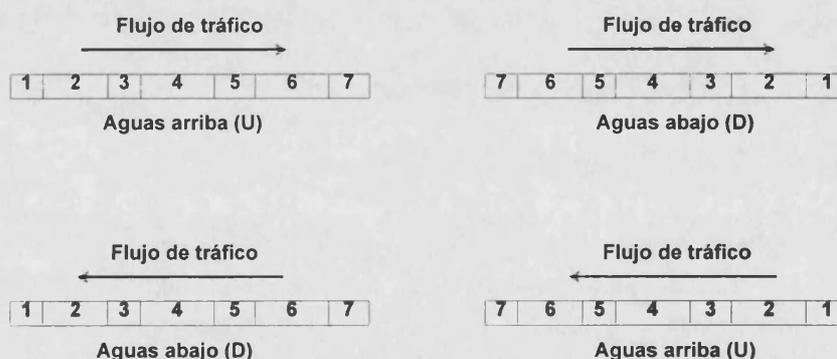


Figura 6.- Definición del sentido del tráfico.

- **Segmento inicial:** Corresponde con el número del segmento inicial de la carretera.
- **Segmento final:** Corresponde con el número del segmento final de la carretera.
- **Tipo de carretera:** Define las características de cada carretera. Se han identificado tres tipos diferentes sin considerara las carreteras locales, donde normalmente no habrá DAI. Se definen:
 - **Autopistas:** Vías especialmente concebidas para la circulación de automóviles, a la que no tienen acceso las fincas colindantes, que constan de distintas calzadas para cada sentido de circulación, separadas entre sí por una mediana, y que no cruza a nivel ninguna otra vía.

- **Autovías:** Vías de características análogas a la autopista, con distintas calzadas para cada sentido de circulación, pero con limitación parcial de accesos. Desde el punto de vista del sistema, toda carretera que tenga una calzada para cada sentido de circulación se considerara una autovía, siempre que existan dos o más carriles por sentido.
- **Carreteras de dos direcciones:** Vías de uno o varios carriles por sentido sobre la misma calzada no separados por una mediana. Aquellas carreteras de un sólo carril por sentido aunque tengan un sólo sentido de circulación se consideran de este tipo (pe. Accesos o carreteras secundarias).

La justificación de este tipo de estructuración, reside en que la misma nos permite ejecutar de forma rápida y sencilla operaciones de tipo local, que únicamente requieren información de los segmentos de una carretera, puesto que se conocen el punto inicial y final del recorrido y la dirección del mismo.

V.2.3 DESCRIPCIÓN A NIVEL DE SEGMENTO.

Consideramos el segmento *s* como el elemento de más bajo nivel dentro del modelo empleado, siendo la unidad más pequeña con la que trabaja el sistema. Los segmentos pueden corresponder tanto a zonas de intersección (nodos) como a tramos de carretera (tramos) y se distinguen por tener unas características geométricas homogéneas.

Como hemos podido observar hasta ahora, los niveles de modelización de red y de carretera únicamente contenían **descripciones de relaciones lógicas** entre ellos y los niveles inferiores, sin embargo, en esta descripción vamos a incorporar, además, otros dos tipos: una **descripción geográfica** y una **descripción gráfica**.

Antes de que detallemos los parámetros que constituyen la descripción a nivel de segmentos, hemos de introducir el concepto de segmento "Real" y segmento "Virtual". Ambos elementos aparecen en la mayoría de los procesos del SCP y constituyen la base sobre la que hemos organizado todas las reglas y algoritmos incluidos en el SCP.

V.2.3.1 Segmento "real" / "virtual"

Segmento real: Lo definimos como aquella área de carretera, cubierta por una cámara de CCTV, y que se encuentra asociada a un analizador de imágenes, de manera que a partir de ella se pueden obtener datos de tráfico e incidentes directamente de la salida del analizador. La longitud del segmento real corresponde únicamente a la zona de carretera analizada, y no a la posición de la cámara, ni a la totalidad del campo de visión de la misma. (Ver figura 7).

Segmento virtual o "ciego": Lo definimos como aquel segmento de carretera situado entre dos segmentos reales y del cual no se disponen de datos de forma directa través de un analizador de imágenes.

En base a estas definiciones, referenciaremos como "real" a cualquier dato, elemento o proceso asociado o proveniente de un segmento real, mientras que por "virtual" denominaremos a cualquier dato, elemento o proceso asociado con un segmento virtual. Por ejemplo, entenderemos como incidente virtual, a un incidente que realmente existe pero que se produce en un segmento no cubierto por cámaras de CCTV, es decir, en un segmento virtual.

El concepto de “virtual” hemos dejado de interpretarlo como un hecho que no existe realmente, para considerarse como un hecho que realmente ocurre, pero en una zona donde no es posible tener una validación visual del mismo.

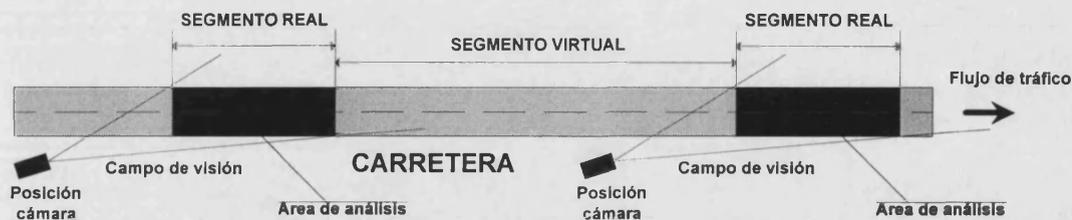


Figura 7.- Descripción de segmento real y virtual.

V.2.3.2 Parámetros geográficos de los segmentos.

El conocimiento de las características geográficas y de diseño de los segmentos es fundamental a la hora de poder establecer las reglas lógicas y algoritmos internos del sistema. La especificación detallada de dichos elementos es un factor determinante a la hora de fijar la complejidad de los procesos heurísticos a utilizar y su nivel de especificidad. Para cada segmento hemos definido los siguientes parámetros:

- **Tipo de segmento:** Indica si el segmento es real o virtual.
- **Numero de carriles:** Indica el número de carriles que constituye el tramo. El arcén lo consideraremos como un carril adicional.
- **Numero de analizador de imágenes:** Indica el índice del analizador de imágenes asociado a dicho segmento, si el segmento es real, en caso contrario su valor asociado es NULO.
- **Tipo de analizador de imágenes:** Indica cual es el tipo de analizador de imágenes que tiene asociado. De este modo se conoce el tipo de información que se puede obtener del segmento. Si el segmento es virtual, el tipo de analizador es NULO. Hay que remarcar que la definición de analizadores virtuales corresponde al caso en que el analizador no este operativo, o porque no está instalado o porque ha dejado de funcionar, en este caso el segmento y el analizador, se definen de tipo VIRTUAL hasta que este último vuelva a estar operativo.
- **Arcén:** Indica si existe o no arcén dentro del área de trabajo.
- **Longitud del tramo:** Corresponde con la distancia en metros de la longitud del segmento.
- **Velocidad de diseño:** De acuerdo a un conjunto de características de diseño¹ cada tramo de carretera tiene asociado lo que se conoce como velocidad de diseño, o velocidad libre, que se define como la velocidad media de circulación en condiciones de tráfico libre, medida en Km/h.

Como la velocidad de diseño es uno de los parámetros que influyen a la hora de aplicar una regla u otra, ha sido necesario cualificar esta velocidad. Hemos definido tres niveles, que tienen un valor diferente para cada tipo de carretera. Estos valores se han escogido en función de las definiciones propuestas por el

¹ Todas estas características se encuentran completamente definidas en el Manual de Capacidad y Niveles de Servicio.

Manual de Capacidad. La tabla 1, muestra los valores predefinidos para esta velocidad.

| VELOCIDAD DE DISEÑO | TIPO DE CARRETERA | | |
|---------------------|-------------------|---------|--------------|
| | Autopista | Autovía | Dos carriles |
| Alta | ≥ 112 | ≥ 112 | ≥ 96 |
| Media | ≥ 96 | ≥ 96 | ≥ 80 |
| Baja | ≥ 80 | ≥ 80 | ≥ 65 |

Tabla 1.- Cualificación de la velocidad de diseño.

El valor de la velocidad de diseño para cada tramo depende de factores varios, como la presencia de un acceso o salida dentro del tramo, de la reducción de un carril, de tratarse de un tramo curvo o con inclinación, de la entrada a un túnel o puente, etc.

V.2.3.3 Parámetros gráficos de los segmentos.

La comprensión por parte de operadores ajenos al sistema de la situación reflejada por este se facilita en gran medida si disponemos de un entorno gráfico que permita representar los eventos anómalos detectados, conocer de un vistazo las características de la zona donde se producen y observar como afectan al resto de la red. Para ello es necesario asociar a cada segmento un conjunto de parámetros gráficos adicionales, que emplearemos únicamente en la representación gráfica de la red, y que no son considerados por el núcleo de análisis.

En este sentido, y como explicamos en el capítulo II y VIII, hemos independizado todos los procesos de cálculo y razonamiento del interfase gráfico con el que trabajemos. Aunque para facilitar la interpretación de la información inferida hemos incorporado uno al sistema (ver capítulo VIII).

La representación gráfica de la red se basa en una representación poligonal de los segmentos y emplea por cada uno de ellos los siguientes datos:

- **Numero de carriles gráficos:** Indica la anchura, en número de carriles, con la que se va a representar el segmento.
- **Coordenadas del segmento:** Indica las coordenadas (X,Y) del extremo de inicio y final del esqueleto del segmento. Dos segmentos consecutivos tendrán siempre las mismas coordenadas entre el extremo final del primero y el extremo inicial del segundo.
- **Punto kilométrico (pk):** Es un parámetro de referencia para el operador, e indica el punto kilométrico en el que se sitúa el segmento. En segmentos reales, el pk coincide con la posición de la cámara, mientras que en segmentos virtuales, de mayor longitud la hacemos coincidir con el punto medio del segmento.
- **Identificador de la cámara:** Es también un parámetro de referencia para el operador y corresponde con la identificación asignada a la cámara asociada con el segmento en la matriz de vídeo del centro de control. Como ya hemos dicho, si el segmento es virtual su valor es NULO.

- **Posición lateral de la cámara:** Indica la posición lateral de la cámara respecto al segmento. Esta posición puede ser a la derecha ('D'), en el centro ('C'), o a la izquierda ('I'). En caso de los segmentos virtuales su valor es NULO ('N') (ver figura 6).
- **Posición longitudinal de la cámara:** Indica la posición longitudinal de la cámara respecto al segmento. Esta posición puede ser en la zona aguas arriba ('U') o aguas abajo ('D'). En caso de los segmentos virtuales su valor es NULO ('N') (Ver figura 8)

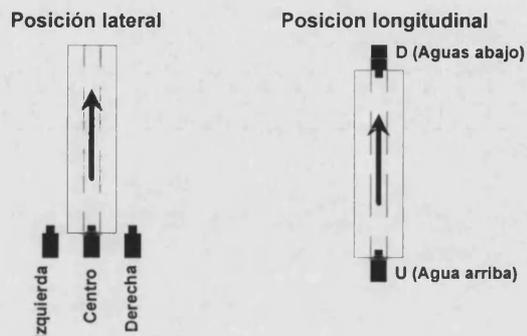


Figura 8.- Representación de la cámara

- **Posición lateral del acceso:** Para la representación gráfica de aquellos segmentos que corresponden a intersecciones o accesos es necesario indicar si la rama que se bifurca lo hace desde el centro del segmento ('C'), desde la derecha ('D') o desde la izquierda ('I') (Ver figura 9)

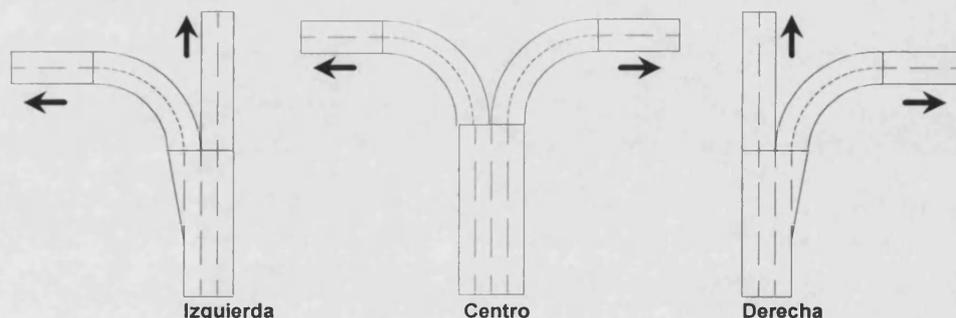


Figura 9.- Representación de accesos.

V.2.3.3.1 Proceso de creación de la red de segmentos.

A continuación, y antes de proseguir con los parámetros que constituyen la descripción a nivel de red, vamos a describir brevemente el proceso seguido por el interfase gráfico para crear la representación final de la red, a partir de los parámetros gráfico anteriores.

La red se representa mediante una estructura poligonal, en la que cada polígono corresponde a un segmento. Por razones de representación gráfica, algunos tramos curvos, que constituyen un único segmento lógico, se descomponen en varios segmentos gráficos aunque desde el punto de vista de análisis son considerados como uno sólo, para lo cual lo definimos de tipo "Duplicado", tal y como detallamos en el punto siguiente.

Tomando como punto de partida una parte de la descripción de la red de la figura 3, los pasos son los siguientes:

1. Definimos la anchura del esqueleto en función del número de carriles definidos para cada tramo, creando un polígono centrado sobre el esqueleto (figura 10).

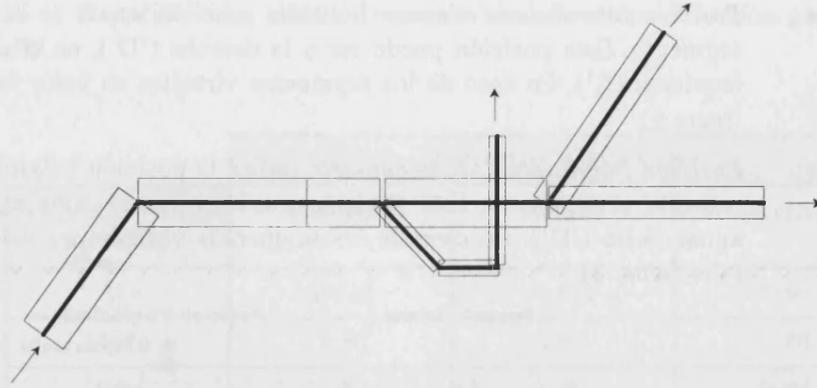


Figura 10.- Primer paso de la creación de la red.

2. Desplazamos aquellos tramos que tienen alguno de sus comienzos en un nodo la una distancia correspondiente a la mitad de su anchura en la dirección definida en la posición lateral del acceso (figura 11).

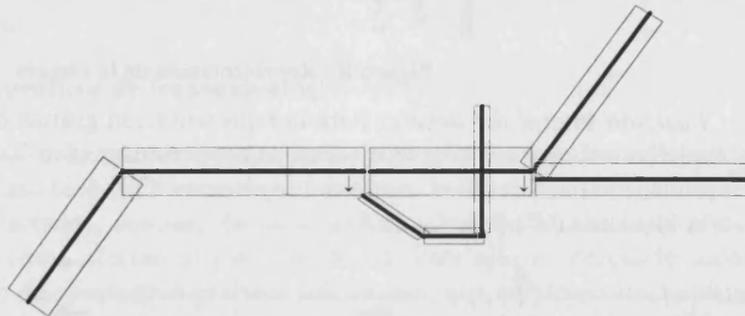


Figura 11.- Segundo paso de la creación de la red.

3. Extendemos los laterales del polígono de cada segmento hasta que intersecten con el del segmento siguiente. El caso de segmentos paralelos de diferente anchura se trata de modo particular, trazando los laterales desde los extremos opuestos de los dos segmentos. La figura 12 muestra el efecto de este proceso, tras eliminar el esqueleto de la red.

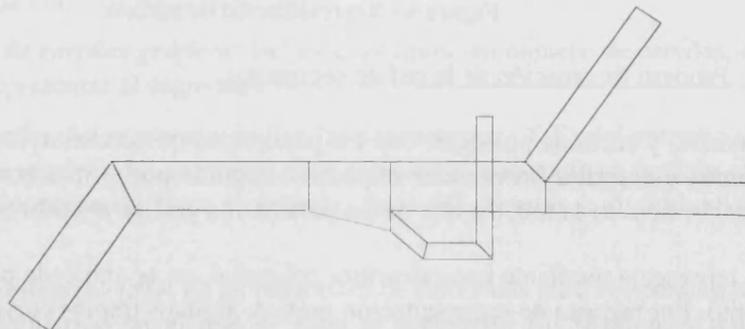


Figura 12.- Tercer paso en la representación de la red.

4. Por último se incorpora la posición de las cámaras de acuerdo a su disposición lateral y longitudinal respecto del carril, y se añaden las líneas de los carriles. (figura 13).

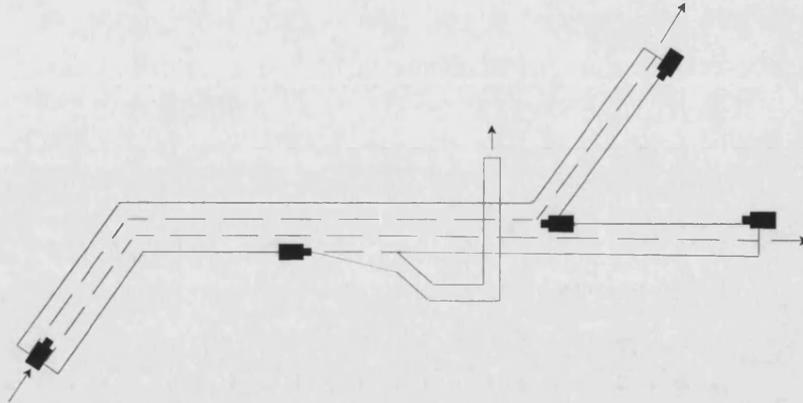


Figura 13.- Aspecto final de la representación de red.

V.2.3.4 Parámetros lógicos de los segmentos.

Vamos a introducir a continuación el concepto de segmento “físico”, frente al de segmento “lógico”. El primero de ellos corresponde a un área real de carretera y sobre el no pueden existir ni superponerse otros segmentos físicos. El segmento lógico corresponde a un elemento interno de representación de la carretera, que siempre está asociado a un segmento físico, pudiendo existir varios asignados a un mismo tramo de carretera. Empleamos este tipo de segmentos para facilitar la descomposición en elementos de la red de carreteras, el establecimiento de relaciones entre segmentos físicos y la modelización de cruces y accesos.

Para cada segmento lógico hemos definido los siguientes parámetros:

- **Número de segmento:** Todos los segmentos de la red tienen asociado un número de segmento diferente. Este número es consecutivo para todos los segmentos lógicos de una misma carretera y nunca existirán dos números de segmentos repetidos. Este método de indexación consecutiva presenta dos ventajas a la hora de la implementación de los algoritmos y las reglas de análisis:
 - Permite recorrer de forma rápida y sencilla todos los elementos de la red por la ejecución de operaciones puntuales. Es decir, operaciones que no necesitan datos de segmentos adyacentes.
 - Permite conocer fácilmente cual es el segmento anterior y posterior de uno dado dentro de su carretera.
- **Número de segmento asociado:** Se emplea para definir los puntos de unión entre carreteras tanto en el modelo, como en la representación gráfica, y corresponde al número de segmento físico al cual se encuentra asociado el segmento lógico definido. Es el elemento que permite establecer las uniones existentes entre todos los elementos lógicos de la red. Si un segmento no está asociado a ningún otro, este número corresponderá con su propio número de segmento.
- **Tipo de unión:** Indica el tipo de segmento de que se trata de acuerdo a su relación con otros segmentos. Estos pueden ser:
 - Tramo.
 - Intersección.
 - Acceso.
 - Duplicado.

La descripción de cada tipo de unión y su uso se detallan en el apartado IV.2.

- **Número de carril de comienzo de acceso:** Se define únicamente para segmentos de tipo Intersección o Acceso, e indica cual es el primer carril perteneciente al acceso.
- **Número de carril de fin de acceso:** Indica cual es el último carril que se puede considerar perteneciente al acceso. Estos dos últimos parámetros constituyen un par con el que se diferencian los carriles pertenecientes a un acceso dentro del mismo tramo de carretera, pudiendo existir carriles comunes a ambos.

V.2.4 MODELIZACIÓN DE ACCESOS E INTERSECCIONES

En la sección anterior definimos los parámetros con los que establecemos las relaciones entre segmentos y con los que caracterizamos cualquier red de carreteras, como caso particular de esta modelización vamos a detallar el proceso seguido en el caso de accesos e intersecciones.

V.2.4.1 Descripción de bifurcaciones

Recordemos que toda red de carreteras la hemos de descomponer en carreteras independientes constituidas por segmentos modelizados por un grafo. Las carreteras deben mantener un punto de unión (nodo) en aquellas zonas donde existe un acceso, bifurcación o cruce. El método que empleamos para ello es el de asignar un **segmento común** a ambas constituyendo el nodo del grafo, es decir, un mismo segmento físico (cruce) está asignado a dos segmentos lógicos, cada uno de ellos perteneciente a una carretera distinta. La figura 14 muestra un ejemplo de este tipo de asignación.

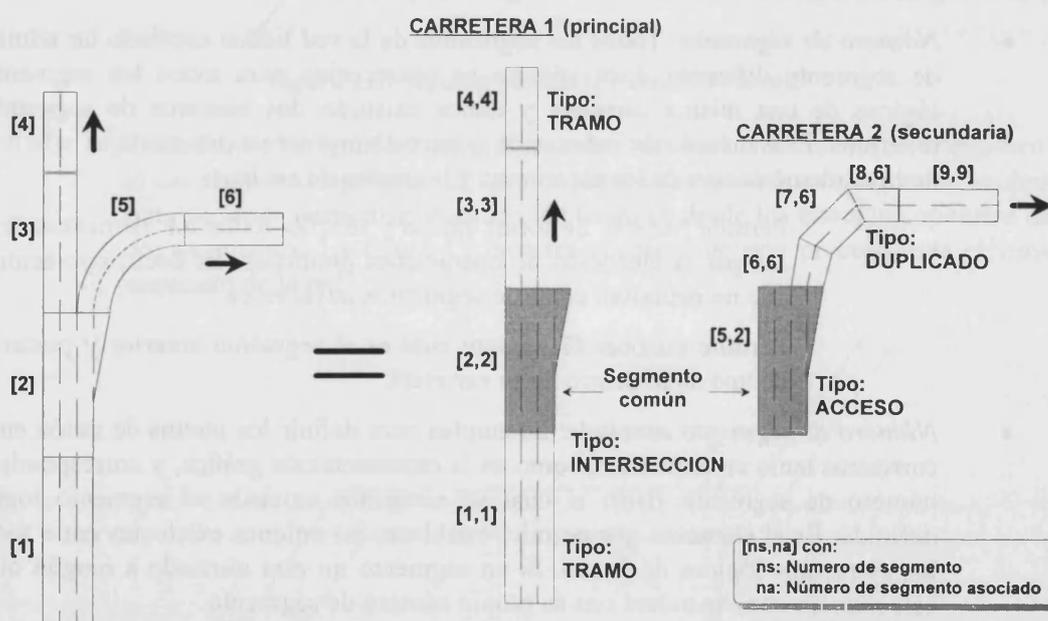


Figura 14.- Modelización de cruces y accesos.

En ella, la carretera original, compuesta de 6 segmentos físicos, se ha descompuesto en dos carreteras independientes, una principal y otra secundaria, sin puntos de bifurcación, de 4 y 5 segmentos lógicos, respectivamente. Obsérvese que el segmento 2 es común a ambas carreteras y constituye el segmento de inicio de la carretera secundaria.

De lo dicho hasta aquí podemos establecer una regla que debe cumplirse sin excepciones a la hora de modelizar un acceso:

El segmento común o nodo será siempre el segmento inicial o final de la carretera (1) secundaria, según el acceso sea de entrada o de salida, y se definirá siempre de tipo de unión: ACCESO, mientras que en la carretera principal estará situado en cualquier posición y se definirá de tipo de unión: INTERSECCIÓN.

Así, podemos definir los tipos de segmento anteriores como:

- **INTERSECCIÓN:** Corresponde al segmento común de una bifurcación perteneciente a la carretera principal y tiene como segmento asociado a si mismo.
- **ACCESO:** Corresponde al segmento común de una bifurcación perteneciente a la carretera secundaria y tiene como segmento asociado al segmento común de la carretera principal. (Ver figura 14).

Además de estos, existen otros dos tipos, en este caso ya no relacionados con puntos de bifurcación, y que se identifican por:

- **TRAMO:** Corresponde a un segmento de cualquier carretera. Se caracteriza por no tener definida ninguna bifurcación. Tiene como segmento asociado a si mismo.
- **DUPLICADO:** Estos se emplean para representar gráficamente, mediante polígonos, un tramo de carretera correspondiente a un sólo segmento. En estos casos, uno de los tramos se define tipo "Tramo", mientras que el resto se definen tipo "Duplicado" y se asocian al segmento tipo "Tramo". (Ver ejemplo figura 14).

A modo de resumen, podemos organizar los segmentos anteriores de acuerdo a dos características: Estar asociados a un punto de bifurcación (nodo o tramo) y estar asociados a otro segmento lógico (duplicado o simple). La tabla 2 muestra esta clasificación.

| | | |
|-----------------|--------------------|--------------|
| | BIFURCACIÓN | TRAMO |
| ORIGINAL | INTERSECCIÓN | TRAMO |
| DOBLE | ACCESO | DUPLICADO |

Tabla 2.- Clasificación de los tipos de segmentos.

V.2.4.2 Tratamiento de segmentos comunes

Los segmentos dobles presentan un tratamiento diferente del resto de segmentos cuando trata de segmentos reales, en el caso de virtuales tienen el mismo tratamiento que el resto de segmentos se su misma naturaleza (ver capítulo VI).

Se distinguen dos pares de grupos de segmentos:

- **INTERSECCIONES - ACCESOS:** Se realizan dos tipos de tratamiento en función de que el MLPs asociado sea capaz o no de proporcionar información por carriles.
 - En el primer caso, se definen, tanto para el segmento común de la carretera principal como de la secundaria, aquellos carriles que afectan a cada carretera y se emplean únicamente los datos de tráfico asociados a estos carriles para analizar cada segmento.
 - En el segundo caso, el acceso de la carretera secundaria se procesa tomando como información básica del segmento los datos obtenidos por el analizador, que corresponden con los asociados al segmento intersección de

la carretera principal, excepto las características geográficas, que corresponderán a las del acceso.

- **TRAMOS - DUPLICADOS:** En este caso, los datos de tráfico e incidentes de los segmentos duplicados corresponden exactamente con los del segmento al cual están asociados. El sistema no realiza ningún tratamiento sobre estos segmentos sino que considera que todos los resultados deducidos para el segmento tipo tramo se pueden extrapolar a los segmentos duplicados, puesto que en realidad constituyen una sola unidad.

V.2.5 DESCRIPCIÓN DE LA RED DE CÁMARAS

Como se ha puesto de manifiesto en el punto V.2.3.4., independientemente de la división en segmentos de la red de carreteras, es la distribución de las cámaras la que define el tipo de segmento de que se trata (Real o Virtual). Cada cámara se identifica por un índice dentro de la descripción del segmento. Este índice permite localizar, en una lista ordenada independiente, el tipo de analizador de imágenes al que se encuentra asociado a la cámara, que como sabemos en el ámbito de la presente memoria, permite conectar tres tipos diferentes de analizadores de imágenes (ver el capítulo V).

Por definición, todo segmento con una cámara asociada es un segmento real, sin embargo, como el proceso de modelado de una red es algo complicado, la adición de nuevas cámaras supone regenerar de nuevo la definición de la estructura de datos. Para evitar este proceso, el sistema permite incorporar como reales los segmentos sobre los que se planea instalar una cámara o aquellos que teniendo una cámara no tienen asociado ningún MLP. Para ello existen dos alternativas:

1. Se define el segmento como virtual, de manera que el sistema no verificará la existencia de una cámara asociada.
2. Se define el identificador del MLP y el tipo de cámara de valor NULO, con lo que trataremos el segmento a nivel del SCP como virtual a pesar de ser real. De este modo, en el momento que se ponga en funcionamiento el MLP podemos dar de este modificando el valor por defecto.

Estas alternativas se basan en la posibilidad del operador de poner en activo un MLP en el SCP mediante las funciones de configuración (ver la sección del MMI en el capítulo VIII). Independientemente, cuando el sistema detecta un fallo en un MLP o en el SCC y no se reciben datos de un segmento real, este es automáticamente tratado como virtual, tal como detallamos en el capítulo VI).

V.2.6 ALMACENAMIENTO EN FICHERO DE LA RED.

El último aspecto que vamos a tratar dentro de la modelización de la red, es el concerniente al almacenamiento de la modelización en un fichero de datos. Una vez hemos definido las características de la red y hemos obtenido su descomposición en segmentos hemos de almacenar esta en un dispositivo que nos permita recuperar esta información cada vez que ejecutemos el SCP. Para ello vamos a guardar la modelización de la red en un fichero texto, que se caracteriza por tener un formato sencillo que facilita la modificación de parámetros directamente sobre el fichero, sin necesidad de crear otro nuevo. Como veremos en la sección dedicada al MMI (capítulo VIII) varios de estos datos podrán variarse desde el propio interface gráfico que automáticamente actualizara el fichero de red.

Este fichero está constituido por registros de dos tipos, siguiendo los niveles de descomposición empleados:

- **Descripción de carretera:** Se emplea para identificar el comienzo de los segmentos de una nueva carretera y tiene 3 campos:

Carretera 1 [M-40 Direccion Norte]

- Un identificador de campo (“# Carretera”).
- El índice de la carretera.
- El nombre de la carretera. (incluido entre corchetes).

Todo fichero debe comenzar con un registro de carretera, seguido por los registros de todos los segmentos pertenecientes a dicha carretera.

- **Descripción de segmento:** Se emplea para identificar las características de cada segmento lógico, aunque también contiene información referente a la carretera a la que pertenece. Tiene los siguientes campos:

[0 T 0 1 3 3 R S 9 937 110 C 5980 7430 6390 7170 U M A R U 20300]

- El identificador de campo [|].
- El número de segmento lógico. [0]
- El identificador del tipo de unión (T: Tramo, I: Intersección, A: Acceso, D: Duplicado). [T]
- El número de segmento asociado. [0]
- El número de carretera al que pertenece. [1]
- El número de carriles reales. [3]
- El número de carriles gráficos. [3]
- El tipo de segmento (R: Real, V: Virtual). [R]
- El tipo de MLPs asociado (N: Ninguno, S: MLP1, U:MLP2, L:MLP3). [S]
- El identificador del MLP asociado. [9]
- El identificador de la cámara. [937]
- La longitud del segmento (en metros).
- La posición lateral del acceso (R: Derecha, L: Izquierda, C: Centrada o sin acceso) [0]
- Las coordenadas x, y del punto de inicio y fin del esqueleto del tramo. [5980 7430 6390 7170]
- El dirección del tráfico (U: Aguas arriba, D: Aguas abajo) [U]
- El tipo de carretera (A: Autopista, M: Multicarril, D: Dos direcciones). [M]
- La velocidad de diseño del tramo (A: Alta, M: Media, B: Baja). [A]
- La posición lateral de la cámara (R: Derecha, L: Izquierda, C: Centrada). [R]
- La posición longitudinal de la cámara U: Aguas arriba, D: Aguas abajo) [U]
- El punto kilométrico de inicio del tramo (en metros). [20300]

Los fichero con la modelización de la red tienen todos la extensión “.GDB” y el nombre identifica la red con la que estamos trabajando.

V.2.7 EJEMPLO DE MODELIZACIÓN DE RED INTERURBANA

Una vez detalladas las características y elementos empleados para la representación y estructuración de la red de carreteras se va ha modelizar como ejemplo la red de carreteras definida en la figura 3. El resultado de la modelización es la estructura de segmentos mostrados en figura 15. Los números representan el número de segmento lógico correspondiendo los números entre paréntesis a segmentos dobles, y por lo tanto repetidos.

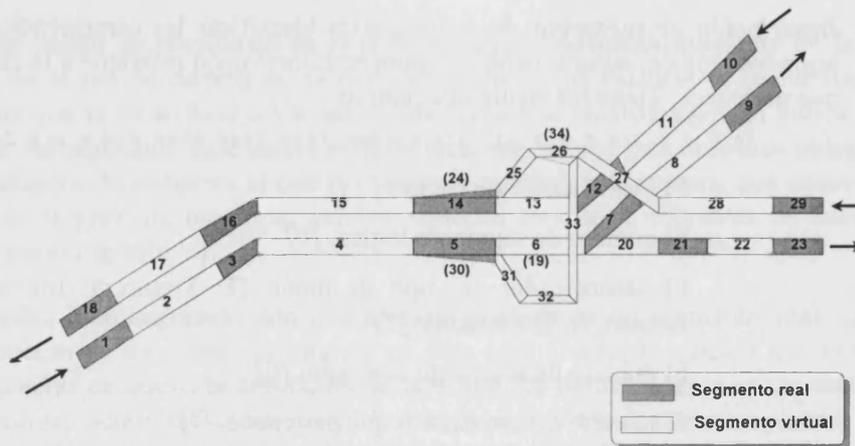


Figura 15.- Estructura de segmentos de una red interurbana

La descomposición correspondiente de los segmentos en carreteras independientes y segmentos comunes viene dada por la tabla 3:

| Carretera 1 Dirección: UP | | | |
|------------------------------|------|------|-------|
| Seg | Asoc | Tipo | Unión |
| 1 | 1 | R | T |
| 2 | 2 | V | T |
| 3 | 3 | R | T |
| 4 | 4 | V | T |
| 5 | 5 | R | I |
| 6 | 6 | V | I |
| 7 | 7 | R | T |
| 8 | 8 | V | T |
| 9 | 9 | R | T |

| Carretera 2 Dirección: UP | | | |
|------------------------------|------|------|-------|
| Seg | Asoc | Tipo | Unión |
| 10 | 10 | R | T |
| 11 | 11 | V | T |
| 12 | 12 | R | T |
| 13 | 13 | V | I |
| 14 | 14 | R | I |
| 15 | 15 | V | T |
| 16 | 16 | R | T |
| 17 | 17 | V | T |
| 18 | 18 | R | T |

| Carretera 3 Dirección: UP | | | |
|------------------------------|------|------|-------|
| Seg | Asoc | Tipo | Unión |
| 19 | 6 | V | A |
| 20 | 20 | V | T |
| 21 | 21 | R | T |
| 22 | 22 | V | T |
| 23 | 23 | R | T |

| Carretera 4 Dirección: DOWN | | | |
|--------------------------------|------|------|-------|
| Seg | Asoc | Tipo | Unión |
| 24 | 14 | R | A |
| 25 | 25 | V | T |
| 26 | 26 | V | I |
| 27 | 27 | V | T |
| 28 | 28 | V | T |
| 29 | 29 | R | T |

| Carretera 5 Dirección: UP | | | |
|------------------------------|------|------|-------|
| Seg | Asoc | Tipo | Unión |
| 30 | 5 | R | A |
| 31 | 31 | V | T |
| 32 | 31 | V | D |
| 33 | 31 | V | D |
| 34 | 26 | V | A |

Tabla 3.- Descomposición de los segmentos de la figura 15.

V.3. COMPARACIÓN CON OTRAS MODELIZACIONES.

El tipo de representación que acabamos de definir es similar a los modelos utilizados por simuladores de tráfico macroscópicos, que trabajan con parámetros globales. En particular, la metodología empleada se asemeja en gran medida a la empleada por el simulador "METANET"² [Papageorgiou, 90]. En él, la red de carreteras también se representa por un grafo, donde los nodos corresponden a bifurcaciones, uniones y rampas de entrada y salida, y los tramos, a las extensiones de carretera que existen entre nodos. Las carreteras son modelizadas como tramos separados con direcciones opuestas y en los extremos de la red se localizan tramos de origen y destino donde el tráfico entra y sale respectivamente de la parte de la red simulada.

Cada tramo de carretera es subdividido en segmentos (ver figura 16), como en nuestra modelización, pero a diferencia de ella, METANET divide la carretera en segmentos de forma automática dándole a todos ellos la misma longitud, restricción que nosotros hemos evitado.

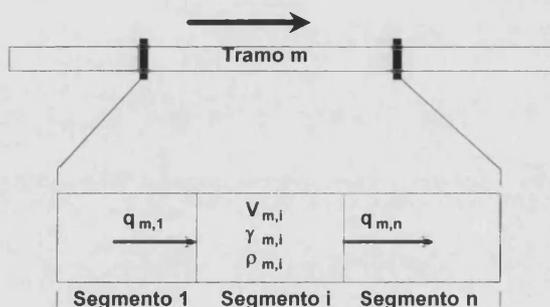


Figura 16.- Segmentación del simulador METANET

La segunda diferencia entre METANET y nuestro modelo, es que los nodos de METANET no tienen longitud física real, son meros puntos de bifurcación, mientras los nuestros se consideran como segmentos de unión, con una longitud física real, concepto que coincide más con la realidad, y que facilita su aplicación en procesos de DAI.

Las primeras pruebas de laboratorio realizadas sobre el SCP se llevaron a cabo empleando como fuente de datos de entrada los proporcionados por el simulador METANET (ver el capítulo IX). Para ello fue necesario establecer una correlación entre la estructura del sistema y la de METANET, de modo que la segmentación realizada por ambos coincidiese.

La similitud entre las estructuras de red simplificó en gran medida el proceso de conversión de datos. Las restricciones impuestas en este proceso fueron:

- Ambas redes se deben de descomponer en los mismos nodos de decisión.
- Los segmentos comunes del sistema se deben asociar al segmento más próximo al nodo correspondiente.
- Los segmentos del sistema no pueden ser más pequeños de 200 m.
- Dos segmentos consecutivos de longitudes similares corresponde a un tramo de METANET compuesto de dos segmentos.

²METANET es un programa de simulación de redes interurbanas, desarrollado por la Universidad de Munich.

- Dos segmentos consecutivos de longitudes diferentes se asocian a dos tramos diferentes de METANET.

La figura 17 muestra, con un ejemplo, la relación existente entre nuestra modelización y la de METANET. En ella se observan los nodos adicionales que hay que incorporar para compatibilizar ambas descripciones según las restricciones anteriores.

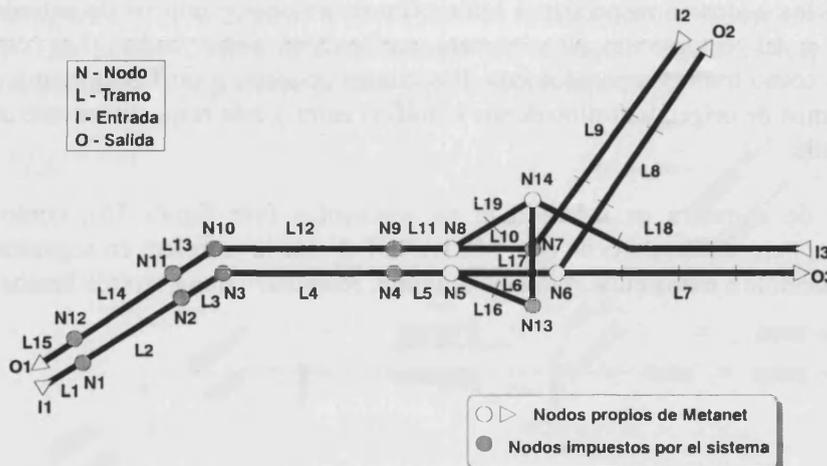


Figura 17.- Descripción de la red para simulación con METANET.

Una vez definida la red de METANET, y para poder aplicar la información obtenida mediante simulación, hemos de crear un fichero auxiliar que establezca la relación entre los segmentos del SCP y METANET. La tabla 4 muestra la correlación existente en el caso de la red de la figura 17.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|----|----|----|----|----|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| SCP | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| METANET | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 | L8 (1) | L8 (2) | L8 (3) | L9 (1) | L9 (2) | L9 (3) | L10 | L11 | L12 | L13 | L14 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|------------|------------|------------|------------|------------|----|------------|------------|-----|------------|
| SCP | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 |
| METANET | L15 | L6 | L7 (1) | L7 (2) | L7 (3) | L7 (4) | L11 | L19 (1) | L19 (2) | L18 (1) | L18 (2) | L18 (3) | L5 | L16 (1) | L16 (2) | L17 | L19 (2) |

Tabla 3.- Relaciones ente la modelización del SCP y METANET

V.4. BASE DE DATOS GEOGRÁFICA (BDG)

Como conclusión de este capítulo y como base para la introducción de los procesos de análisis del SCP vamos a transformar la modelización de la red de carreteras en una base de datos geográfica, que va ha servirnos de referencia obligada en la aplicación de los algoritmos y reglas empleados en el establecimiento de conclusiones a nivel de red.

Se define una BD como una colección de referencias con un formato previamente estipulado y que se emplean con objeto de almacenar, recuperar, actualizar, etc., la información contenida en dichas referencias [Bosque, 92]. En el caso de BDG, estas referencias tienen un contenido geográfico, con el que se describen objetos del mundo real en función de:

- Su posición.

- Sus atributos
- Sus relaciones espaciales.

Podemos observar, de la lectura de este capítulo que nuestro modelo se comporta como una BDG, donde los objetos que se describen son segmentos de carretera, de los que conocemos su posición, dada por una línea recta (mediante dos coordenadas geográficas), un conjunto de atributos, tanto geográficos, como de lógicos y de diseño, y su relación con otros segmentos. Se trata, además, de una BD relacional, puesto que mantiene unos vínculos asociativos con otras BD (de carreteras y de cámaras) a través de elementos comunes.

Por otro lado, y como veremos en los capítulos VI y VII, la BDG que crearemos mantiene unas relaciones con otras BD a las que se puede acceder mediante el índice del segmento, que actúa como nexo de unión entre ellas permitiendo un rápido acceso a la información contenida en ellas.

Asociado al concepto de BD, se encuentra el sistema de gestión de bases de datos (SGBD), que es el encargado del mantenimiento y gestión de la BD. En nuestro caso, el SGBD se encuentra integrado en el SCP y es el encargado de realizar las siguientes tareas:

1. Creación de la BDG interna del sistema. Este es un proceso que se realiza cada vez que se arranca el sistema y consiste en la creación de las estructuras de memoria que contendrán la modelización de la red de carreteras y de las cámaras instaladas. Las tareas de este proceso son las siguientes (ver figura 18).

- *Lectura de las características generales de la red del fichero de inicialización.* El sistema accede al fichero de inicialización, que contiene toda la información básica para la creación de las estructuras de memoria y los valores de las variables internas y los umbrales de los parámetros de trabajo, para leer el tamaño y elementos que constituyen la red de carreteras (Descritos en el punto V.1.1).
- *Creación de las estructuras de datos en memoria compartida.* Se reserva el espacio de memoria compartida para contener la base de datos geográfica. Dos estructuras son creadas:
 - La BD de información estática de segmentos.
 - La BD de información estática de carreteras.

Ambas BDs están constituidas por una lista ordenada de registros, conteniendo cada registro la información de un segmento y una carretera respectivamente. Las dos BD se encuentra indexadas mediante un índice común que permite acceder desde un segmento al registro de la carretera a la que pertenece y viceversa.

- *Lectura de los ficheros de información geográfica.* Dos son los ficheros que contienen la información sobre la red de carreteras. El primero únicamente contiene información sobre el tipo de analizador de imágenes asociado a cada cámara y está preparado para incorporar los datos de configuración de los analizadores. El segundo contiene la información necesaria sobre los segmentos y las carreteras para completar todos los datos que se ha definido en los puntos V.1.2 y V.1.3.

2. Acceso de otros procesos.

La BDG la creamos en memoria compartida para permitir el acceso a la misma desde otros procesos, que no sea el SCP, (MMI, sistema de comunicaciones). Este acceso se

realiza de forma independiente del SGBD, puesto que sólo se permiten operaciones de lectura por parte de sistemas externos.

3. *Actualización de los contenidos de las estructuras de memoria.*

La última tarea es la actualización de las BDs de memoria con los contenidos de la red. Por lo general, estos contenidos se mantendrán invariantes durante la ejecución excepto durante el periodo de ajuste o cuando se de alta alguna nueva cámara, en cuyo caso se actualizará no solo los contenidos de memoria sino también los almacenados en fichero.

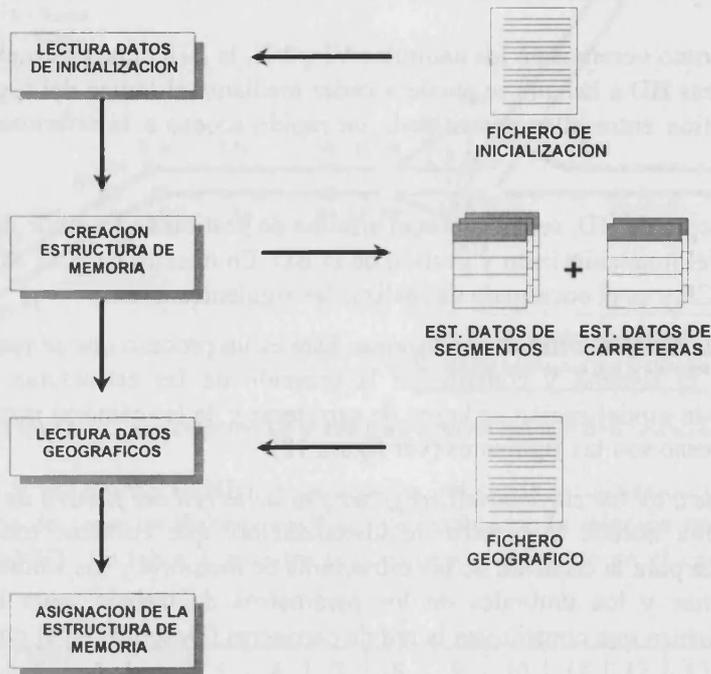


Figura 18.- Tareas del proceso de creación de la BDG.

CAPITULO VI ➤

CAPITULO VI

SISTEMA CENTRAL DE PROCESAMIENTO: ANÁLISIS ESPACIAL DE LA INFORMACIÓN.

VI.1. INTRODUCCIÓN

Una vez hemos modelizado la red de carreteras y restablecido las relaciones lógicas que existen entre los segmentos, vamos a describir, en detalle, las tareas del Sistema Central de Procesamiento. La primera de ellas es la de determinar lo que está ocurriendo en las zonas ocultas de la red, y es ejecutada por el módulo de análisis espacial (MAE) al que hemos dedicado este capítulo (ver figura 1).

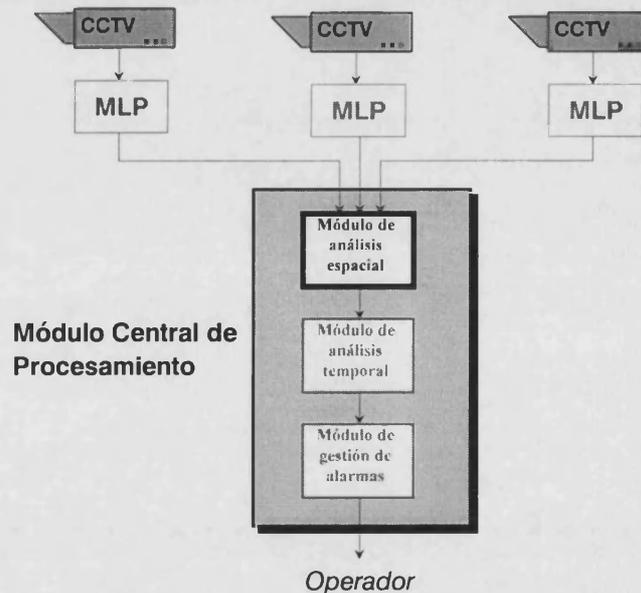


Figura 1.- Módulos principales del SCP.

VI.2. MODULO DE ANÁLISIS ESPACIAL DE DATOS

El MAE toma como datos de entrada dos clases de información:

- Información dinámica sobre incidentes y parámetros de tráfico proporcionada por los analizadores de imágenes, distribuidos de forma adecuada sobre las áreas más conflictivas de la red. (véase el capítulo III).

- Información estática correspondiente a las características geográficas y geométricas de cada uno de los segmentos en que se ha modelizado la red de carreteras, y a las relaciones lógicas existentes entre ellos (véase el capítulo IV).

Como resultado final, debe obtener una descripción, a nivel local, de lo que está ocurriendo en **todos** los segmentos de la carretera, independientemente del tipo de segmento de que se trate (real ó virtual), proporcionando una estructura común a todos ellos.

VI.2.1 BASE DE DATOS DINÁMICA

El SCP mantiene una base de datos dinámica (BDD) donde se almacenan, por cada segmento en que se divide la red de carreteras, los parámetros variables, o susceptibles de variación, en cada ciclo del proceso.

Esta base, al igual que la base de datos geográfica, se crea en memoria compartida, manteniendo una clave de acceso prefijada desde el fichero de inicialización, de manera que cualquier proceso, tanto interno como externo al sistema, pueda tener un acceso a las estructuras de memoria sin otro requerimiento que conocer la clave y la estructura de registros. Esta característica permite modular el sistema interconectando procesos independientes para que trabajen con una información común.

VI.2.1.1 Modelado de la BDD

La BDD la hemos estructurado como una matriz de 3 dimensiones en la que cada eje corresponde a un nivel de descripción diferente que contiene a su vez los niveles de descripción previos (ver figura 2).

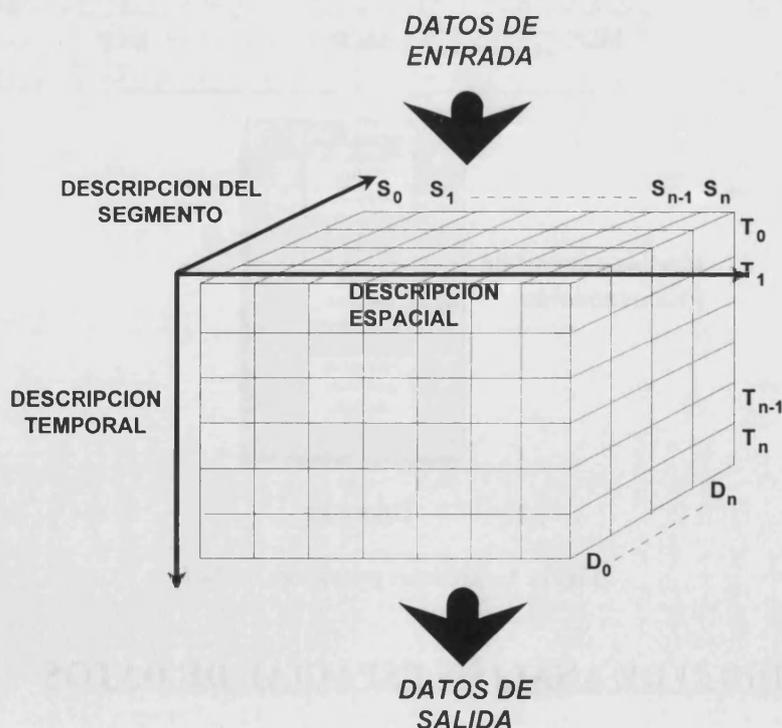


Figura 2.- Representación de la base de datos dinámica

Estos tres niveles responden a la modelización de la red descrita en el capítulo V y de menor a mayor complejidad son:

Descripción a nivel de segmento: Este nivel está constituido por todos los datos variables asociados con cada segmento, real o virtual, de la carretera. Todos los elementos de este nivel están constituidos por un conjunto fijo de datos, representado en un registro. Gráficamente corresponde a cada una de las celdas de la figura 2.

Descripción a nivel espacial: El eje 'X' de la figura 2 corresponde a la descripción espacial de la red. Este eje está constituido por todos los segmentos en los que la red es dividida en cada ciclo de procesamiento. Cada elemento de este nivel contiene todos los datos de los segmentos definidos en nivel anterior y están agrupados en carreteras independientes.

Descripción a nivel temporal: Este nivel permite representar la evolución temporal de la red y está constituido por el conjunto de descripciones espaciales de la red en cada intervalo de procesamiento. El alcance temporal de este eje 'Y' se puede fijar manualmente durante la instalación del sistema o automáticamente en función del número de segmentos en que se ha descompuesto la red y la memoria interna del ordenador. La descripción temporal funciona como una lista FIFO (First in, First out), de manera que cuando el horizonte temporal se sobrepasa, la última descripción espacial es almacenada en fichero permitiendo la entrada de la descripción más reciente.

VI.2.1.2 Registros de la Base de Datos Dinámica

Cada registro de la descripción a nivel de segmento contiene la siguiente información:

- **Nivel de servicio inicial:** Corresponde al nivel de servicio calculado a partir de los datos primarios del sistema respecto al estado de tráfico existente en la vía.
- **Nivel de servicio final:** Corresponde al nivel de servicio estimado al finalizar el proceso de análisis espacial.
- **Numero de incidente asociado:** Es un índice que identifica a que incidente detectado se debe el actual estado del segmento. Si las condiciones del segmento son normales, o no han sido provocadas por un incidente este valor es NULO. (En el capítulo 10 se detalla la utilidad de este índice).
- **Tipo de incidente:** Indica el tipo de incidente, si existe, que se ha detectado en el sistema. Los valores permitidos son:
 - No incidente (0)
 - Vehículo parado en un carril (1).
 - Vehículo parado en el arcén (2).
 - Vehículo parado en congestión (3).
 - Descenso de velocidad (4).
 - Incremento de velocidad (5).
 - Congestión (6).
- **Carril en el que se produce el incidente:** Indica el número de carril en el que se ha detectado el incidente. (El 0 corresponde al arcén, mientras que el resto de carriles se numeran de izquierda a derecha).
- **Nivel de alarma:** Representa la cuantificación de la alarma detectada en función de sus características y las prioridades del operador. (Se encuentra más detallado en el capítulo VII).
- **Nivel de confianza de los datos:** Indica el porcentaje de confianza de los datos obtenidos por el sistema. Toma un valor de 0 a 100.

- ***Estado del sistema detector:*** Indica cual es el estado del analizador de imágenes y de las comunicaciones. Se emplea para validar los datos recibidos por el analizador. Las señales de estado implementadas son:
 - **Correcto:** Se han recibido de forma correcta los datos del analizador.
 - **Sin imagen:** El analizador de imágenes no recibe señal de vídeo o ésta es de muy baja calidad para realizar el procesamiento.
 - **Sin datos:** El módulo de comunicaciones no ha recibido datos del analizador durante el periodo prefijado para la recepción de datos.
 - **Sin comunicaciones:** No se establece comunicación entre el módulo de comunicaciones y el sistema central.
- ***Duración del estado del segmento:*** Es un contador que indica el número de ciclos de procesamiento durante los cuales el segmento ha mantenido el mismo nivel de servicio.
- ***Velocidad media:*** Corresponde al valor medio de la velocidad, medido en Km/h. Este valor se calcula haciendo la media de las velocidades medidas durante el último minuto.
- ***Ocupación espacial:*** Corresponde al valor medio de la densidad, medido en Veh. ligeros eq. / Km. Este valor se calcula haciendo la media de las ocupaciones durante el último minuto.
- ***Flujo estimado:*** Corresponde al flujo medio, medido en Veh. ligeros eq. / h. carril.

VI.2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DEL MAE

Los procesos realizados por el MAE (ver figura 3) se caracterizan por ser operaciones puntuales o locales. Es decir, que sólo emplean datos relativos al propio punto o a puntos vecinos del que se está analizando. Por lo general, las operaciones puntuales están asociadas a los segmentos reales, mientras que las locales corresponden a segmentos virtuales. Las únicas operaciones locales asociadas con segmentos reales son aquellas que tienen un alcance temporal, y que son comunes a ambos tipos de segmentos (operaciones de filtrado).

La secuencia de operaciones lógicas realizadas por el módulo de análisis espacial comienza en el momento en que los datos provenientes de los detectores son transmitidos desde el módulo de comunicaciones al Sistema Central. Los datos de cada segmento real se almacenan en el registro correspondiente de la base de datos dinámica. Las tareas del MAE se pueden agrupar en:

1. Análisis de los datos reales. Estos datos se procesan de forma individual incrementándose el conocimiento existente sobre los segmentos. Tres procesos componen esta tarea:
 - La verificación de la coherencia de los datos proporcionados por los detectores.
 - La estimación del nivel de servicio y otros datos de tráfico.
 - Filtrado de los niveles de servicio.
2. El siguiente paso es emplear la información sobre los segmentos reales para deducir la situación y las condiciones que existen en los segmentos virtuales. La principal información obtenida de este proceso es la detección de incidentes en las zonas ocultas junto con la estimación del estado de tráfico. Se realiza en dos etapas

en función del tipo de segmento virtual de que se trate, primario o secundario. (Explicados en el punto 4).

3. Por último se analizará de nuevo la red para incrementar la coherencia conjunta de la información analizada. Proceso de filtrado de incidentes.

Estos procesos están representados de gráficamente en la figura 3.

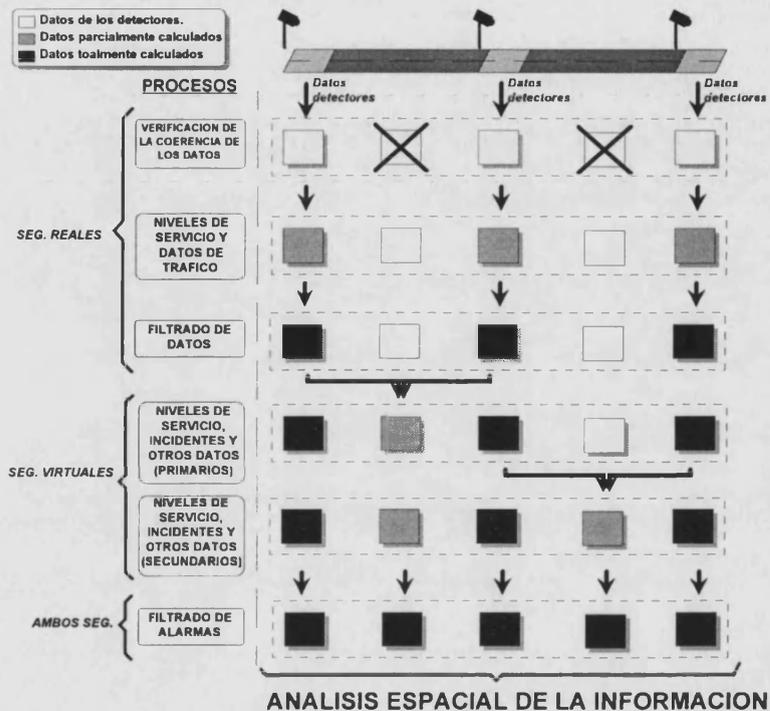


Figura 3.- Operaciones del modulo de análisis espacial de datos.

El conjunto de operaciones del MAE se ejecutan una vez cada ciclo de procesamiento, estando prefijado el intervalo entre ciclos en 15 segundos. La razón de escoger este valor viene dada por la necesidad que tienen el SCP de procesar datos relativamente modernos para poder detectar incidentes en zonas virtuales. Valores más altos suponen un mayor retraso en la detección y hacen que la información representada sea más antigua. Por otro lado, valores más bajos suponen un incremento del número de datos a transmitir cada segundo, con los inconvenientes de procesamiento que ello conlleva. Este valor coincide con el tiempo de detección fijado en el MLP.

VI.3. ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO.

La función principal del MAE es la estimación del estado del tráfico (nivel de servicio) tanto de las zonas monitorizadas como de las no monitorizadas entre dos cámaras consecutivas. Los datos y las reglas empleados para ello son diferentes de acuerdo al tipo de segmento de que se trate (real o virtual). La figura 4 muestra los parámetros, tanto geográficos como de tráfico, empleados en el cálculo del nivel de servicio de los segmentos reales y virtuales. La descripción de estos parámetros y de las reglas de cálculo se explican detalladamente en las secciones 4 y 5 de este capítulo.

Según la definición de nivel de servicio (véase el capítulo 0.II), se distinguen seis niveles, numerados de la A a la F, de acuerdo al orden en que se degradan las condiciones del estado de tráfico, sin embargo, nuestro sistema central diferencia únicamente cinco niveles de tráfico. La decisión de delimitar el rango de cualificación a sólo cinco niveles es el resultado de un compromiso al que se llegó después de estimar los resultados previos obtenidos por el sistema en la detección de incidentes en segmentos virtuales. El empleo de más niveles incrementaba el número de falsas alarmas en estos segmentos, mientras que si se reducían, decrecía notablemente la sensibilidad del sistema a los mismos.

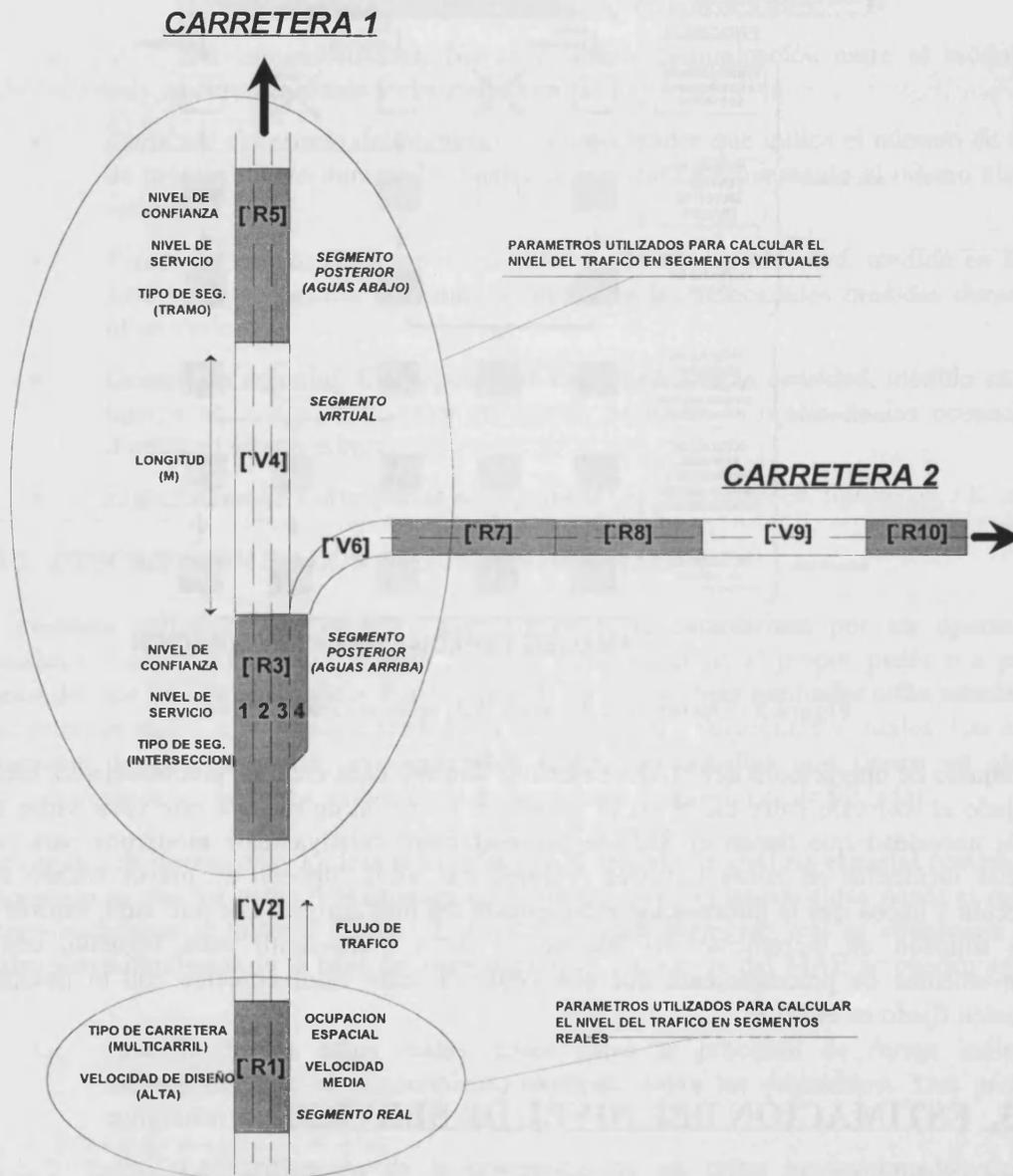


Figura 4.- Parámetros empleados en el cálculo del nivel de servicio

Los niveles reconocidos por el sistema son (ver tabla 1):

| ESTADO | DESCRIPCIÓN | ETIQUETA | VALOR |
|-----------------|--|----------|-------|
| Tráfico libre | Zona con muy poca densidad de tráfico o vacía. | LIBRE | 1 |
| Tráfico Normal | Tráfico normal | NORM | 2 |
| Tráfico Denso | Alta ocupación con tráfico moviéndose relativamente rápido | DENS | 3 |
| Congestión baja | Alta ocupación con tráfico moviéndose pero lentamente | C_BA | 4 |
| Congestión alta | Alta ocupación con paradas intermitentes | C_AL | 5 |

Tabla 1.- Niveles de servicio reconocidos por el sistema de acuerdo al estado de tráfico

Hay que resaltar que el incremento de los niveles no es una restricción técnica sino que se reduce a la inclusión de un límite adicional de cualificación, con los problemas en el aumento del número de falsas alarmas que esto conlleva.

Por otro lado, desde el punto de vista del operador de tráfico, no es aconsejable trabajar con más de 3 estados de tráfico. La DGT emplea tres niveles, asociados cada uno de ellos a un color. Para responder a este requisito el sistema puede llevar a cabo la reducción de los niveles de servicio mediante la integración de 2 o más niveles en un sólo nivel. Este proceso es realizado por el MMI de manera que a la salida el operador sólo distingue 3 niveles (Normal, Denso, Congestionado), aunque el núcleo de análisis del sistema continua trabajando internamente con 5 niveles.

Además de estos niveles de tráfico definidos, relacionados con la ocupación espacial existente en la vía, el sistema trabaja con otros 3 niveles más, pero en este caso, estos se encuentran asociados a patrones de tráfico específicos (ver tabla 2).

| ESTADO | DESCRIPCIÓN | ETIQUETA | VALOR |
|-------------|--|----------|-------|
| Desconocido | No se ha podido estimar el nivel de servicio. | DESC | 0 |
| Onda | Se produce un cambio significativo de los valores de la ocupación a lo largo de la zona analizada. | ONDA | 6 |
| Incidente | Se ha detectado la presencia de un incidente en el segmento. | INCI | 7 |

Tabla 2.- Niveles de servicio reconocidos por el sistema de acuerdo a patrones de tráfico

El estado “DESCONOCIDO” se emplea por defecto en aquellos segmentos en los cuales no es posible calcular un nivel de servicio, puesto que no se poseen datos de los detectores o su estado no se puede deducir de los segmentos de su entorno. En la inicialización del sistema todos los segmentos se encuentran en este estado.

El estado “ONDA” responde a las situaciones transitorias que se producen en el segmento donde se encuentra el final de la cola y donde se dan variaciones bruscas de velocidad. Este estado también se emplea para representar el periodo existente desde que se elimina la causa de un incidente hasta que las condiciones de tráfico recuperan un estado normal. Tal como se describe en el capítulo 0.II acerca de las características de un incidente y su evolución, este estado se asociará a la onda de choque (W_{u1}), que se extiende aguas arriba cuando se produce

un incidente, y a las ondas que limitan la región de alta ocupación y la zona de flujo normal cuando el incidente ha sido resuelto (W_{d2} y W_{d3}). Gráficamente la figura 5 representa la evolución de estas zonas de perturbación. En el capítulo 0.II se describen con más detalle la evolución de un incidente y los elementos con que este se define y que se encuentran representados en la figura 5.

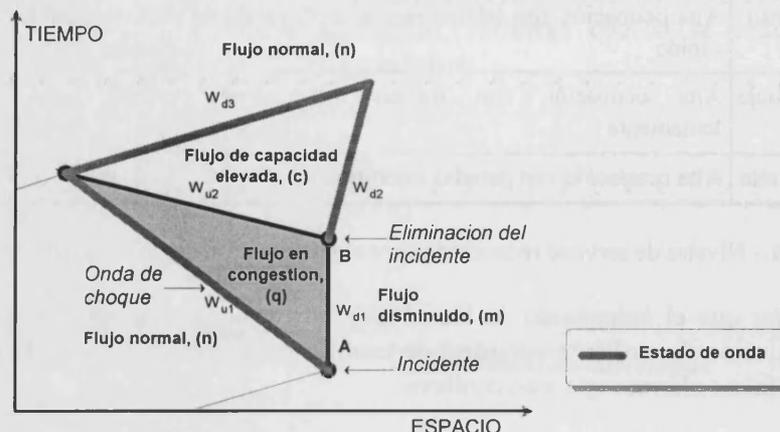


Figura 5.- Representación de la zona correspondiente al estado ONDA

La presencia de este tipo de situaciones sólo se ponen de manifiesto en incidentes severos, en donde existe una variación notable entre las zonas de flujo normal y las zonas afectadas por el incidente. En general, no se han detectado las ondas W_{d2} y W_{d3} durante el periodo de la evaluación de campo ya que la mayoría de los problemas detectados respondían a congestiones recurrentes, en las que las diferencias de ocupación entre las zonas que se consideran afectadas y sus alrededores no sufren una variación tan significativa.

El estado "ONDA" también se ha empleado para definir situaciones anormales que se producen en zonas tales como accesos, rampas de entrada y salida, etc. y que presentan patrones similares a las situaciones de incidente, pero que debido a la presencia de dichos puntos de bifurcación no corresponden generalmente a un incidente, sino que son comportamientos normales producidos por la reducción de velocidad e incremento de ocupación que temporalmente se dan en dichos puntos y que extienden sus efectos a las zonas cercanas. En este caso, el estado de "ONDA" sólo se asocia a segmentos virtuales, en donde no existe información directa de la zona de bifurcación y el estado de la misma tiene que calcularse empleando los segmentos reales de su entorno.

El estado "INCIDENTE" responde justamente a la presencia de un incidente en el segmento. El hecho de que un segmento se califique con nivel de servicio incidente únicamente es significativo de cara a la representación gráfica del estado de la red, puesto que internamente el segmento afectado mantiene su nivel de servicio tal y como éste se concibe. El cálculo del nivel de servicio en segmentos reales en donde se ha detectado un incidente se realizará de la forma habitual (como se describe en la sección VI.4.2). En caso de que el segmento sea virtual, el nivel de servicio corresponderá a un estado de congestión.

VI.4. ANÁLISIS DE LAS ZONAS REALES

La primera de las tareas del MAE, descritas en el punto VI.2, se centra en el análisis de los segmentos reales. Este análisis se puede descomponer en los siguientes procesos secuenciales, cada uno de ellos con unos objetivos particulares:

- Verificación de la coherencia de los datos proporcionados por los detectores.
- Estimación del nivel de servicio
- Cálculo de parámetros adicionales.
- Filtrado de datos.

A continuación se van a describir detalladamente cada uno de estos procesos. Con motivo de mantener una exposición coherente y clara, se va a comenzar con la descripción del proceso de estimación del nivel de servicio ya que constituye el objetivo principal del módulo MAE y en él se definen conceptos que se emplean en el resto de apartados.

VI.4.1 NIVEL DE SERVICIO EN SEGMENTOS REALES

El nivel de servicio, por definición, se debe establecer únicamente en función de la ocupación espacial existente en la vía. Sin embargo, la mayoría de los sistemas que proporcionan información sobre el nivel de servicio existente en la carretera determinan este en función de la velocidad existente. En nuestro caso se empleará tanto la velocidad media como la ocupación espacial proporcionada por los detectores.

El primer paso consiste en la estimación del nivel de servicio de forma independiente empleando cada uno de estos parámetros por separado. Como resultado de esta estimación se obtendrán dos niveles de servicio, de los que se encuentran definidos en la tabla 1, para cada segmento.

VI.4.1.1 Nivel de servicio en función de la ocupación espacial:

El NS se obtiene directamente de la ocupación espacial, y esta se define como un porcentaje sobre la totalidad de la carretera. Este porcentaje es independiente del tipo de vía y de sus características de diseño, por lo tanto, la regla empleada responderá al siguiente enunciado:

“Un valor de la ocupación espacial comprendido entre MIN_OCC y MAX_OCC corresponde a un nivel de servicio de NS_OCC” (1)

Donde:

- MIN_OCC y MAX_OCC son umbrales internos del sistema que pueden ser modificados por el usuario para ajustar el nivel de servicio estimado al realmente existente.

Los valores predefinidos para estos umbrales a partir del manual de capacidad son:

| | NS_OCC | MIN_OCC | MAX_OCC |
|-------------------------------|--------|---------|---------|
| OCUPACIÓN ESPACIAL | LIBRE | 0 | 10 |
| | NORM | 11 | 80 |
| | DENS | 81 | 115 |
| | C_BA | 116 | 135 |
| | C_AL | 136 | 170 |

Tabla 3.- Valores predefinidos para el cálculo del nivel de servicio en función de la ocupación espacial

VI.4.1.2 Nivel de servicio en función de la velocidad media

La determinación del NS en función de la velocidad no es tan directa como en el caso de la ocupación, puesto que depende de las características de la carretera, como se describe en el capítulo 0.II. No se puede asumir que el nivel de servicio correspondiente a una velocidad es el mismo para una autopista, que para una carretera secundaria. La regla aplicada en este caso es:

“Dado un segmento real caracterizado por una velocidad de diseño FRE_SPE , con un tipo de carretera TYP_ROA , y una velocidad media comprendida entre MIN_VEL_ROA y MAX_VEL_ROA su nivel de servicio será NS_VEL ” (2)

Donde:

- FRE_SPE : Define la velocidad libre de diseño de la carretera y admite tres valores según la modelización establecida en el capítulo V: Alta, Media o Baja.
- TYP_ROA : Define el tipo de carretera y distingue entre tres tipos: Autovía, Multicarril, Dos vías. (Véase el capítulo V).
- MIN_VEL_ROA y MAX_VEL_ROA son umbrales internos del sistema que pueden ser modificados por el usuario para ajustar el nivel de servicio estimado al existente.

La combinación de valores que establece el conjunto de reglas se puede representar mediante las siguientes tablas 4, 5 y 6:

DOS VÍAS

| | | FRE_SPE | | | | | |
|---------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | ALTA | | MEDIA | | BAJA | |
| VELOC. MEDIA | NS_VEL | MIN_VEL | MAX_VEL | MIN_VEL | MAX_VEL | MIN_VEL | MAX_VEL |
| | LIBRE | 91 | 255 | 86 | 255 | 81 | 255 |
| | NORM | 51 | 90 | 46 | 85 | 41 | 80 |
| | DENS | 36 | 50 | 31 | 45 | 26 | 40 |
| | C_BA | 26 | 35 | 21 | 30 | 21 | 25 |
| | C_AL | 0 | 25 | 0 | 20 | 0 | 20 |

Tabla 4.- Valores predefinidos para el cálculo del NS en función de la v. media en carreteras de dos vías.

MULTICARRIL

| | | FRE_SPE | | | | | |
|---------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | ALTA | | MEDIA | | BAJA | |
| VELOC. MEDIA | NS_VEL | MIN_VEL | MAX_VEL | MIN_VEL | MAX_VEL | MIN_VEL | MAX_VEL |
| | LIBRE | 106 | 255 | 101 | 255 | 96 | 255 |
| | NORM | 61 | 105 | 51 | 100 | 46 | 95 |
| | DENS | 41 | 60 | 36 | 50 | 31 | 45 |
| | C_BA | 26 | 40 | 21 | 35 | 21 | 30 |
| | C_AL | 0 | 25 | 0 | 20 | 0 | 20 |

Tabla 5.- Valores predefinidos para el cálculo del NS en función de la v. media en carreteras multicarril.

| AUTOVÍA | | FRE_SPE | | | | | |
|-----------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | ALTA | | MEDIA | | BAJA | |
| VELOC. MEDIA | NS_VEL | MIN_VEL | MAX_VEL | MIN_VEL | MAX_VEL | MIN_VEL | MAX_VEL |
| | LIBRE | 111 | 255 | 106 | 255 | 101 | 255 |
| | NORM | 66 | 110 | 56 | 105 | 51 | 100 |
| | DENS | 46 | 65 | 41 | 55 | 36 | 50 |
| | C_BA | 31 | 45 | 26 | 40 | 21 | 35 |
| | C_AL | 0 | 30 | 0 | 25 | 0 | 20 |

Tabla 6.- Valores predefinidos para el cálculo del NS en función de la v. media en autovías.

El sistema admite un tratamiento más detallado de las zonas de bifurcación o zonas de entrada/salida dependiendo de la capacidad del detector de imágenes asociado al segmento para proporcionar información sobre la velocidad media por carriles.

Estas zonas corresponden a segmentos definidos como “Intersección” o “Acceso”, y se caracterizan porque no todos los carriles que la constituyen afecten a la misma carretera. El segmento R3 de la figura 3 es un ejemplo de este tipo de zonas. Se tiene una carretera de 3 carriles que se ensancha a un cuarto carril al llegar a una rampa de salida (correspondiente al segmento R3). Este segmento pertenecerá por tanto a la carretera 1 (carretera principal) como a la carretera 2 (secundaria). Desde el punto de vista de la carretera principal, el segmento estará compuesto por los carriles 1, 2 y 3 del tramo y será de tipo intersección, mientras que para la secundaria, el segmento estará constituido únicamente por el carril 4 (carril de desaceleración) y será de tipo acceso.

En estos casos el proceso de razonamiento realiza un cálculo previo de la velocidad media de los carriles asociados a la carretera sobre la que se está realizando el análisis y con este valor se estima el nivel de servicio. Consideremos un ejemplo sobre la red de la figura 4.

Supongamos que la carretera secundaria se encuentra congestionada, es posible que esta congestión afecte también al carril de acceso de la carretera principal, con lo que se pueden obtener unas velocidades por carril del orden:

| | | | | |
|---------|----|----|----|----|
| Carril: | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Veloc. | 96 | 89 | 70 | 40 |

Si el detector no distinguiese la velocidad por carril, la velocidad media asociada al segmento de la carretera principal y de la secundaria sería la misma: 74 Km/h (Nivel de servicio NORMAL). Si el detector diferenciase entre carriles, la velocidad del segmento de la carretera principal sería de 85 Km/h (NORMAL) y la del segmento de la carretera de secundaria de 40 Km/h (DENSO) obteniéndose una mejor descripción de la situación.

Se puede concluir que cuanto mayor sea la capacidad del analizador para describir la situación existente mejores conclusiones podrá inferir el sistema central. Este incremento en la capacidad de detalle del sistema no supone un incremento en el porcentaje de estimación de situaciones erróneas, sino todo lo contrario.

VI.4.1.3 Estimación final del nivel de servicio

Una vez obtenido el nivel de servicio en función de la ocupación espacial y la velocidad media, se combinan estos dos valores para obtener un valor final más robusto. Si el detector tuviese una precisión del 100 % en las medidas y los valores experimentales siguiesen totalmente el modelo teórico ambos niveles de servicio tendrían que coincidir. Sin embargo esta situación no siempre se produce apareciendo desfases entre el NS estimado de un modo u otro. Se establecen unas reglas sobre la combinación de estos valores para discernir el nivel de servicio que finalmente se asocia al segmento. Estas reglas siguen el siguiente formato:

“Sea un segmento real con un nivel de servicio en función de la ocupación de NS_OCC y un nivel de servicio en función de la velocidad de NS_VEL, entonces el nivel de servicio asociado al segmento será EST_TRA” (3)

La tabla 7 recoge las relaciones establecidas entre NS_VEL y NS_OCC para calcular el nivel de servicio.

| | | OCUPACIÓN ESPACIAL (NS_OCC) | | | | |
|---------------------------|-------|-----------------------------|-------|------|------|------|
| | | LIBRE | NORM | DENS | C_BA | C_AL |
| VEL. MEDIA (NS_VEL) | LIBRE | LIBRE | LIBRE | NORM | NORM | NORM |
| | NORM | LIBRE | NORM | NORM | NORM | DENS |
| | DENS | NORM | NORM | DENS | DENS | DENS |
| | C_BA | NORM | NORM | DENS | C_BA | C_BA |
| | C_AL | NORM | DENS | DENS | C_BA | C_AL |

Tabla 7.- Relaciones para la estimación del nivel de servicio en segmentos reales.

Las zonas sombreadas corresponden a combinaciones que no tienen un sentido teórico ni un reflejo real y por tanto que no han de ser admitidas por el sistema. Sin embargo, como son situaciones que circunstancialmente se producen, el ciclo lógico debe de estar preparado para tratar con ellas y evitar bloqueos del sistema. Se han definido por tanto unos niveles de servicio asociados de acuerdo a las condiciones reales más probables de dichas situaciones, eliminándose el riesgo de errores.

La introducción de este nivel de incertidumbre dentro del proceso de análisis no se mantiene oculta a los demás procesos de inferencia, sino que va acompañada de la modificación del nivel de confianza asociado al segmento y que refleja el porcentaje de fiabilidad de las conclusiones obtenidas.

VI.4.1.4 Justificación de la metodología empleada

Desde un punto de vista teórico, la relación existente entre la velocidad y la ocupación define una curva como la que se muestra en la figura 5. Para carreteras con diferentes velocidades de diseño y características geométricas y geográficas se obtienen curvas semejantes, pero no coincidentes.

En la figura 6 se representan también las áreas correspondientes a cada nivel de servicio de acuerdo a las definiciones dadas en el punto anterior.

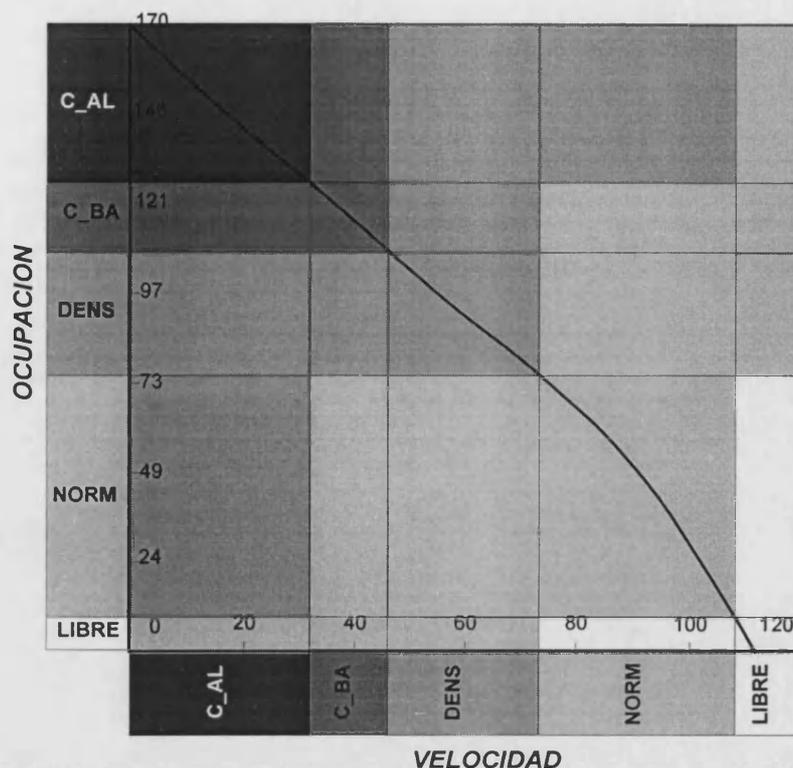


Figura 6.- Curva ocupación / velocidad y distribución de las zonas de cálculo del nivel de servicio

El hecho de definir el nivel de servicio como entornos de 2 dimensiones, limitados por umbrales de ambas variables, tiene dos razones fundamentales.

La primera es que asegura niveles de servicio similares para carreteras con características diferentes que responden a gráficas diferentes, y que en muchos casos no presentan un comportamiento tan rígido como se define teóricamente. Así se ha comprobado que los diagramas experimentales de velocidad / ocupación que se han obtenido durante la experimentación no corresponden de forma ajustada a la curva teórica que de ellos se espera.

La figura 7 muestra un ejemplo de los valores de ocupación/velocidad proporcionados por un analizador cualquiera. Estos constituyen una nube de puntos con intervalos de un rango lo suficientemente amplio para que valores de velocidad con el mismo valor de ocupación puedan corresponder a diferentes niveles de servicio en caso de que sólo se emplease una variable para su estimación.

La segunda es consecuencia de la dependencia del proceso de inferencia de fuentes de sensorización externas. Las irregularidades que proporcionan los analizadores de imágenes bajo ciertas condiciones de medición hace que en estos casos el valor obtenido para alguno de los parámetros no sea fiable.

Experimentalmente se ha comprobado que el porcentaje de errores en el caso de la velocidad es mayor que en el de la ocupación espacial, por lo que en caso de duda, el sistema tiende a considerar la velocidad como el parámetro predominante.

Cuando una combinación velocidad/ocupación recae dentro de estas zonas erróneas, el sistema realiza una verificación de los valores de ambas medidas rechazando y corrigiendo aquel que considere más adecuado. Este proceso se realiza por el módulo de análisis de la coherencia de los datos, como un paso previo a la estimación final del nivel de servicio.

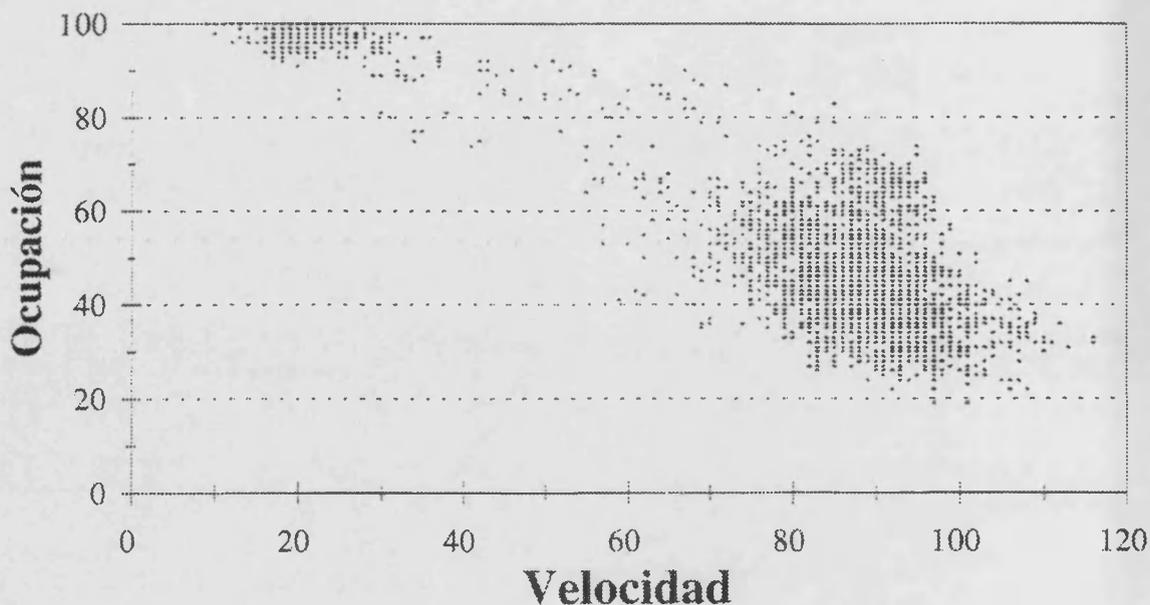


Figura 7.- Distribución de valores ocupación/velocidad obtenidos por un detector.

VI.4.2 VERIFICACIÓN DE LA COHERENCIA DE LOS DATOS

Cada vez que el sistema comienza un nuevo ciclo de procesamiento, la primera operación consiste en verificar los datos de tráfico proporcionados por los detectores (velocidad y ocupación espacial). El objetivo de esta operación es la de determinar cuando un analizador de imágenes ha producido un error en la estimación de alguno de los parámetros de tráfico y tratar de corregir este valor para poder continuar operando con el resto de datos del analizador.

La corrección de los datos no busca obtener un valor real del parámetro analizado sino desplazar el valor de dicho dato para que sea cualitativamente compatible con el resto de datos y maximizar así el conjunto de elementos de conocimiento disponibles.

VI.4.2.1 Reconocimiento de segmentos reales.

Cuando se completa un ciclo de procesamiento, el núcleo del Sistema Central pasa a modo de escucha, manteniéndose en modo de reposo, hasta que recibe una señal software del módulo de comunicaciones que le indica cuando ha de comenzar un nuevo ciclo. En este momento el sistema comienza una búsqueda secuencial por la base de datos geográfica recorriendo toda la red modelizada y deteniéndose en aquellos segmentos que se tienen que tratar como segmentos reales. Las condiciones para considerar un segmento real en la BDG son:

“El segmento tiene que estar definido de tipo REAL y tener asociado un identificador de analizador NO NULO” (4)

y en caso de que se cumpla la condición anterior, se accede, mediante el índice del segmento, a los datos del detector almacenados en la capa superior de la BDD, para verificar que:

“El estado del detector asociado al segmento es CORRECTO o que siendo SIN DATOS no se ha superado el tiempo de recepción máximo permitido” (5)

En caso de que alguna de las condiciones (4) o (5) no se cumpla, el segmento será considerado como virtual y será tratado como tal, sin tener en consideración los datos proporcionados por el

detector, en caso de que existan. En caso contrario el segmento será considerado como real y se procederá a su análisis.

VI.4.2.2 Verificación y corrección de la velocidad.

La validación de los datos de velocidad es un procedimiento necesario para evitar las falsas alarmas que se producían como consecuencia de errores de los detectores en el cálculo de la velocidad.

Estos errores se producen de forma puntual en algunos analizadores de imágenes cuando el flujo de tráfico es muy escaso y suelen darse en intervalos en los que no circulan vehículos por la imagen. Estas condiciones se dan, por lo general, de noche, y cuando ocurren se obtienen valores de velocidad y ocupación bajos, lo que significa que uno de ellos es erróneo.

La gráfica de la figura 8 muestra un ejemplo de errores en el cálculo de la velocidad producidos durante la noche. El intervalo de representación de datos es de 15 segundos y cada medida corresponde a la integración durante el último minuto.

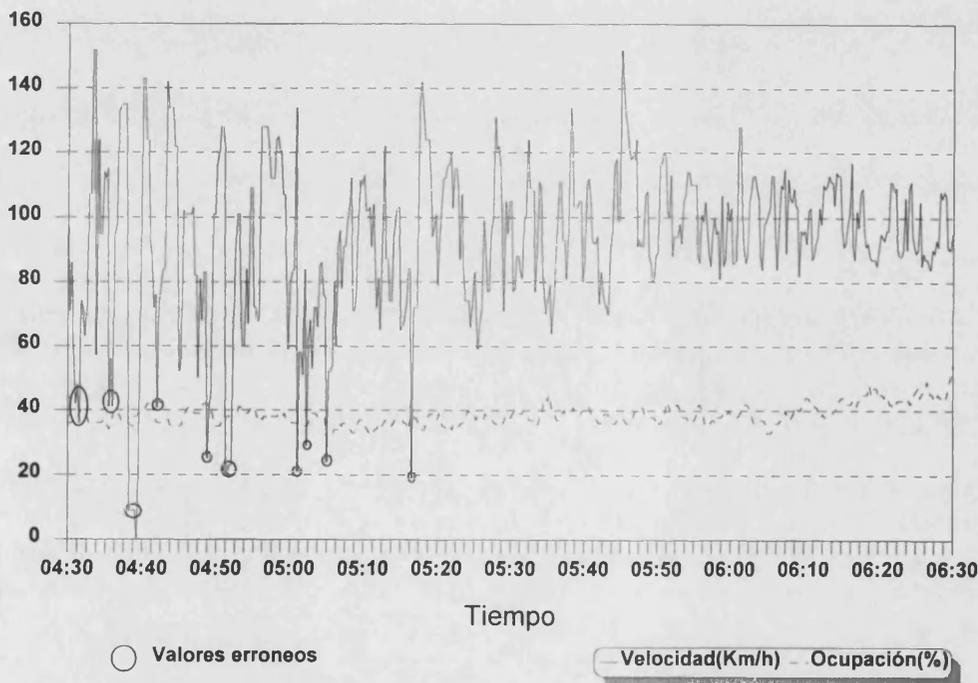


Figura 8.- Gráfica de velocidad y ocupación proporcionada por un analizador

Se puede observar que durante la primera hora representada la ocupación espacial permanece prácticamente constante mientras que la velocidad tiene grandes fluctuaciones ya que al ser menor el flujo de vehículos la velocidad de cada vehículo individual tiene un peso mayor en el cálculo de la media. En la segunda hora, se produce un incremento en el flujo de vehículos apareciendo una velocidad con menos variaciones, en la que ya no se dan valores erróneos.

Como ya se ha comentado en este capítulo, el valor de la ocupación espacial suele ser menos exacto que el de la velocidad. Cuando se produce esta desviación de la ocupación, ésta siempre se encuentra sobrestimada debido a la presencia de sombras o vehículos que se superponen a otros carriles dentro de la imagen.

El primer paso para validar el valor de la velocidad consiste en determinar si la combinación velocidad / ocupación se encuentra dentro de una zona definida como errónea. Para ello se emplea la regla 6:

“Si la velocidad es menor o igual que una velocidad mínima ERR_VMIN y la ocupación es menor que una densidad mínima ERR_DMIN , entonces el valor de la velocidad no está correctamente calculado” (6)

donde:

- ERR_VMIN : Es un valor prefijado en 30 Km/h, aunque puede ser modificado mediante el fichero de inicialización.
- ERR_DMIN : Es un valor que depende de las características geométricas del segmento y la velocidad actual y se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$d = d_{u(DENSO)} + \frac{v \cdot (30 - d_{u(DENSO)})}{v_{u(NORMAL)}} \quad (4)$$

siendo:

- $d_{u(DENSO)}$: El valor máximo de la densidad fijado para determinar un nivel de servicio “DENSO” en el segmento (Ver tabla 3).
- $v_{u(NORMAL)}$: El valor mínimo de la velocidad fijado para determinar un nivel de servicio “NORMAL” en el segmento (Ver tablas 4, 5 y 6).

Si se cumple la regla (6) y el valor de la velocidad no es correcto, en vez de asignarle a la velocidad un valor desconocido, con lo que se bloquearía el resto de operaciones y procesos del sistema sobre dicho segmento, se le asigna un valor estimativo, compatible con el valor de la ocupación, que permite continuar con los procesos de análisis.

Para obtener este valor se asume que en las condiciones en las que se produce el error corresponden a situaciones de tráfico libre sobre tramos de carretera que no presentan puntos de bifurcación, de modo que las que las variaciones de flujo en cortos periodos de tiempo, no mayores de 5 minutos, no son muy significativas ($f_t \approx f_{t-n}$), por lo que en la práctica, trabajamos con la siguiente regla:

Para $n < 5$ minutos
$$v_t = \frac{f_{t-n}}{d_t} \quad (8)$$

Si n es mayor de cinco minutos, ya no se asumirá la homogeneidad en el flujo y se calculará una velocidad promedio en función de los umbrales de velocidad del sistema y las características del segmento:

$$v_t = \frac{v_{u(NORMAL)} + v_{u(LIBRE)}}{2} \quad (9)$$

En caso de que no se cumpla la regla (6), pero la velocidad sea menor que un valor umbral, se realiza un estudio de las series temporales de ambos parámetros para determinar si se ha producido un descenso brusco de la velocidad mientras que la ocupación espacial se ha mantenido más o menos invariable. La condición que se debe cumplir para considerar la velocidad errónea es (10):

“Si la velocidad es menor que $V_{u(NORMAL)}$, la variación de la ocupación respecto a la media de los últimos n ciclos es menor que un umbral VAR_DEN y la variación de la velocidad es mayor que un umbral VAR_VEL , entonces la velocidad es errónea” (10)

donde:

- n : Tiene un valor máximo de 3 minutos, correspondientes a 12 ciclos de procesamiento.
- VAR_DEN y VAR_VEL son umbrales prefijados en la instalación del sistema, y sus valores por defecto son de 10 y 14 respectivamente.

En tal caso, el valor de la velocidad se corrige las mismas fórmulas que en la situación anterior (8 o 9 según el caso).

La figura 7 muestra las zonas de la curva velocidad/ocupación en las que se realizará el análisis de la coherencia de velocidad definidos en los procesos anteriores. Fuera de estas zonas se considera que su valor es admisible.

Experimentalmente se ha comprobado que siguiendo este método se reduce el número de falsas alarmas producidas por un error en la velocidad durante la noche en un 97 % mientras que durante el día se ha mantenido del porcentaje de detección de incidentes, sin que los valores de la velocidad fuesen modificados erróneamente. Tomando como ejemplo el periodo representado en la figura 9, al aplicar las funciones de corrección de velocidad, el sistema detectó 41 valores erróneos de los 480 recogidos en dicho periodo, correspondiendo al 8,5 % del total. De ellos, 15 cumplieron la regla (6) y 26 la regla (10), lo que representa un 36,6 % y un 63,4 % respectivamente.

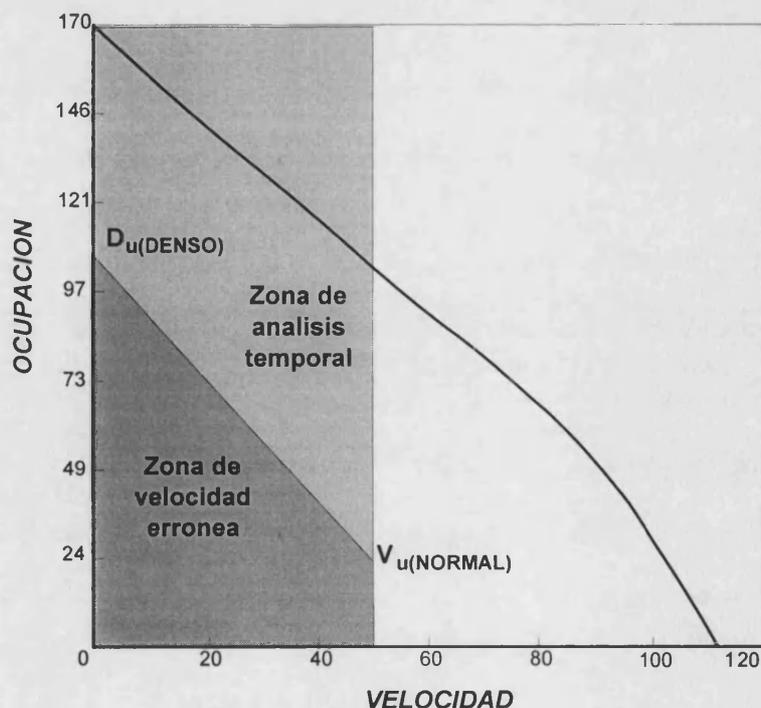


Figura 9.- Zonas en las que se realiza la validación de la velocidad.

Estos valores fueron corregidos mediante las fórmulas (8) y (9) y el resultado final se muestra en la figura 10. En ella se puede observar que los intervalos de bajas velocidades que reportó el analizador de imágenes por la noche son compensadas (zona más oscura) para mantener unos valores más coherentes, sin modificar las fluctuaciones que suelen existir en el periodo nocturno.

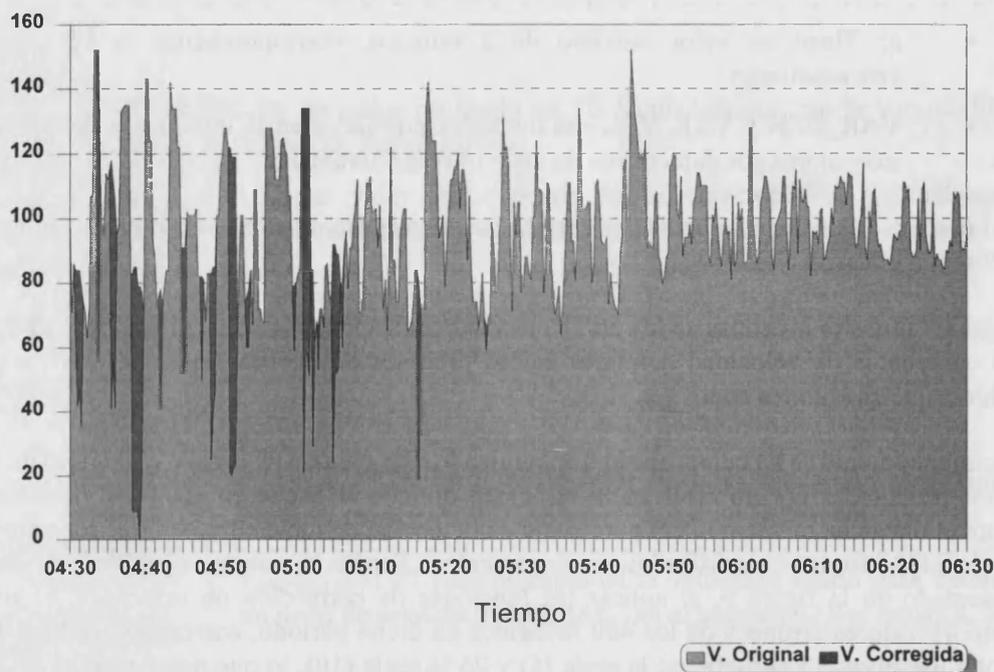


Figura 10.- Efectos de la función de corrección de velocidad.

VI.4.2.3 Verificación y corrección de la ocupación espacial

El segundo proceso de verificación de datos se centra en el estudio de la coherencia de la ocupación espacial. En ciertas condiciones, que como ya se ha dicho dependen en gran medida de las condiciones de luminosidad y la posición de la cámara, la ocupación espacial es sobrestimada por los analizadores de imágenes. Esta sobrestimación no tiene gran repercusión en los cálculos internos del sistema, puesto que por lo general la cualificación de la ocupación se mantiene dentro del rango compatible con la velocidad, o muy cercano a ella, correspondiendo la estimación del nivel de servicio con el estado existente.

Sin embargo, cuando el valor cualitativo de la ocupación difiere notablemente del valor correspondiente a la velocidad, se hace necesaria la actualización de dicho valor para asegurar el correcto cálculo del nivel de servicio.

Como los valores problemáticos que se obtienen son siempre superiores a los reales se ha definido un valor máximo admisible para la ocupación por encima del cual se considera que el valor calculado por el analizador se encuentra sobrestimado y es necesario realizar su corrección. Este valor máximo se ha definido como una función de la velocidad, que depende a su vez de las características del segmento de la carretera y los umbrales definidos por el operador. La fórmula (11) representa dicha relación:

$$d_{max} = 170 + \frac{2 \cdot (v - v_{DENS}) \cdot (170 - d_{C_BA})}{v_{DENS} - v_{NORM}} \quad (11)$$

siendo

- v_{DENS} , v_{NORM} y d_{C_BA} los valores de los umbrales definidos para diferentes estados de tráfico en función de la velocidad y la densidad.

En caso de que el valor de la ocupación sea superior al valor de d_{max} calculado se considera que no es adecuado y se sustituye por otro valor obtenido en función de los segmentos adyacentes y datos históricos.

El primer paso consiste en una búsqueda, dentro de la carretera a la que pertenece el segmento, del segmento real anterior más cercano para decidir el proceso de corrección a aplicar.

Se han diferenciado dos metodologías en función de la presencia o no de puntos de bifurcación entre ambos segmentos.

CASO 1: No existen puntos de bifurcación.

Se puede admitir la existencia de una relación de continuidad entre los parámetros de ambos segmentos, por lo que se empleará la ecuación de continuidad definida por Paine [Payne, 76a] para la simulación de carreteras interurbanas, para calcular el valor correcto de la ocupación:

$$d_i(k+1) = d_i(k) + \frac{T}{L\lambda} \cdot (f_{i-1}(k) - f_i(k)) \quad (12)$$

$$f_i(k) = d_i(k) \cdot v_i(k) \cdot \lambda \quad (13)$$

de (12) y (13) se puede obtener una ecuación que depende únicamente de la velocidad y la ocupación, ambos parámetros conocidos

$$d_i(k+1) = d_i(k) + \frac{T}{L} \cdot (d_{i-1}(k) \cdot v_{i-1}(k) - d_i(k) \cdot v_i(k)) \quad (14)$$

siendo:

i : Segmento con ocupación errónea.

T : El intervalo del ciclo de procesamiento. (Prefijado en 15 s)

L : La distancia al segmento anterior ($i-1$).

CASO 2: Existen puntos de bifurcación.

En este caso, para establecer una relación de continuidad entre los segmentos es necesario conocer cuales son los porcentajes de distribución del flujo de tráfico en los puntos de bifurcación. Como esto no es posible en la mayoría de los casos, y dado que el tiempo de procesamiento entre ciclos es muy pequeño (15 segundos) se puede admitir que la variación en el flujo durante este periodo de tiempo es suficientemente pequeña para considerar que es constante.

Teniendo en cuenta que se ha de cumplir la condición de que la ocupación calculada no sea mayor que d_{max} aplicaremos una de las siguientes ecuaciones:

$$d_i(k) = \frac{f_i(k-1)}{v_i(k)} \quad \text{si } d_i(k) < d_{\max} \quad (15)$$

o

$$d_i(k) = d_{\max} \quad \text{si } d_i(k) > d_{\max} \quad (16)$$

Dentro de este caso se encuentra el primer segmento de las carreteras ya que como elementos iniciales no es posible tener una referencia al segmento anterior en caso de segmentos tipo “tramo”, “duplicado” o “intersección” o directamente constituyen un punto de bifurcación en caso de ser de tipo “acceso”.

VI.4.3 CALCULO DE INCIDENTES.

La detección de incidentes sobre segmentos reales la lleva a cabo el analizador de imágenes, tal como se ha indicado en el capítulo III. El sistema central no realiza ninguna operación sobre los incidentes detectados por los analizadores en la fase actual de procesamiento.

La información referente a los incidentes recibida por el sistema central hace referencia al tipo de incidente y al carril donde se produce.

VI.4.4 CALCULO DE PARÁMETROS ADICIONALES

Una vez se han verificado los valores de la velocidad y la ocupación y cualificado el nivel de servicio de los segmentos reales, el sistema calcula otros parámetros adicionales menos significativos.

VI.4.4.1 Estimación del flujo de tráfico.

La información sobre el flujo de tráfico no es un parámetro necesario para los razonamientos internos del sistema. Sin embargo es estimado por él en respuesta a un requisito solicitado por los operadores que lo requieren para realizar estudios de tráfico posteriores.

El valor del flujo de tráfico en los segmentos reales se expresa en vehículos ligeros equivalentes por hora y se obtiene de la fórmula (17) mediante los valores medidos de la ocupación y la velocidad.

$$f_i(k) = d_i(k) \cdot v_i(k) \cdot \lambda \quad (2)$$

donde:

λ : Número de carriles del segmento.

VI.4.4.2 Nivel de confianza de los datos (NC).

El nivel de confianza de los datos es una variable que representa la fiabilidad de los datos asociados a cada segmento y permite establecer el porcentaje de veracidad con el que está trabajando el sistema en cada momento.

En el caso de los segmentos reales, el nivel de confianza es proporcionado directamente por el analizador en función de las condiciones de la imagen (ver capítulos III y IV).

Este valor es revisado dentro del módulo MAE en función de los resultados del análisis de la coherencia de los datos. Si se detecta la presencia de valores incoherentes se calcula un nuevo

valor, en el que el nivel de confianza es disminuido en una cierta proporción dependiendo de la desviación existente. El resultado final viene proporcionado por la fórmula (18):

$$NC_{Segmento} \% = NC_{Analizador} \cdot CV \cdot CD \quad (4)$$

siendo:

CV: Un factor que depende de la coherencia de la velocidad. Si la velocidad es coherente su valor es 1, sino 0.5.

CD: Un factor que depende de la coherencia de la densidad. Este valor se calcula mediante una tabla en función de los niveles de servicio asociados a la velocidad y a la ocupación. Las zonas sombreadas corresponden a combinaciones admitidas como coherentes, con lo que su valor es 1.

| | | OCUPACIÓN ESPACIAL (NS_OCC) | | | | |
|---------------------------|-------|-----------------------------|------|------|------|------|
| | | LIBRE | NORM | DENS | C_BA | C_AL |
| VEL. MEDIA (NS_VEL) | LIBRE | 1 | 1 | 0.8 | 0.7 | 0.6 |
| | NORM | 1 | 1 | 1 | 0.8 | 0.7 |
| | DENS | 0.8 | 1 | 1 | 1 | 0.8 |
| | C_BA | 0.7 | 0.8 | 1 | 1 | 1 |
| | C_AL | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 1 | 1 |

Tabla 8.- Factor de corrección del nivel de confianza en función de la coherencia de la ocupación.

El NC juega un papel esencial en el cálculo del nivel de alarma siempre que se produce un incidente, aunque también se emplea como factor limitador a la hora de definir el alcance de las inferencias realizadas por el sistema en los segmentos virtuales.

VI.5. ANÁLISIS DE LAS ZONAS VIRTUALES (OCULTAS)

El segundo gran proceso del Modulo de Análisis Espacial hace referencia al estudio de las zonas virtuales de la red, objetivo principal del mismo. Este procedimiento difiere del de los segmentos reales en que estos se trataban de forma independiente del resto de segmentos, mientras que para el cálculo de las zonas virtuales es fundamental emplear la información de los segmentos vecinos.

De acuerdo a la relación lógica existente entre el segmento virtual, objeto de estudio, y sus vecinos, este se puede clasificar en:

- **SEGMENTO DE PRIMER NIVEL (PRIMARIOS):** Un segmento virtual se considera de primer nivel cuando existen segmentos reales anteriores y posteriores dentro de la misma carretera (ver figura 11). Esto implica que la información del segmento virtual puede ser directamente obtenida de los datos de los analizadores de imágenes.
- **SEGMENTO DE SEGUNDO NIVEL (SECUNDARIOS):** Un segmento virtual se considera de segundo nivel cuando no existe un segmento real anterior o posterior, o ambos, dentro de la misma carretera (ver figura 11). Esto supone que la

información del segmento virtual tiene que ser obtenida usando los datos de otro segmento virtual, que será de primer nivel.

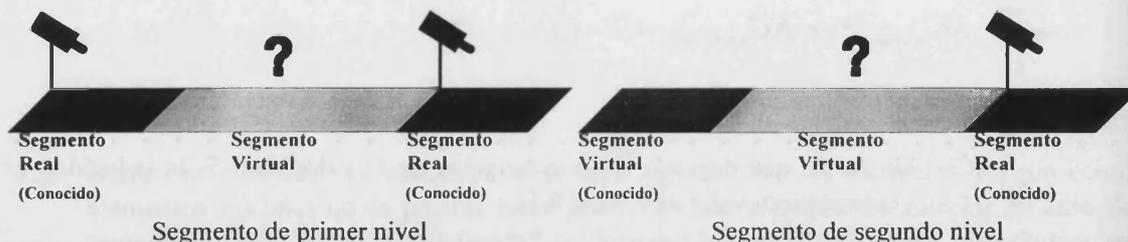


Figura 11.- Clasificación de los segmentos virtuales según sus vecinos.

De acuerdo a la clasificación anterior, es obvio que para poder obtener información sobre los segmentos virtuales de segundo nivel es necesario calcular previamente los datos sobre los segmentos de primer nivel. Por lo tanto se ha descompuesto el proceso de análisis de zonas ocultas en dos fases:

- Análisis de las zonas virtuales primarias.
- Análisis de las zonas virtuales secundarias.

VI.5.1 ANÁLISIS DE LAS ZONAS VIRTUALES PRIMARIAS

Como en el caso de los segmentos reales, el análisis de los segmentos virtuales sigue una secuencia lógica de acciones que comienza con la identificación de los segmentos virtuales primarios y que continúa con los siguientes procesos:

- Estimación del nivel de servicio.
- Detección de incidentes.
- Estimación de parámetros de tráfico.
- Cálculo del nivel de confianza.

VI.5.1.1 Reconocimiento de segmentos virtuales primarios.

El flujo de acción consiste primeramente en una búsqueda secuencial por la base de datos geográfica en la que se recorre toda la red modelizada, carretera a carretera, deteniéndose en aquellos segmentos que tienen que ser tratados como virtuales. Para ello se comprueban de forma ordenada las siguientes condiciones, bastando que se cumpla una de ellas para considerar un segmento como virtual:

- a) *“Estar definido como tipo de segmento VIRTUAL”* (19)
- b) *“Estar definido como tipo REAL con un identificador de analizador asociado de valor nulo”* (20)
- c) *“Estar definido como tipo REAL con un identificador de analizador asociado no nulo y con un estado del detector que no sea CORRECTO y que siendo SIN DATOS se haya superado el tiempo máximo permitido”* (21)

El segundo paso es determinar si el segmento es de tipo primario o secundario. Se realiza una búsqueda de los segmentos reales anterior y posterior más cercanos dentro de la misma carretera.

En este caso, la regla para determinar si el segmento es real es justamente que no se cumpla ninguna de las condiciones anteriores. En caso de que se encuentre tanto un segmento real anterior como otro posterior se considera que se trata de un segmento virtual primario, se suspende la búsqueda y se procede a operar con él.

VI.5.1.2 Estimación del nivel de servicio

La estimación del nivel de servicio de los segmentos virtuales se basa principalmente en las relaciones existentes entre los niveles de servicio de los segmentos reales anterior y posterior más cercanos al segmento virtual, definidos como $NS_{anterior}$ y $NS_{posterior}$. Estas relaciones son dependientes, a su vez, de las características físicas del contorno.

Distinguiamos tres factores que afecta a este proceso:

1. *El tipo de unión del segmento virtual ($TU_{virtual}$).*

En la modelización de la red de carreteras se distinguían cuatro tipos de uniones entre segmentos, dos de ellas correspondían a segmentos físicamente idénticos con más de una representación lógica en la base geográfica:

- Un segmento de tipo 'ACCESO' asociado siempre con un segmento de tipo 'INTERSECCIÓN'.
- Un segmento de tipo 'DUPLICADO' asociado siempre con un segmento de tipo 'TRAMO'.

El $TU_{virtual}$ se emplea para determinar si la información sobre el segmento estudiado tiene una dependencia directa de los segmentos vecinos (casos 'I' y 'T') o puede obtenerse, sin necesidad de cálculos, accediendo al segmento al que se encuentra asociado (casos 'A' y 'D').

2. *El tipo de unión de los segmentos anterior y posterior ($TU_{anterior}$ y $TU_{posterior}$).*

Se emplean para determinar el grupo de reglas lógicas que determinan las relaciones entre segmentos. Se diferencian dos tipos de situaciones de contorno:

- Que no existan puntos de bifurcación entre los segmentos anterior y posterior. La falta de presencia de discontinuidades en el tramo de carretera permite asumir unas correlaciones entre los estados de los segmentos anterior y posterior en base a la continuidad del flujo dentro del tramo, de modo que la existencia de diferencias entre los niveles de servicio anterior y posterior son consideradas como producto de situaciones anormales. Las relaciones espaciales entre los segmentos reales y virtuales en estos casos se encuentran representadas en las tablas 10 y 11.
- Que exista algún punto de bifurcación entre los segmentos anterior y posterior. En este caso, no se puede considerar una relación tan estricta entre el estado del segmento virtual y el del segmento real ya que existe una discontinuidad entre ellos. Según donde se sitúe el punto de bifurcación la influencia del estado del segmento real sobre el virtual será mayor o menor según se sitúe aguas arriba o aguas abajo del mismo. El segmento real directamente conectado al virtual ejercerá un mayor peso a la hora de la estimación del nivel de servicio.

En estos casos no es posible establecer relaciones tan “sensibles” a las diferencias entre los segmentos. Las tablas 12, 13 y 14 muestran estas relaciones.

3. *La distancia entre los segmentos anterior y posterior ($L_{anterior}$ y $L_{posterior}$).*

La distancia entre segmentos como elemento diferenciador de relaciones entre segmentos se emplea únicamente en el caso de que no existan discontinuidades en el tramo estudiado. Por debajo de una distancia se pueden establecer relaciones de continuidad entre los estados más severas, de manera que las reglas reflejen una mayor sensibilidad a las causas de las diferencias entre estados. Estas distancias se definen desde el borde más cercano del segmento real hasta el centro del segmento virtual (ver figura 12).

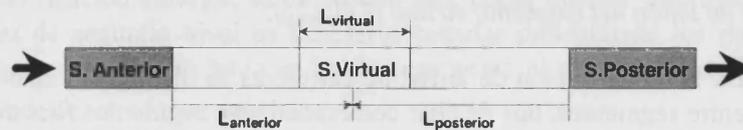


Figura 12.- Definición de las distancias entre segmentos

Los factores anteriores determinan el conjunto de relaciones a aplicar más adecuado, elección que está regida por la siguiente regla general:

“Si el tipo de unión del segmento posterior es $TU_{posterior}$ el tipo de unión del segmento anterior es $TU_{anterior}$ y la distancia entre segmentos es mayor o igual que LEN_MIN las relaciones existentes entre los segmentos estarán definidas en el conjunto GRO_RUL ” (22)

se han diferenciado cinco grupos de relaciones que representan diferentes comportamientos en función de los valores de TU y LEN_MIN de cada segmento, estas están recogidas en la tabla 9:

| DESCRIPCIÓN | $TU_{Anterior}$ | $TU_{Posterior}$ | LEN_MIN | GRUPO |
|--|--------------------|--------------------|------------|---------|
| Ambos segmentos pertenecen a la misma carretera y no existen nodos de bifurcación entre ellos. La distancia no es suficientemente pequeña para ser sensibles a pequeños cambios. | TRAMO | TRAMO | > 300 m. | Grupo 1 |
| Corresponde al caso anterior, pero la distancia entre ellos permite que sean sensibles a pequeños cambios. | TRAMO | TRAMO | < 300 m | Grupo 2 |
| El segmento anterior corresponde a un punto de bifurcación. | ACCESO INTERSEC | TRAMO | -- | Grupo 3 |
| El segmento posterior corresponde a un punto de unión con otra carretera. | TRAMO | ACCESO INTERSEC | -- | Grupo 4 |
| El segmento anterior corresponde a un punto de bifurcación mientras que el segmento posterior corresponde a un punto de unión. | ACCESO INTERSEC | ACCESO INTERSEC | -- | Grupo 5 |

Tabla 9.- Clasificación del grupo de reglas para la determinación del NS de segmentos virtuales

Una vez se ha identificado el grupo de reglas ha ser aplicadas, se procede a determinar el nivel de servicio del segmento virtual en función de las relaciones espaciales que se describen en estas reglas y que siguen el siguiente formato:

“Si UP_STA es el nivel de servicio del segmento anterior y DOWN_STA el nivel de servicio del segmento posterior, entonces el nivel de servicio del segmento virtual será TRA_STA.” (23)

La correlación entre los valores de UP_STA y DOWN_STA se ha representado en forma de matriz de 2 dimensiones, en donde la componente horizontal representa el nivel de servicio del segmento posterior mientras que la componente vertical representa el del segmento anterior. La salida de esta matriz corresponde al nivel de servicio del segmento virtual.

| GRUPO 1 | | SEGMENTO ANTERIOR | | | | | | |
|------------------------|-------|-------------------|-------|------|------|------|------|-------|
| | | LIBRE | NORM | DENS | C_BA | C_AL | ONDA | INCI |
| SEG. POSTE- RIOR | LIBRE | LIBRE | LIBRE | NORM | INCI | INCI | INCI | LIBRE |
| | NORM | NORM | NORM | NORM | DENS | INCI | INCI | NORM |
| | DENS | NORM | NORM | DENS | DENS | C_BA | C_AL | DENS |
| | C_BA | NORM | DENS | C_BA | C_BA | C_BA | C_AL | C_BA |
| | C_AL | C_BA | C_BA | C_BA | C_AL | C_AL | C_AL | C_AL |
| | ONDA | NORM | NORM | DESC | DESC | DESC | ONDA | NORM |
| | INCI | NORM | ONDA | C_AL | C_AL | C_AL | ONDA | INCI |

Tabla 10.- Reglas para la determinación del nivel de servicio del grupo 1.

| GRUPO 2 | | SEGMENTO ANTERIOR | | | | | | |
|------------------------|-------|-------------------|------|------|------|------|------|-------|
| | | LIBRE | NORM | DENS | C_BA | C_AL | ONDA | INCI |
| SEG. POSTE- RIOR | LIBRE | LIBRE | NORM | INCI | INCI | INCI | INCI | LIBRE |
| | NORM | NORM | NORM | NORM | INCI | INCI | INCI | NORM |
| | DENS | NORM | NORM | DENS | DENS | C_BA | C_AL | DENS |
| | C_BA | NORM | DENS | C_BA | C_BA | C_BA | C_AL | C_BA |
| | C_AL | C_BA | C_BA | C_BA | C_AL | C_AL | C_AL | C_AL |
| | ONDA | NORM | NORM | DESC | DESC | DESC | ONDA | NORM |
| | INCI | NORM | ONDA | C_AL | C_AL | C_AL | ONDA | INCI |

Tabla 11.- Reglas para la determinación del nivel de servicio del grupo 2.

| GRUPO 3 | | SEGMENTO ANTERIOR | | | | | | |
|----------------|-------|-------------------|-------|------|------|------|------|------|
| | | LIBRE | NORM | DENS | C_BA | C_AL | ONDA | INCI |
| SEG. POSTERIOR | LIBRE | LIBRE | LIBRE | NORM | NORM | DENS | NORM | NORM |
| | NORM | NORM | NORM | NORM | NORM | DENS | NORM | NORM |
| | DENS | NORM | DENS | DENS | DENS | C_BA | DENS | DENS |
| | C_BA | DENS | DENS | C_BA | C_BA | C_BA | C_BA | C_BA |
| | C_AL | C_BA | C_BA | C_AL | C_AL | C_AL | C_AL | C_AL |
| | ONDA | ONDA | ONDA | ONDA | ONDA | ONDA | ONDA | ONDA |
| | INCI | NORM | ONDA | ONDA | ONDA | ONDA | ONDA | ONDA |

Tabla 12.- Reglas para la determinación del nivel de servicio del grupo 3.

| GRUPO 4 | | SEGMENTO ANTERIOR | | | | | | |
|----------------|-------|-------------------|-------|------|------|------|------|------|
| | | LIBRE | NORM | DENS | C_BA | C_AL | ONDA | INCI |
| SEG. POSTERIOR | LIBRE | LIBRE | LIBRE | NORM | NORM | DENS | NORM | NORM |
| | NORM | NORM | NORM | NORM | NORM | DENS | NORM | NORM |
| | DENS | NORM | NORM | DENS | DENS | DENS | NORM | NORM |
| | C_BA | NORM | DENS | DENS | C_BA | C_BA | DENS | DENS |
| | C_AL | DENS | DENS | DENS | C_BA | C_AL | DENS | DENS |
| | ONDA | NORM | NORM | NORM | ONDA | ONDA | ONDA | ONDA |
| | INCI | NORM | NORM | NORM | ONDA | ONDA | ONDA | ONDA |

Tabla 13.- Reglas para la determinación del nivel de servicio del grupo 4.

| GRUPO 5 | | SEGMENTO ANTERIOR | | | | | | |
|----------------|-------|-------------------|------|------|------|------|------|-------|
| | | LIBRE | NORM | DENS | C_BA | C_AL | ONDA | INCI |
| SEG. POSTERIOR | LIBRE | LIBRE | NORM | NORM | DENS | ONDA | ONDA | LIBRE |
| | NORM | LIBRE | NORM | DENS | DENS | DENS | ONDA | NORM |
| | DENS | NORM | NORM | DENS | DENS | C_BA | DENS | NORM |
| | C_BA | NORM | DENS | DENS | C_BA | C_AL | C_BA | NORM |
| | C_AL | DENS | DENS | C_BA | C_BA | C_AL | C_AL | NORM |
| | ONDA | NORM | NORM | DENS | C_BA | C_BA | ONDA | NORM |
| | INCI | NORM | NORM | DENS | C_BA | C_BA | ONDA | ONDA |

Tabla 14.- Reglas para la determinación del nivel de servicio del grupo 5.

La determinación de las relaciones definidas en la tabla la hemos fijado en función del estudio de los comportamientos esperados en cada uno de los casos. Posteriormente, hemos modificado algunos de las relaciones, en base a los resultados obtenidos en procesos de simulación (ver

capítulo IX), para después terminar de validarlas en los experimentos en condiciones reales. Hay que reseñar que muchas de las combinaciones incluidas en las tablas son difíciles de que se produzcan en la realidad y por tanto, difíciles de comprobar, pero hemos preferido darles un valor lo más lógico posible para evitarnos errores del sistema.

Veamos un ejemplo del proceso lógico empleado por el SCP para la determinación del nivel de servicio de los segmentos reales. Tomemos la red definida en la figura 3 y supongamos unos valores cualesquiera para los niveles de servicio de los segmentos reales. En la parte superior de la figura 13 se puede observar la representación lineal de la red junto a las principales características de los segmentos que la componen: la longitud, el tipo de unión ('T', 'I', 'A'), el tipo de segmento ('R', 'V') y su identificador (pe. V3).

La parte inferior representa los pasos seguidos por el sistema para la determinación de los NS de los segmentos virtuales (blancos). Cada fila corresponde al análisis de un segmento y en ella se indican los segmentos reales (grises) empleados, el grupo de reglas aplicadas en función de la longitud, y el tipo de unión y el NS obtenido. Con lo que al final se consigue tener una descripción global del estado del tráfico en la red, descripción que consideraremos como correcta.

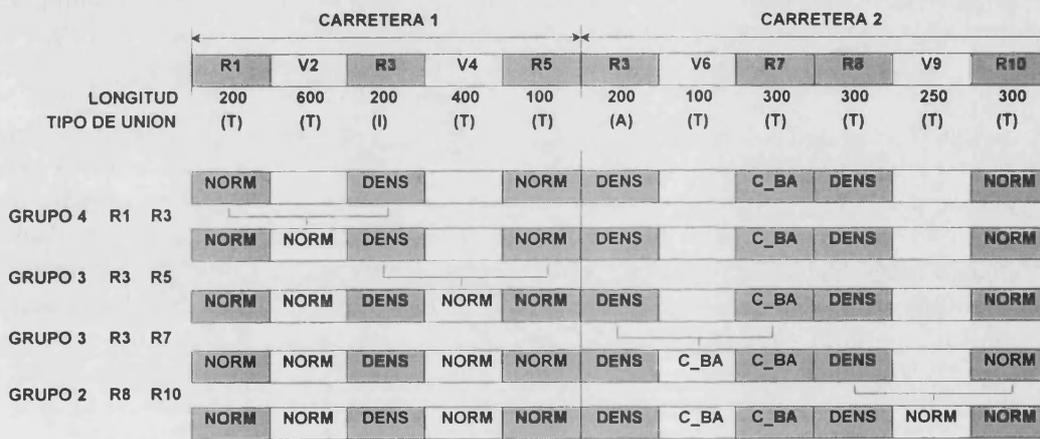


Figura 13.- Ejemplo de cálculo del NS en segmentos virtuales

Veamos lo que ocurre cuando uno de los segmentos definidos como reales deja de cumplir esta condición porque su cámara asociada ha dejado de funcionar. En ese caso, el Sistema Central recibiría una señal de error que le llevaría a modificar temporalmente las condiciones de contorno empleadas para el cálculo del nivel de servicio, sin embargo continuaría proporcionando el estado global de la red en base a la información existente.

Partiendo de la misma red que el ejemplo de la figura 13 y con los mismos datos para los segmentos reales, supongamos que la cámara R8 deja funcionar. Ese segmento se trata entonces como virtual y se realiza el proceso de análisis.

Como en la figura 13, la figura 14 nos presenta paso a paso las decisiones tomadas por el sistema y los resultados inferidos. Al final se obtiene un nuevo estado global de la carretera. Pero en este caso, el estado final de la carretera no corresponde totalmente con el estimado en la figura 13, más concretamente, el NS del segmento V9 ha pasado de estar definido como NORMAL a considerarse como DENSO.

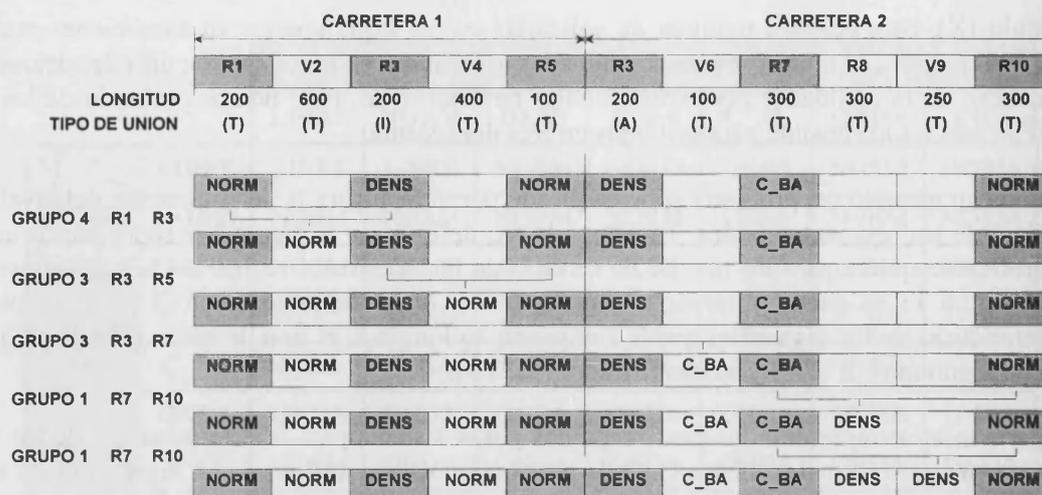


Figura 14.- Consideración de un segmento real como virtual

Esta modificación se debe al hecho de que al pasar el segmento R8 de real a virtual el sistema considera los segmentos R8 y V9 como uno sólo, con una longitud igual a la suma de las longitudes de ambos, de manera que se modifica el grupo de relaciones a aplicar en ese caso, pasando de ser el grupo 2 a ser el grupo 1.

Una reflexión debe de realizarse de los ejemplos anteriores. El hecho de que el sistema concluya en dos descripciones diferentes acerca de la situación existente es debido a que las condiciones de contorno existentes en cada caso no son las mismas. Aunque el operador puede argumentar que desde su posición esta diferencia puede pasar desapercibida lo que le plantea el problema de tener dos descripciones diferentes para los mismos datos de entrada (aunque esta última condición no es cierta). Para evitar esta disyuntiva se ha definido el Nivel de Confianza que permitirá discernir cual de las dos descripciones es más cercana a la realmente existente. En el punto VI.5.1.4. se describirá con más detalle este concepto y se volverá sobre esta discusión.

VI.5.1.3 Detección de incidentes

La detección de incidentes en segmentos virtuales se realiza a la vez que la determinación del nivel de servicio, en función de la diferencias de tráfico existentes entre el estado del segmento anterior y posterior del analizado, y sigue la misma metodología que en dicho proceso.

Se define un estado de incidente en un segmento virtual cuando el nivel de tráfico en el segmento posterior es sensiblemente mayor que el nivel de tráfico reportado por el segmento anterior, es decir, cuando se detectan patrones anómalos de tráfico.

En segmentos virtuales únicamente se pueden detectar incidentes por las consecuencias que estos producen sobre el flujo de tráfico, y no por el propio incidente en sí. Esto supone que sólo los incidentes clasificados como "CONGESTIÓN", de los cuales no se conoce realmente su causa, pueden ser detectados.

Los parámetros y variables que influyen en la detección de incidentes en segmentos virtuales son los mismos que en el cálculo del nivel de servicio y tienen el mismo significado físico.

El proceso de estimación del nivel de servicio y el de detección de incidentes en segmentos virtuales se lleva a cabo de forma simultánea, puesto que las reglas aplicadas para este último constituyen un subconjunto de las relaciones definidas en la estimación del NS y tienen el

mismo formato. En las tablas 10 a 14 se encuentran contenidos estos casos. Se puede observar que únicamente en los grupos 1 y 2, correspondientes a tramos sin bifurcaciones, existen definidas situaciones que se asocian a incidentes, mientras que en el resto de grupos, en los que existe un nodo de discontinuidad, las situaciones anormales se asocian a estados de onda, puesto que el sistema no tiene información suficiente para concluir la presencia de incidentes.

En la tabla 15 se muestran aquellas situaciones anormales consideradas producidas por un incidente virtual.

| | | SEGMENTO ANTERIOR | | | | | | |
|------------------------|-------|-------------------|------|---------------------|---------------------|------|------|---------------------|
| | | LIBRE | NORM | DENS | C_BA | C_AL | ONDA | INCI |
| SEG. POSTE- RIOR | LIBRE | | | INCI ^(a) | INCI | INCI | INCI | |
| | NORM | | | | INCI ^(a) | INCI | INCI | |
| | DENS | | | | | | | |
| | C_BA | | | | | | | |
| | C_AL | | | | | | | |
| | ONDA | | | | | | | |
| | INCI | | | | | | | INCI ^(b) |

Tabla 15.- Condiciones para la detección de incidentes virtuales.

- (a) Esta condición de incidente sólo es admitida cuando la distancia entre los segmentos anterior y posterior es menor que un valor umbral (LEN_MIN).
- (b) Esta es una situación que puede producir ambigüedades, puesto que con bastante probabilidad los incidentes detectados en los segmentos reales pueden corresponder a dos incidentes diferentes con lo que el estado del segmento virtual no tiene porque corresponder también a un incidente. Para discernir si estos incidentes tienen la misma causa es necesario realizar un estudio de las variaciones temporales producidas en cada segmento incluyendo el virtual. El análisis de estas situaciones se lleva a cabo en el módulo de análisis temporal (descrito en el capítulo siguiente), en donde se deciden que estados de incidentes son incidentes independientes o son consecuencia de incidentes posteriores.

VI.5.1.4 Cálculo del nivel de confianza

Como ya se definido en el punto 3.3.3 el nivel de confianza es una variable que representa el porcentaje de fiabilidad de los datos estimados en cada segmento, y toma un rango de valores comprendido entre 0 y 100. En el caso de los segmentos virtuales, el nivel de confianza se calcula en función de los niveles de confianza de los segmentos reales empleados en la inferencia de la información asociada y de la distancia existente entre ellos.

El nivel de confianza será inversamente proporcional a la distancia aunque se definen dos umbrales que limitan esta relación.

- LEN_MIN: Es un umbral mínimo por debajo del cual se considera que la distancia entre segmentos no tiene influencia sobre los resultados inferidos. Este umbral es el mismo que el empleado para determinar el tipo de reglas sobre nivel de servicio y detección de incidentes a aplicar.

- **LEN_MAX:** Es un umbral máximo por encima del cual el sistema no es capaz de validar la información de los segmentos. Esta situación no interfiere en la aplicación de las reglas de razonamiento del sistema, que son empleadas aunque la distancia entre puntos de datos supere este valor. Será el operador el que decida si desea emplear la información así obtenida o prefiere rechazarla.

La fórmula empleada para determinar el nivel de servicio es:

Si $L_{EntreSeg} = (L_{Anterior} + L_{Posterior}) < LEN_MIN$ entonces

$$NC_{Virtual} = \frac{NC_{Anterior} + NC_{Posterior}}{2} \quad (24)$$

sino

$$NC_{Virtual} = \frac{(NC_{Anterior} + NC_{Posterior}) \cdot (LEN_MAX - L_{EntreSeg})}{2 \cdot (LEN_MAX - LEN_MIN)} \quad (25)$$

Tomando 300 y 3000 como umbrales de LEN_MIN y LEN_MAX respectivamente, valores que se han fijado después de analizar las desviaciones que se obtenían en diferentes casos, obtenemos la gráfica de la figura 15. En ella se representan las rectas correspondientes al nivel de confianza para diferentes NC de segmentos reales.

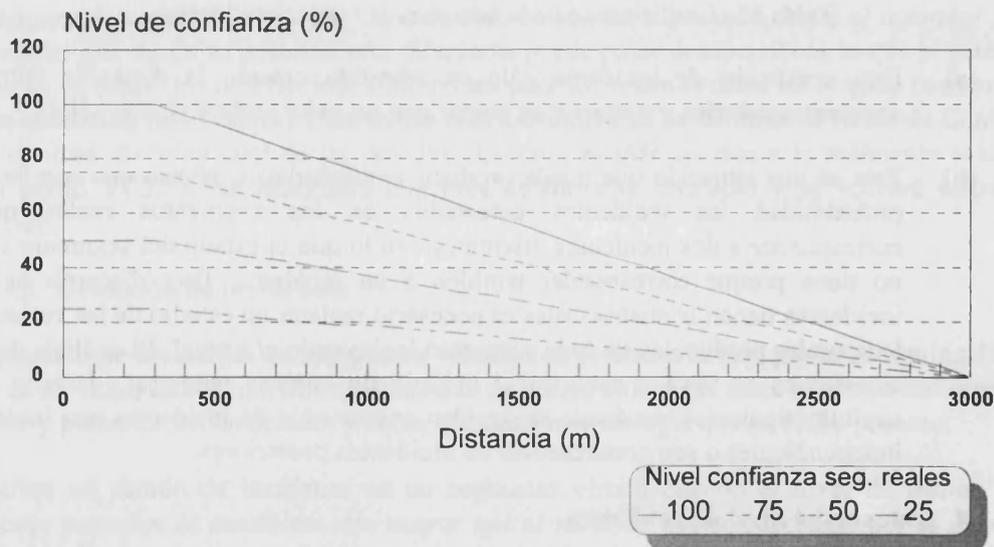


Figura 15.- Valores del NC de los segmentos virtuales en función de la distancia y del NC de los segmentos reales.

El Nivel de confianza de los segmentos se emplea en dos procesos diferentes:

- Como dato de entrada para el cálculo del nivel de alarma en caso de que se haya detectado un incidente en el segmento. Este proceso se explica en el capítulo VII.
- Como umbral para determinar el alcance de los procesos de análisis del sistema central. El sistema central admite un factor que regula cuando pueden ser aplicadas o no las reglas y procesos empleados en el cálculo de los parámetros asociados a los sistemas virtuales. Este factor está en función de su Nivel de Confianza.

(26)

“Si el Nivel de confianza del segmento virtual es menor que un NC_MIN el sistema no puede estimar su nivel de servicio ni realizar una detección de incidentes fiable, por lo que el segmento es tratado como DESCONOCIDO”

El valor de NC_MIN es prefijado por el operador, y puede tomar un valor negativo, en caso del cual, el sistema siempre estimará los valores de los segmentos virtuales.

Veamos con varios ejemplos como se realiza el proceso de cálculo del nivel de confianza de los segmentos virtuales, para ello emplearemos los ejemplos de cálculo del nivel de servicio representados en las figuras 13 y 14.

Como ya se comentó en estos ejemplos, el estado final estimado por el sistema para ambos casos era diferente debido a que las condiciones de contorno eran diferentes. En el primer caso el segmento V9 presentaba un NS ‘NORMAL’, mientras que en el segundo presentaba un NS ‘DENSO’. Se planteó la necesidad de tener una referencia directa que permitiese al operador decidir cual de los dos casos podía corresponder a la situación real, y entonces se referenció al nivel de confianza asociado a cada segmento. En este caso, el NC permite conocer cual de las dos situaciones es más correcta y a la vez tiene una mayor probabilidad de coincidir con el estado real.

Si consideramos que el NC de todos los segmentos reales tiene un valor del 100 % y teniendo en cuenta las distancias existentes entre los segmentos, en la figura 16 se puede observar que para el primer caso, el NC asociado al segmento V9 es de 100 %, mientras que en el segundo es del 91 %, lo que indica que este último caso es menos probable que el primero.

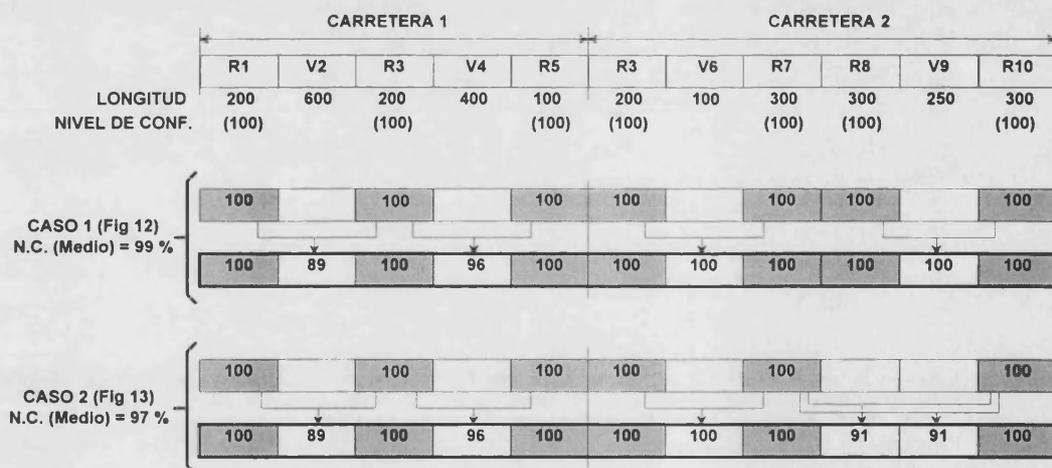


Figura 16.- Niveles de confianza correspondientes a los ejemplos de las figuras 13 y 14

VI.5.2 ANÁLISIS DE LAS ZONAS VIRTUALES SECUNDARIAS

VI.5.2.1 Reconocimiento de segmentos virtuales secundarios.

Como en los casos anteriores, el SCP realiza una búsqueda secuencial por la base de datos geográfica en la que recorre toda la red deteniéndose en aquellos segmentos que se tienen que tratar como segmentos virtuales secundarios, y que corresponden con el conjunto de segmentos no tratados todavía. Para ello basta con que se cumpla la siguiente condición:

“El valor del nivel de servicio inicial asociado al segmento sea NULO” (27)

El segundo paso es realizar una búsqueda dentro de la carretera a la que pertenece el segmento del segmento anterior y posterior con un nivel de servicio inicial no nulo. En este caso, y a diferencia del de los segmentos virtuales primarios, no es necesario que estos segmentos sean reales, sino que pueden ser virtuales.

VI.5.2.2 Procesamiento de los segmentos virtuales secundarios

Una vez localizados el segmento anterior y posterior del estudiado se lleva a cabo la estimación de los datos asociados al mismo. En este caso el procedimiento es el mismo que para los segmentos de primer nivel, excepto por el hecho de que los segmentos anteriores y posteriores no tienen porque ser reales.

Las reglas y procesos que se aplicarán serán las mismas que las previamente definidas y que hacen referencia a:

- Estimación del Nivel de Servicio (punto VI.5.1.2).
- Detección de Incidentes (punto VI.5.1.3).
- Cálculo del Nivel de Confianza (punto VI.5.1.4).

Tomando como ejemplo la red de la figura 3, representada linealmente en la figura 13, se va a considerar el caso de que el segmento R3 en vez de tratarse de un segmento real sea virtual. En esta situación V6 pasa a ser un segmento secundario y tiene que ser procesado durante el análisis de las zonas secundarias.

La figura 17 representa los pasos del proceso de análisis de zonas primarias y secundarias, partiendo de los datos de los segmentos reales.

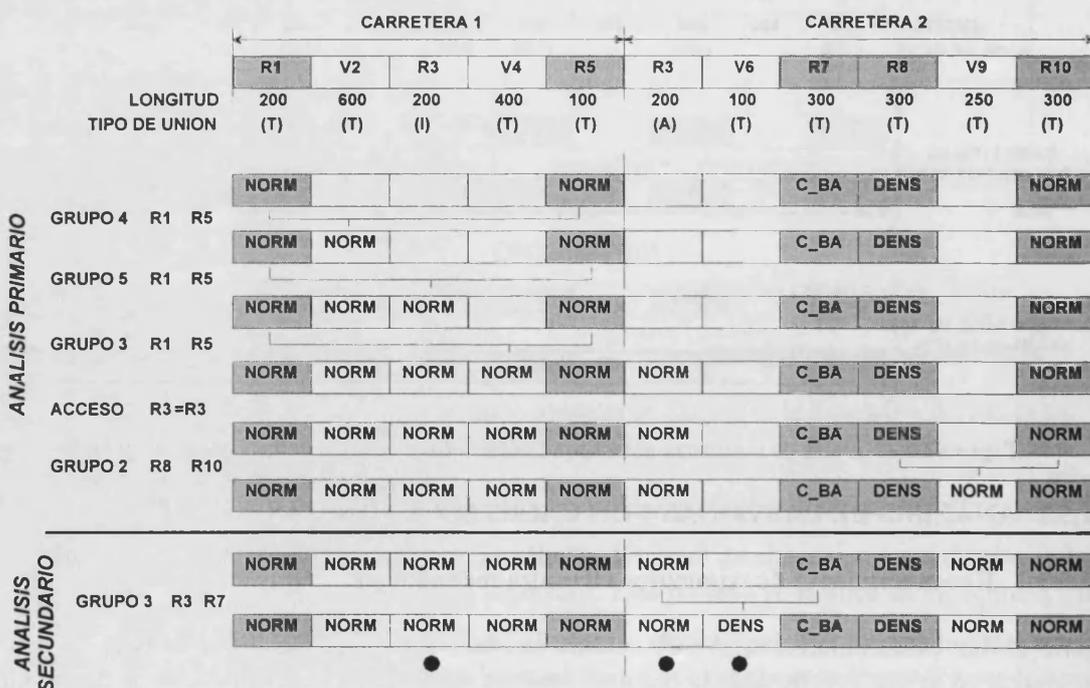


Figura 17.- Ejemplo del proceso de análisis de segmentos virtuales secundarios

Los segmentos marcados con un círculo corresponden a aquellos segmentos cuyo nivel de servicio ha sido modificado respecto al original de la figura 13. Esta variación es debida a que el segmento real que ha sido convertido a virtual presentaba un NS más severo que el existente en los segmentos anterior y posterior con lo que no puede estimarse. Por lo tanto, cuanto mayor sean las distancias entre segmentos reales más probable es que se oculten situaciones conflictiva, especialmente si existen entradas o salidas no monitorizadas.

VI.6. FILTRADO DE DATOS

Como último proceso del módulo de análisis espacial y paso previo a los procesos del módulo de análisis temporal (MAT), se lleva a cabo un proceso de filtrado de datos para incrementar la robustez y la validez de las conclusiones inferidas por el sistema. Este proceso permitirá reducir y eliminar las siguientes situaciones:

- Estados erróneos producidos por situaciones de ruido en el detector.
- Errores del sistema
- Falsos incidentes
- Estados fluctuantes cuando las condiciones de tráfico se encuentran oscilando entre un nivel y otro.
- Incidentes con una clasificación errónea.

El filtrado se ejecuta una vez se ha obtenido la descripción global del estado de tráfico, incluyendo la detección de los incidentes existentes, dentro del MAE puesto que todas las inferencias que se aplican emplean únicamente información histórica del segmento sobre el que se está trabajando. Se trata por tanto de un proceso puntual independiente de los segmentos vecinos, que se realiza sobre el nivel de servicio del segmento analizado. Para ello se recorre la red de carreteras de forma secuencial desde el segmento inicial hasta el segmento final, independientemente de la carretera a la que pertenezcan.

Se distinguen dos casos en función de que el nivel de servicio corresponda a un estado de tráfico o a un patrón de comportamiento. (En el punto VI.2 se detalla la diferencia entre ambos). La regla que se sigue es la siguiente:

“Si el valor del nivel de servicio es mayor que ‘DESC’ y menor que ‘ONDA’ se aplicará el filtro de estados de tráfico, sino se aplicará el filtro de patrones de comportamiento”. (28)

A continuación se describen cada uno de estos filtros.

VI.6.1.1 Filtrado del NS correspondientes al estado de tráfico.

Consiste en la re-estimación de un nuevo NS usando el valor actual y un conjunto de valores anteriores y se define como una función (f) que transforma el nivel de servicio de un segmento (NS_n) en un nuevo (NS’_n) teniendo en cuenta un entorno temporal del mismo:

$$NS'(t) = f_0^n(NS(t-x)) \quad (29)$$

Para convertir el nivel de servicio, que es un parámetro cualitativo, a un valor numérico definimos una función (GS) que asignará a cada NS un número entero. Por una mera optimización del tiempo de computación, estos valores corresponderán a múltiplos de 100:

$$\begin{aligned}
 GS('LIBRE') &= 0; \\
 GS('NORM') &= 100; \\
 GS('DENS') &= 200; \\
 GS('C_BA') &= 300; \\
 GS('C_AL') &= 400;
 \end{aligned}$$

Se estudiaron dos tipos de filtros, uno algorítmico y otro exponencial, y finalmente se optó por el primero puesto que permitía cambios de estados con mayor rapidez que el filtro exponencial realizando un suavizamiento de cambios repentinos de corta duración. La fórmula que representa el filtro utilizado es:

$$NS'(t) = GS^{-1} \left(\frac{\sum_{i=0}^n (n-i) \cdot GS[NS(t-i)]}{\sum_{i=0}^n i} \right) \quad (30)$$

Este tipo de filtro se caracteriza porque cada término tiene un peso diferente sobre el resultado. Los elementos más antiguos presentan un peso específico menor mientras que el último valor es el que presenta un peso mayor, puesto que corresponde con la descripción que se supone existe en ese instante.

La incorporación del filtro incrementa la robustez de la información pero introduce un retraso en la detección de cambios de estado por parte del sistema. Por otro lado, desde un punto de vista funcional, no es aceptable que este retraso sea superior a cinco minutos siendo preferible por parte de los operadores que no exceda de un minuto, equivalente a 4 ciclos de procesamiento. Por esta razón se ha fijado el valor de n en 4, lo que introduce un retraso máximo de 2 ciclos. El sistema almacena tanto el nuevo valor (NS') como el previamente existente (NS), puesto que el filtro ha de emplear siempre los valores originales.

Como ya se ha comentado este proceso de filtrado no se aplica a estados de incidente, de onda o desconocidos, por la misma razón, cuando alguno de los términos temporales empleados en la fórmula (30) corresponde con uno de estos estados se suprime dicho término, evitando que el resultado corresponda a situaciones ilógicas.

Una vez se ha obtenido el valor numérico resultante del filtro, este se convierte a un valor cualitativo mediante una función (GS^{-1}). Esta función escalonada en la que cada intervalo de valores se hace corresponder con un nivel de servicio determinado. La figura 18 representa tanto la función GS como GS^{-1} .

VI.6.1.2 Filtrado del NS correspondientes al patrón de comportamiento.

Aunque este filtro se encuentra asociado a los estados dependientes del patrón de comportamiento, realmente sólo se aplica sobre los segmentos en los que se ha detectado un incidente. Esta fundamentalmente orientado a eliminar dos tipos de errores en la detección de incidentes realizada por los analizadores de imágenes:

- Falso incidente.
- Falsa identificación del tipo de incidente.

Falsos incidentes.

Circunstancialmente pueden aparecer destellos sobre la imagen, debidos principalmente al reflejo del sol o de luces sobre gotas de lluvia u objetos metálicos de la calzada. A

diferencia de las sombras, estos destellos aparecen superpuestos a las imágenes de los vehículos que circulan por la vía de manera que son considerados como objetos (vehículos) parados sobre la calzada y por lo tanto incidentes.

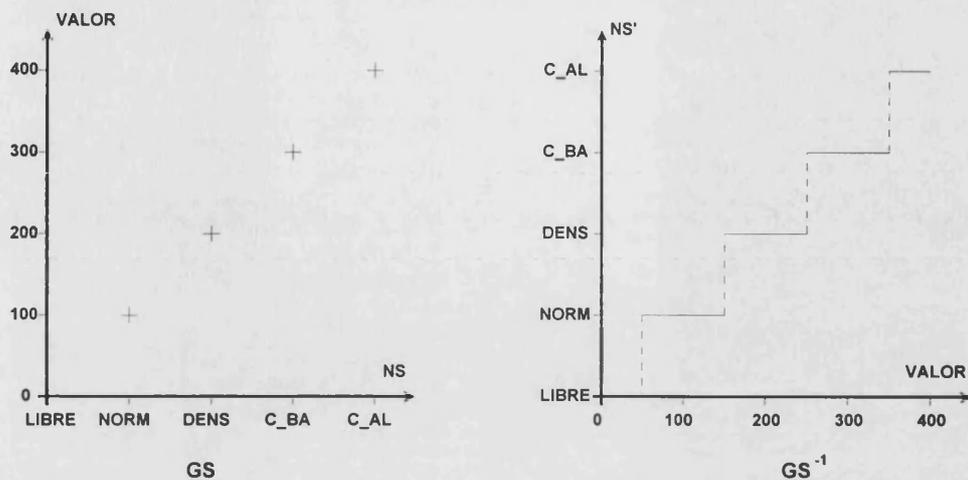


Figura 18.- Representación de las funciones GS y GS^{-1} .

Cuando el sistema central recibe una alarma indicando la presencia de un vehículo parado sobre un carril, se activa el proceso que analiza las condiciones de contorno en las que se ha producido el hipotético incidente para realizar una primera validación del mismo. Este análisis se basa en el estudio de las variaciones temporales de velocidad que están asociadas a todo incidente debido a la parada de un vehículo en alguno de los carriles principales, cuando las condiciones del tráfico no corresponden a situaciones de saturación. En estos casos se puede afirmar que:

“Si el incidente es del tipo ‘Vehículo parado en carril’ y no se produce una disminución de la velocidad en el punto en que se produce el incidente, el incidente es falso”. (31)

Esta es la condición que tiene que ser evaluada por el algoritmo de filtrado, para lo cual el sistema ejecuta un conjunto de verificaciones hasta llegar a una conclusión final, tal y como se representa en la figura 19.

El resultado es una de esta tres acciones:

- Validar la alarma. Modificando una variable de validación a “SI”.
- Rechazar la alarma. Se cambia el tipo de incidente a ‘No incidente’ y el estado del segmento pasa a corresponder a un estado de “ONDA”, que refleja una situación anormal, generalmente transitoria, sobre la carretera.
- Mantener la alarma sin validarla. La variable de validación continua con un valor “NULO”. No es capaz de tomar ninguna decisión a este nivel.

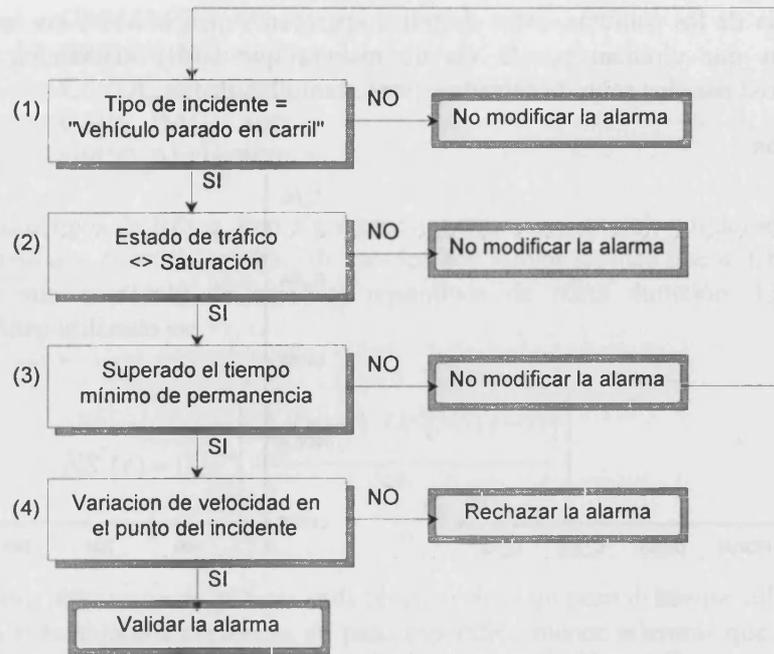


Figura 19.- Pasos del filtrado de los falsos incidentes

Veamos como se llevan a cabo cada una de las verificaciones anteriores:

- (1) Simplemente consiste en comparar la variable que contiene el tipo de incidente y ver si coincide con la etiqueta correspondiente a "Vehículo parado en carril" (A_LANE).
- (2) Se compara el valor de la velocidad existente en el segmento en el momento de la alarma con el límite definido para un estado de congestión alta (C_AL). Este límite depende de las características del tramo: velocidad de diseño y tipo de vía. Los valores predefinidos de la velocidad para la combinación de velocidades de diseño y tipos de vía diferenciados en el sistema están contenidos en las tablas 12, 13 y 14.
- (3) Se realiza una búsqueda sobre el eje temporal de la BDD del comienzo del incidente. Si el tiempo transcurrido desde que se reportó el incidente hasta el momento actual es menor que un tiempo mínimo establecido para que las consecuencias del mismo se puedan reflejar en las variables de tráfico (prefijado en 1 minuto), la alarma se mantiene sin modificar y sin validar hasta el siguiente ciclo de procesamiento. Hay que resaltar que en el caso de que el incidente fuese falso, la alarma no permanecerá más de 1 minuto (4 ciclos de procesamiento) activada y en cualquier caso tendrá un nivel bajo.
- (4) Se compara si la velocidad en el momento del incidente y la velocidad un intervalo de tiempo después ha disminuido más de una VEL_MIN. En caso afirmativo, el incidente es validado, sino es rechazado. VEL_MIN toma un rango de valores que va desde un límite inferior de 5 Km/h cuando se circula en condiciones de tráfico denso hasta un límite superior de 10 Km/h en condiciones de tráfico libre.

Falsa identificación del tipo de incidente

Dependiendo de las condiciones de tráfico, la orientación de la cámara y el área de trabajo, el analizador de imágenes puede confundir en ciertas ocasiones los incidentes producidos por un vehículo parado de gran tamaño, generalmente trailers, con una cola de vehículos, produciendo una alarma de "Vehículo parado en congestión" en vez de la de "Vehículo parado en carril".

Cuando el sistema central analiza las alarmas recibidas de los detectores y localiza una alarma indicando la presencia de un vehículo parado en congestión, activa, como en el caso anterior, otro proceso que analiza las condiciones de contorno en las que se ha producido dicho incidente para validar si el tipo es correcto o no. A diferencia del caso anterior, mediante las condiciones de tráfico no es posible discernir si la detección es correcta o no y por lo tanto el Sistema Central la asume como tal.

El proceso de validación se basa en el estudio de la velocidad y las características geográficas del segmento, ya que si se detecta un vehículo parado en congestión sobre alguno de los carriles principales el estado de tráfico debe de ser coherente con dicha detección. En estos casos se puede afirmar que:

"Si el incidente es del tipo 'Vehículo parado en congestión' y no existen áreas de entrada o salida en el tramo de detección y la velocidad de circulación en dicho tramo no esta restringida entonces el incidente corresponde a un 'Vehículo parado en el carril' y tiene que se tratado como tal". (32)

Esta es la condición que tiene que ser evaluada por el segundo algoritmo de filtrado, para lo cual el sistema ejecuta el conjunto de verificaciones representados, en este caso, en la figura 20.

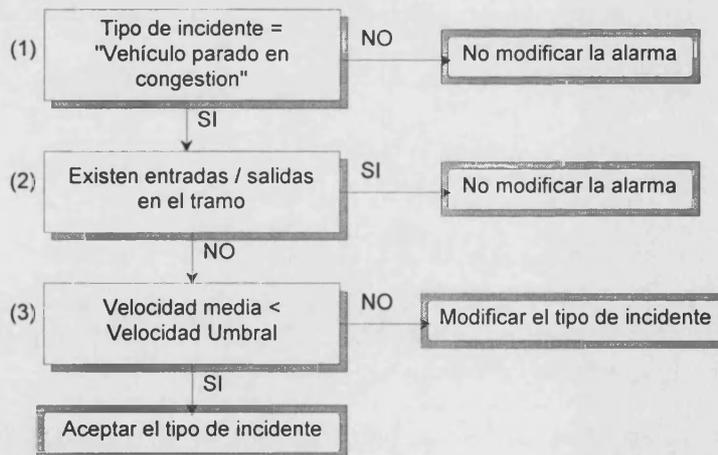


Figura 20.- Pasos del filtrado de tipo de incidente erróneo.

El resultado final es una de esta tres acciones en las que no se incluye la validación de la detección, aunque sí del tipo de incidente:

- Aceptar el tipo de incidente. El tipo de incidente proporcionado por el detector es coherente con las condiciones de contorno en que se produce.

- Modificar el tipo de incidente. Se cambia el tipo de incidente a ‘Vehículo parado en carril’ aplicándose en este caso el filtro anterior que se encarga de validar este tipo de incidentes.
- No modificar la alarma. No es posible determinar si el tipo de incidente es el adecuado. No se cuestiona la veracidad o no de la alarma, que se supone correcta.

Veamos como se llevan a cabo cada una de las verificaciones anteriores:

- (1) Se compara la variable que contiene el tipo de incidente viendo si coincide con la etiqueta correspondiente a “Vehículo parado en congestión” (A_CONG).
- (2) Se verifica que el segmento donde se ha detectado el incidente no corresponde a un tramo en el que exista una entrada o salida. En estas circunstancias no es posible realizar la distinción entre los tipos de incidentes estudiados, puesto que puede existir una cola que afecte únicamente a uno de los carriles de la vía como consecuencia de una retención, o disminución de velocidad, en el punto de entrada o salida mientras que en el resto de carriles la circulación se puede mantener en condiciones normales con lo que la velocidad media no reflejará la retención.
- (3) Se compara el valor de la velocidad media existente en el segmento en el momento de la alarma con el límite definido para un estado de congestión baja (C_BA). Si la velocidad media es menor que este límite la probabilidad de que el incidente sea el detectado es muy alta, con lo que se acepta este como el correcto, en cambio, si la velocidad es mayor que dicho límite es poco probable que el incidente detectado esté producido en un estado de congestión, siendo más probable que la causa de la detección sea un vehículo parado de gran longitud.

El límite de velocidad fijado depende de las características del tramo: velocidad de diseño y tipo de vía.

VI.7. RESULTADO FINAL DEL MAE

A modo de conclusión de este capítulo vamos resumir los procesos y resultados que se alcanzan al final de la aplicación del Módulo de Análisis Espacial.

El MAE parte únicamente de la descripción geográfica de la red y los datos de tráfico e incidentes proporcionados por los analizadores de imágenes situados sobre la carretera. Basado en esta información, comparable a puntos de muestreo sobre un elemento continuo, el MAE realiza un primer análisis de la coherencia de los datos proporcionados por los sensores para luego producir una descripción general del estado de tráfico en la totalidad de la red, a excepción de aquellos lugares que por las relaciones existentes entre las zonas de detección no existe información suficiente para inferir una conclusión. Conjuntamente con el análisis global de la red, se ejecuta un proceso de detección de incidentes en aquellas zonas no cubiertas por cámaras, incorporando estas situaciones a la descripción global de la red. Independientemente de estos procesos, el MAE asocia a cada segmento un índice de confianza que representa la

fiabilidad de las conclusiones inferidas en función de los datos que se han empleado para calcularlas.

Como último proceso del MAE y para incrementar la robustez de los resultados se aplica un proceso de filtrado que afecta por un lado a los niveles de servicio estimados como a los incidentes detectados. En este último caso con objeto de eliminar aquellas alarmas que no son coherentes con las condiciones de contorno existentes en el momento de la detección o de modificar la descripción del incidente.

CAPITULO VI

Sistema Central de Procesamiento: Análisis espacial de la información.

CAPITULO VII ➤

CAPITULO VII

SISTEMA CENTRAL DE PROCESAMIENTO: ANÁLISIS TEMPORAL DE LA INFORMACIÓN.

VII.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo agrupa los dos módulos generales del SCP cuyos procesos incluyen un análisis temporal de la información: Módulo de análisis temporal y el módulo de gestión de alarmas (ver figura 1).

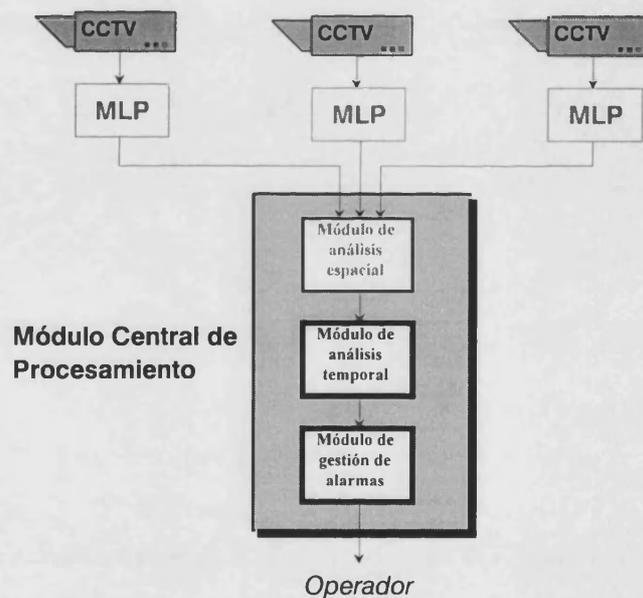


Figura 1.- Módulos del Sistema Central de Procesamiento.

VII.2. MÓDULO DE ANÁLISIS TEMPORAL DE LA INFORMACIÓN.

Como ya se ha explicado, el MAE se encargaba principalmente de describir cualitativamente cual es la situación existente en todas las zonas de la red, incluidas los segmentos virtuales. Sin embargo, estas estimaciones, aunque se obtenían de acuerdo a las relaciones geográficas existentes entre los segmentos, no incluían el establecimiento de relaciones dinámicas. Esta es misión del módulo de análisis temporal (MAT).

El MAT se encarga fundamentalmente de analizar las relaciones espacio-temporales existentes entre las situaciones descritas en cada área de la red de carreteras, estableciendo las correlaciones y las causas de las mismas. Basándose en este tipo de análisis el sistema alcanza tres objetivos diferentes:

1. El establecimiento de las consecuencias de un incidente y la determinación de las causas de niveles de servicio severos.
2. La descripción de la evolución histórica de los incidentes y su priorización.
3. El filtrado de falsas alarmas y múltiples alarmas debidas a un mismo incidente.

Como proceso adicional a los anteriores, dentro del MAT se incluye el proceso de gestión de alarmas, que se encarga de proporcionar una respuesta al operador cuando se ha detectado la presencia de un incidente dentro de la red en función de las prioridades del operador y las características del sistema. La figura 2 nos muestra los principales procesos que se ejecutan en el MAT. Estos procesos serán detallados a lo largo del presente capítulo.

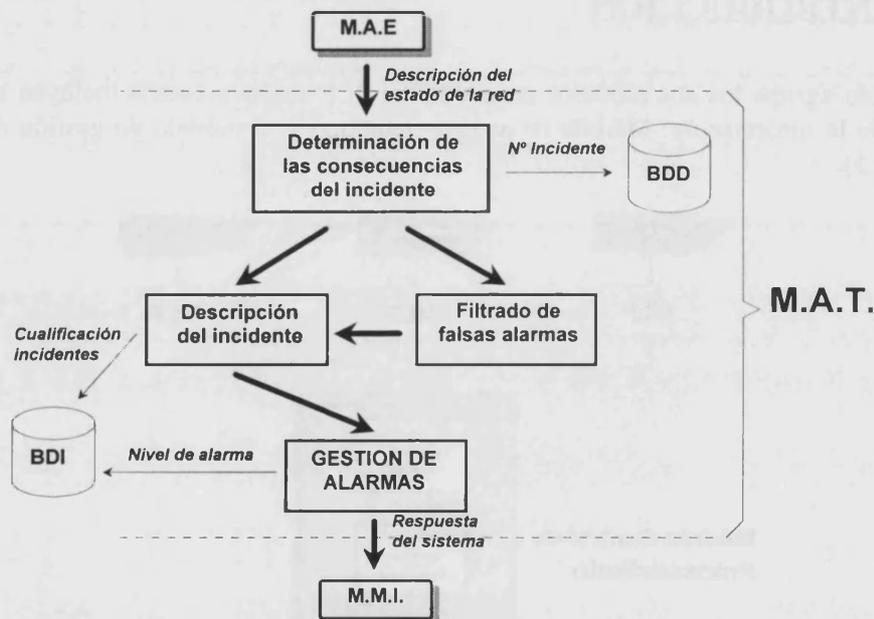


Figura 2.- Procesos del Módulo de análisis temporal.

Sin embargo hay que comentar que aunque las diferentes funciones que componen el MAT han tratado de agruparse dentro de sub-módulos independientes, en la práctica no siempre se ha podido mantener esta situación puesto que el proceso de análisis constituye un bucle realimentado que va modificando recursivamente su información interna. Existen algunos procesos que tienen que ser aplicados en un cierto punto del proceso, en donde los valores internos de algunos parámetros ya han sido recalculados mientras que otros mantienen su valor original.

El ejemplo más destacado de este problema lo constituyen las funciones para el filtrado de falsas alarmas. En muchos casos, no existe un punto en donde se pueda aplicar las funciones de filtrado, sino que estas tienen que aplicarse en el momento que se cumplen un conjunto de condiciones dentro del proceso de razonamiento. Su aplicación antes o después no produce el mismo resultado, pudiendo mantenerse falsas alarmas sin filtrar por falta de conocimiento previo o porque otras funciones han considerado que la alarma, sin filtrar, era correcta. Así, en las descripciones de los módulos del MAT aparecerán insertadas funciones de filtrado de alarmas que serán comentadas en dichos puntos.

VII.2.1 BASES DE DATOS IMPLEMENTADAS

El MAT aparece como un proceso de más alto nivel que el MAE, en este sentido emplea un mayor número de parámetros y necesita conocer en más detalle las relaciones existentes entre los elementos del sistema, por lo que incorpora dos nuevas bases de datos, tal como muestra la figura 3.

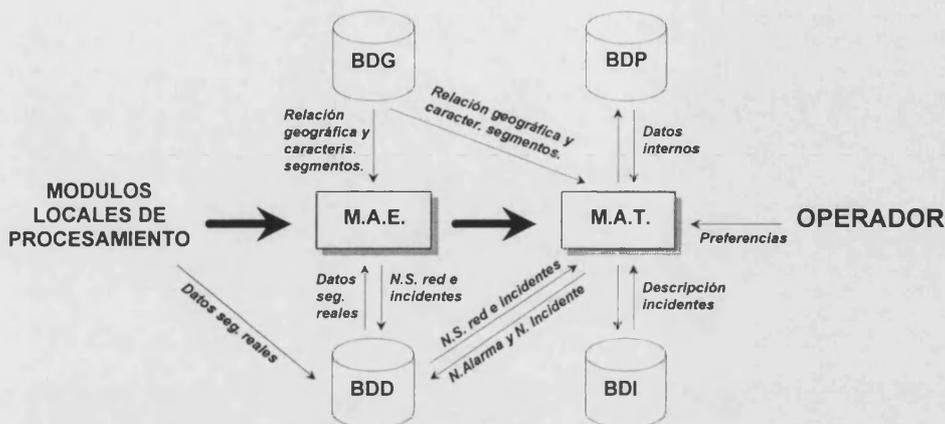


Figura 3.- Bases de datos y flujo de información empleados por el MAT

VII.2.1.1 Base de datos de incidentes.

A diferencia de las bases de datos empleadas hasta el momento, que tenían un número fijo de elementos y un conjunto de registros predefinido para cada uno de ellos, la Base de Datos de Incidentes (BDI) tiene un tamaño variable en función del número de incidentes presentes en cada momento y la descripción en fases de cada uno de ellos.

La BDI se encarga de almacenar la descripción de la evolución de los incidentes a lo largo del tiempo mientras el incidente permanece activo y las decisiones que el operador realiza sobre dicho incidente.

La BDI está constituida por una lista fija con tantos elementos como segmentos se encuentran definidos en la red para facilitar el acceso a la descripción de los incidentes. El número de segmento en el cual está localizado el incidente actúa como índice para relacionar la BDG, la BDD y la BDI.

Esta lista está constituida por un puntero a la estructura de descripción de los incidentes. Este puntero tiene un valor nulo mientras no se haya detectado un incidente en el segmento. Cuando lo hace, se le asigna una estructura (ver figura 4) de memoria dinámica que contiene a su vez dos sub-estructuras:

- *Datos de la alarma.* Contiene un número fijo de campos que hacen referencia a la acción que el sistema debe ejercer ante la alarma en función de las preferencias del operador. La descripción de las respuestas del sistema ante una alarma se encuentra detallada en el punto VII.5.4 de este capítulo.
- *Descripción del incidente:* Esta constituido por un puntero a la sub-estructura de descripción de una fase del incidente. Esta estructura se caracteriza por tener un campo que hace referencia a la siguiente fase del incidente y que corresponde a un puntero a una estructura idéntica, de manera que a medida que se identifican fases del incidente éstas se van anidando una detrás de otra. Cuando el incidente desaparece su evolución es almacenada en un fichero de incidentes y su

descripción eliminada de la BDI, pasando a tener el puntero de referencia un valor nulo.

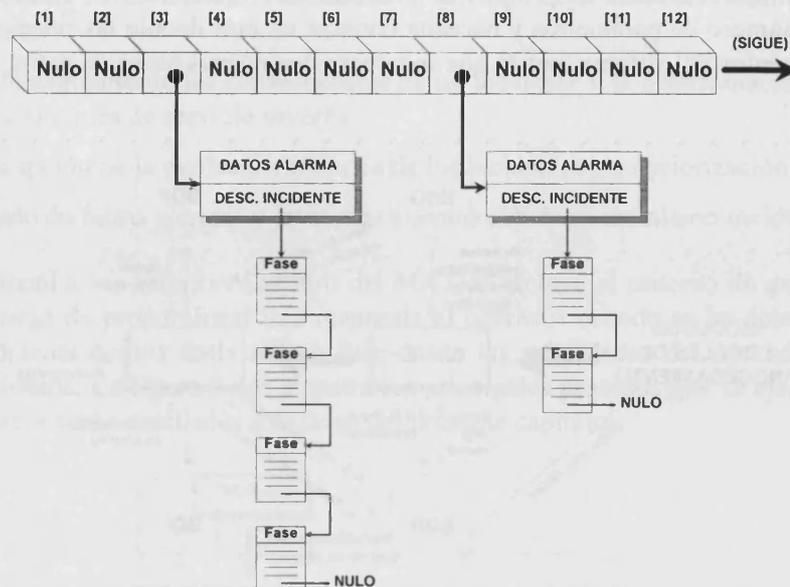


Figura 4.- Organización de la Base de Datos de Incidentes.

A continuación se van a describir los campos de cada una de las subestructuras definidas en la BDI:

Datos de la alarma

- **Bandera alarma:** Es una variable booleana que indica si hay que mostrar una bandera en el interfase gráfico señalando la presencia de un incidente en el segmento. Este variable se pone a “ON” si el nivel de alarma supera el umbral definido para la activación de las banderas de alarma.
- **Mensaje alarma:** Como el caso anterior, se trata de una variable booleana que indica si hay que mostrar un mensaje al operador indicando la presencia de un incidente. Se activa cuando el nivel de alarma supera el umbral definido para los mensajes.
- **Sonido alarma:** Corresponde al tercer nivel de respuesta ante una alarma y produce un pitido cuando está activado.
- **Duración mensaje:** Los mensajes en pantalla tienen un tiempo de permanencia prefijado antes de desaparecer automáticamente. Esta variable contiene el tiempo, en segundos, en que el mensaje permanece en pantalla y se emplea para determinar cuando debe de ser eliminado.
- **Habilitación alarmas:** Indica si los tres niveles de respuesta están disponibles para el segmento dado. En caso de que un nivel de respuesta esté deshabilitado el sistema no producirá ninguna acción aunque la variable correspondiente a dicho nivel esté activada.
- **Tiempo deshabilitación:** Cuando un nivel de respuesta se deshabilita se puede fijar un periodo de deshabilitación pasado el cual dicho nivel se habilita de forma automática. Esta variable contiene el tiempo (seg.) que resta para que el nivel de respuesta se habilite de nuevo.

Descripción del incidente

- *Tipo de incidente*: Indica el tipo de incidente detectado. Es el mismo parámetro que el almacenado en la BDD (capítulo VI).
- *Fase*: Describe la fase en que se encuentra la evolución del incidente. Las fases definidas se detallan en el punto 3.
- *Sub-fase*: Dentro de cada fase se han definido un conjunto de sub-fases que indican la tendencia de comportamiento de la evolución del incidente dentro de la fase.
- *Velocidad cola*: Expresa la velocidad global de crecimiento de la cola en Km/h. desde el momento en que se detecto el incidente hasta el momento actual.
- *Tendencia cola*: Expresa la tendencia de crecimiento de la cola en Km/h. Para ello se evalúan únicamente los últimos ciclos del incidente.
- *Hora de inicio*: Indica la hora de inicio de la fase.
- *Duración*: Indica la duración de la fase en ciclos de sistema.
- *Severidad*: Es una variable que realiza una estimación de las consecuencias producidas por el incidente en el momento actual.
- *Estado final*: Indica cual es el NS del segmento situado aguas arriba del incidente que puede ser considerado como afectado por él.
- *Limite*: Indica si la evolución del incidente puede ser seguida libremente por la red, o ha alcanzado algún extremo u otro incidente de modo que ya no se puede seguir su evolución.
- *Nueva fase*: Es un puntero a la fase siguiente del incidente. Toma un valor nulo en la fase actual del incidente.

La interpretación y los algoritmos empleados para calcular el valor de estos parámetros se describen en los puntos VII.4 y VII.5 de este capítulo.

VII.2.1.2 Base de datos periodicos (BDP).

Contiene información sobre información de los segmentos que puede variar de un ciclo a otro, aunque no siempre lo hace y que sólo tiene relevancia a nivel interno de los cálculos del sistema. Es información que no es necesaria almacenar históricamente, puesto que el sistema sólo emplea el último valor de los parámetros, que además pueden ser modificados en cualquier ciclo. Los parámetros almacenados son los siguientes:

- *Nivel de servicio previo*: Almacena el nivel de servicio existente en el segmento antes de que apareciese un incidente o se modificase el NS. por causa del incidente.
- *Tipo incidente original*: Almacena la descripción original del tipo de incidente antes de que sea modificada por las funciones de filtrado de alarmas o seguimiento de incidentes.
- *Sin comunicación*: Almacena el número de ciclos continuos de procesamiento en los que el sistema no recibe información del MLP asociado.
- *Validación de un incidente*: Es una variable booleana que indica si el incidente ha sido validado por las funciones de validación de alarmas. Un valor no nulo indica que el incidente ha podido ser validado, si el valor es nulo no significa que no sea correcto simplemente que no se ha podido validar internamente.

- *Incidente en fichero*: Indica si la descripción del incidente ha sido ya almacenada en fichero y puede ser eliminada de memoria o no.

VII.3. DETERMINACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS DE LOS INCIDENTES

El proceso de determinación de las consecuencias de los incidentes trata de establecer si el estado presente en un segmento es causa de algún incidente actual o pasado de la red. Para ello se asocia a cada segmento un identificador que corresponde con el número de incidente con el cual se encuentra relacionado el segmento. Así, todos los segmentos cuyo estado actual esté producido por efecto de la presencia de un incidente en otro segmento de la red tendrán el mismo número de incidente asociado aunque no exista un incidente en dicho segmento.

En caso de que el número de incidente corresponda a un valor NULO y que el estado del segmento no sea NORMAL, se supone que el estado existente no ha sido provocado por un incidente, sino que es debido a un incremento en la demanda del tráfico que produce retenciones recurrentes.

Las consecuencias de un incidente se extienden tanto aguas arriba como aguas abajo del mismo aunque sus efectos sobre estos puntos son diferentes. Aguas arriba se produce un incremento en la demanda, debido a la disminución de la capacidad en la zona del incidente, que se refleja en la disminución de la velocidad y el incremento de la ocupación espacial. Aguas abajo se produce el efecto contrario, hay una disminución del flujo de vehículos, reflejada en un incremento de la velocidad y una disminución de la ocupación espacial. Así pues, partiendo del incidente sus consecuencias se propagan en dos direcciones, aguas arriba con un empeoramiento de los niveles de servicio y aguas abajo con una mejora de los mismos. (ver figura 5)

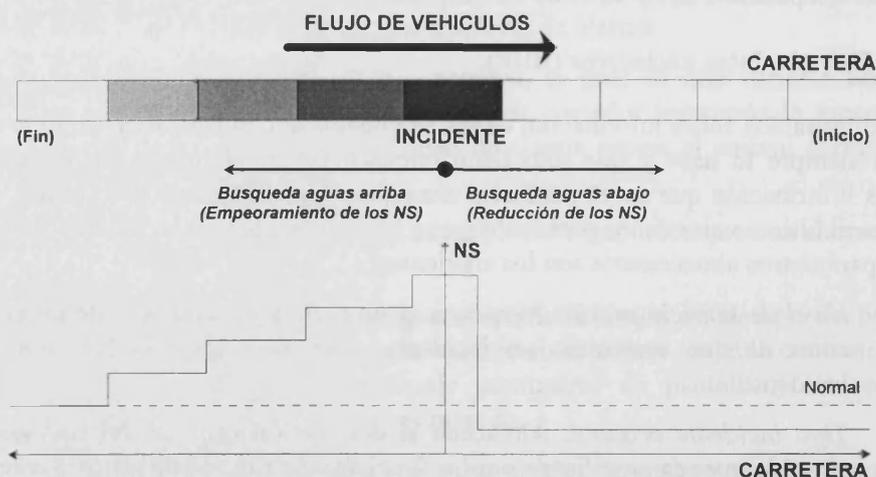


Figura 5.- Sentido del análisis de los segmentos en función de su NS.

Desde el punto de vista de facilitar la implementación del algoritmo de búsqueda, este se ejecutará en dos sentidos, primeramente en dirección aguas arriba (sentido contrario al flujo) y posteriormente en dirección aguas abajo.

La determinación de las consecuencias se realiza mediante la aplicación de un conjunto de reglas cada una de ellas dependiente del estado del segmento. El proceso para la determinación del conjunto de reglas a aplicar es el siguiente (ver figura 6):

- Se recorren los segmentos de todas las carreteras definidas en la red en sentido contrario al flujo de tráfico.
- Se verifica que el nivel de servicio del segmento no corresponde a un estado LIBRE, en cuyo caso se pasa al siguiente segmento.
- Se aplica el conjunto de reglas en función del nivel de servicio del segmento, estando estas agrupadas en cuatro tipos:
 - Caso Normal.
 - Caso Congestionado.
 - Caso Onda.
 - Caso Incidente.
- Una vez, recorridas todas las carreteras en sentido contrario al flujo de vehículos, se vuelven a recorrer todos los segmentos, pero en sentido contrario, es decir, en el mismo sentido que los vehículos.
- En este caso, si el nivel de servicio coincide con un estado libre aplicamos las reglas asociadas al caso LIBRE.

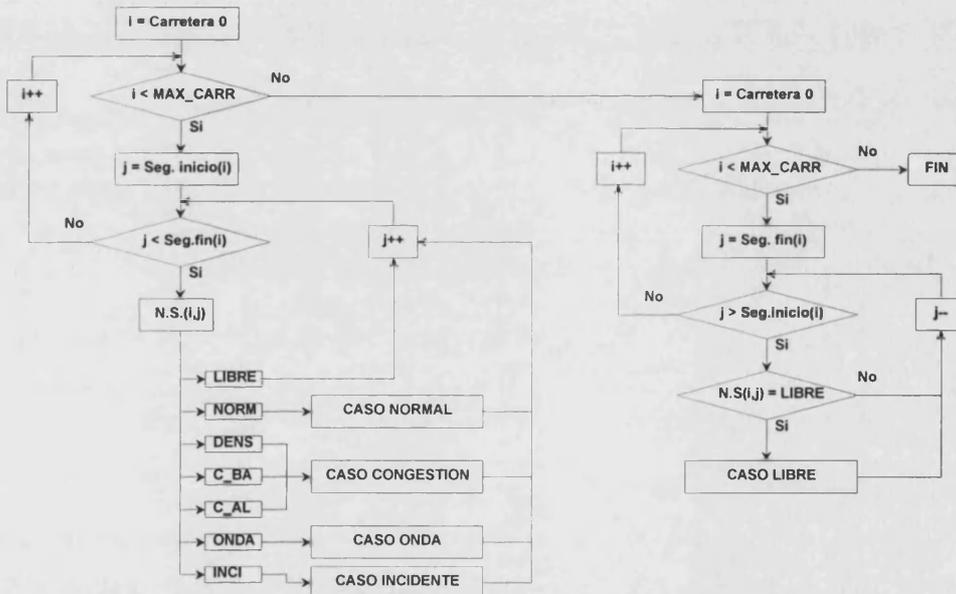


Figura 6.- Esquema del proceso de aplicación de reglas para la determinación de las consecuencias de un incidente.

Como se pone de manifiesto en la figura 5 y 6, existe un tratamiento diferente cuando el estado de la celda es LIBRE. Este tratamiento diferente es debido a la relación existente entre los segmentos anteriores y posteriores a un incidente y los efectos que este produce sobre ellos.

A la hora de aplicar las reglas para especificar los efectos de un incidente, tanto en el recorrido aguas arriba como aguas abajo, existen dos restricciones que condicionan los elementos a emplear:

“Si se analiza el segmento inicial, se toma como segmento anterior el propio segmento inicial.” (1)

“Si el segmento inicial es de tipo DUPLICADO o ACCESO se le asignan los mismos parámetros que tiene el segmento al que está asociado.” (2)

además, se incluye una restricción más con objeto de filtrar falsas alarmas en el caso particular de este tipo de elementos.

“Si el segmento asociado tiene un N° de incidente no nulo y el incidente reportado corresponde a una congestión, ya sea detectada por un módulo local de procesamiento o por el sistema central se elimina la alarma del incidente en el segmento analizado.” (3)

De este modo se evita que congestiones debidas a un sólo incidente produzcan alarmas en los accesos a otras carreteras, eliminando de este modo la duplicidad de alarmas en el sistema central y facilitando el seguimiento de las consecuencias de los incidentes cuando estos alcanzan un punto de bifurcación.

VII.3.1 ESTRUCTURA GENERAL DE LAS REGLAS

Las reglas para la determinación del incidente asociado a un estado dado se basan en un conjunto de condiciones ordenadas, cada vez más particulares, que se van evaluando hasta encontrar una que se cumple. Las reglas se organizan como un árbol de decisiones.

Los elementos empleados por las reglas hacen referencia tanto al entorno espacial cercano:

- **Segmento analizado (*i*).** Corresponde al segmento del que se está calculando el número de incidente.
- **Segmento anterior (*i-1*).** Corresponde al segmento anterior al segmento analizado y es diferente según si el análisis se realiza aguas arriba o aguas abajo, siendo el segmento situado aguas abajo en el primer caso y el situado aguas arriba en el segundo.

como al entorno temporal de ambos segmentos:

- **Ciclo actual (*t*).** Corresponde al último ciclo de procesamiento del sistema.
- **Ciclo anterior (*t+1*).** Corresponde al ciclo de procesamiento anterior y por lo general existe una diferencia de 15 segundos con el ciclo actual.

Las variables involucradas en las reglas son:

- **Nivel de servicio (*NS*):** Corresponde al estado del tráfico existente en el segmento.
- **Tipo de incidente (*TI*):** Indica el tipo de incidente detectado por el MLP o el SCP en el segmento. Los tipos de incidentes se encuentran definidos en el capítulo III.
- **Nivel de alarma (*NA*):** El nivel de alarma es un parámetro interno del sistema que se emplea para la cuantificación de la importancia de la alarma en función de las características del incidente y las prioridades del operador. Aunque este valor se calcula en un módulo posterior, es empleado anteriormente por el sistema como una variable booleana para indicar la presencia de una alarma. Si el NA es 0 la alarma ha sido desactivada o filtrada por el sistema independientemente de que tenga asociado un tipo de incidente, por otro lado, si el NA es 1 indica la existencia de una alarma en dicho segmento aunque en ese momento no se esté reportando ningún incidente. Existen ciertas situaciones en las que la evolución histórica de la escena del tráfico oculta al incidente existente, en estos casos, el sistema puede optar por mantener la alarma y esperar a que se modifiquen las condiciones de tráfico para validar el incidente, o eliminar la alarma directamente. Estas situaciones son gestionadas por las reglas para la determinación de las consecuencias del incidente y se describen con más detalle en el punto siguiente.

- **Nivel de servicio previo (NSP):** Como en el caso anterior se trata de una variable interna del sistema que permite conocer cual era el estado del segmento antes de que se produjese una modificación del NS debido a la presencia de un incidente. Por lo general, cabe esperar que el NSP corresponda a un estado NORMAL o LIBRE, sin embargo pueden existir situaciones de tráfico denso o congestionado, no producidas por incidentes, sobre las que aparezca un incidente y que constituyen el estado de partida a la hora de evaluar los efectos del mismo.
- **Número de incidente (NI):** La determinación del NI constituye el objeto de las reglas para el cálculo de las consecuencias del incidente. El NI es un índice con el que se identifican todos los segmentos cuyo estado se supone es una consecuencia de un incidente previo con el mismo índice.

Para especificar la descripción de las reglas se ha empleado el siguiente formato a la hora de identificar un parámetro:

$$\text{Variable [Ciclo, Segmento]} \quad (4)$$

a continuación se describen las reglas aplicadas para cada caso definido.

VII.3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS REGLAS

VII.3.2.1 Caso NS[t, i]=LIBRE

A) "Evaluamos si la situación actual corresponde con la condición existente antes del incidente ($NSP[i]=NS[t, i]$ ó $NSP[i]=DESC$), en caso contrario pasamos a B" (5)

En caso afirmativo eliminamos la alarma activada considerando que el estado del segmento no es consecuencia de ningún incidente de la red.

$$\begin{aligned} NA [t, i] &= \text{NULO}; \\ NI [t, i] &= \text{NULO}; \\ NSP [i] &= \text{DESC}; \end{aligned} \quad (1)$$

B) "Evaluamos si en el ciclo anterior existe una alarma activada ($NA[t-1, i] \neq \text{NULO}$), si no pasamos a C" (6)

En caso afirmativo eliminamos la alarma, puesto que en condiciones de tráfico libre no existe posibilidad de que un incidente sea ocultado por las condiciones de tráfico y suponemos que el estado no es consecuencia de ningún incidente.

$$\begin{aligned} NA [t, i] &= \text{NULO}; \\ NI [t, i] &= \text{NULO}; \\ NSP [i] &= \text{NS} [t, i]; \end{aligned} \quad (2)$$

C) "Evaluamos si el segmento anterior tiene asociado un estado LIBRE o INCIDENTE ($NS[t, i-1]=\text{LIBRE}$ ó $NS[t, i-1]=\text{INCI}$), si no pasamos a D" (7)

En caso afirmativo consideramos que la situación del segmento actual debe ser la misma que la del segmento anterior y debe de estar provocada por el mismo incidente, por lo tanto:

$$\begin{aligned} NA [t, i] &= \text{NULO}; \\ NI [t, i] &= NI [t, i-1]; \\ NSP [i] &= \text{NS} [t, i]; \end{aligned} \quad (3)$$

D) "Evaluamos si en el ciclo anterior el segmento tenía el mismo estado" (8)

$(NS[t+1, i]=NS[t, i]).$

En caso afirmativo consideramos que la situación no ha variado respecto al ciclo anterior por lo que se mantienen los valores de dicho ciclo.

$$\begin{aligned} NA [t, i] &= NA [t+1, i]; \\ NI [t, i] &= NI [t+1, i]; \\ NSP [i] &= NSP [i]; \end{aligned} \quad (4)$$

En caso negativo se considera que la situación existente no es consecuencia de ningún incidente y se eliminan todas las referencias a alarmas anteriores:

$$\begin{aligned} NA [t, i] &= NULO; \\ NI [t, i] &= NULO; \\ NSP [i] &= DESC; \end{aligned} \quad (5)$$

La figura 7 muestra el árbol de decisiones empleado:

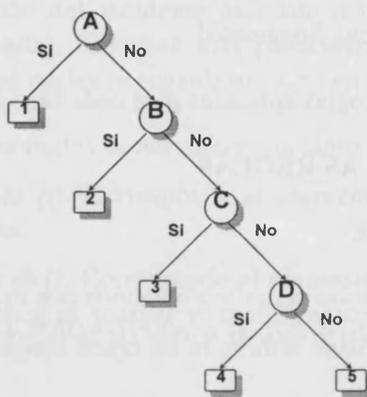


Figura 7.- Árbol de decisiones para el caso LIBRE

VII.3.2.2 Caso $NS[t, i]=NORMAL$

La identificación de un segmento con un NS "Normal" implica que la situación del tráfico en el segmento es normal, por lo que dicho estado no puede estar causado por un incidente. Se elimina cualquier alarma anterior que se mantuviese activa, se le asigna un valor nulo al número de incidente y se toma como estado previo al incidente el estado actual:

$$\begin{aligned} NA [t, i] &= NULO; \\ NI [t, i] &= NULO; \\ NSP [i] &= NS [t, i]; \end{aligned} \quad (1)$$

VII.3.2.3 Caso $NS[t, i]=CONGESTIÓN$

A) "Evaluamos si en el ciclo anterior el segmento tenía el mismo estado $(NS[t+1, i]=NS[t, i])$ si no pasamos a B." (9)

En caso afirmativo supone que no se ha producido ninguna variación respecto a la situación anterior, por lo que sus valores se han de mantener.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t+1, i]; \\ NSP [i] &= NSP [i]; \\ NA [t, i] &= NA [t+1, i]; \end{aligned} \quad (1)$$

B) "Evaluamos si en el ciclo anterior el segmento tenía un estado desconocido $(NS[t+1, i]=DESC)$, en caso afirmativo pasamos a C, si no pasamos a G." (10)

C) “Realizamos una búsqueda histórica de un estado diferente de DESC con un número de incidente no nulo ($NS[t+j,i]=DESC$ y $NI[t+j,i]\neq NULO$). ” (11)

El alcance de la búsqueda está determinado por un parámetro configurable por el usuario (RADIO) y que se ha prefijado en 16 ciclos (Correspondiente a 4 minutos).

D) “Evaluamos si se ha encontrado un segmento que verifique la condición C dentro del entorno RADIO ($j < RADIO$), sino pasamos a E” (12)

En caso afirmativo consideraremos que el estado actual es continuación de la situación anterior, aunque ha existido un periodo, menor de 4 minutos, en el que el sistema no ha podido obtener datos del segmento. Esta consideración refuerza el sistema en el caso de pequeños errores en la comunicaciones manteniendo una continuidad en los análisis temporales.

Así:

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t+j, i]; \\ NSP [i] &= NSP [i]; \\ NA [t, i] &= NA [t+j, i]; \\ TI [t, i] &= TI [t+j, i]; \end{aligned} \quad (2)$$

E) “Verificamos si el operador tiene desactivada la opción para considerar las congestiones recurrentes como incidentes ($Congestión_recurrente = NULO$), si no pasamos a F” (13)

En caso afirmativo consideramos que el estado actual es debido a una gestión recurrente, pero como estas no se consideran como incidentes eliminaremos la alarma, si existiese, y le asignaremos un número de incidente nulo.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NULO; \\ NSP [i] &= NS [t,i]; \\ NA [t, i] &= NULO; \\ TI [t, i] &= NO_INCI; \end{aligned} \quad (3)$$

F) “Verificamos si el segmento anterior tiene un estado de congestión, onda o incidente ($NS[t, i-1] \geq C_BA$ y $NS[t, i-1] \leq INCI$)” (14)

En caso afirmativo consideramos que la congestión recurrente ha comenzado en un punto anterior y el estado del segmento actual es consecuencia de la congestión situada aguas arriba y por lo tanto tiene que tener asignado el mismo número de incidente.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t, i-1]; \\ NSP [i] &= NSP [i-1]; \\ NA [t, i] &= NULO; \end{aligned} \quad (4)$$

En caso negativo se supone que la congestión se está creando en el segmento y por tanto tiene que ser reportada como un incidente nuevo por lo que se le asignará un nuevo número de incidente incrementándose el contador de incidentes (ConI) en una unidad.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= ConI; \\ NSP [i] &= NORM; \\ NA [t, i] &= 1; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} NS [t, i] &= INCI; \\ TI [t, i] &= A_CONG; \end{aligned}$$

G) “Verificamos si la alarma del ciclo anterior se encuentra activada ($NA[t+1, i] \neq NULO$), si no pasamos a K” (15)

H) “Verificamos si el estado previo al incidente es menos severo que el estado actual ($NSP[i] < NS[t, i]$), si no pasamos a J” (16)

I) “Verificamos si el numero de incidente del segmento anterior coincide con el número de incidente del ciclo anterior ($NI[t, i-1] = NI[t+1, i]$)” (17)

En caso afirmativo, consideraremos que el estado actual es consecuencia del mismo incidente que el causante del estado del segmento anterior, por lo que le asignaremos el mismo número de incidente, sin embargo, en función del que el segmento anterior tenga una alarma activada o no, mantendremos activada la alarma en el segmento actual. De este modo evitamos tener alarmas en varios segmentos debidas al mismo incidente. Así:

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t, i-1]; \\ NSP [i] &= NSP [i]; \end{aligned} \quad (6)$$

Si ($NA [t, i-1] = NULO$):

$$\begin{aligned} NA [t, i] &= 1; \\ TI [t, i] &= A_SC; \end{aligned}$$

Sino:

$$\begin{aligned} NA [t, i] &= NULO; \\ TI [t, i] &= NO_INCI; \end{aligned}$$

En caso negativo supondremos que el estado existente en el segmento anterior está producido por un incidente diferente al del estado actual, y que el incidente no es reportado porque ha sido ocultado por las consecuencias reflejadas en el estado anterior. Existirá un punto de ruptura a la hora de seguir las consecuencias del primer incidente puesto que estas alcanzan un punto donde existe otro. Así:

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t+1, i]; \\ NSP [i] &= NSP [i]; \\ NA [t, i] &= NA [t+1, i]; \\ TI [t, i] &= A_SC; \end{aligned} \quad (7)$$

J) “Verificamos si el estado del segmento anterior es congestión, onda o incidente ($NS[t, i-1] \geq C_BA$ y $NS[t, i-1] \leq INCI$)” (18)

En caso afirmativo, existen dos posibilidades que son difíciles de matizar, la primera corresponde a la recuperación de la situación previa al incidente, pero todavía con estado no normal, la segunda es que a pesar de que se a vuelto al estado previo al incidente, dicho estado se puede asociar a otro incidente aguas abajo de la carretera. Se ha optado por escoger como valida la opción más severa asignando el estado al incidente de aguas abajo. Así:

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t, i-1]; \\ NSP [i] &= NSP [i-1]; \\ NA [t, i] &= NULO; \end{aligned} \quad (8)$$

En caso negativo suponemos que el segmento ha recuperado su nivel de servicio previo al incidente que corresponde a una situación ya existente antes de verse alterada.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NULO; \\ NSP [i] &= DESC; \\ NA [t, i] &= NULO; \end{aligned} \quad (9)$$

K) “Verificamos si el número de incidente del estado anterior es nulo ($NI[t+1, i]=NULO$), si no pasamos a N” (19)

L) “Verificamos si el estado del segmento anterior es congestión, onda o incidente ($NS[t, i-1] \geq C_AL$ y $NS[t, i-1] \leq INCI$), si no pasamos a M” (20)

En caso afirmativo se considera que el estado de congestión está producido por un incidente situado aguas abajo, por lo que se le asigna el mismo número de incidente que el del segmento anterior.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t, i-1]; \\ NSP [i] &= NS [t+1, i]; \\ NA [t, i] &= NULO; \end{aligned} \quad (10)$$

M) “Verificamos si el operador tiene activada la opción para considerar las congestiones recurrentes como incidentes y estamos en estado de congestión ($Congestión_recurrente = ACTIVA$ y $NS[t, i] > C_BA$)” (21)

En caso afirmativo se supone que la congestión se está creando en el segmento y por tanto tiene que ser reportada como un incidente nuevo por lo que se le asignará un nuevo número de incidente incrementándose el contador de incidentes en una unidad.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= ConI; \\ NSP [i] &= NS [t+1, i]; \\ NA [t, i] &= 1; \\ NS [t, i] &= INCI; \\ TI [t, i] &= A_CONG; \end{aligned} \quad (11)$$

En caso negativo no se considera la congestión recurrente como incidente y por lo tanto no se reporta ninguna alarma y el número de incidente será nulo.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NULO; \\ NSP [i] &= DESC; \\ NA [t, i] &= NULO; \end{aligned} \quad (12)$$

N) “Verificamos si el estado del segmento coincide con el estado previo al incidente ($NS[t, i]=NSP[i]$), si no pasamos a P” (22)

O) “Verificamos si el estado del segmento coincide con el estado previo al incidente del segmento anterior ($NS[t, i]=NSP[i-1]$)” (23)

En caso afirmativo tendremos la seguridad de que el estado actual no es consecuencia de ningún incidente, por lo que le asignaremos un número de incidente nulo:

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NULO; \\ NSP [i] &= DESC; \\ NA [t, i] &= NULO; \end{aligned} \quad (13)$$

En caso negativo se eliminarán la alarma si se encuentra activada puesto que se ha alcanzado el nivel de servicio existente antes de la alarma, aunque se considerará que el estado actual puede ser debido a la situación existente aguas abajo por lo que se le asignará el número de incidente asociado al segmento anterior.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t, i-1]; \\ NSP [i] &= NSP [i-1]; \\ NA [t, i] &= NULO; \end{aligned} \tag{14}$$

P) "Verificamos si el número de incidente del segmento anterior es nulo (NI[t,i-1]=NULO)" (24)

En caso afirmativo se considera que el incidente asociado es el mismo que el asociado en el ciclo anterior, ya que no existe influencia del segmento situado aguas abajo.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t+1, i]; \\ NSP [i] &= NSP [i]; \\ NA [t, i] &= NULO; \end{aligned} \tag{15}$$

En caso negativo se considera que si que existe influencia del segmento situado aguas abajo, por lo que el número de incidente asociado corresponderá al mismo que el del segmento anterior.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t, i-1]; \\ NSP [i] &= NSP [i]; \\ NA [t, i] &= NULO; \end{aligned} \tag{16}$$

La figura 8 muestra el árbol de decisiones implementado.

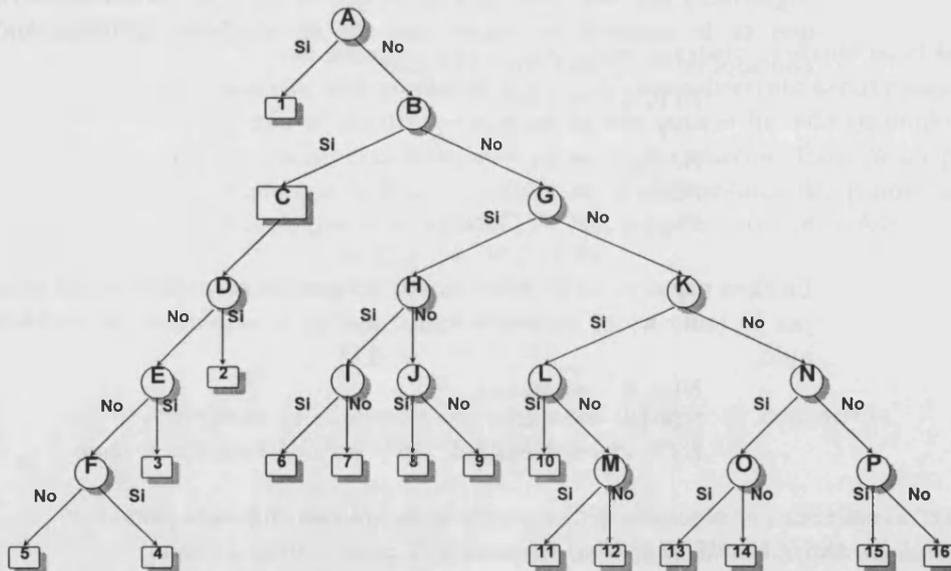


Figura 8.- Árbol de decisiones para el caso CONGESTIÓN

VII.3.2.4 Caso NS[t, i]=ONDA

A) "Verificamos si en el ciclo anterior el segmento tenía el mismo estado (NS[t+1,i]=NS[t,i]) si no pasamos a C." (25)

B) "Verificamos si en el ciclo anterior el segmento tenía la alarma desactivada (NA[t+1,i]=NULO)" (26)

En caso afirmativo consideramos que el estado actual es una continuación del estado del ciclo anterior, en el que la alarma se mantiene desactivada.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t+1, i]; \\ NSP [i] &= NSP [i]; \\ NA [t, i] &= NULO; \end{aligned} \quad (1)$$

En caso negativo, también se considera que el estado actual es continuación de la situación reflejada en el ciclo anterior, aunque se actualiza la situación de la alarma, manteniendo esta activa.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t+1, i]; \\ NSP [i] &= NSP [i]; \\ NA [t, i] &= 1; \\ TI [t, i] &= A_SC; \end{aligned} \quad (2)$$

C) "Verificamos si en el ciclo anterior el segmento tenía un estado desconocido ($NS[t+1,i]=DESC$) si no pasamos a F." (27)

D) "Realizamos una búsqueda histórica de un estado diferente de DESC con un número de incidente no nulo ($NS[t+j,i]=DESC$ y $NI[t+j,i] \neq NULO$). " (28)

E) "Evaluamos si se ha encontrado un segmento que verifique la condición C dentro del entorno RADIO ($j < RADIO$)" (29)

En caso afirmativo consideraremos que el estado actual es continuación de la situación anterior, aunque ha existido un periodo en el que el sistema no ha podido obtener datos del segmento. Como en el caso de congestión se mantiene la continuidad en los análisis temporales Así:

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t+j, i]; \\ NSP [i] &= NSP [i]; \\ NA [t, i] &= NA [t+j, i]; \\ TI [t, i] &= TI [t+j, i]; \end{aligned} \quad (3)$$

En caso negativo consideramos que la situación no es debida a ningún incidente y tiene su origen en el propio segmento por lo que le asignaremos un número de incidente nulo.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NULO; \\ NSP [i] &= DESC; \\ NA [t, i] &= NULO; \end{aligned} \quad (4)$$

F) "Verificamos si en el ciclo anterior la alarma se encuentra activada ($NA[t+1,i] \neq NULO$) si no pasamos a G." (30)

En caso afirmativo, consideramos que el estado onda corresponde a una evolución del estado del ciclo anterior y por lo tanto mantenemos el número de incidente y la alarma anterior.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t+1, i]; \\ NSP [i] &= \text{Previo}; \\ NA [t, i] &= 1; \\ TI [t, i] &= A_SC; \end{aligned} \quad (5)$$

G) "Verificamos si en el ciclo anterior el número de incidente es nulo ($NI[t+1,i]=NULO$) si no pasamos a I." (31)

H) “Verificamos si el segmento anterior tiene un número de incidente nulo ($NI[t, i-1]=NULO$).” (32)

En caso afirmativo, se supone que la situación actual del segmento no es consecuencia de incidentes existentes en la red puesto que sus efectos, en caso de existir, no alcanza a dicho segmento. Consideraremos la situación aislada y le asignaremos un número de incidente nulo.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NULO; \\ NSP [i] &= DESC; \\ NA [t, i] &= NULO; \end{aligned} \quad (6)$$

En caso negativo, se supone que la situación del segmento es consecuencia de un incidente localizado aguas abajo y por lo tanto se le asigna el mismo identificador que el que tiene el segmento anterior.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t, i-1]; \\ NSP [i] &= NS[t+1, i]; \\ NA [t, i] &= NULO; \end{aligned} \quad (7)$$

I) “Verificamos si en el ciclo anterior el estado del segmento era libre ($NS[t+1, i]=LIBRE$)” (33)

Sea cual sea el resultado de esta verificación, se asociará la situación existente a la existente en su entorno más próximo, ya sean estas debidas a un incidente o no. Es decir, tengan un número de incidente asociado o no.

El caso afirmativo implica que el paso a estado onda se ha realizado desde una situación de tráfico fluido, lo cual es imposible en el intervalo de tiempo existente entre dos ciclos de procesamiento. Por lo tanto, la situación de onda estará producida por las condiciones existentes aguas abajo.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t, i-1]; \\ NSP [i] &= NSP[i]; \\ NA [t, i] &= NULO; \end{aligned} \quad (8)$$

El caso negativo permite suponer que la situación actual deriva de las condiciones anteriores y por lo tanto tiene que estar asociada a ellas.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t+1, i]; \\ NSP [i] &= NSP[i]; \\ NA [t, i] &= NULO; \end{aligned} \quad (9)$$

La figura 9 muestra el árbol de decisiones implementado.

VII.3.2.5 Caso $NS[t, i]=INCIDENTE$

El tratamiento de la situaciones correspondientes a un incidente es un poco más complicado y precisa de la aplicación de un proceso previo para evitar la aparición de múltiples alarmas producidas por un mismo incidente. La extensión de las consecuencias de un incidente a varios módulos locales de procesamiento puede provocar que cada uno de ellos reporte al sistema central una alarma de incidente, apareciendo múltiples alarmas debidas al mismo incidente a lo largo de la extensión del incidente. Estas alarmas, que no son falsas, pero que no están situadas en el verdadero origen del incidente son filtradas en el Sistema Central de Procesamiento que mantiene una sola alarma en la posición original del incidente (ver figura 10).

El proceso de filtrado de estas falsas alarmas se aplica justamente antes de las reglas para determinar las consecuencias del incidente y únicamente cuando el estado del segmento

corresponde a una alarma. Este proceso de filtrado se basa en estudiar las relaciones espacio-temporales más próximas al segmento, es decir, la situación en del segmento situado aguas abajo y la situación en el ciclo anterior, y sólo se puede aplicar a alarmas de incidentes de tipo congestión, ya este producida por un MLP o por el SCP, o de descenso de velocidad.

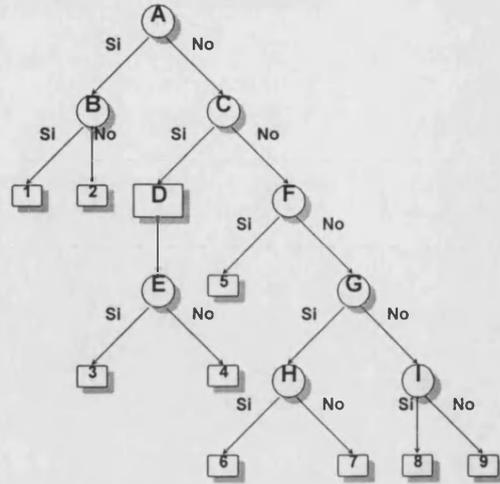
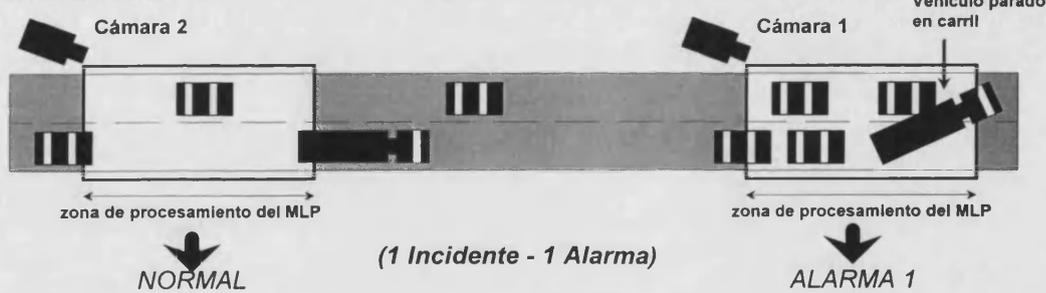
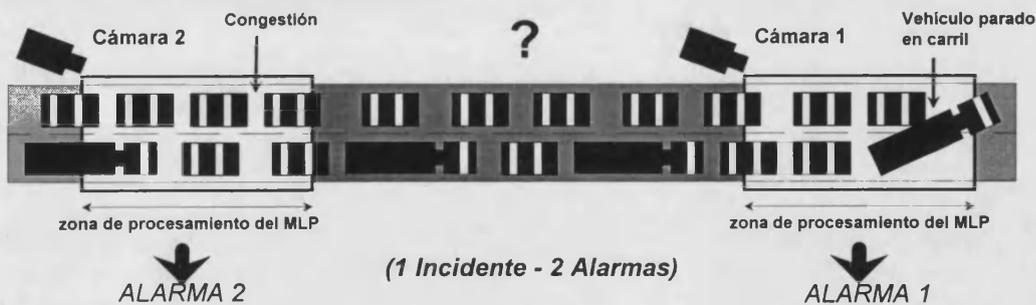


Figura 9.- Árbol de decisiones para el caso ONDA

SITUACION INICIAL



SITUACION ACTUAL DESCRITA POR LOS MLPs



SITUACION ACTUAL DESCRITA POR EL SC

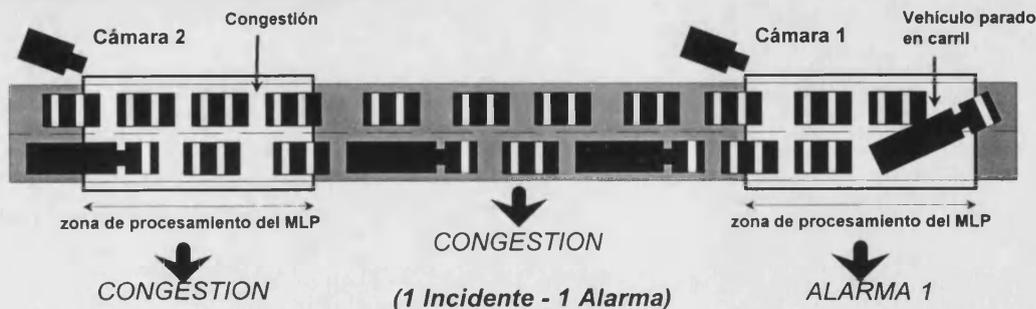


Figura 10.- Múltiples alarmas reportadas por los MLP causadas por un incidente

Condición espacial:

“Se verifica si el incidente es de tipo congestión o descenso de velocidad (34)
 $(TI[t,i]=A_CONG \text{ ó } TI[t,i]=A_SC \text{ ó } TI[t,i]=A_DESV)$, si el segmento anterior tenía un estado de congestión, onda o incidente ($NS[t,i-1]>NORM$), si no existe ningún incidente asociado al segmento en el ciclo anterior ($NI[t+1,i]=NULO$) y que si existe un incidente asociado al segmento anterior ($NI[t,i-1]\neq NULO$)”

En caso de que se cumplan todas las condiciones anteriores se puede decir que la alarma reportada por el segmento está producida por el incidente que produce la situación en el segmento anterior. Se realiza la siguiente asignación de variables sin necesidad de aplicar las reglas de incidente al segmento pasándose a analizar el siguiente segmento.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t, i-1]; \\ NSP [i] &= NS[t+1,i]; \\ NA [t, i] &= NULO; \\ NS [t, i] &= ONDA; \\ TI [t, i] &= NO_INCI; \end{aligned} \quad (1)$$

Condición temporal:

“Se verifica si el incidente es de tipo congestión o descenso de velocidad (35)
 $(TI[t,i]=A_CONG \text{ ó } TI[t,i]=A_SC \text{ ó } TI[t,i]=A_DESV)$, si el estado del segmento en el ciclo anterior era de congestión ($NS[t+1,i]>NORM$ y $NS[t+1,i]<ONDA$) y que si existe un incidente asociado al segmento en el ciclo anterior ($NI[t+1,i]\neq NULO$)”

En este caso se supone que ya existe una alarma activada en el segmento y que el incidente ahora detectado corresponde a la presencia de colas de vehículos que producen un ciclo de periodos de paradas y periodos de movimiento. En los periodos de parada los MLPs reportan alarmas de congestión que son removidas cuando comienzan a moverse los vehículos. Sin embargo, estos periodos de parada y movimiento han de ser considerados como un único incidente a lo largo del tiempo y no como incidentes independientes de corta duración. Si se cumple la condición anterior se modifica el NS del segmento pasando de tener una situación de incidente a una situación de congestión, aplicándose en tal caso las reglas asociadas a estados de congestión.

Una vez verificadas las condiciones anteriores, y en el caso de que no se cumpla ninguna, y previamente a la aplicación de las reglas definidas para el caso de incidente, se ejecuta una condición de continuidad que se encarga de localizar la presencia de un incidente en un entorno espacio-temporal cercano al segmento y ciclo analizado. De este modo se evita que incidentes temporalmente ocultados por las condiciones de tráfico sean reportados como incidentes diferentes cuando estos vuelven a ser detectados.

Condición de continuidad:

Para la implementación de la condición de continuidad, se recorre la BDD hasta una profundidad de n ciclos, siendo n un parámetro modificable por el operador y que está prefijado en un valor de 4 ciclos correspondiente a 1 minuto. Por cada ciclo analizado se evalúan dos condiciones:

“Se verifica si existe una alarma activada en el ciclo j ($NA[t+j,i]\neq NULO$)” (36)

En hecho de que exista una alarma activada supone que en el segmento ha existido un incidente y que puede estar todavía presente aunque oculto por las modificaciones de las condiciones de tráfico. La nueva detección de un incidente sobre el segmento en un corto intervalo de tiempo nos hace considerar que el nuevo incidente es el mismo que el que existía por lo que le asignamos el mismo número de incidente.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t+j, i]; \\ NSP [i] &= \text{Previo}(i); \\ NA [t, i] &= NA [t+j, i]; \end{aligned} \quad (2)$$

“Se verifica si existe un número de incidente no nulo alarma en el ciclo j ($NI[t+j, i] \neq \text{NULO}$), en tal caso, se realiza una búsqueda a lo largo de la carretera de un segmento con una alarma activada y con el mismo número de incidente ($NA[t+j, i+k] \neq \text{NULO}$ y $NI[t+j, i] = NI[t+j, i+k]$)” (37)

Si se encuentra durante el análisis temporal del segmento un número de incidente no nulo significa que la situación existente en ese momento había sido producida por un incidente previo, por lo tanto, la presencia del incidente actual se considera un desplazamiento del incidente previo con lo que se le asigna el mismo número de incidente.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t+j, i+k]; \\ NSP [i] &= \text{Previo}(i); \\ NA [t, i] &= NA [t+j, i+k]; \end{aligned} \quad (3)$$

Si no se cumplen ninguna de las tres condiciones anteriores se procede a aplicar las reglas definidas para el caso de incidente.

A) “Verificamos si en el ciclo anterior el segmento tenía el mismo estado ($NS[t+1, i] = NS[t, i]$) si no pasamos a B.” (38)

En caso afirmativo supone que no se ha producido ninguna variación respecto a la situación anterior, por lo que sus valores se han de mantener.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t+1, i]; \\ NSP [i] &= NSP [i]; \\ NA [t, i] &= NA [t+1, i]; \end{aligned} \quad (4)$$

B) “Verificamos si en el ciclo anterior el segmento tenía un estado desconocido ($NS[t+1, i] = \text{DESC}$) si no pasamos a F.” (39)

C) “Realizamos una búsqueda histórica de un estado diferente de desconocido ($NS[t+j, i] = \text{DESC}$)” (40)

D) “Verificamos que se ha encontrado un segmento dentro del entorno RADIO con un número de incidente no nulo ($j < \text{RADIO}$ y $NI[t+j, i] \neq \text{NULO}$) si no pasamos a E” (41)

En caso afirmativo consideraremos que el estado actual es continuación de uno previo, pero que entre ellos ha existido un periodo (menor de 4 minutos) en el que el sistema no tenía información del segmento.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t+j, i]; \\ NSP [i] &= NSP [i]; \\ NA [t, i] &= 1; \end{aligned} \quad (5)$$

E) “Verificamos si el segmento es un segmento duplicado cuyo” (42)

*segmento asociado tiene un número de incidente no nulo.
((TSeg[t,i]='A' ó TSeg[t,i]='R') y NI[t,NSeg[i]]≠NULO) ”*

En caso afirmativo el incidente actual ya es reportado por el sistema en el segmento asociado al segmento analizado, por lo tanto tiene que tener el mismo número de incidente.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t, Nseg[i]]; \\ NSP [i] &= NS [t+1, i]; \\ NA [t, i] &= 1; \end{aligned} \quad (6)$$

En caso negativo se supone que se trata de un incidente nuevo, sin referencias previas en la red por lo que se le asigna un nuevo número de incidente.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= ContI; \\ NSP [i] &= NS [t+1, i]; \\ NA [t, i] &= 1; \end{aligned} \quad (7)$$

*F) “Verificamos si en el ciclo anterior el segmento tenía la alarma activada
(NA[t+1,i]≠NULO) si no pasamos a G.”* (43)

En caso afirmativo se considera que la situación actual es continuación de una incidente previo, oculto por las condiciones de tráfico y que vuelve a ser detectado, por lo que el número de incidente asociado se mantiene.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t+j, i]; \\ NSP [i] &= NSP [i]; \\ NA [t, i] &= 1; \end{aligned} \quad (8)$$

*G) “Verificamos si el segmento es virtual o tiene un estado de
funcionamiento nulo (TSeg[i]='V' ó EST[i]≠OK) si no pasamos a J.”* (44)

*H) “Verificamos si el segmento es de tipo intersección, acceso o
duplicado (TRel[i]≠TRAMO) si no pasamos a I.”* (45)

En caso afirmativo se tiene un estado de incidente, cuyo estado anterior no es incidente, no tiene la alarma activada, se trata de un segmento virtual, del que no se tiene información directa del MLP, y es de tipo intersección, acceso o duplicado. Esta situación da lugar a interpretaciones erróneas, en las que la presencia de un punto de bifurcación, hace que el estado del segmento tenga que ser obtenido mediante segmentos no pertenecientes a la carretera y aparezcan situaciones de incidentes que suelen corresponder a pequeñas colas o retenciones en el acceso, por lo que el sistema modifica la situación de incidente transformándola a onda:

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t+1, i]; \\ NSP [i] &= NSP [i]; \\ NA [t, i] &= NULO; \\ NS [t, i] &= ONDA; \\ TI [t, i] &= NO_INCI; \end{aligned} \quad (9)$$

*I) “Buscamos la presencia de una alarma en un entorno espacio-
temporal (NA[t+j,i+k]≠NULO) siempre que en dicho entorno exista
un segmento con un número de incidente no nulo
(NI[t+j,i+k]≠NULO) si no existe pasamos a J.”* (46)

Esta condición más que una regla constituye un procedimiento para **filtrar falsas alarmas** producidas por el efecto de recuperación de las condiciones

normales de tráfico cuando se elimina un incidente. Tal y como se muestra en la figura 11, cuando se produce la eliminación de un incidente las condiciones de tráfico se van recuperando tanto en el extremo aguas arriba como en el extremo aguas abajo.

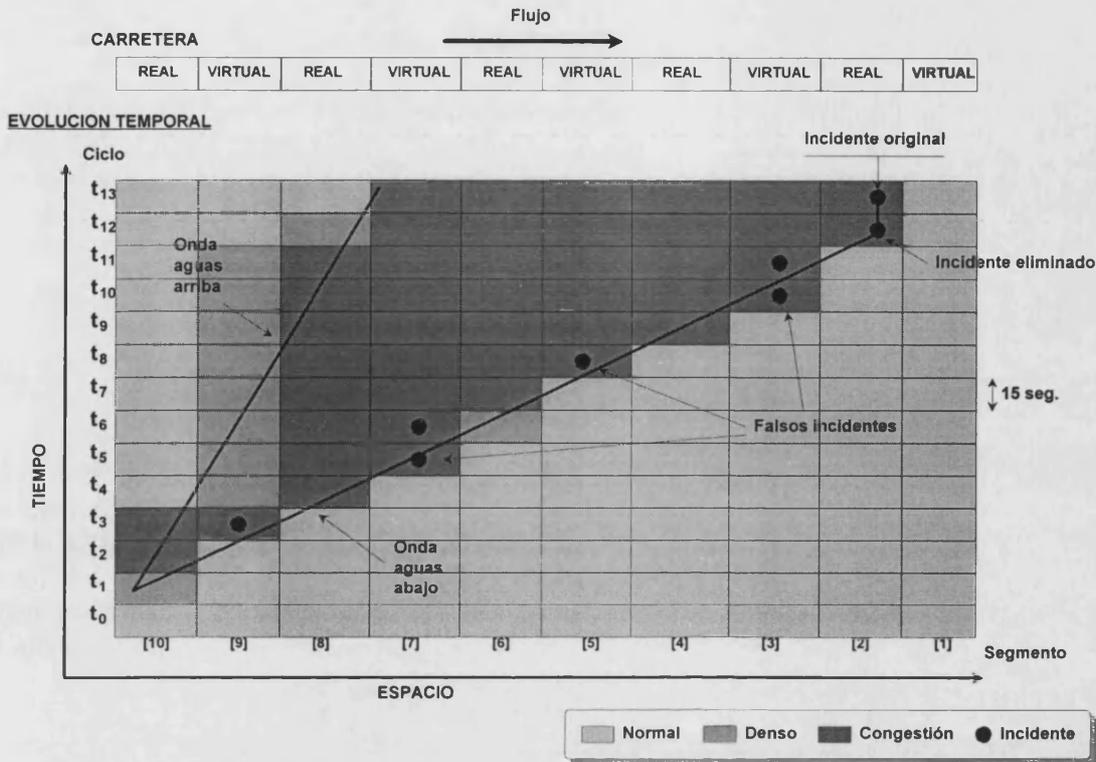


Figura 11.- Falsos incidentes producidos por la recuperación de las condiciones normales de tráfico.

Esta situación, que corresponde a un periodo de transición, provoca la presencia de estados discontinuos que producen situaciones que el sistema identifica como incidentes y que se localizan en segmentos virtuales debido a la metodología empleada en la identificación de incidentes en segmentos virtuales (ver capítulo VI). Sin embargo estos incidentes no son realmente incidentes ya que tienen una duración de unos pocos ciclos, se van desplazando por la red y realmente son debidos a la recuperación de las condiciones de tráfico.

Mediante el proceso definido en 'I' se realiza el filtrado de este tipo de incidentes. Para ello se deben de verificar, además de las condiciones anteriores (ver el grafo de condiciones) las condiciones definidas en 'I':

- Que durante la búsqueda temporal, y dentro del radio de búsqueda definido, siempre exista en cada ciclo un segmento con un número de incidente no nulo, es decir, que nos encontremos dentro del área de influencia del incidente (zona de congestión).
- Que se encuentre una alarma, es decir, que haya existido un incidente que haya provocado la situación actual.

En caso de que la búsqueda resulte positiva modificaremos el estado de incidente por una situación de transición, identificada por un estado ONDA:

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t+1, i]; \\ NSP [i] &= NSP [i]; \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} NA [t, i] &= NULO; \\ NS [t, i] &= ONDA; \\ TI [t, i] &= NO_INCI; \end{aligned}$$

J) "Verificamos si el segmento es de tipo duplicado o acceso y el segmento asociado tiene un número de incidente no nulo ($(TSeg[t,i]='A'$ ó $TSeg[t,i]='R')$ y $NI[t,NSeg[i]] \neq NULO$) si no pasamos a K."

En caso afirmativo el incidente actual ya es reportado por el sistema en el segmento asociado al segmento analizado, por lo tanto tiene que tener el mismo número de incidente.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t, Nseg[i]]; \\ NSP [i] &= NSP [Nseg[i]]; \\ NA [t, i] &= NULO; \\ NS [t, i] &= NS[t, Nseg[i]] \end{aligned} \quad (11)$$

K) "Verificamos si el segmento anterior en el ciclo anterior tenía una alarma no nula ($NA[t+1,i-1] \neq NULO$)"

En caso afirmativo se supone que el incidente del segmento anterior se ha desplazado al segmento actual. Esta situación aparece generalmente en incidentes de tipo congestión, donde en ocasiones la situación del incidente se detecta primeramente en un segmento real, pero su verdadera posición es el segmento virtual anterior, aunque las condiciones existentes en dicho ciclo no permitían determinar su localización. En este caso se le asigna el mismo número de incidente.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= NI [t+1, i-1]; \\ NSP [i] &= NS [t+1,i]; \\ NA [t, i] &= 1; \end{aligned} \quad (12)$$

En caso negativo, no se ha podido establecer ninguna relación del incidente actual con otro incidente cercano en el tiempo o el espacio por lo que se considera que es independiente del resto de incidentes de la red y se le asigna un nuevo número de incidente.

$$\begin{aligned} NI [t, i] &= ContI; \\ NSP [i] &= NS [t+1,i]; \\ NA [t, i] &= 1; \end{aligned} \quad (13)$$

La figura 12 muestra el árbol de decisiones implementado.

VII.3.2.6 Caso $NS[t, i]=DESCONOCIDO$

La presencia de un estado desconocido tiene el mismo efecto que si el estado fuese NORMAL, aunque las razones para ello son diferentes. Cuando un segmento presenta un estado desconocido significa que el sistema no puede inferir la situación que está ocurriendo en él y por tanto no puede mantener activada una alarma, si la hubiese, ni puede asociar el estado del segmento a ningún incidente, como consecuencia, se inicializan las variables del segmento a NULO.

$$\begin{aligned} NA [t, i] &= NULO; \\ NI [t, i] &= NULO; \\ NSP [i] &= DESC; \end{aligned} \quad (1)$$

Esta inicialización de los valores del segmento ante la presencia de un estado desconocido puede parecer un poco radical, sin embargo hay que reseñar que realmente no es así, ya que cuando en un primer análisis sistema converge a dicha situación aplica otros procesos para

tratar de obtener un nuevo estado coherente con la situación existente en los ciclos anteriores, dentro de un periodo de tiempo limitado, filtrando el estado desconocido e infiriendo un nuevo estado (ver capítulo VI). Sólo cuando estos procesos fallan o sobrepasan los límites temporales prefijados el MAE decide asignar un estado desconocido, y por lo tanto no es posible mantener la continuidad con la escena anterior.

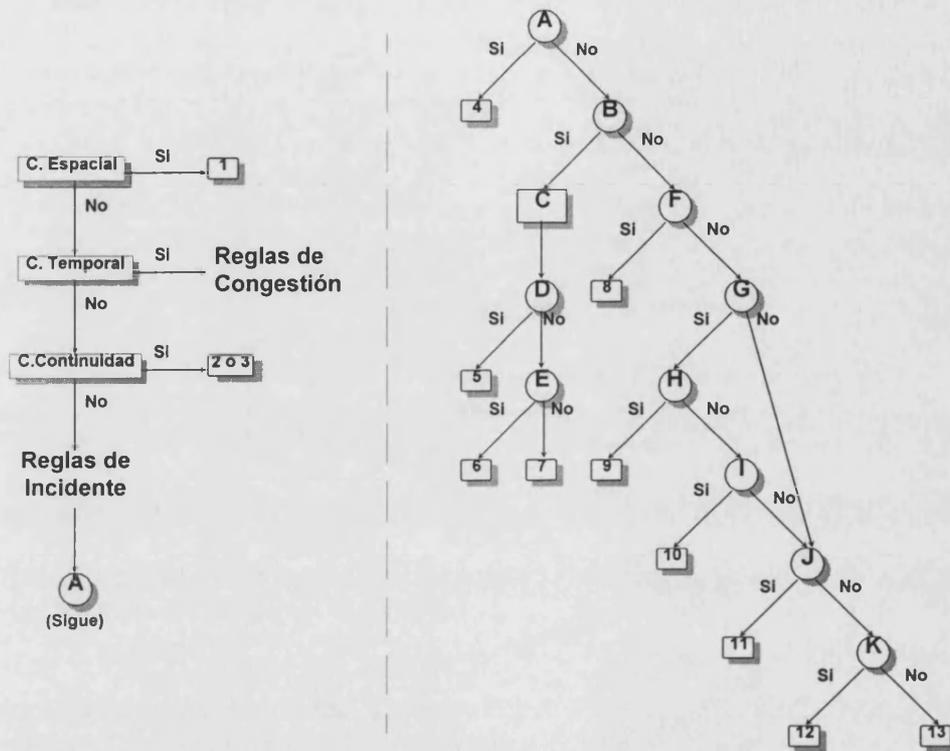


Figura 12.- Árbol de decisión del caso INCIDENTE.

VII.4. EVOLUCIÓN DE LOS INCIDENTES

Una vez hemos localizado aquellos segmentos que se encuentran afectados por las consecuencias de un incidente, el paso siguiente es caracterizar la evolución del mismo mediante una descripción sencilla y cualitativa que nos sea útil para:

- Mostrar al operador la fase en la que se encuentra la evolución del incidente y sus características de una forma global.
- Incrementar o decrementar el nivel de alarma asociado al incidente y en algunos casos filtrar la alarma.

VII.4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS INCIDENTES

La descripción de la evolución del incidente la hemos especificado mediante el siguiente conjunto de parámetros:

- Fase y subfase del incidente.
- Velocidad de evolución.
- Tendencia de crecimiento
- Severidad del incidente.

- Límite de la cola.
- Duración

Cada conjunto de ellos constituye un descriptor de un periodo homogéneo del incidente, de manera que la evolución del mismo viene dada por una lista de descriptores, cuyo tamaño dependerá de la duración del mismo y del efecto que produzca sobre la vía. Cada ciclo de procesamiento se recalculan los parámetros anteriores y se actualiza su valor en el descriptor activo de la BDI (ver el punto VII.2.1.1), excepto cuando la fase o la sub-fase difiere de su valor anterior, en cuyo caso se crea un nuevo descriptor del incidente en la BDI, almacenándose en él los nuevos valores obtenidos.

A continuación vamos a describir los parámetros constitutivos de un descriptor, incluyendo el rango de valores definido y la metodología empleada para calcularlos.

VII.4.1.1 Fase y sub-fase del incidente

La *fase* identifica el comportamiento de la evolución del incidente. Es un parámetro cualitativo que indica en que periodo se encuentra dentro de una de las cinco fases en que hemos caracterizado la evolución de un incidente. Estas son:

| | |
|--------------|---|
| DETECCIÓN: | Corresponde a el momento en el que aparece el incidente. |
| CRECIMIENTO: | Corresponde con un periodo de crecimiento en el que las consecuencias del incidente se van extendiendo a lo largo de la red. |
| ESTÁTICO: | Corresponde con un periodo en el que las consecuencias del incidente no se incrementan ni decrecen de forma notable. |
| REDUCCIÓN | Corresponde con un periodo en el que las consecuencias del incidente van desapareciendo, aunque el incidente permanece activo. Esta reducción puede ser debida a una disminución de la demanda, o la aplicación de acciones de control adecuadas. |
| RESOLUCIÓN: | Corresponde con el periodo comprendido desde que la causa del incidente ha sido eliminada, y ya no existen referencias del mismo sobre el segmento, hasta que desaparecen sus consecuencias de la red. |

La fase está muy relacionada con la sub-fase y ambas se calculan de forma conjunta, de modo que vamos a describir primeramente los valores de la subfase y posteriormente el método empleado para calcular ambas.

La *sub-fase*, como la fase, es un parámetro cualitativo relacionado con la tendencia de la evolución de un incidente en la red, pero a diferencia de la primera, éste reporta pequeños cambio o matices sobre al fase actual. Hemos definido cuatro sub-fases:

| | |
|-----------|---|
| ESTÁTICA: | No se detecta ningún movimiento en la evolución del incidente. Tiene dos interpretaciones, según la fase en la que nos encontremos, y significa que la cabeza del incidente. o final de la cola, permanece localizado en el mismo segmento durante un periodo de tiempo mínimo. |
|-----------|---|

- OSCILANTE:** Responde a pequeñas variaciones en la posición de la cola, que pasa de forma alternante a esta situada en un segmento u otro a lo largo del tiempo sin llegar a definir una posición o una tendencia de crecimiento / reducción clara. Esta sub-fase sólo se puede dar en una fase ESTÁTICA.
- CRECIMIENTO:** Existe una tendencia a que las consecuencias de la cola crezcan. Esta situación puede darse en fases estáticas siempre que el crecimiento de la cola sea constante aunque lo suficientemente pequeño para que no constituya una fase de CRECIMIENTO, en tal caso, se emplea para identificar si la cabeza del incidente se mantiene en su posición o crece, es decir, se desplaza aguas abajo.
- REDUCCIÓN:** Se define de forma similar a la sub-fase de crecimiento pero con una tendencia a decrecer.

La combinación de la fase y la subfase permite la descripción cualitativa de la tendencia del incidente, aunque no todas las combinaciones de fase y subfase pueden darse de forma conjunta. En la tabla 1, mostramos las posibles combinaciones entre ambas y el significado de cada una de ellas.

| FASE | SUB-FASE | SIGNIFICADO |
|-------------|-------------|---|
| DETECCIÓN | - | El incidente acaba de ser detectado. El valor de la sub-fase no tiene significado. |
| CRECIMIENTO | CRECIMIENTO | La cola del incidente tiende a expandirse aguas arriba, pero a su vez, la cabeza del incidente se desplaza aguas abajo, incrementando por ambos lados el efecto del incidente. |
| | ESTÁTICO | La cola del incidente tiende a expandirse aguas arriba, manteniéndose la cabeza del incidente en su posición original. |
| | REDUCCIÓN | La cola del incidente tiende a expandirse aguas arriba, pero a su vez, la cabeza del incidente se desplaza aguas arriba. Hay un incremento global de los efectos del incidente. |
| ESTÁTICO | CRECIMIENTO | La cola del incidente tiende a crecer lentamente. |
| | ESTÁTICA | La cola del incidente se mantiene sin evolucionar y en el mismo segmento durante un periodo significativo de tiempo. |
| | OSCILANTE | La cola del incidente se mantiene sin evolucionar de forma global, aunque su posición final oscila de un segmento a otro. |
| | REDUCCIÓN | La cola del incidente tiende a reducirse lentamente. |

| FASE | SUB-FASE | SIGNIFICADO |
|------------|-------------|---|
| REDUCCIÓN | CRECIMIENTO | La cola del incidente tiende a reducirse. Aunque la cabeza del incidente se desplaza aguas abajo, la longitud total de los efectos del incidente disminuye. |
| | ESTÁTICO | La cola del incidente tiende a reducirse, manteniéndose la cabeza del incidente en su posición original. |
| | REDUCCIÓN | La cola del incidente tiende a reducirse, desplazándose la cabeza del incidente aguas arriba. |
| RESOLUCIÓN | - | La causa que ha provocado el incidente ha desaparecido o ha dejado de detectarse. |

Tabla 1.- Combinaciones de fases y sub-fases y su interpretación.

La figura 13 muestra un ejemplo típico de la descripción de la evolución de un incidente mediante fases. Cada franja horizontal corresponde a un intervalo de 2 minutos y el color de cada segmento al nivel de tráfico existente.

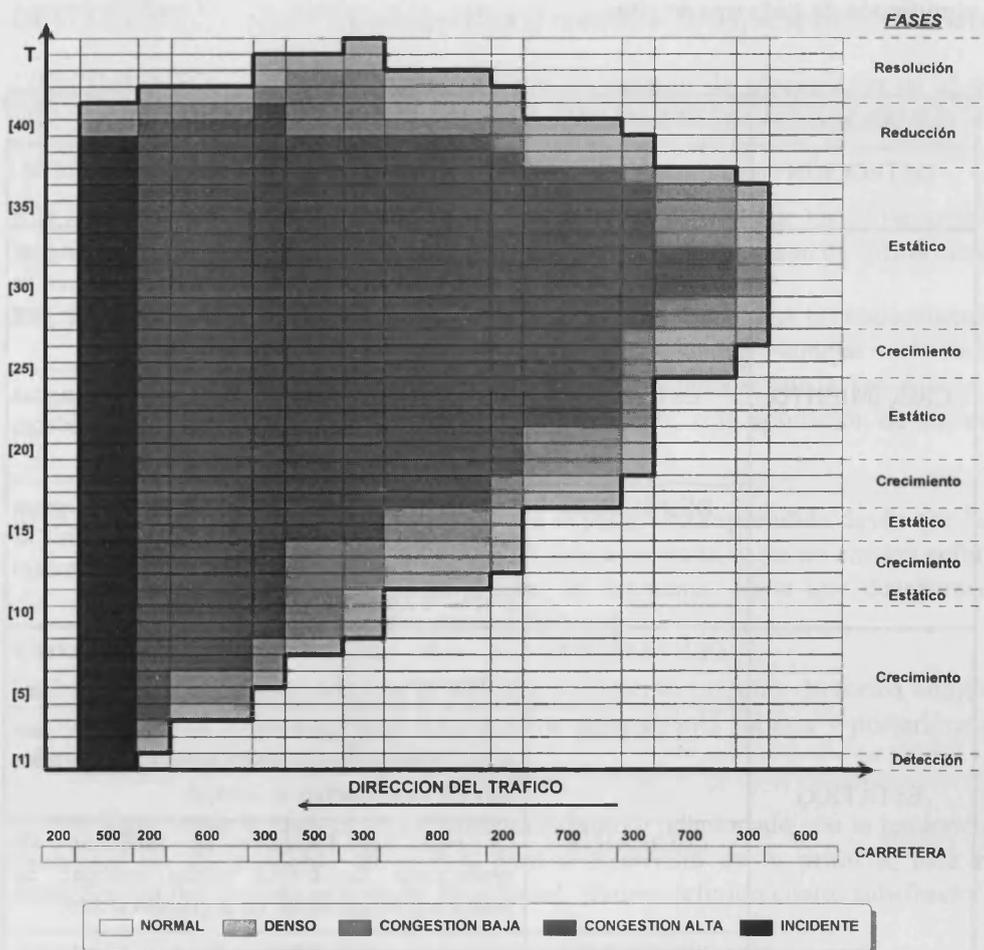


Figura 13.- Fases en la evolución de un incidente típico

Como puede deducirse de la descripción de fase y sub-fase, la estimación de ambas la realizaremos en función de la tendencia evolutiva del incidente en los últimos ciclos, comparándola con unos umbrales prefijados por el operador (UMBRAL_FASE y

UMBRAL_SUB-FASE). Para ello calcularemos el valor de la velocidad de crecimiento de las consecuencias del incidente tanto en su cabeza (V_{CABEZA}) como en su cola (V_{COLA}) (Este proceso lo describiremos en detalle en el punto VII.4.1.3).

Las reglas que rigen el proceso de estimación de la fase y la sub-fase son:

A) "Verificamos si el incidente acaba de ser detectado, entonces la fase es DETECCIÓN y la sub-fase ESTÁTICA, si no pasamos a B" (49)

B) "Verificamos si la causa del incidente ha desaparecido, entonces la fase es RESOLUCIÓN y la sub-fase ESTÁTICA, si no pasamos a C" (50)

C) "Evaluamos la velocidad de la cola y la cabeza del incidente. Si $|V_{CABEZA} + V_{COLA}| < U_{FASE}$ entonces la fase es ESTÁTICA, para calcular la sub-fase pasamos a D, si no pasamos a G." (51)

D) "Evaluamos la velocidad de la cola y la cabeza. Si $|V_{CABEZA} + V_{COLA}| < U_{SUB-FASE}$ pasamos a E, si no pasamos a F" (52)

E) "Si $V_{COLA} = 0$ entonces la sub-fase es ESTÁTICA, sino es OSCILANTE." (53)

F) "Si $V_{CABEZA} > V_{COLA}$ la sub-fase es REDUCCIÓN, sino es CRECIMIENTO." (54)

G) "Comparamos ambas velocidades. Si $V_{CABEZA} > V_{COLA}$ la fase es REDUCCIÓN, si no es CRECIMIENTO. Para determinar el valor de la sub-fase pasamos a H." (55)

H) "Evaluamos la velocidad de la cabeza. Si $V_{CABEZA} < U_{SUB-FASE}$ la sub-fase es ESTÁTICA, si no pasamos a I" (56)

I) "Si $V_{CABEZA} < 0$, la sub-fase es CRECIMIENTO, si no es REDUCCIÓN." (57)

El valor predefinidos para UMBRAL_FASE (U_{FASE}) es de 10 Km/h, mientras que el de UMBRAL_SUB-FASE ($U_{SUB-FASE}$) es de 1 Km/h.

VII.4.1.2 Velocidad de evolución

La velocidad de evolución es un parámetro cuantitativo que trata de medir la velocidad media de la evolución del incidente en Km/h mientras el incidente permanece activo. El cálculo de esta velocidad se obtiene conociendo la posición aproximada del final de la cola y el tiempo en que el incidente permanece activo:

$$EVO = \frac{L_{incidente}}{t_{incidente}} \quad (58)$$

En cada ciclo de procesamiento recalculamos esta velocidad, actualizando su valor en el último descriptor. De este modo, el valor de la velocidad en las fases previas indica el valor existente en el último ciclo perteneciente a dicha fase. Únicamente en la fase de detección del incidente el valor de la velocidad es cero puesto que no tiene sentido su cálculo en el momento en que aparece el incidente.

VII.4.1.3 Tendencia de la cola

La tendencia de la cola trata de cuantificar cual es la tendencia de crecimiento de los efectos creados por un incidente en los últimos 'n' ciclos de procesamiento. Se mide en Km/h y se emplea para determinar la fase y subfase de los incidentes. Como en el caso de la velocidad, la tendencia se recalcula en cada ciclo y va actualizando el valor almacenado en la fase de modo que el último valor contenido en fases antiguas hace referencia al valor más cercano al valor correspondiente a un cambio de fase o subfase.

De forma teórica, la tendencia de la cola en un instante dado corresponde con la pendiente de la recta perpendicular a la curva de crecimiento de la cola en dicho punto, (Ver figura 14). El problema que existe para su determinación es que el sistema diseñado no realiza un seguimiento continuo de la posición de la cola, ni en el tiempo ni el espacio, sino que va muestreando ambos parámetros, teniendo la frecuencia temporal de muestreo un valor fijo que corresponde con la frecuencia de procesamiento del sistema (15 s.) mientras que la frecuencia espacial es variable y depende de la distancia entre los MLP, es decir, la distancia entre cada segmento.

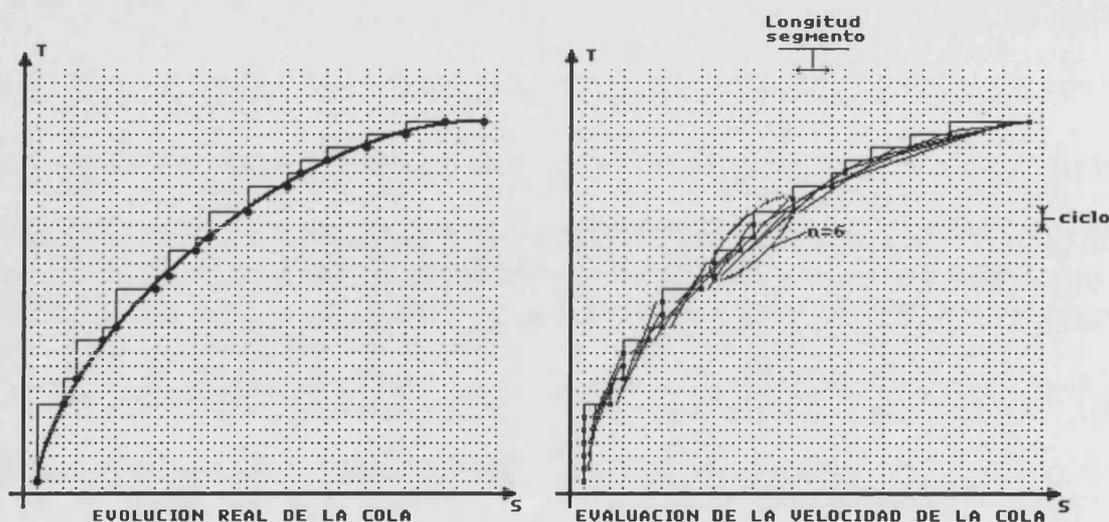


Figura 14.- Proceso de evaluación de la velocidad de cola

La aproximación que vamos a implementar se basa en calcular la pendiente de esta recta mediante la utilización de los 'n' últimos valores muestreados, y un ajuste por el método de los mínimos cuadrados. Para ello asumiremos que las variaciones en la velocidad de crecimiento no se realizan de forma brusca.

$$T_{COLA} = -3.6 \cdot \frac{A \cdot B - n \cdot C}{B^2 - n \cdot D} \quad \text{Km/h} \quad (59)$$

Siendo:

n: Número de elementos.

$$A = \sum_{i=0}^n e_i$$

$$B = \sum_{i=0}^n t_i$$

$$C = \sum_{i=0}^n e_i \cdot t_i$$

$$D = \sum_{i=0}^n t_i^2$$

El valor 'n' define el tiempo de respuesta del método para seguir la variación en la curva. El problema surge cuando los puntos de muestreo están demasiado separados, lo que significa que la localización del final de la cola se realiza a saltos, desviándose el valor obtenido del valor real. Cuanto menos espaciados se encuentren los MLP mejor será la aproximación. El valor mínimo de 'n' lo hemos prefijado en 12 ciclos de procesamiento, lo que nos permite seguir la evolución de una cola que se desplaza a 10 Km/h (U_{FASE}) en una distribución de sensores cada 500 m. En cualquier caso, el valor de n, se recalcula para cada segmento en función de su longitud para permitir la detección de una cola moviéndose a dicha velocidad.

VII.4.1.4 Severidad

Este parámetro trata de cualificar la gravedad de las consecuencias creadas por el incidente. Obtenemos su valor de comparar el estado actual de la zona afectada por el incidente con el estado de la misma zona antes de producirse el incidente y de la distancia cubierta por dicha zona.

El proceso para la estimación de la severidad del incidente se basa en la localización de los segmentos con el mismo número de incidente que el que estamos evaluando y la comparación del estado actual del segmento ($NS[t,i]$) con el estado existente antes de que se produjese el incidente ($NSP[i]$). Para ello empleamos la diferencia entre el valor asociado a cada uno de los niveles de servicio definidos (ver tablas VI.1 y VI.2) multiplicada por la distancia del segmento y realizamos la suma de todos los segmentos implicados:

$$\text{Severidad} = \sum (NS[t,i] - NSP[i]) \cdot Long[i] / 100 \quad (60)$$

A modo de ejemplo, y tomando como referencia el incidente descrito en la figura 10, veremos cual es la severidad del incidente en los ciclos 15 y 30 suponiendo un nivel de servicio inicial para todos ellos de NORMAL

$$\text{Severidad [15]} = 100$$

$$\text{Severidad [30]} = 169$$

VII.4.1.5 Límite

Este parámetro nos indica si la evolución del incidente puede estudiarse libremente a lo largo de la red, o si existen restricciones que impiden su seguimiento adecuado. En algunas situaciones, el crecimiento de las consecuencias del incidente aguas arriba está limitado por la existencia de otros incidentes, sus consecuencias, o por alcanzar el final de la zona monitorizada y no tener información más allá de dicho punto.

En caso de que la evolución del incidente se encuentre limitada, este acabará en una fase ESTÁTICA en la que los valores calculados de crecimiento no corresponderán con los reales. El sistema no considerará las fases con este parámetro activado.

VII.4.1.6 Duración

Almacena el número de ciclos durante los que el incidente se mantiene en la misma fase. Este parámetro no tiene significado durante la fase de DETECCIÓN porque la duración de esta fase es siempre de un solo ciclo.

Una vez se ha descrito la evolución del incidente el operador puede acceder a dicha información, tanto mientras el incidente se está produciendo, como un tiempo después. En el primer caso, éste puede seguir la evolución del incidente siguiendo la representación de la evolución temporal de la red (Figura 13) o leyendo las descripciones de las distintas fases.

A continuación mostramos un ejemplo típico de la descripción de la evolución de un incidente (tabla 2), basado en la figura 13, en la que se han escogido como umbrales los siguientes valores.

$n=3$, correspondiente a 6 minutos.

$U_{FASE} = 4.5 \text{ Km / h}$

$U_{SUB-FASE} = 1 \text{ Km / h}$

| CICLO | DURACI | S.INICIO | INCIDEN | N.SERVE | FASE | SUB-FASE | VELOCI | TENDEN | SEVERID | LIMITE |
|-------|--------|----------|---------|---------|--------|----------|--------|--------|---------|--------|
| 1 | 120 | S2 | CONGES | INCIDEN | DETECC | ESTATI | - | - | 25 | NO |
| 2 | 1080 | S2 | CONGES | INCIDEN | CRECIM | ESTATI | 7.2 | 4.5 | 71 | NO |
| 11 | 120 | S2 | CONGES | INCIDEN | ESTATI | ESTATI | 6.5 | 0.0 | 71 | NO |
| 12 | 360 | S2 | CONGES | INCIDEN | CRECIM | ESTATI | 7.3 | 3.0 | 84 | NO |
| 15 | 240 | S2 | CONGES | INCIDEN | ESTATI | ESTATI | 6.4 | 0.0 | 100 | NO |
| 17 | 480 | S2 | CONGES | INCIDEN | CRECIM | ESTATI | 6.6 | 4.5 | 136 | NO |
| 21 | 480 | S2 | CONGES | INCIDEN | ESTATI | ESTATI | 5.5 | 0.0 | 139 | NO |
| 25 | 480 | S2 | CONGES | INCIDEN | CRECIM | ESTATI | 5.8 | 4.5 | 159 | NO |
| 29 | 960 | S2 | CONGES | INCIDEN | ESTATI | ESTATI | 4.5 | 0.0 | 159 | NO |
| 37 | 600 | S4 | CONGES | C_BAJA | REDUCC | ESTATI | 2.5 | -15.0 | 59 | NO |
| 42 | 600 | S6 | CONGES | C_BAJA | RESOLU | ESTATI | 1.4 | -4.5 | 3 | NO |

Tabla 2.- Descripción de la evolución de un incidente.

El sistema utilizará estos valores para conseguir dos objetivos adicionales: Por un lado evaluaremos continuamente la evolución del incidente para modificar adecuadamente el nivel de alarma y por otro para pronosticar la gravedad del incidente comparando su proceso de evolución con otros patrones guardados previamente. El valor que se obtiene puede ser útil para advertir al operador las posibles consecuencias del incidente y para incrementar el nivel de alarma. De todas formas, la capacidad de decidir cuales son los patrones adecuados o más parecidos al incidente en curso depende del número de descripciones de fases conocidas, lo que supone una respuesta lenta.

VII.4.2 COMPARACIÓN CON PARÁMETROS TEÓRICOS

Recordando lo que expusimos en el capítulo i, y de acuerdo a las definiciones de Busch y Euro-Cost, siete son los elementos que se deben emplear para caracterizar los incidentes:

- Tiempo principal
- Tiempo Total
- Área principal
- Área total
- Intensidad
- Extensión
- Velocidad de la onda de choque

Después de presentar los parámetros con que nosotros hemos definido los incidentes se observa que es fácil correlacionar estos con los propuestos por Busch. Así tenemos que:

- *Tiempo principal*: Corresponde a la duración de todas las fases desde la detección hasta la fase de RESOLUCIÓN, sin incluir esta.
- *Tiempo total*: Corresponde al tiempo anterior más el de la fase de resolución.
- *Área principal*: La obtención del área principal de forma directa de los parámetros por nosotros empleados no es posible, sin embargo, esta área se puede evaluar localizando todos los segmentos con estado de congestión alta pertenecientes al incidente y determinando el área espacio-temporal que ocupan.
- *Área total*: Corresponde a la extensión de las consecuencias del incidente a lo largo del tiempo. Tiene un efecto acumulativo.
- *Extensión*: Corresponde a la extensión de las consecuencias del incidente en el último ciclo, en la última fase del incidente.
- *Intensidad*: Se ha definido la intensidad como la relación entre el área total y el área principal, sin embargo, creemos que es más útil a la hora de definir los efectos del incidente emplear la “severidad”, que corresponde a una estimación que incluye tanto a la intensidad como a la extensión del incidente.
- *Velocidad de la onda de choque*: Este parámetro corresponde directamente a los valores de la velocidad y la tendencia del incidente.

Hay que reseñar en este punto que aunque los parámetros definidos en la literatura y los empleados por nosotros no son exactamente los mismos, el objetivo y funcionalidad de ambos son idénticos: La descripción del comportamiento del incidente y de sus consecuencias en el tiempo y el espacio.

VII.5. MÓDULO DE GESTIÓN DE ALARMAS

Hasta el momento, todas las funciones definidas dentro del SCP relacionadas con los procesos de detección, identificación y clasificación de incidentes tienen una repercusión interna al sistema, sin que el operador tenga conocimiento de dichos procesos. Será el Módulo de Gestión de Alarmas (MGA), el encargado de informar al operador de lo que está ocurriendo en la carretera y de jerarquizar el nivel de respuesta en función de las prioridades propias del operador.

Para ello el MGA emplea como punto de partida tres tipos diferentes de información:

- **Presencia de Incidentes:** Esta variable se encuentra asociada a todos los segmentos de la red e indica de la existencia de un incidente en el mismo.
- **Descripción del incidente:** Responde a las características propias de cada incidente y sus efectos sobre la red. Están descritos en el punto anterior.
- **Preferencias del Operador:** Está constituido por el conjunto de datos proporcionados por el operador para ajustar el sistema a una instalación específica y gestionar el funcionamiento del sistema en el CGT. Dentro de estos podemos diferenciar dos tipos:
 - *De configuración:* Está constituido por los valores de configuración prefijados por el operador para ajustar el sistema a las necesidades de la instalación.
 - *De funcionamiento:* Corresponden a modificaciones temporales de parámetros del sistema en respuesta a las condiciones de contorno existentes, y que son ajenas al conocimiento interno del sistema.

La salida del MGA es un mensaje de aviso al operador, que se determina en función de la “gravedad” o la importancia del incidente respecto a las preferencias prefijadas, para ellos hemos definido una variable que trata de cuantificar esta gravedad y que hemos denominado NIVEL DE ALARMA (NA) y que pasaremos a describir inmediatamente.

El tipo de mensaje que mostremos dependerá, además del valor del NA, como muestra la figura 15, de tres elementos:

- **Validación de incidentes.** Determina si el incidente es correcto o no, y por lo tanto decide si ha de ser reportado o no.
- **Umbral de respuesta.** Determina el tipo de respuesta a mostrar al operador en función del valor del NA.
- **Deshabilitación de segmentos.** Verifica si el tipo de alarma producida en el incidente tiene que ser reportada o ha sido deshabilitada por el operador.

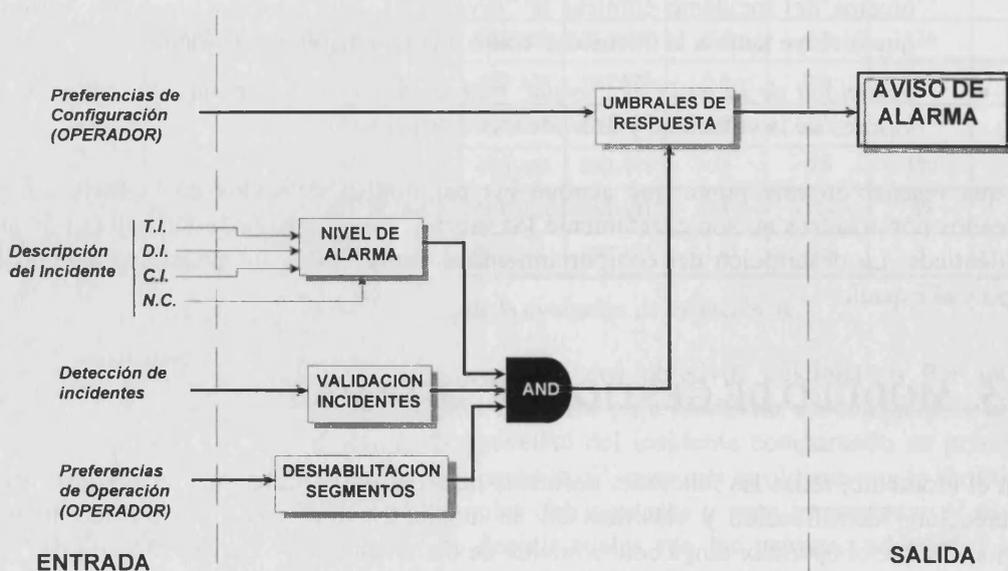


Figura 15.- Esquema del módulo de gestión de alarmas.

VII.5.1 NIVEL DE ALARMA

Previamente a describir la estructura interna del MGA y las respuestas de aviso que este ejecuta hemos de definir un nuevo parámetro con el que vamos a caracterizar la “importancia” del incidente respecto a las prioridades del operador: el NIVEL DE ALARMA.

Cada vez que el sistema detecta un incidente le vamos a asociar un nivel de alarma, cuya utilidad va a estar dirigida a:

- a. Filtrar las falsas alarmas o pequeños incidentes que no son interesantes para el operador, y por lo tanto, producir una gestión robusta de las alarmas.
- b. Clasificar al incidente de acuerdo a su gravedad, de manera que el operador puede decidir cuáles son los incidentes más importantes a detectar.

El nivel de alarma es un valor definido de 0 a 100, que se calcula durante todos los ciclos en los que el incidente persiste, mediante la siguiente expresión:

$$AL = \frac{\alpha \cdot TI + \beta \cdot ID + \chi \cdot IC}{(\alpha + \beta + \chi) \cdot 100} \cdot CL \quad (61)$$

en donde:

TI Tipo de incidente: Se refiere al tipo de incidente detectado (5 tipos han sido identificados para el MLP utilizado, ver capítulo VI). Cada tipo de incidente tiene asociado un valor, de 0 a 100, que da idea de la importancia o gravedad del incidente (por ejemplo, un vehículo parado en el arcén no tendrá la misma gravedad que un vehículo parado en un carril). Este valor es fijado por el operador, que puede modificarlo directamente desde el interfase gráfico del SCP.

DI Duración del Incidente. Nos permite relacionar el valor de la alarma a la persistencia del incidente en la carretera. Cuanto más dure un incidente mayor sea el nivel de alarma. Los incidentes de corta duración, que pueden estar producidos por una parada momentánea pueden ser rechazados con este parámetro. La duración toma también un valor de 0 a 100, que se calcula mediante la expresión:

$$DI = \text{Min}(100, t/3) \quad (62)$$

CI Consecuencias del Incidente: este parámetro evalúa la extensión y severidad de las consecuencias del incidente. El valor de las consecuencias del incidente se calcula en función de la severidad existente en la fase activa de su evolución, tal y como hemos descrito en el punto anterior:

$$CI = \text{Min}(100, sev/2) \quad (63)$$

NC Nivel de Confianza: evalúa el porcentaje de la validez de los datos usados en la detección del incidente. En algunos casos, la información usada tiene un nivel de confianza tan bajo que es preferible esperar la confirmación del incidente antes de informar de este al operador. El valor del NC y el método empleado para calcularlo se describe en el Capítulo VI.

α, β, χ **Parámetros de ponderación:** Corresponden respectivamente al peso que el operador establece para cada una de las variables anteriores en el cálculo del NA, y constituyen parte de las *preferencias de configuración*. En función de este peso, la respuesta del sistema ante un mismo incidente será diferente. En general, si el operador prefiere una detección robusta, con un bajo índice de falsas alarmas, incrementará el peso de la duración del incidente (β), si esta interesado únicamente en aquellos incidentes que provocan una modificación de las condiciones del tráfico, incrementará el peso asociado a las condiciones del incidente (χ), y si está interesado en una detección rápida de un tipo de incidente incrementará el peso del tipo de incidente (α).

La figura 16 muestra un ejemplo del efecto que tienen los parámetros de ponderación sobre el valor final del nivel de alarma. Para la realización de la gráfica hemos considerado un incidente con las siguientes características:

- El Tipo de incidente tiene asignado un valor 100 constante durante los 20 ciclos.
- El Nivel de confianza es 100 y se mantiene constante.
- La Duración del incidente se incrementa 15 segundos en cada ciclo.
- Las consecuencias del incidente se incrementan de 20 en 20 durante los primeros 10 ciclos y luego se mantienen constantes.

Hemos calculado el NA aplicando 4 criterios diferentes a los parámetros de ponderación:

- CASO 1: Únicamente se tiene en cuenta el valor del tipo de incidente. El NA toma su valor más alto nada más se detecta el incidente. ($\alpha=100, \beta=0, \chi=0$).
- CASO 2: Únicamente se tiene en cuenta la duración del incidente. El valor del NA va incrementándose de forma homogénea gradualmente. ($\alpha=0, \beta=100, \chi=0$).
- CASO 3: Únicamente se tiene en cuenta las consecuencias del incidente. En este caso el NA crece de forma proporcional a la severidad del incidente. ($\alpha=0, \beta=0, \chi=100$).
- CASO 4: Los tres pesos tienen el mismo valor. ($\alpha=100, \beta=100, \chi=100$).

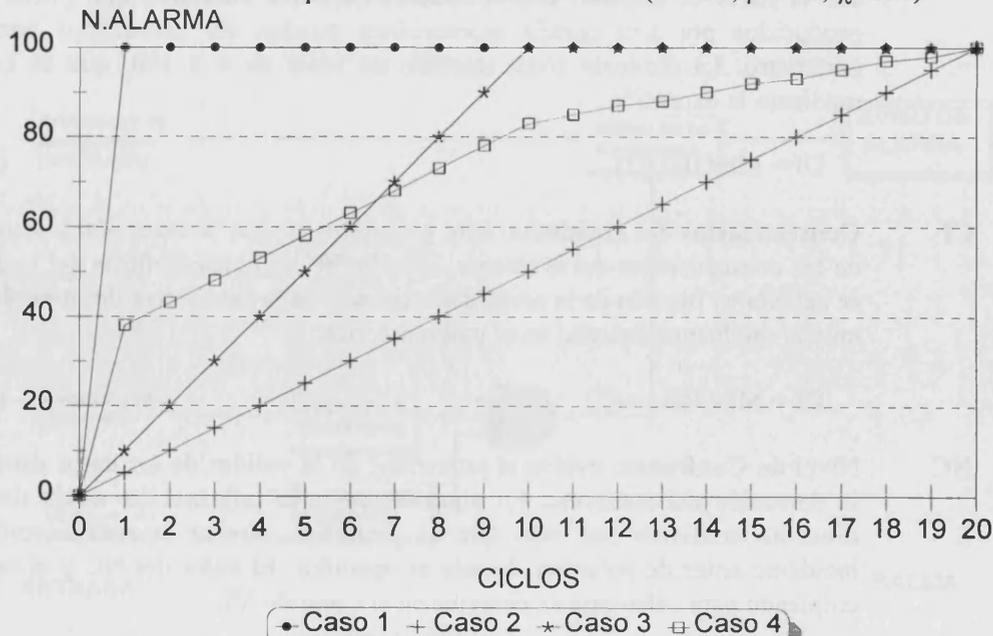


Figura 13.- Diferentes valores del NA para el mismo incidente.

El valor del NA calculado estará afectado por el proceso de validación de incidentes y el de deshabilitación de segmentos, tratándose ambos de funciones booleanas, cuyo resultado es del tipo 0 o 1. Como muestra la figura 15, la salida de ambos se combina con el valor del NA en una función del tipo AND, cuyo resultado mantendrá el NA actual o lo forzará a 0.

VII.5.2 VALIDACIÓN DE INCIDENTES

Esta función se encarga de revisar si el incidente ha sido identificado como una falsa alarma por los procesos de filtrado de incidentes aplicados en el MAE y el MAT. En caso afirmativo produce un cero a la salida eliminando el valor del nivel de alarma.

VII.5.3 DESHABILITACIÓN DE SEGMENTOS

El SCP permite al operador deshabilitar las alarmas que se producen en un determinado segmento de la carretera de forma permanente o durante un periodo de tiempo prefijado. Esta posibilidad responde al hecho de que sobre zonas localizadas de la red de carreteras pueden existir condiciones, temporales o permanentes, que provocan situaciones anómalas de forma continuada, que son interpretadas por el sistema como incidentes, y que para el operador, conocedor de las causas que las provocan, no son dignas de mención. Por ejemplo, la realización de operaciones de mantenimiento sobre la carretera suele tener asociada la presencia de vehículos parados sobre el arcén, provocando alarmas de incidentes en arcén, mientras que la realización de obras suelen tener asociadas la inutilización de alguno de los carriles provocando retenciones y alarmas de congestión. En estos casos, el sistema, ignorante de las condiciones de contorno, responderá con avisos de alarma de forma continuada, estorbando el trabajo del operador. Para evitar estas alarmas continuas e innecesarias el operador puede deshabilitar los mensajes de aviso del sistema en el, o los, segmentos afectados de forma permanente o temporal.

El procedimiento de verificación de segmentos deshabilitados tiene dos tareas:

- Verificar que los niveles de alarma no están deshabilitados para el segmento en donde se a localizado el incidente forzando el NA a cero en caso de que el nivel de respuesta asociado al NA esté desactivado.
- Comprobar si aquellos segmentos desactivados temporalmente han superado el intervalo prefijado, en cuyo caso se vuelven a habilitar.

El NA resultante de aplicar los dos procesos anteriores se emplea como valor de entrada para determinar el tipo de aviso que vamos a mostrar al operador.

VII.5.4 UMBRALES DE RESPUESTA

De acuerdo a la importancia que tiene el incidente respecto a los criterios del operador, el sistema será capaz de producir tres niveles jerárquicos de aviso:

- **Bandera de color.** Aparece una bandera roja sobre el segmento en donde se ha producido el incidente, en la representación gráfica de la red de carreteras y un mensaje texto en la ventana de mensajes. Esta bandera permanece mientras el incidente esté activado.
- **Mensaje de aviso:** Aparece una ventana de aviso en mitad de la pantalla del ordenador, indicando el tipo de incidente, el tiempo que lleva activo, su nivel de alarma y su localización sobre el mapa. Este mensaje desaparece cuando el operador lo valida o automáticamente al cabo de un tiempo prefijado (por defecto

1 minuto). Al cabo de los cinco minutos vuelve a parecer si el incidente permanece activo y el operador no lo ha validado previamente.

- **Sonido de alerta:** Se produce un pitido, que se repite cada ciclo de procesamiento hasta que el operador valida el incidente.

Los niveles de respuesta anteriores son activados en función del valor de alarma y los umbrales correspondientes, (ver tabla 3). Cuando el NA supera uno o varios de los umbrales, el sistema ejecuta la acción asociada a cada uno de ellos.

| UMBRAL | VALOR PREDEFINIDO |
|---------|-------------------|
| BANDERA | 10 |
| MENSAJE | 40 |
| PITIDO | 60 |

Tabla 3.- Valores predefinidos de los umbrales de respuesta

Estos umbrales tienen unos valores por defecto, pero pueden ser modificados por el operador, aunque un umbral nunca puede superar el valor de su umbral superior.

Hemos definido, por tanto, el umbral de bandera como el valor mínimo de la alarma para que esta sea reportada al operador, en caso contrario, el sistema seguirá trabajando como si la alarma existiese, aunque sin informar de ella. De este modo, podremos eliminar aquellos incidentes poco significativos y que, en general, no necesitan de ningún tipo de respuesta por parte del operador.

CAPITULO VIII ➤



CAPITULO VIII

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.

VIII.1. INTRODUCCIÓN

En los Capítulos anteriores hemos descrito la metodología, algoritmos y diseño teórico del nuevo sistema de DAI que hemos planteado. Antes de pasar a describir la pruebas piloto, metodología y resultados de evaluación obtenidos y como punto de unión entre ambas partes, incluimos el presente capítulo, en el que haremos referencia a aspectos que quizás siendo menos relevantes desde el punto de vista académico son fundamentales para la instalación real del sistema.

Hemos dividido el capítulo en tres bloques bien diferenciados. El primero de ellos describe los elementos, tanto hardware como software, empleados en la **prototipación** del sistema. El segundo abarca todos los aspectos sobre el proceso de **comunicaciones** empleado entre los diversos módulos del sistema, y el tercero presenta una pequeña descripción del **interfaz del operador**, pantallas gráficas y facilidades de configuración.

VIII.2. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA

VIII.2.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Aunque en capítulos anteriores ya hemos ido describiendo los diferentes elementos que constituyen la arquitectura de nuestro sistema, conviene revisar la arquitectura conjunta todos ellos (como puede verse en la figura 1).

- El **sistema local** está constituido por todos los módulos locales de procesamiento (MLP), cada uno de cuales se encuentra conectado, por un lado, a una cámara de CCTV de donde toman las imágenes de tráfico, y por otro al servidor de comunicaciones, que se encarga de gestionar la transmisión de datos entre el sistema local y el sistema central. El MLP se encuentra ampliamente descrito en los capítulos III y IV.
- El **sistema central** recibe la información proporcionada por todos los MLPs y se encarga de llevar a cabo la detección de incidentes sobre la totalidad de la red monitorizada, incluyendo aquellas secciones no cubiertas por sensores. Los procesos internos del SCP se encuentra descritos en los capítulos V, VI y VII.

En la figura 1, aparece un tercer módulo, denominado **Servidor de Comunicaciones**. Este módulo es una pieza fundamental dentro de nuestra arquitectura, aunque no lleve a cabo

ninguna tarea propia de la detección o gestión de los incidentes. Su función es manejar las comunicaciones entre los sub-sistemas anteriores, evitando la sobrecarga de trabajo que esta tarea puede suponerles. El servidor de comunicaciones lo describiremos en el punto dedicado a las comunicaciones del sistema dentro de este capítulo.

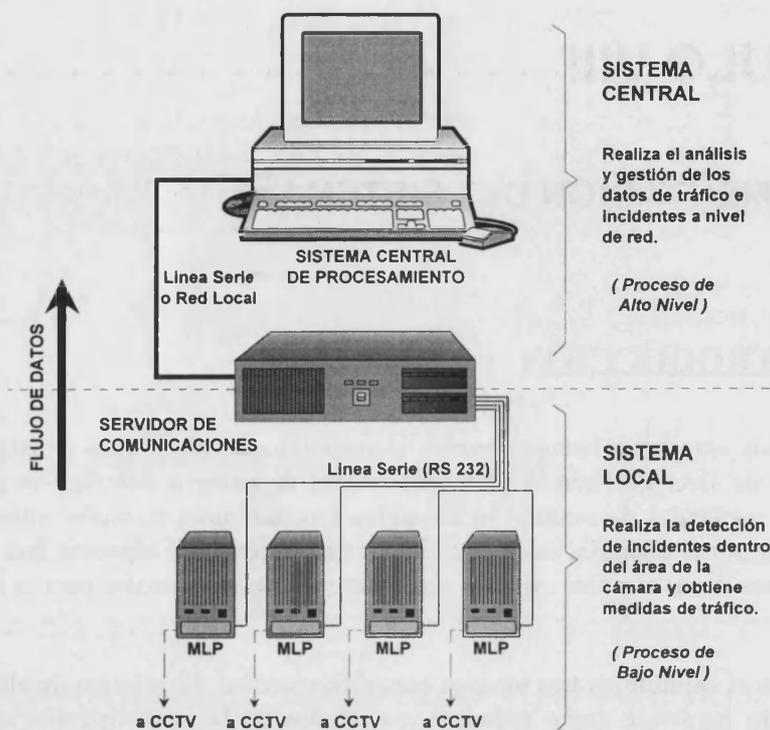


Figura 1.- Arquitectura del sistema de DAI.

VIII.2.2 ELEMENTOS HARDWARE

La elección de los diferentes elementos hardware del sistema la hemos hecho tratando siempre de mantener una arquitectura lo más abierta posible, para ello hemos utilizado placas comerciales que reducen el costo del sistema y facilitan su reposición y mantenimiento.

VIII.2.2.1 Módulo Local de Procesamiento.

En nuestro prototipo, cada MLP está compuesto 3 placas diferentes:

- 1 Tarjeta CPU 486/25: Unidad central 80486 DX a 25 MHz, 4 Mb de RAM, 2 puertos serie RS-232, 1 puerto paralelo, controlador de disco IDE y lector de disquete, reloj en tiempo real.
- 1 Tarjeta de memoria (RAM+ROM): Tarjeta SSD equipada con 32 zócalos JEDEC.
- 1 Tarjeta de digitalización de vídeo: Convierte una señal analógica de vídeo en una señal digital con una resolución de 512 x 512 píxeles. La tarjeta empleada es una IMAGING TECHNOLOGY, PC Vision Plus.

Dependiendo del tipo de instalación, a pie de poste (exterior) o en una sala acondicionada (interior), las placas de los MLP las montaremos sobre una plataforma diferente.

- Exterior: Rack de 19 pulgadas, versión industrial, equipado con 6 slots AT, y fuente de alimentación de 220 V / 110 W . Cada rack contendrá 1 MLP. (Ver figura 2).

- Interior: Rack de 19 pulgadas versión industrial 4U, equipado con 12 slots AT, agrupados en módulos independientes de 3 slots, con fuente de alimentación de 220 V / 270 W. Cada rack contendrá 4 MLP. (Ver figura 3).

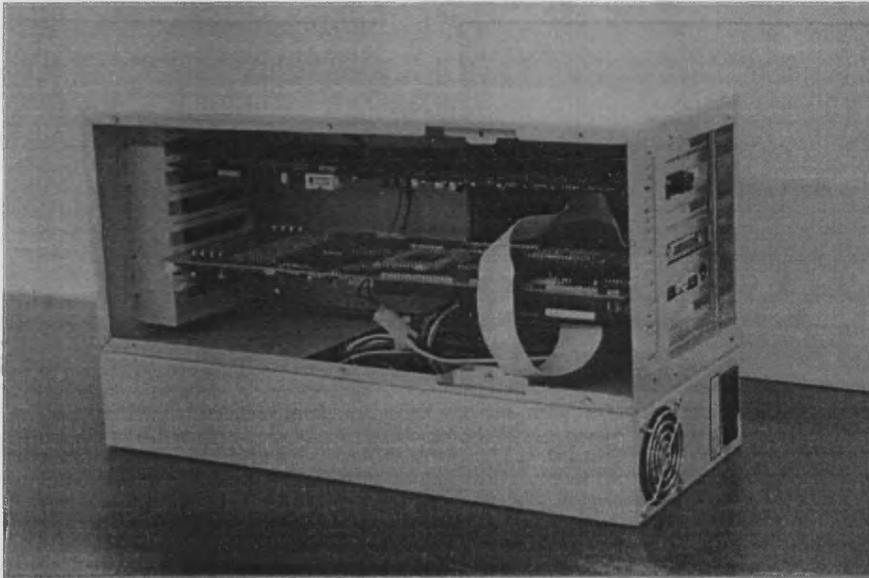


Figura 2.- Rack para instalaciones en exterior con un MLP.

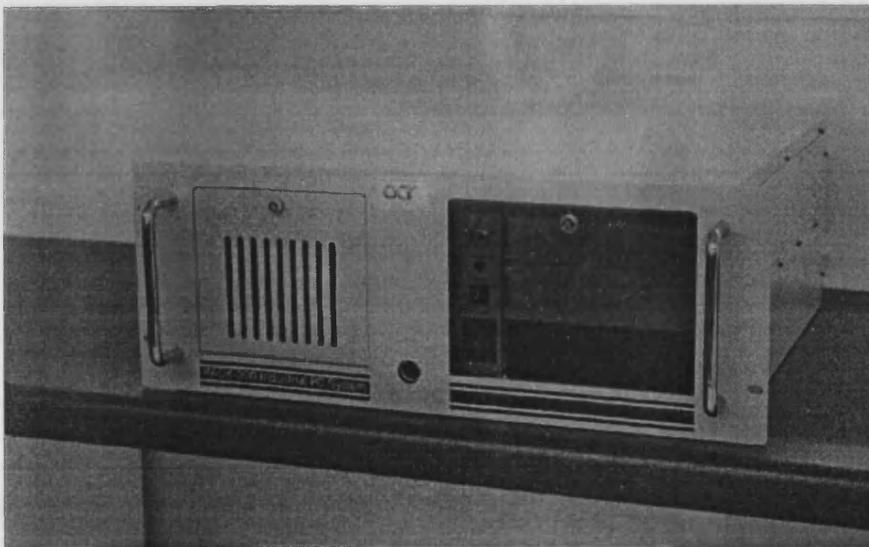


Figura 3.- Rack para instalaciones en interior con 4 MLP.

VIII.2.2.2 Servidor de Comunicaciones.

El servidor de comunicaciones se implementa sobre un ordenador PC al que se le incorpora una o varias tarjeta de puertos serie en función del número de MLPs a los que tiene que conectarse, y opcionalmente una tarjeta de red.

- Ordenador soporte: PC 80386 a 25 MHz, 4 Mb de RAM, 4 slots 8/16 ISA, 1 unidad de disco de 3" 1/2 1.44 Mb, 1 disco duro 60 Mb, 1 puerto paralelo y 1 puerto serie RS232.
- Tarjeta de comunicaciones (4/8/16): CPU 80188 a 10 MHz, con 4/8/16 puertos serie RS-232 y 256/512/1024 Kb de RAM.

VIII.2.2.3 Sistema Central de Procesamiento.

El SCP no necesita de un hardware especial para su ejecución, y lo hemos diseñado para poder trabajar tanto sobre plataforma DOS como UNIX. El empleo de una u otra depende exclusivamente del número de MLPs que el sistema tenga que gestionar. Para un número elevado de MLPs (más de 8) es conveniente emplear una estación de trabajo, ya que estas son más rápidas y admiten más memoria y disco que los PC. En cualquier caso, los requerimientos mínimos para cada máquina son:

- Estación de trabajo:
 - CPU: Risk 4000 de Motorola
 - RAM: 32 Mb
 - Disco Duro: 1 Gb.
 - Monitor: Color 19", 1280 x 1024 puntos.
 - Periféricos: 2 puertas serie RS232 y conexión de red.
- PC:
 - CPU: Intel 486/33
 - RAM: 4 Mb.
 - Disco Duro: 120 Mb.
 - Monitor: Color VGA, tarjeta S-VGA 1024x768 1Mb.
 - Periféricos: 2 puertas serie RS 232 y conexión de red (opcional).

VIII.2.3 COMPONENTES SOFTWARE

VIII.2.3.1 Módulo Local de Procesamiento

El soporte lógico del MLP está compuesto de dos programas independientes desarrollados en C, el primero se encarga de la configuración del área de trabajo y el segundo de llevar a cabo los procesos definidos en el MLP.

El *programa de configuración* (MLPCONF.EXE) se encarga de la creación o modificación de la máscara de trabajo y lo empleamos únicamente en la fase de configuración, tal como se describe en el capítulo IV. Las líneas de código de este programa son 720.

El *programa de análisis* (MLP.EXE) ejecuta el análisis de las imágenes y realizar la detección de incidentes a nivel local. Tal como definimos en el capítulo IV está ejecutándose de forma continua hasta que se detiene el sistema o se lanza el programa de configuración. Este programa está compuesto por un conjunto de módulos encargados de unas tareas específicas. Los ficheros correspondientes son los siguientes, con un total de 5388 líneas de código:

- MLP.C: Es el programa principal e incluye el bucle de control e inicialización del proceso de análisis, decidiendo cuando realizar las llamadas a las funciones específicas contenidas en los otros módulos.
- MLP_OFG.C: Contiene las funciones de bajo nivel que permiten el acceso y control de la placa de imágenes específica sobre la que se está trabajando. En caso de que se cambiase la placa de imágenes, únicamente sería necesario que cambiásemos este módulo y recompiláramos el software para obtener un ejecutable compatible con la nueva placa.

- MLP_MAS.C: Contiene las funciones que se encargan de leer la definición del área de trabajo, previamente creada, y de obtener el resto de parámetros secundarios a partir de la información básica dada por el usuario.
- MLP_INI.C: Contiene las funciones de inicialización de la placa y de los umbrales de configuración del MLP. También se encarga de obtener los parámetros externos del MLP (ver apartado 3 del capítulo IV).
- MLP_MPI.C: Contiene todas las funciones relacionadas con el procesamiento de imágenes (ver apartado 1 del Capítulo IV).
- MLP_MVA.C: Contiene las funciones relacionadas con el módulo de visión artificial (ver apartado 2 del capítulo IV).
- MLP_MDI.C: Contiene las funciones relacionadas con el módulo de detección de incidentes (ver apartado 4 del capítulo IV).
- MLP_SER.C: Contiene las funciones encargadas de la gestión y transmisión de datos al servidor de comunicaciones.
- MLP_GRA.C: Contiene las funciones de salida por pantalla. Este es un módulo no imprescindible que se emplea fundamentalmente para la depuración del sistema.

VIII.2.3.2 Servidor de Comunicaciones.

El software del servidor de comunicaciones, cuyo funcionamiento lo detallamos en la siguiente sección de este capítulo, lo hemos desarrollado en entorno WINDOWS y está compuesto de un único programa (COMMU.EXE), constituido por los siguientes módulos. El número total de líneas de código es de 2414

- COM_MAIN.C: Constituye el programa principal, y desde él se gestiona el bucle principal que dirige la comunicaciones con los MLPs y con el SCP. Además contiene todas las funciones de manejo de salida gráfica y control de los recursos de Windows.
- COM_CONF.C: Contiene todas las funciones de inicialización de las estructuras y canales de comunicaciones.
- COM_MLP.C: Corresponde al módulo encargado de gestionar las comunicaciones entre el SCC y los MLPs.
- COM_SCP.C: Corresponde al módulo encargado de gestionar las comunicaciones entre el SCC y el SCP.
- COM_DIGI.C: Contiene las funciones de control específicas de la placa de comunicaciones serie y sólo es necesario incluirlo en el programa cuando se emplee dicha placa. Si se emplea otro tipo de placas habría que sustituir este módulo por el correspondiente y recompilar el software.
- COM_SER.C: Como en el caso anterior, contiene las mismas funciones, pero referidas a los puertos serie del PC.
- COM_TPC.C: Contiene las funciones de control, para las comunicaciones a través de una línea de ethernet. De los 3 módulos anteriores, sólo uno debe de ser incluido en la compilación según el tipo de comunicaciones a emplear.

VIII.2.3.3 Sistema Central de Procesamiento.

Como ya hemos comentado hemos prototipado el SCP de forma que este pueda ser ejecutado tanto en plataformas UNIX como DOS, lo que nos ha supuesto crear dos paquetes programas

diferentes. Ambos están constituidos por tres programas ejecutables dedicados a una función específica:

- **Programa de análisis:** Corresponde al programa principal y es el encargado de realizar todos los procesos de análisis y gestión de incidentes definidos en el SCP. Se encarga de lanzar el programa de comunicaciones y el interfaz gráfico y de verificar que ambos están activos.
- **Programa de interfaz gráfico:** Es el encargado de la representación de datos y de facilitar el intercambio de información con el operador (Ver la sección VIII.4).
- **Programa de comunicaciones:** Es el encargado de gestionar las comunicaciones entre el Módulo de Comunicaciones y el SCP.

La principal razón que nos ha llevado a emplear esta estructura modular, a parte de por razones de ingeniería de software, es que nos posibilita separar los procesos propios del análisis de aquellos módulos dedicados a las comunicaciones o al interfaz gráfico. De este modo, es posible incorporar al sistema otros módulos de comunicaciones o de representación sin necesidad de modificar el de análisis, facilitando con ello su futura integración dentro de un sistema global de Gestión de Tráfico.

Esta modularidad también nos ha permitido la producción de versiones ejecutables para diferentes plataformas, mediante la sustitución de aquellos módulos específicos para cada una de ellas y la compilación en el nuevo entorno. Para el prototipo hemos implementado el sistema para dos entornos diferentes:

- Entorno WINDOWS para plataforma PC, empleando el compilador "Quick-C para Windows".
- Entorno X-MOTIF para plataformas UNIX, empleando el compilador CC standard de las máquinas UNIX de HP.

A continuación vamos a describir los módulos comunes y particulares de cada programa y para cada entorno de trabajo:

VIII.2.3.3.1 Programa de análisis

La codificación de las funciones correspondientes al programa de análisis la hemos realizado organizando los diferentes ficheros fuente de acuerdo a las tareas realizadas. Distinguimos cuatro grupos de ficheros (como muestra la figura 4), siendo el total de líneas de código del programa de análisis de 7304.

- **F. Generales:** Contienen funciones de propósito general, no identificadas en los grupos anteriores:
 - **MAIN.C:** Contiene el cuerpo principal del programa, así como las funciones encargadas de gestionar y ejecutar los programas auxiliares. Existe un fichero propio para cada versión, que difieren en el modo de gestionar la ejecución de programas auxiliares.
 - **MOD-TEST.C:** Contiene las funciones que permiten la ejecución del programa en modo de simulación, empleando como datos de entrada la información almacenada en fichero. Idéntico para ambas versiones.
- **F. Entrada/Salida:** Contiene los ficheros encargados de manejar las operaciones de entrada/salida de datos.

- MOD-INI.C: Incluye las funciones encargadas de la inicialización del sistema, la carga de parámetros de configuración y la reserva de memoria para las estructuras de datos. Es valido para ambas versiones, excepto en el modo de reservar las estructuras de memoria.
- MOD-FICH.C: Contiene todas las funciones encargadas de gestionar las operaciones de E/S con ficheros. Es valido para las dos versiones.
- MOD-DDE.C: Contiene las funciones encargadas de verificar que los datos de los MLPs han sido recibidos y almacenados en las estructuras de memoria, además de llevar a cabo una comprobación de estos datos. Es valido para las dos versiones.
- **F. Análisis:** Es el grupo más importante e incluye los ficheros que contienen la codificación de los algoritmos internos y reglas del SCP, correspondientes a las definidas en los capítulos V, VI y VII. Estos ficheros son idénticos para las dos versiones.
 - MOD-DSM.C: Contiene las funciones encargadas del análisis espacial de la información proporcionada por los MLPs. Corresponde con la implementación de los algoritmos y reglas definidos en el capítulo V.
 - MOD-DEM.C: Contiene las funciones encargadas de establecer las relaciones entre los estados de los segmentos y los incidentes existentes en la red. Corresponde al punto 2 del capítulo VI.
 - MOD-TEM.C: Contiene las funciones encargadas del análisis de la evolución de los incidentes. Corresponde al punto 3 del capítulo VI.
 - MOD-ALM.C: Contiene las funciones encargadas de la gestión de incidentes y evaluación de las alarmas. Corresponde al punto 4 del capítulo VI.
- **F. Estadísticas:** Contiene el fichero que realiza el análisis estadístico de los datos almacenados tanto en memoria como en disco (MOD-EST.C). Este fichero es valido para las dos versiones.

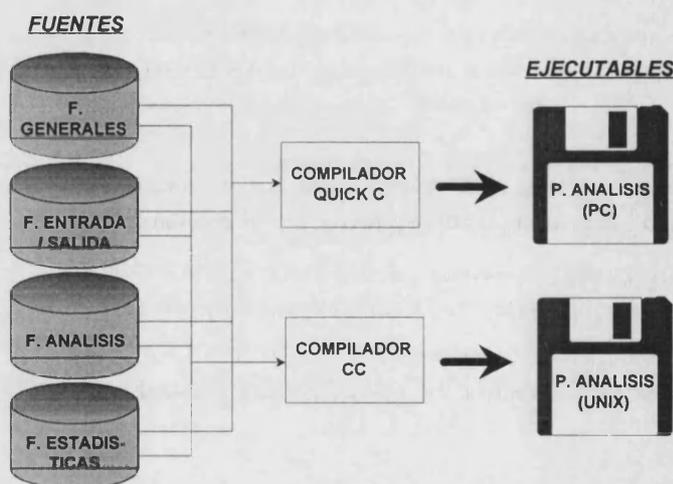


Figura 4.- Grupos de ficheros del programa de análisis del SCP.

Como se puede observar, la mayoría de los ficheros incluidos en los grupos anteriores son comunes a las dos versiones ejecutables del programa de análisis, ya que emplean funciones

estándar contenidas en las librerías de C, y únicamente necesitan ser compilados en el compilador adecuado para obtener una versión u otra.

VIII.2.3.3.2 Programa de comunicaciones

El programa de comunicaciones del SCP está compuesto por un menor número de ficheros que el anterior, aunque en este caso, si que existen diferencias fundamentales de una versión a otra. Hemos separado las funciones de comunicaciones en 4 ficheros, tal y como muestra la figura 5. Esta compuesto por 1203 líneas de código y sus componentes son los siguientes.

- **COMUNICA.C:** Contiene las rutinas principales del programa de gestión de comunicaciones, que se encarga de recibir los datos enviados por el servidor de comunicaciones. Es un fichero común a ambos entornos, ya que hace llamadas a funciones generales que estarán contenidas en el módulo apropiado según la versión.
- **SERIE.C:** Agrupa todas las funciones a cargo de la configuración y control del puerto serie. Las funciones implementadas en este fichero son idénticas para ambos entornos, aunque emplean librerías diferentes, por lo que crearemos un fichero diferente para cada uno de ellos.
- **FTP.C:** Agrupa las funciones a cargo de la configuración y control de los protocolos TCP/IP y UDP/IP. Como en el caso anterior, las librerías empleadas en cada entorno son diferentes, por lo que crearemos dos ficheros distintos.
- **COMLIB.C:** Es un fichero propio de la versión WINDOWS y se encarga de la gestionar la transferencia de datos entre el programa de comunicaciones y el de análisis. En la versión UNIX este intercambio de datos se realiza a través de memoria compartida y no necesita de una librería auxiliar.

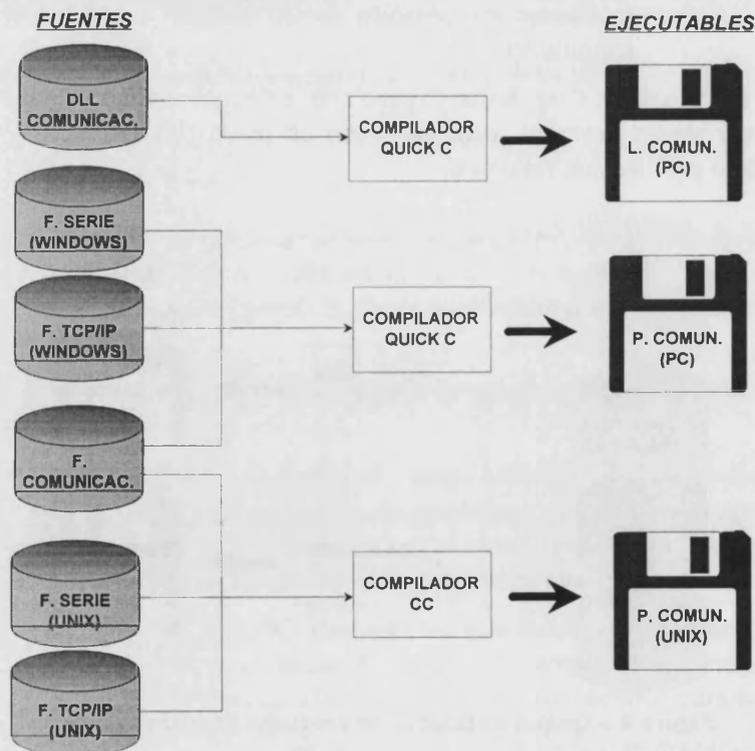


Figura 5.- Ficheros del programa de comunicaciones del SCP.

VIII.2.3.3.3 Programa de interfaz gráfico

A diferencia de los programas anteriores, los ficheros que constituyen el interfaz gráfico son específicos para cada aplicación puesto que las funciones gráficas y la codificación del entorno de trabajo son diferentes de WINDOWS a XMOTIF (ver figura 6). Tiene un total de 8574 líneas de código en su versión UNIX y 7965 en su versión WINDOWS. Hemos dividido el programa en cuatro ficheros principales:

- MOD-DIA.C: Contiene todas las funciones y procedimientos para la gestión y manejo de las ventanas de dialogo. Estas ventanas las empleamos principalmente para la configuración de umbrales y la selección de las opciones del sistema.
- MOD-GRAF.C: Contiene los procedimientos relacionados con el dibujo de gráficos, incluyendo los mapas de la red, mensajes de alarma, representación de la evolución de incidentes, etc.
- MOD-TXT.C: Contiene las funciones relacionadas con la gestión y manejo de la salida texto sobre las ventanas.
- MOD-WIN.C: Se encarga de la gestión de las ventanas gráficas, su creación, movimiento, selección y destrucción.

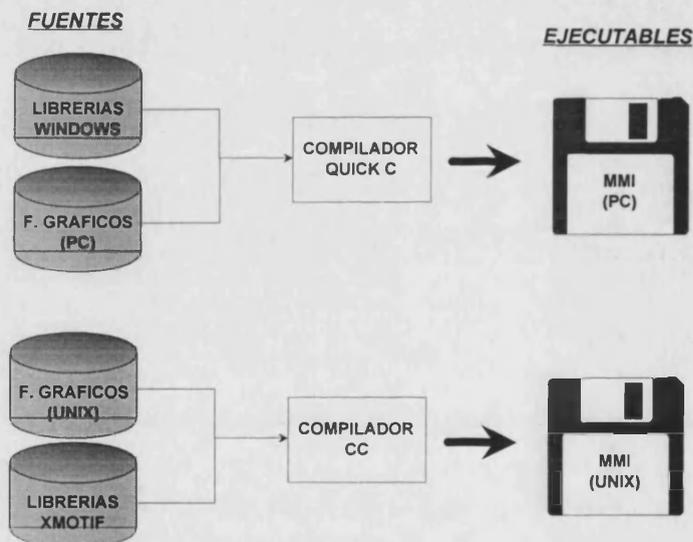


Figura 6.- Ficheros del programa de interfaz gráfico del SCP.

VIII.3. EL SERVIDOR DE COMUNICACIONES

La función principal del módulo de comunicaciones, o servidor de comunicaciones (SCC), es la de actuar como un interface entre los MLPs y el SCP, que se encargue de concentrar los datos provenientes de los MLPs en una única estructura de datos para transmitirla por un sólo canal y de una sola vez al SCP. Este módulo lo hemos diseñado en respuesta a una necesidad para poder prototipar el sistema y en este sentido trata de presentar una solución eficaz, siguiendo una metodología estándar, más que constituir un planteamiento novedoso.

Como ya hemos dicho, el SCC es un software que se ejecuta bajo un entorno Windows en un PC y que puede llegar a gestionar un máximo de 32 MLPs. Limitación que nos viene impuesta por la capacidad física de las tarjetas de comunicaciones serie comerciales, disponibles hasta la fecha.

VIII.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO:

De forma superficial, podemos decir que hemos decidido que la transmisión de datos de los MLPs al SCP se lleve a cabo mediante petición de este último a los primeros, en la que el SCC actúa como intermediario para recopilar la información de los MLPs y gestionar las comunicaciones de modo que no carguemos al SCP.

Tal como muestra la figura 7, podemos descomponer el proceso interno del SCC en dos tareas independientes:

- Una primera encargada de la petición y recepción de datos de los MLPs.
- Una segunda encargada de la transmisión de datos al SCP.

Aunque ambas tareas se ejecutan dentro del mismo software, cada una de ellas está encargada de atender y responder a los requerimientos de cada una de las partes, sin prestar atención al estado de las transacciones de su homóloga, realizándose la transmisión de datos a través de estructuras comunes de memoria, no siendo necesario el intercambio de ordenes entre ellos, como veremos más adelante.

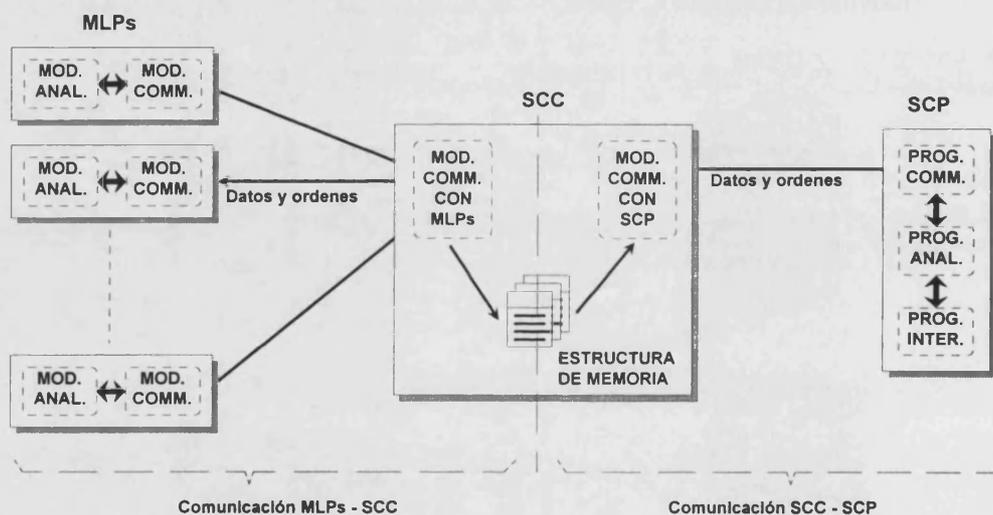


Figura 7.- Descomposición de las tareas del SCC.

VIII.3.1.1 Principio de intercambio

Hemos establecido como principio de intercambio entre el SCC y el resto de sistemas la transmisión con confirmación, de modo que cada vez que enviamos un mensaje el receptor responderá con una señal de confirmación indicando si ha recibido el mensaje y si los datos son correctos. Este método es bien conocido, para comprobar, el receptor realiza la suma de la información contenida en todos los bytes recibidos y la compara con el valor contenido en los bytes de comprobación ("Checksum"). En caso de que coincidan el receptor envía una señal de confirmación ("acknowledge") y sino una señal de error ("non-acknowledge"), volviendo el emisor a transmitir el mensaje. Para realizar todos estos procesos, fijamos un tiempo máximo de ejecución ("Time Out"), de manera que si el emisor no recibe confirmación alguna del receptor durante dicho periodo de tiempo suponemos que se ha producido un error en la transmisión y el receptor no ha recibido el mensaje.

La figura 8 nos muestra los pasos de este proceso de transmisión entre emisor y receptor.

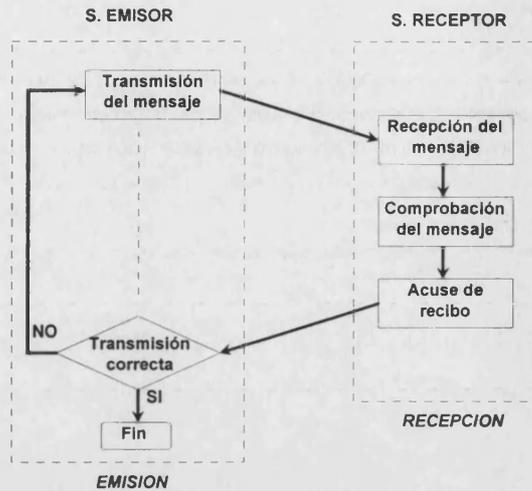


Figura 8.- Esquema del proceso de transmisión de mensajes.

VIII.3.1.2 Formato de datos

Los mensajes intercambiados entre los sistemas tendrán todos una estructura general similar tal y como mostramos en la figura 9:

| | | | | | | | | | | | |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|-----|-----|-----|
| 16h | 10h | 02h | ADR | CMD | LNH | LNL | Datos | 10h | 03h | CSH | CSL |
| CABEZA | | | | | | | DATOS | COLA | | | |

Figura 9.- Estructura del bloque de transmisión de datos.

siendo:

- ADR: Dirección del periférico.
- CMD: Número de comando (tipo de mensaje).
- LNH: Byte más significativo de la longitud del bloque.
- LNL: Byte menos significativo de la longitud del bloque.
- CSH: Byte más significativo del registro de comprobación.
- CSL: Byte menos significativo del registro de comprobación.

Vamos a describir más detalladamente cada uno de los bloques que componen el mensaje.

VIII.3.1.2.1 Bloque de cabeza.

Este bloque está compuesto de:

- 3 bytes de sincronismo: 16h, 10h, 02h.
- 1 byte con la dirección del periférico: 01h (es el mismo para todos los MLP).
- 1 byte de orden, para indicar que operación realizar.
- 2 bytes con la longitud del bloque de datos.

VIII.3.1.2.2 Bloque de datos

La estructura del bloque de datos depende del tipo de orden que se envía y puede llegar a tener una longitud nula, siendo LNH y LNL igual a cero. Las diferentes estructuras que hemos definido las describimos mas adelante (ver puntos VIII.3.2.2 y VIII.3.3.2).

VIII.3.1.2.3 Bloque de cola

Este bloque está compuesto de:

- 2 bytes de sincronismo: 10h, 03h.
- 2 bytes de comprobación, que corresponden a la suma de todos los bytes anteriores. Calculamos la suma en módulo 10000h.

VIII.3.2 COMUNICACIONES ENTRE LOS MLPs y EL SCC

VIII.3.2.1 Descripción del proceso.

Como ya hemos comentado, los procesos de comunicaciones entre el SCC y los MLPs y el SCP se pueden considerar como tareas independientes entre sí. En el primer caso, podemos distinguir dos tipos de operaciones de transmisión: el envío de comandos de operación y la adquisición de los datos de los MLPs.

La primera está constituida por funciones asíncronas que son ordenadas por el operador desde el propio servidor de comunicaciones, y se ejecutan interrumpiendo el funcionamiento normal del proceso de transmisión de datos. Por lo general se trata de operaciones de mantenimiento y configuración del analizador.

La segunda operación es un proceso síncrono, que se repite de forma cíclica cada 'n' segundos, siendo el valor de 'n' la frecuencia de actualización fijada por el operador (por defecto 15 s.) para adquirir los datos procedentes de los MLPs. La figura 10 nos muestra la secuenciación de este proceso:

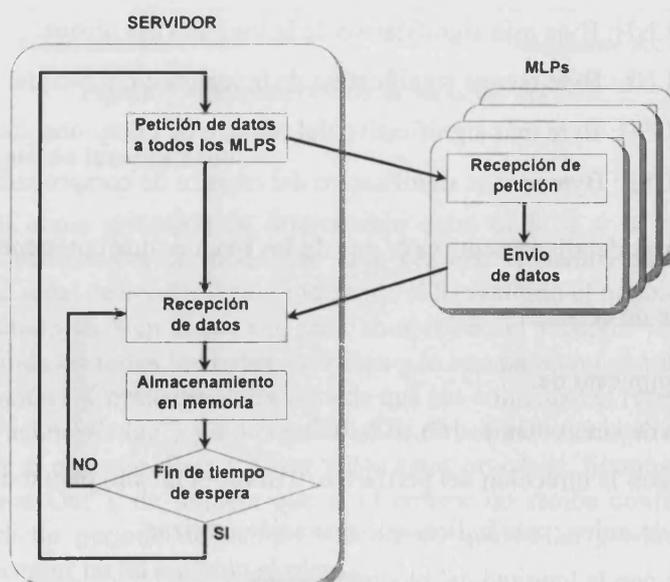


Figura 10.- Proceso de transmisión de datos entre el SCC y los MLPs.

El SCC envía a todos los MLPs una petición de datos, los MLPs reciben esta petición y devuelven un mensaje con la información que contienen almacenada en memoria. El

SCC queda a la escucha de estos mensajes y va comprobando en cada ciclo de procesamiento si ha recibido los datos de algún MLP, en caso afirmativo los almacena en una estructura de memoria, idéntica a la empleada en el analizador, y actualiza en el campo de estado la recepción de un nuevo dato del MLPs. Después comprueba si ha transcurrido el tiempo de espera fijado por el operador para la recepción de datos (time out), en caso negativo vuelve a comprobar la recepción de un mensaje y en caso afirmativo vuelve a realizar una petición de datos a los MLPs.

Por su parte, el módulo de comunicaciones del MLP se limita a comprobar la existencia de algún mensaje en el buffer de la puerta serie, actuando de acuerdo a la acción requerida en el mensaje.

VIII.3.2.2 Lenguaje de comandos

A continuación vamos a presentar las diferentes ordenes que hemos definido para la comunicación entre el SCC y los MLPs. La descripción de cada comando va seguida por la estructura del bloque de datos, en caso de que este exista.

VIII.3.2.2.1 Comandos entre los MLPs y el SCC

- 00 = Recepción correcta (Acknowledge).
- 01 = Recepción incorrecta (Non-acknowledge).
- 22 = Petición del fichero de máscaras correspondiente al MLP.
- 27 = Transmisión del estado del analizador.
 - 1 byte: estado de funcionamiento.
- 29 = Transmisión de la información del MLP:
 - 1 byte: Tipo de incidente detectado.
 - 1 byte: Número de carril del incidente.
 - 2 bytes: Duración en segundos del incidente.
 - 1 byte: Número de carriles.
 - $N_{\text{CARRILES}} \times 2$ bytes: Longitud de la cola en metros.
 - 1 byte: Velocidad media en Km/h
 - 1 byte: Ocupación espacial.
 - 1 byte: Flujo medio en Veh. eq. h.
 - 1 byte: Nivel de tráfico.
 - 1 byte: Nivel de congestión.
 - 1 byte: Estado del MLP.
 - 1 byte: Nivel de confianza de la detección.
 - 1 byte: Nivel de gravedad de la alarma.
 - 1 byte: Posición Y del incidente.
 - 1 byte: Posición X del incidente.
 - 1 byte: Número de incidente.

2B = Petición del fichero de umbrales correspondiente al MLP.

VIII.3.2.2.2. Comandos entre el SCC y los MLPs

80 = Recepción correcta (Acknowledge).

81 = Recepción incorrecta (Non-acknowledge).

A0 = Petición para la modificación del modo de funcionamiento.

- 1 byte con la opción (configuración o procesamiento).

A1 = Petición de la información del MLP.

A2 = Petición del estado del MLP.

AD = Transmisión del fichero de mascara.

- n bytes: contenido del fichero

AE = Transmisión del fichero de umbrales.

- n bytes: contenido del fichero

VIII.3.3 COMUNICACIONES ENTRE EL SCC Y EL SCP

VIII.3.3.1 Descripción del proceso.

Este proceso comienza con la recepción de un mensaje de petición de datos por parte del SCP. En ese momento, el proceso accede a la estructura de memoria que contiene los datos de todos los MLPs, estén actualizados o no, y los empaqueta conjuntamente en un sólo mensaje. Este mensaje es devuelto al SCP y los datos de memoria son marcados como ya leídos.

Por su parte el programa de comunicaciones cargado en el SCP realiza un proceso muy similar al ejecutado por el SCC en lo referente a las comunicaciones con los MLPs (ver figura 10), y que se resume en los siguientes pasos:

- Envío de una petición de datos a los SCCs.
- Espera de la respuesta de los SCC.
- Actualización en memoria compartida de los datos recibidos.
- Comprobación de si Ha expirado el tiempo de espera.
- Reinicio del proceso.

Como en el caso del SCC, el sistema central tiene una frecuencia de actualización de datos de 15 segundos. Si transcurrido este tiempo, no ha recibido respuesta de alguno de los SCCs conectados, envía una señal de error en la comunicación con el SCC y continua tratando de obtener datos. En cualquier caso, el proceso de análisis del SCP continua trabajando con los datos actualizados, tomando como virtuales aquellos segmentos reales de los cuales no ha podido obtener información (ver figura 11).

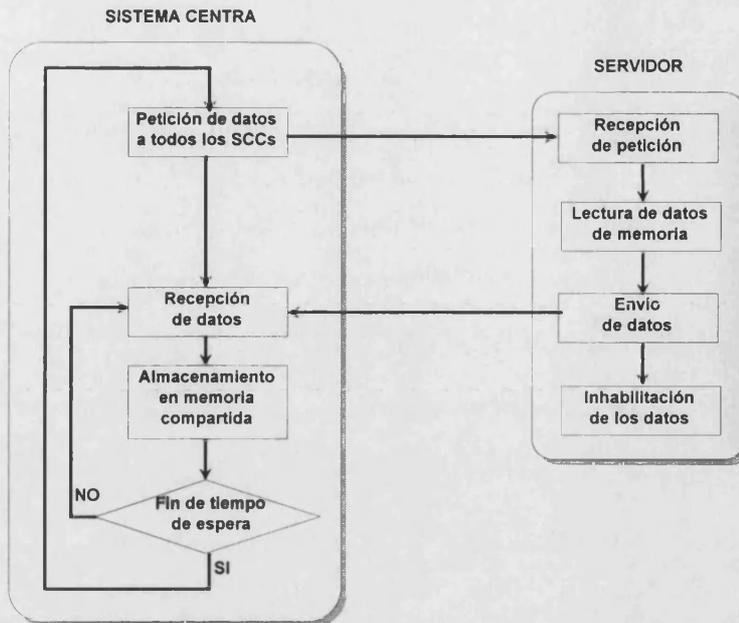


Figura 11.- Proceso de transmisión de datos entre el SCC y el SCP.

VIII.3.3.2 Lenguaje de comandos

Como en el caso anterior vamos a describir los comandos definidos en esta comunicación, estos serán similares a los primeros y mucho más reducidos puesto que el SCP no realiza una configuración directa de los MLPs.

VIII.3.3.2.1 Comandos entre el SCC y el SCP

- 00 = Recepción correcta (Acknowledge).
- 01 = Recepción incorrecta (Non-acknowledge).
- 27 = Transmisión del estado del analizador.
 - 1 byte: estado de funcionamiento y comunicaciones
- 29 = Transmisión de la información de los MLP:
 - 1 byte: Número de MLP
 - 1 byte: Tipo de incidente detectado.
 - 1 byte: Número de carril del incidente.
 - 2 bytes: Duración en segundos del incidente.
 - 1 byte: Número de carriles.
 - $N_{\text{CARRILES}} \times 2$ bytes: Longitud de la cola en metros.
 - 1 byte: Velocidad media en Km/h
 - 1 byte: Ocupación espacial.
 - 1 byte: Flujo medio en Veh. eq. h.
 - 1 byte: Nivel de tráfico.
 - 1 byte: Nivel de congestión.

- 1 byte: Estado del MLP.
- 1 byte: Nivel de confianza de la detección.
- 1 byte: Nivel de gravedad de la alarma.
- 1 byte: Posición Y del incidente.
- 1 byte: Posición X del incidente.
- 1 byte: Número de incidente.

VIII.3.3.2.2 Comandos entre el SCP y el SCC

80 = Recepción correcta (Acknowledge).

81 = Recepción incorrecta (Non-acknowledge).

A0 = Petición para la modificación del modo de funcionamiento.

- 1 byte con la opción. (configuración o procesamiento)

A1 = Petición de la información de los MLPs.

A2 = Petición del estado del MLP.

VIII.4. INTERFACE HOMBRE-MAQUINA

El interface con el operador ha sido un elemento que hemos tenido que desarrollar con un alto grado de detalle debido al gran interés que teníamos de que el sistema fuese evaluado y validado, además de por parte del autor, por operadores de tráfico ajenos al desarrollo del sistema y desconocedores de su modo de operación interno. Es conocido que el grado de colaboración que se puede esperar de terceros se incrementa si las dificultades para manejar un sistema computerizado se reducen, aunque ello nos ha supuesto un importante esfuerzo de desarrollo, sin mayor valor académico que facilitar la evaluación del prototipo durante largos periodos de tiempo.

VIII.4.1 ENTORNO DE TRABAJO

A continuación vamos a describir el entorno gráfico que crea el sistema cuando se ejecuta con el interface gráfico que hemos desarrollado, y que presentamos en este apartado.

VIII.4.1.1 Organización del entorno de trabajo.

El interfaz gráfico que hemos creado se basa en el empleo de ventanas estáticas y dinámicas de representación de datos. Las ventanas estáticas se emplean para la representación de información básica, dividiendo el entorno de trabajo en cuatro áreas diferentes (ver figura 12).

- **Ventana Gráfica:** Sobre ella realizaremos la representación de información gráfica; sus elementos son seleccionados mediante el ratón. Existen dos tipos de representación básica: el mapa de la carretera y la evolución de los incidentes.
- **Ventana de Referencia:** Representa el mapa de la red sobre la que trabajamos y nos sirve para indicar al operador el área o elemento representado en la ventana gráfica.

- **Ventana de Texto:** Representa los mensajes tipo texto generados por el sistema. Estos mensajes pueden corresponder tanto a la situación de la zona monitorizada, como al estado del sistema.
- **Barra de Menús:** Aunque no corresponde realmente a una ventana, en esta área de la pantalla hemos decidido representar los menús principales del sistema de tipo desplegable. La barra de menús es la misma para cualquier opción de representación seleccionada.

Además de estas ventanas estáticas, hemos decidido que sobre la pantalla puedan aparecer otros dos tipos de ventanas dinámicas:

- **Ventana dinámica de datos:** Es una ventana gráfica que muestra información sobre un elemento particular del sistema. Pueden abrirse tantas ventanas de datos como el operador quiera, siempre que muestren información sobre elementos diferentes.
- **Ventana dinámica de menú:** En este tipo de ventanas incluiremos ventanas de selección, que permiten activar o desactivar opciones del sistema y ventanas de configuración, que nos permitirán modificar los umbrales del sistema. A diferencia de las anteriores, sólo podrá existir abierta una sola ventana, cerrándose automáticamente la anterior al abrir una nueva.

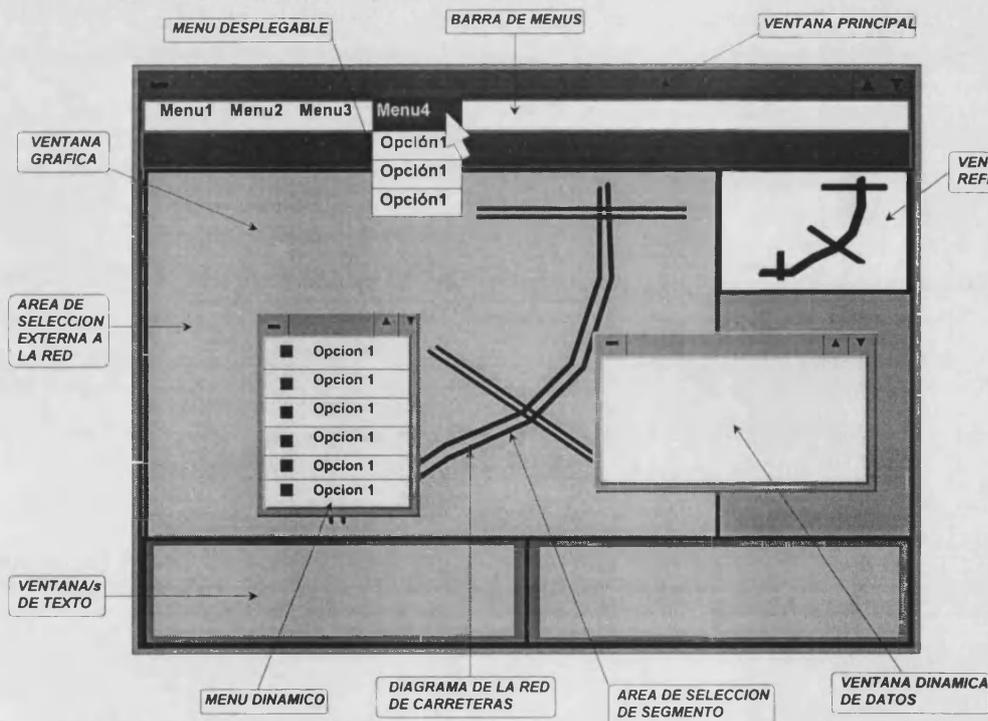


Figura 12.- Definición del área de trabajo del operador.

Como ya hemos dicho, parte de la gestión la realizaremos mediante los menús desplegables de la barra de menús, pero el acceso a la mayor parte de los recursos del sistema lo obtendremos mediante la selección de un elemento con el ratón. Hemos definido dos tipos de regiones sensibles a la pulsación del ratón.

- **Área de segmento:** Corresponde a la región de la pantalla incluida dentro del rectángulo que representa un segmento. Los segmentos sólo están activos dentro de la ventana gráfica. La información obtenida al pulsar alguno de los botones del ratón hará referencia al segmento seleccionado.

- **Áreas externas a la red:** Corresponde a cualquier punto de la ventana gráfica, o de la ventana principal, no incluido dentro de un segmento. La pulsación del ratón dentro de esta área nos proporcionará información general.

Del mismo modo que dependiendo de la zona donde se encuentre el ratón seleccionaremos un elemento u otro, dependiendo del botón que se pulse obtendremos un tipo u otro de información. Así:

- **Botón Izquierdo:** Proporciona datos de tipo dinámico, que se actualizan cada ciclo de procesamiento.
- **Botón Central:** Proporciona datos de tipo estático. Es decir, que no se modifican en cada ciclo de procesamiento y que por lo general permanecen fijos hasta que el operador los modifica.
- **Botón Derecho:** Proporciona información sobre la configuración del elemento o del sistema, permitiendo su modificación.

En los puntos siguientes iremos describiendo la información que se obtiene todas las combinaciones de acuerdo al elemento seleccionado y al botón pulsado.

VIII.4.1.2 Opciones de representación

De acuerdo al tipo general de información que mostremos hemos definido dos modos de representación que nos crean dos entornos de trabajo diferentes:

- **Modo de representación de red.** Es el modo de trabajo por defecto, y se caracteriza por presentar información, actualizada cada ciclo, sobre la situación existente en la red de forma sencilla y fácil de comprender. La ventana gráfica contiene una representación esquemática de la red de carreteras donde se muestran informaciones sobre la red, facilitando la localización geográfica del dato. El acceso a los menú de configuración se realiza desde este modo de representación.
- **Modo de representación espacio-temporal.** Se caracteriza por mostrar la evolución de la situación de la red a lo largo del tiempo, para ello, emplea una representación lineal de los segmentos de las carreteras. Esta representación requiere un conocimiento previo de la red para su adecuada interpretación. Permite el acceso a la información histórica almacenada en el sistema, acceso que no es posible desde el modo anterior.

En los puntos posteriores vamos a describir más detalladamente las características y opciones de ambos modos de representación.

VIII.4.1.3 Barra de menús

La barra de menús es común a ambas representaciones y las opciones en él disponibles son:

- **Sistema.** Esta opción permite salir del programa y abandonar la aplicación, .
- **Evolución temporal.** Selecciona el modo de representación espacio-temporal de la red, modificando la estructura de ventanas.
- **Red.** Selecciona la representación espacial de la red.
- **Zoom.** Esta opción sólo está activa en el modo de representación de red, y permite aumentar una zona del mapa de carreteras por un factor de “x2”, “x4” y “x8”. Pulsando la opción *original* se vuelve a la escala original.

VIII.4.2 MODO DE REPRESENTACIÓN DE LA RED

El entorno de trabajo (ver figura 13) se caracteriza por que la ventana gráfica muestra un diagrama de la red de carreteras, mientras que el área de texto ha sido dividida en dos ventanas. En la izquierda se presentan los mensajes debidos a incidentes, mientras que en la de la derecha aparece información sobre el funcionamiento y estado del sistema.

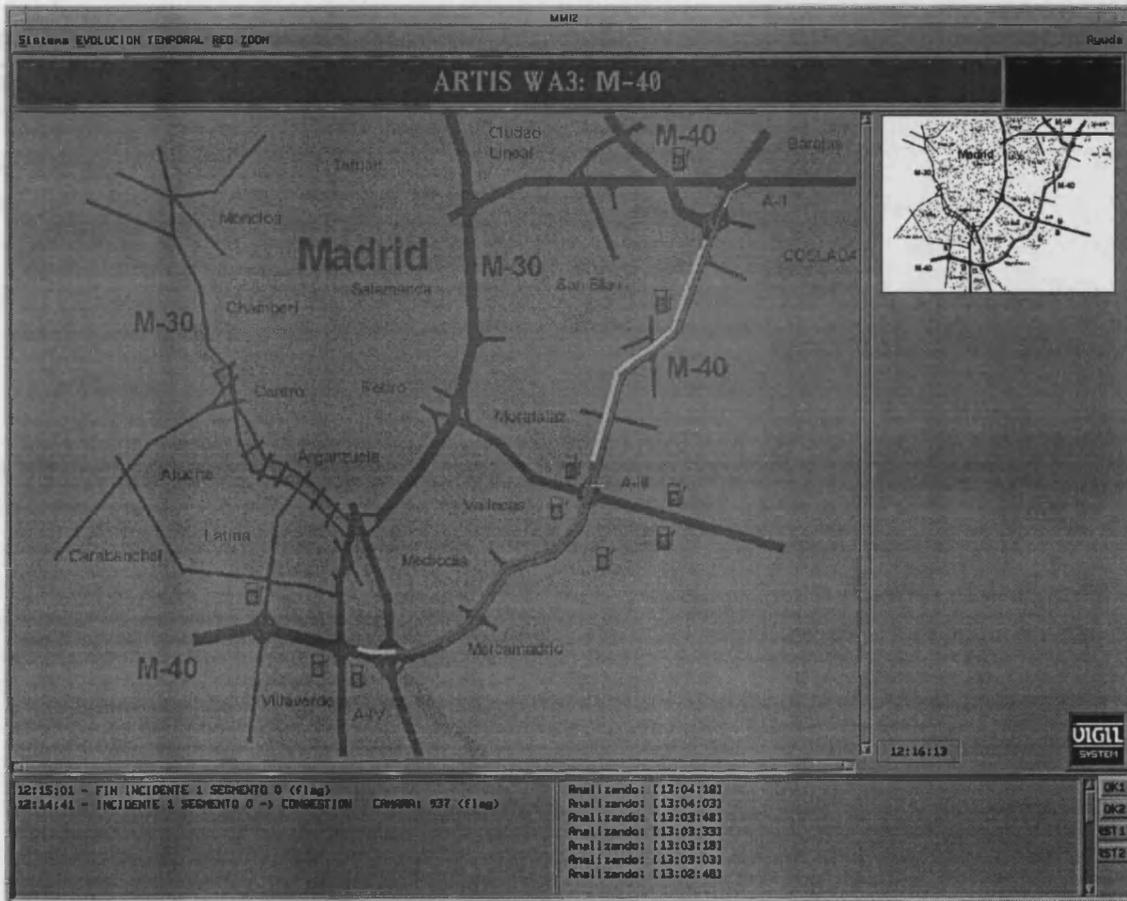


Figura 13.- Modo de representación de la red

VIII.4.2.1 Información dinámica de la red

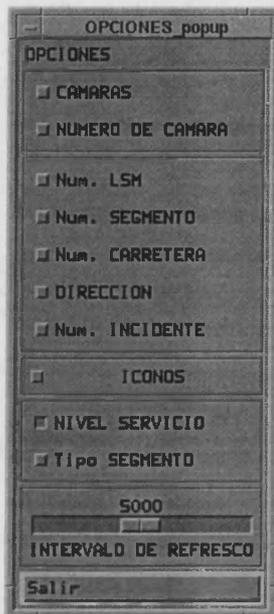
Para acceder a la información general de la red pulsaremos el botón izquierdo del ratón sobre el fondo de la ventana principal, no sobre la carretera. Al realizar esta operación aparece una ventana (figura 14) que presenta todas las opciones posibles de representación de datos sobre la red:

- *Cámara*: presenta sobre la red la posición de las cámaras empleadas por los MLP.
- *Nº Cámara*: Superpone a cada cámara el identificador que ésta tiene asociado en la matriz de vídeo.

Las cinco opciones siguientes son exclusivas entre sí, y sólo una de ellas puede estar activa:

- *Nº LSM*: Superpone en los segmentos de la red el identificador asignado a cada MLP.
- *Nº Segmento*: Superpone el número asignado a cada segmento.
- *Nº Carretera*: Superpone el número de carretera a la que pertenece el segmento.

- *Dirección:* Superpone la dirección del tráfico.
- *Nº incidente:* Superpone el identificador del incidente, lo que nos permite distinguir entre distintos incidentes simultáneos en la misma red. Las consecuencias de un incidente tienen el mismo número que su causa.



Las siguientes dos opciones son exclusivas entre sí, y siempre hay una activada.

- *Nivel de servicio:* Es la opción por defecto y muestra el nivel de servicio de la carretera usando los colores previamente definidos.
- *Tipo de segmento:* Muestra los distintos segmentos en los que se ha dividido la carretera, correspondiendo los segmentos más claros a aquellos asociados a un MLP.

El *intervalo de refresco* define el tiempo de refresco de la pantalla en ms., por defecto tiene un valor de 5000 (5 segundos).

VIII.4.2.2 Información estática de la red

Pulsando con el botón del centro sobre el fondo de la ventana principal, aparece una ventana que nos permite obtener información acerca del estado y situación actual del sistema:

Figura 14.- Opciones de representación de datos sobre la red

- *Analizadores (MLP).* Nos muestra una lista con todos los MLP, la carretera a la que se encuentra asociada, punto kilométrico, el segmento, la cámara, el tipo de analizador y su estado de funcionamiento. Los MLPs cuyo estado no es correcto son resaltados en color negro. (figura 15)

| M-DAI | CAM. | ESTADO | SEGMENTOS | CAR. Pk. |
|-------|------|----------|-----------|----------|
| 1 | 929 | M-DAI OK | 12 13 | 1 10.0 |
| 2 | 930 | M-DAI OK | 17 | 2 12.9 |
| 3 | 931 | M-DAI OK | 9 | 1 12.9 |
| 4 | 932 | M-DAI OK | 20 | 2 15.2 |
| 5 | 933 | M-DAI OK | 4 | 1 16.7 |
| 6 | 934 | M-DAI OK | 6 | 1 15.2 |
| 7 | 935 | M-DAI OK | 22 | 2 17.0 |
| 8 | 936 | M-DAI OK | 25 | 2 19.2 |
| 9 | 937 | M-DAI OK | 0 | 1 20.3 |
| 10 | 938 | M-DAI OK | 29 | 2 20.9 |
| 11 | 940 | M-DAI OK | 35 | 3 0.0 |
| 12 | 926 | M-DAI OK | 42 | 5 0.0 |
| 13 | 925 | M-DAI OK | 45 | 6 0.0 |
| 15 | 927 | M-DAI OK | 36 | 4 0.0 |
| 16 | 928 | M-DAI OK | 39 | 4 0.0 |

Figura 15.- Listado del estado de los MLPs.

- *Incidentes.* Nos muestra una lista con lo incidentes que se han producido durante la última hora de análisis. Se muestra la descripción de la situación en el momento en que se detectó el incidente y los valores de identificación asignados al mismo. (figura 16)

| INFORMACION+popup | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-------|------------|------------|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| INFORMACION INCIDENTES | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FECHA | A_SC | DAI | T.S | LSM | CAM | T.INC | H.M-DAI | H.SC | OCU | VEL | NS | UOC | UVE | UNS | DOC | DVE | D |
| 10/05/95 | 0 | 1 | R | 9 | 937 | NO CO | [13:00:03] | [13:00:03] | 58 | 50 | IN | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 10/05/95 | 1 | 2 | R | 7 | 935 | SS SS | [00:58:04] | [00:58:04] | 95 | 15 | IN | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 10/05/95 | 2 | 3 | R | 15 | 927 | SS SS | [02:31:48] | [02:31:48] | 68 | 6 | IN | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 10/05/95 | 3 | 4 | R | 15 | 927 | SS SS | [03:44:33] | [03:44:33] | 67 | 6 | IN | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 10/05/95 | 4 | 5 | R | 9 | 937 | NO CO | [03:52:03] | [03:52:03] | 56 | 48 | IN | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 10/05/95 | --- | 6 | V | --- | --- | NO CO | [--:--:--] | [04:03:49] | 30 | 55 | IN | 6 | 71 | LC | 90 | 19 | --- |
| 10/05/95 | --- | 7 | V | --- | --- | NO CS | [--:--:--] | [04:08:34] | 20 | 57 | IN | 4 | 64 | LC | 48 | 17 | --- |
| 10/05/95 | 5 | 8 | R | 7 | 935 | SS SS | [00:58:04] | [00:58:04] | 95 | 15 | IN | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 10/05/95 | --- | 9 | V | --- | --- | NO CS | [--:--:--] | [04:12:19] | 48 | 57 | IN | 24 | 72 | LC | 107 | 23 | --- |
| 10/05/95 | --- | 10 | V | --- | --- | NO CO | [--:--:--] | [04:20:49] | 34 | 57 | IN | 15 | 73 | LC | 38 | 21 | --- |
| 10/05/95 | --- | 11 | V | --- | --- | NO CS | [--:--:--] | [04:23:03] | 31 | 66 | IN | 14 | 75 | LC | 59 | 18 | --- |
| 10/05/95 | 6 | 12 | R | 15 | 927 | NO CO | [01:21:49] | [01:21:49] | 34 | 8 | IN | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 10/05/95 | 7 | 13 | R | 15 | 927 | SS SS | [02:31:48] | [02:31:48] | 68 | 6 | IN | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 10/05/95 | --- | 14 | V | --- | --- | NO CS | [--:--:--] | [04:25:34] | 34 | 62 | IN | 14 | 80 | LC | 19 | 20 | --- |
| 10/05/95 | --- | 15 | V | --- | --- | NO CS | [--:--:--] | [04:38:04] | 32 | 61 | IN | 17 | 68 | LC | 58 | 22 | --- |
| 10/05/95 | --- | 16 | V | --- | --- | NO CS | [--:--:--] | [04:51:34] | 45 | 55 | IN | 19 | 70 | LC | 107 | 20 | --- |

Aceptar

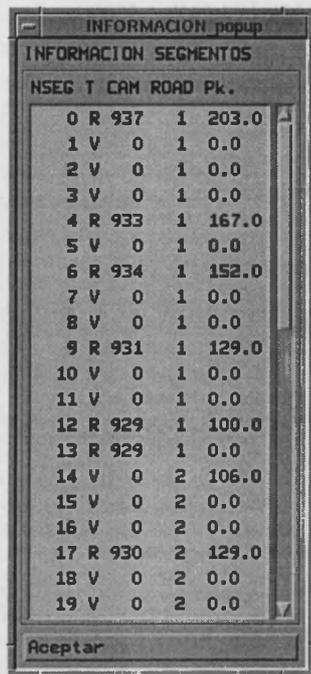
Figura 16.- Información sobre los incidentes ocurridos en el sistema.

| INFORMACION+popup | | | | |
|---------------------|-------|---------|--------|------------|
| INFORMACION ALARMAS | | | | |
| SEC. | COLOR | MENSAJE | PITIDO | FECHA FIN |
| 1 | SI | NO | NO | 13 - 13:20 |
| 6 | SI | SI | NO | 13 - 13:50 |

Aceptar

- *Alarmas.* Muestra una lista con aquellos segmentos que tienen desactivada alguno, o todos, los tipos de avisos de alarma y el momento en que serán activados de nuevo. (figura 17)

Figura 17.- Ventana de información sobre el estado de alarmas



| NSEG | T | CAM | ROAD | Pk. |
|------|---|-----|------|-------|
| 0 | R | 937 | 1 | 203.0 |
| 1 | V | 0 | 1 | 0.0 |
| 2 | V | 0 | 1 | 0.0 |
| 3 | V | 0 | 1 | 0.0 |
| 4 | R | 933 | 1 | 167.0 |
| 5 | V | 0 | 1 | 0.0 |
| 6 | R | 934 | 1 | 152.0 |
| 7 | V | 0 | 1 | 0.0 |
| 8 | V | 0 | 1 | 0.0 |
| 9 | R | 931 | 1 | 129.0 |
| 10 | V | 0 | 1 | 0.0 |
| 11 | V | 0 | 1 | 0.0 |
| 12 | R | 929 | 1 | 100.0 |
| 13 | R | 929 | 1 | 0.0 |
| 14 | V | 0 | 2 | 106.0 |
| 15 | V | 0 | 2 | 0.0 |
| 16 | V | 0 | 2 | 0.0 |
| 17 | R | 930 | 2 | 129.0 |
| 18 | V | 0 | 2 | 0.0 |
| 19 | V | 0 | 2 | 0.0 |

Figura 18.- Ventana de información sobre la distribución de segmentos

- *Segmentos.* Muestra una lista de todos los segmentos que constituyen la red de carreteras, indicando su tipo, real o virtual, el identificador de la cámara asociada, si existe, y la carretera y punto kilométrico donde se localizan. (figura 18)

VIII.4.2.3 Configuración del sistema

Para tareas de configuración de los parámetros generales del sistema, debemos pulsar el botón derecho del ratón sobre el fondo de la ventana principal. Al realizar esta operación aparece una ventana que permite el acceso a las siguientes configuraciones:

VIII.4.2.3.1 Procesos

La configuración de procesos es excluyente, eliminando la opción elegida todas las que están por debajo (figura 19).



Figura 19.- Ventana de configuración de procesos

- *Segmentos Reales:* Con sólo esta opción activada, el sistema sólo procesa los segmentos en los que hay instalado un módulo MLP. El SCP no realiza operaciones sobre los segmentos.
- *Segmentos Virtuales:* El SCP procesa toda la carretera, haciendo una estimación de los valores de los segmentos que no poseen módulos de visión, pero únicamente aplica las reglas y algoritmos definidos en el MAE (ver capítulo VI).
- *Análisis Temporal:* habilita el proceso del sistema que realiza un análisis temporal de la carretera, de tal forma que para los cálculos del sistema se tienen en cuenta los datos de estados anteriores. Corresponde a los algoritmos y reglas definidos en VII.2.

- *Seguimiento de Incidentes*: Al seleccionar esta opción el sistema hace un seguimiento de los incidentes determinando si son consecuencia de un incidente anterior o son incidentes nuevos (ver VII.3).
- *Gestión de Alarmas*: Activa el proceso de cálculo del nivel de alarma y las diferentes respuestas del sistema (ver VII.4).

Las opciones de *corrección de flujo* y *corrección en la velocidad* deben estar siempre activadas, y sirven para aplicar los algoritmos de comprobación y corrección de dichas variables (ver capítulo IV).

VIII.4.2.3.2 Alarmas

La *configuración de las alarmas* establece los umbrales en que se dispara cada uno de los avisos (cambio de color, aparición de ventana de alarma o señal sonora) que produce el sistema con respecto al nivel de alarma de un determinado incidente (ver punto VII.4) (figura 20).

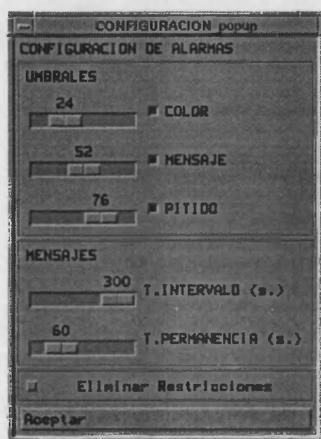


Figura 20.- Ventana de configuración de alarmas.

El *tiempo de intervalo* es el tiempo que tarda el sistema en volver a presentar un mensaje de incidente (ver figura 21) después de haber sido desactivada la alarma por el operador en el caso de que esta perdure en el tiempo.

El *tiempo de permanencia* es el tiempo que el sistema mantiene un mensaje de alarma.

El botón de *Eliminar restricciones* permite eliminar todas las restricciones que el operador haya establecido en cualquier segmento de la carretera respecto al aviso de una alarma.



Figura 21. - Mensaje de alarma.

VIII.4.2.3.3 Incidentes

Este menú permite modificar los pesos de las variables que se emplean en el cálculo del nivel de alarma (ver figura 22).

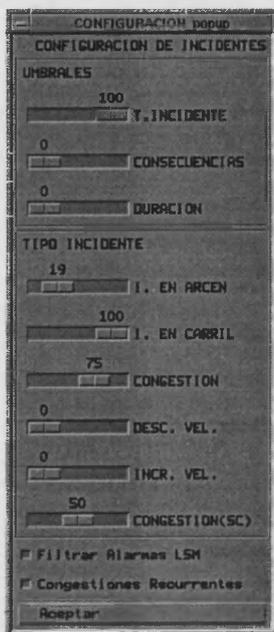


Figura 22.- Ventana de configuración de incidentes

El grupo de *UMBRALES* permite establecer el valor del peso que sobre el nivel de alarma tiene el tipo de incidente, sus consecuencias y su duración.

En *Tipo de Incidente*, se determina que tipo de incidente tiene mayor peso respecto a los otros.

La opción *filtrar alarmas del LSM*, activa los filtros que posibilitan el eliminar falsas alarmas producidas por los analizadores, o modificar el tipo de alarma en función a parámetros externos.

La opción de *congestiones recurrentes* permite que los estados de congestión (Baja o Alta) sean considerados por el sistema como un incidente y tratado como tal. Si está desactivada, solo producirá alarmas de congestión cuando un MLP detecte dicha alarma, independientemente del nivel de servicio del segmento.

VIII.4.2.3.4 Velocidad

Este menú (ver figura 23) permite modificar los valores definidos para la velocidad en la estimación del nivel de servicio de un segmento. Recordemos (capítulo V) que hemos definido tres tipos de carreteras: Autovía, Multicarril y Único carril. La selección del tipo de carretera muestra los umbrales predefinidos para distintos tramos: Velocidad alta, Velocidad media y Velocidad baja.

El valor máximo permitido para cada umbral es de 120 y siempre está limitado por el valor de la escala superior, que no puede sobrepasar en ningún momento.



Figura 23.- Ventana de configuración de velocidades.

VIII.4.2.3.5 Ocupación

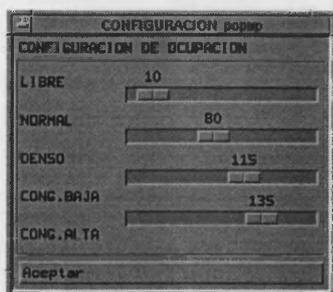


Figura 24. Ventana de configuración de la ocupación

El otro parámetro empleado en el cálculo del nivel de servicio es la ocupación espacial. A diferencia del caso de la velocidad, la ocupación es independiente del tipo de carretera y la velocidad de diseño, por lo que sólo existe un grupo de umbrales.

El sistema establece una escala de 1 hasta 170, no permitiendo que un umbral sea superior al que tiene debajo (ver figura 24).

VIII.4.2.3.6 Colores

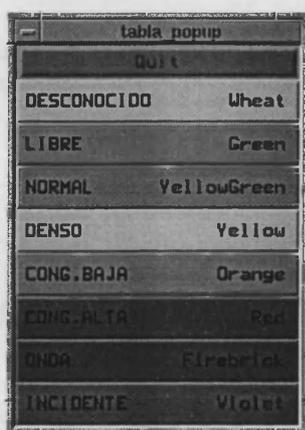


Figura 25.- Ventana con la selección de colores.

Dependiendo del CGT, existe un código de colores diferente y un número diferentes de niveles de servicio. Desde este menú (ver figura 25) podemos modificar el color asociado a cada nivel de servicio y agrupar estos mediante la asignación del mismo color a más de un estado. En el caso de la DGT, los colores empleados son los siguientes:

- Desconocido: Blanco.
- Libre: Verde.
- Normal: Verde.
- Denso: Amarillo.
- Congestión Baja: Rojo.
- Congestión Alta: Rojo.
- Incidente: Negro.

Para la modificación del color se pulsa sobre el color del estado a modificar, con lo que aparece toda la paleta de colores posibles, de la que se selecciona el nuevo color.

VIII.4.2.3.7 Carretera

En esta opción nos aparece el nombre y número con el que se identifican cada una de las carreteras que forman la red monitorizada por el sistema. Para variar algún dato hay que hacer doble clic con el botón de la izquierda del ratón sobre la línea a modificar (ver figura 26). Al realizar esta operación aparece una ventana de edición que permite hacer los cambios oportunos.

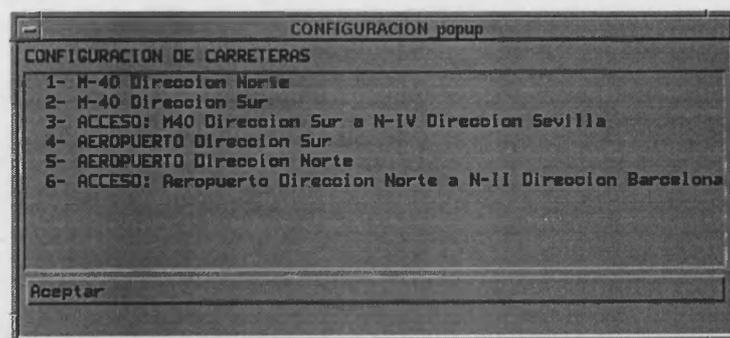


Figura 26.- Ventana de configuración de las carreteras.

VIII.4.2.3.8 Directorios

Permite la modificación de los directorios de trabajo (ver figura 27).



Figura 27.- Ventana de configuración de los directorios de trabajo.

- *Intefaz de usuario:* Contiene el directorio y el nombre del programa que debe ser ejecutado como interfaz gráfico. Si no se desea emplear ningún interfaz gráfico basta con poner como nombre del programa "NULL".
- *Fichero de salida:* Corresponda al directorio donde se almacenarán todos los datos históricos del sistema. Nótese que estos ficheros pueden ser empleados desde otros programas no ligados con un sistema de DAI.
- *Ficheros de imágenes:* Corresponde al directorio donde se guardan las imágenes con la máscara de configuración de cada MLP

VIII.4.2.4 Información dinámica de segmento.

Pulsando con el botón de la izquierda del ratón sobre un segmento de la carretera aparece una ventana con la información dinámica del segmento elegido (ver figura 28). Esta información se va actualizando automáticamente cada ciclo. El segmento queda remarcado con un recuadro negro.

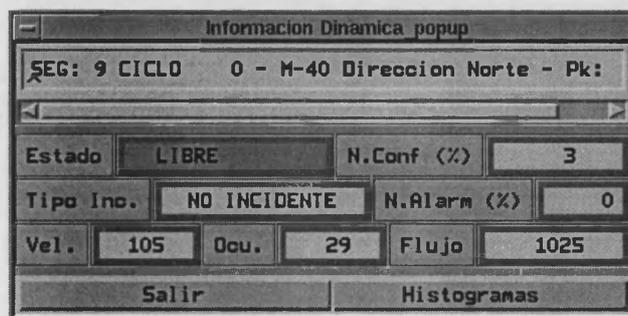


Figura 28.- Información dinámica de un segmento.

- En la línea de texto superior aparece el número de segmento, del ciclo de procesamiento al que pertenece la información (el ciclo 0 corresponde al más actualizado), la carretera donde se encuentra el segmento y el punto kilométrico de inicio del mismo.
- El resto de información que aparece corresponde a:
 - Nivel de servicio
 - Nivel de confianza
 - Tipo de incidente
 - Nivel de alarma
 - Datos de tráfico: Velocidad, Ocupación y Flujo

En la parte inferior derecha de la ventana existe el botón de histogramas, que permite representar los datos de tráfico en dicho segmento en la última hora de funcionamiento (ver figura 29).



Figura 29.- Ventana de histograma de datos.

VIII.4.2.5 Información estática de segmento

A esta información se accede pulsando el botón central del ratón sobre un segmento de la carretera (ver figura 30).

The figure shows a window titled "Informacion estatica popup" with a subtitle "SEG: 11 - M-40 Direccion Norte - Pk: 0.0". The window contains several fields for static information:

| | | | | | |
|-----------|--------------|------------|------|---------|---|
| Tip.Seg | VIRTUAL | Lon.Seg | 1991 | Num.Car | 3 |
| Num.LSM | NO | Num.Canara | NO | | |
| Carretera | MULTI CARRIL | Velocidad | ALTA | | |

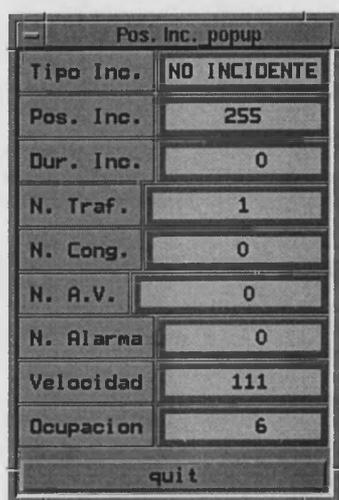
A "Salir" button is located at the bottom center of the window.

Figura 30.- Información estática de un segmento

La información que se muestra es la siguiente:

- Tipo de segmento
- Longitud del segmento
- Número de carriles
- Número del MLP y número de cámara asociada si existe
- Tipo de carretera (Autovía, multicarril, único carril) y tipo de tramo (velocidad alta, media o baja).

En el caso de que el segmento elegido sea un segmento real, la ventana posee otro botón que permite representar los datos obtenidos directamente del MLP (ver figura 31).



| Pos. Inc. popup | |
|-----------------|--------------|
| Tipo Inc. | NO INCIDENTE |
| Pos. Inc. | 255 |
| Dur. Inc. | 0 |
| N. Traf. | 1 |
| N. Cong. | 0 |
| N. A.V. | 0 |
| N. Alarma | 0 |
| Velocidad | 111 |
| Ocupacion | 6 |
| quit | |

Figura 31.- Datos de los MLPs

La información que presenta es:

- Tipo de incidente
- Posición del Incidente (arcén, carril principal ó 255 en el caso de que no exista incidente)
- Duración del incidente (en segundos)
- Nivel de tráfico (1 libre, 2 denso, 3 congestión)
- Nivel de congestión (0 no congestión, 1 congestión baja, 2 congestión media, 3 congestión alta)
- Nivel de confianza (0 a 100).
- Nivel de alarma (0 a 100)
- Velocidad media.
- Nivel de ocupación (0 a 100)

VIII.4.2.6 Configuración de segmentos

Con el botón derecho del ratón se accede a las ventanas para la configuración de los parámetros de segmentos, y para la restricción de alarmas.

VIII.4.2.6.1 Configuración de parámetros

La ventana de configuración de los segmentos puede verse en la figura 32. En esta ventana se pueden modificar los datos propios del segmento. Se puede aceptar los cambios o abandonarla, con lo cual no se tienen en cuenta los cambios efectuados en la ventana. Si el segmento se modifica, se actualizan automáticamente los ficheros de configuración del sistema.

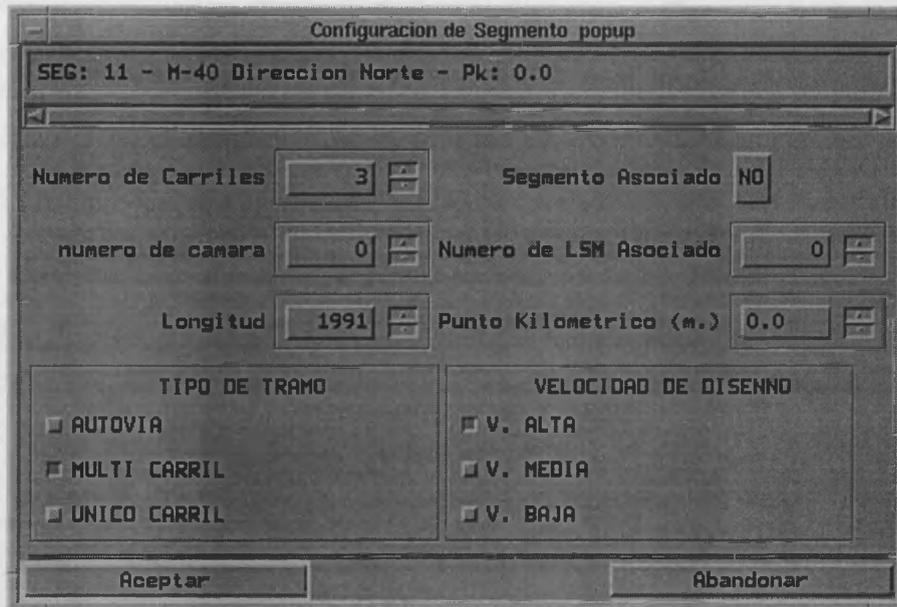


Figura 32.- Ventana de configuración de segmentos.

VIII.4.2.6.2 Restricción de alarmas



Figura 33.- Ventana para gestionar al restricción de alarmas

Esta opción permite habilitar o deshabilitar una o todas las respuestas que produce el sistema ante una alarma en un segmento dado (ver figura 33).

Podemos, igualmente, definir el tiempo en horas que va ha permanecer activa la restricción. En caso de no prefijar un valor de tiempo, ésta se mantiene hasta que es desactivada por el operador, mediante este menú, o cuando se anulan todas las restricciones existentes.

VIII.4.3 MODO DE REPRESENTACIÓN ESPACIO-TEMPORAL

El entorno de trabajo (ver figura 34) se caracteriza por que la ventana gráfica muestra una representación lineal de la evolución histórica de una carretera. Esta representación tiene un alcance máximo en los ciclos correspondientes a una hora de funcionamiento, esto es 240 ciclos. La información de esta pantalla se va actualizando de forma dinámica cada ciclo de procesamiento, pasando a almacenarse en disco una vez sobrepasado el umbral de la hora.

Como en el caso de la representación de red, el área de texto ha sido dividida en dos ventanas. En la izquierda se presentan los mensajes debidos a incidentes, mientras que en la de la derecha aparece información sobre el funcionamiento y estado del sistema.

En este entorno de trabajo únicamente está activa el área de los segmentos, correspondiente a la ventana gráfica.

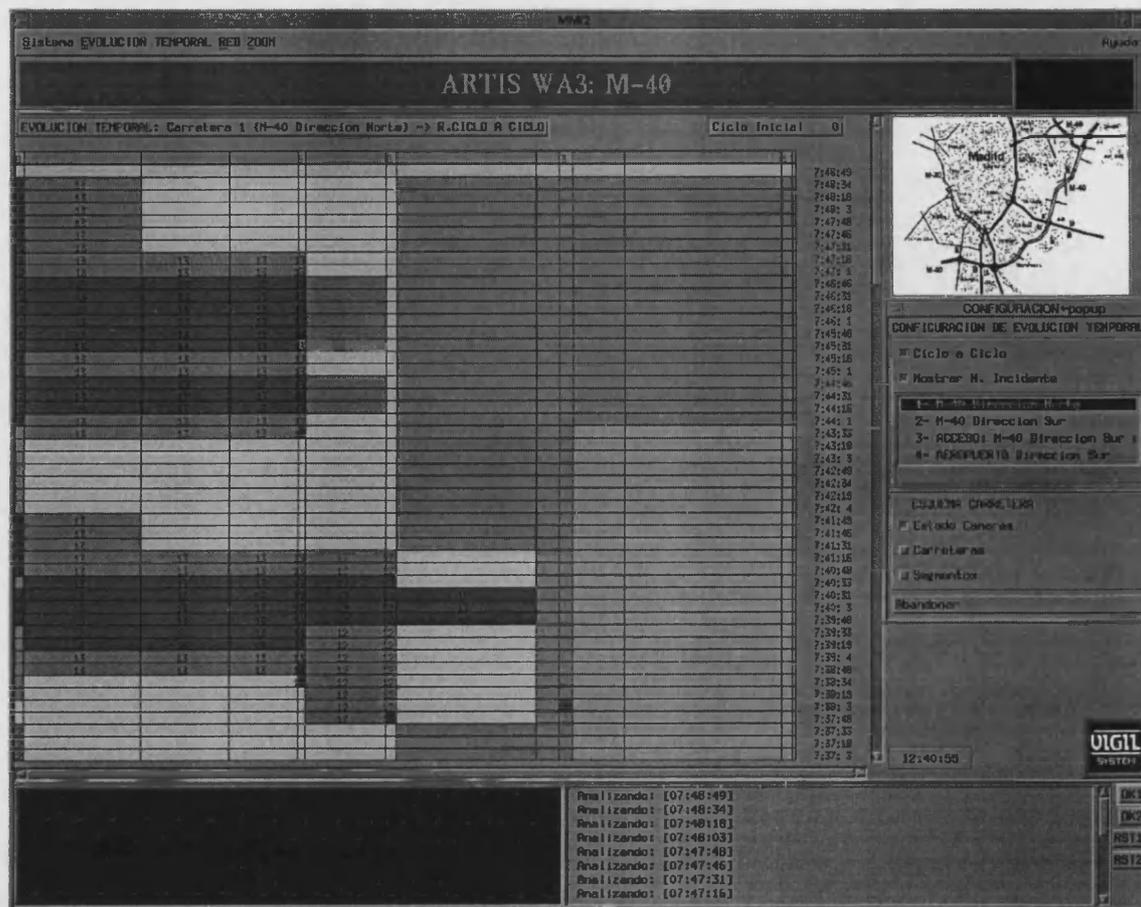


Figura 34.- Representación de la evolución de la red.

VIII.4.3.1 Información dinámica del segmento.

Al pulsar con el botón izquierdo del ratón sobre uno de los segmentos, y únicamente en la representación ciclo a ciclo (ver el punto VIII.4.3.3), aparece la ventana de la figura 28, con los datos dinámicos correspondientes a dicho segmento en el ciclo seleccionado.

VIII.4.3.2 Información estática del segmento.

El botón central del ratón sólo está activo cuando el segmento seleccionado tiene asociado una alarma, es decir, cuando existe o existía un incidente en dicho segmento. Al pulsar el botón, aparece una ventana (ver figura 35) que muestra las distintas fases del incidente.

| Información Incidentes DataCubo+popup | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------|-----|-------------|----------|-------------|-------------|---------|------|-----------|----------|------|
| INFORMACION DE INCIDENTE | | | | | | | | | | | |
| H. INICIO | DURA | N.A | T. INCIDEN | ESTADO | FASE | SUBFASE | V.MEDIA | CON. | SEG.FINAL | EVOLU. | |
| 07:27:48 | 15 | 7 | -CONG.(SC)- | -INCID.- | -DETECCION- | -ESTATICO- | NULL | NULL | 17 | -DENSO- | -NO- |
| 07:28:03 | 45 | 7 | -CONG.(SC)- | -INCID.- | -ESTATICA- | -ESTATICO- | 0.0 | 0 | 17 | -DESCON- | -NO- |
| 07:28:48 | 15 | 7 | -CONG.(SC)- | -INCID.- | -ESTATICA- | -CRECIENTE- | 110.0 | 5 | 18 | -DESCON- | -SI- |

Abandonar

Figura 35- Ventana con las descripción de las fases de un incidente.

Esta selección es valida tanto si el incidente permanece activo, como si ya se ha solucionado.

VIII.4.3.3 Configuración del modo de representación.

Las opciones de configuración de este modo de representación se obtienen pulsando el botón derecho del ratón sobre la pantalla gráfica. Nos aparece la ventana de la figura 36, en la que podemos seleccionar las siguientes opciones

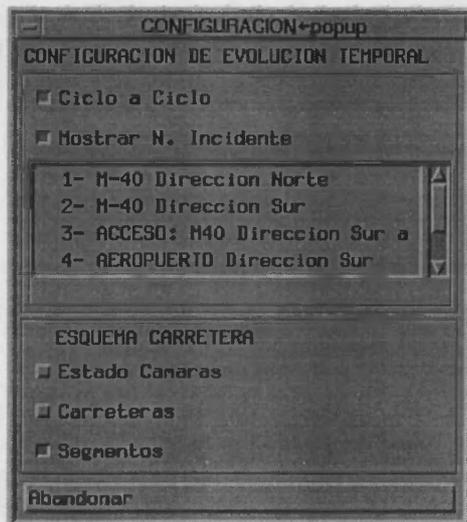


Figura 36.- Ventana de configuración de la evolución temporal.

- *Periodo de integración de datos.* Si mantenemos activada la opción ciclo a ciclo, cada fila corresponderá a un ciclo de procesamiento, mientras que si está desactivada se mostrará toda la hora comprimida en periodos de 2 minutos. (Representamos el estado medio o si existe un incidente).
- *Mostrar N° incidente.* Superpone a cada segmento el número de incidente asociado. Sólo es válida en la representación ciclo a ciclo.
- *Carretera representada.* Aparece un cuadro con el nombre de todas las carreteras monitorizadas, y remarcada en negro la carretera seleccionada. Podemos seleccionar otra carretera pulsando con el ratón encima de ella. En la ventana de representación aparecerá resaltada la carretera seleccionada.
- *Esquema de carretera.* Permite seleccionar la información de referencia de la carretera que se muestra en la parte superior de la ventana gráfica, y que puede ser:
 - *Estado de la cámara.* Proporciona información sobre la posición de los segmentos reales y el estado de los MLPs.
 - *Carretera.* Corresponde al número y sentido de la carretera representada.
 - *Segmento.* Proporciona el número de segmento y tipo.

VIII.5. CONCLUSIÓN

A modo de conclusión de este capítulo, y realizando una recopilación de las ideas plasmadas en el mismo, hemos de reafirmar que la prototipación del sistema la hemos realizado con componentes estándar, tanto a nivel de software como de hardware, tratando de emplear en la medida de lo posible elementos comerciales, lo más asequibles desde un punto de vista comercial.

Tanto el servidor de comunicaciones, como el interface gráfico, son dos módulos desarrollados exclusivamente para poder llevar a cabo los objetivos que nos propusimos en las diferentes pruebas piloto, y facilitar la integración del sistema, tanto en las infraestructuras existentes en los lugares de experimentación, como en la actividad diaria de los operadores.

CAPITULO IX ➤

CAPITULO IX

EVALUACIÓN DEL SISTEMA: PRUEBAS DE LABORATORIO Y PRUEBAS PILOTO.

IX.1. INTRODUCCIÓN

En los próximos tres capítulos vamos a describir las diferentes pruebas de campo, la metodología y los resultados que hemos obtenido durante la fase de evaluación del sistema. El presente primer capítulo de evaluación lo hemos dividido en dos partes: En la primera explicamos brevemente el tipo de pruebas de laboratorio que se realizaron durante la fase de prototipación de los sistemas, haciendo especial hincapié al caso del Sistema Central de Procesamiento; en la segunda, detallamos las pruebas de campo realizadas, describiendo las características principales de la zona donde instalamos el sistema, a nivel de condiciones de tráfico, infraestructura existente, arquitectura del sistema, plan de experimentación y objetivos de evaluación.

Tres fueron los lugares en donde hemos llevado a cabo la evaluación: alrededores de Amberes (Bélgica), accesos a Lion (Francia) y M-40 alrededor de Madrid (España), con la colaboración de distintas administraciones y entidades privadas. En su ejecución directa hemos participado un conjunto de centros de investigación de diferentes países, cada uno de los cuales ha sido el responsable de la ejecución de la prueba en su correspondiente país. Como ya comentamos en la introducción, parte de la investigación que hemos realizado y que presentamos en este trabajo, ha sido realizada en paralelo con proyectos de I+D de la UE, y como tal colaboración conjunta, el sistema final que hemos evaluado ha incluido elementos desarrollados por diferentes entidades. Esto es, estaba constituido por el Módulo Local de Procesamiento desarrollado por el INRETS, y VELEC, y el Sistema Central de Procesamiento desarrollado por nosotros. Por otro lado, hemos de admitir que en las fechas en que comenzamos con la evaluación, nuestro MLP no tenía la madurez del sistema francés.

IX.2. PRUEBAS DE LABORATORIO

En el desarrollo de los diferentes módulos hemos ido realizando un conjunto de pruebas de laboratorio para ir evaluando y perfeccionando las potencialidades de cada sistema. Durante esta fase de comprobación y mejora del funcionamiento de los sistemas, no llevamos a cabo un registro exhaustivo de los experimentos realizados, puesto que el principal objetivo de los mismos era poner de manifiesto aquellos comportamientos que no se ajustaban al modelo teórico que habíamos planteado, y ajustar el modelo a dichas situaciones.

En este sentido, aunque vamos a describir brevemente como realizamos estas pruebas, los resultados obtenidos no los hemos tenido en consideración en el capítulo XI donde se detallan los resultados de las pruebas piloto.

IX.2.1 PRUEBA DE LOS MLPs

Las pruebas de los MLPs las realizamos empleando cintas pre-grabadas en instalaciones de CCTV ya existentes, con la única restricción de mantener fija la cámara durante el periodo de grabación. Estas cintas se grabaron en diferentes condiciones de luminosidad, tráfico y posición de las cámaras para tener un rango lo más amplio posible de condiciones reales.

Las limitaciones que presentaban las pruebas de laboratorio de los MLPs, es que estos no podían ser evaluados durante más de 4 horas seguidas, puesto que la duración de las cintas no era mayor y que la mayor parte de incidentes registrados en las cintas correspondían a vehículos parados en el arcén y congestiones de tráfico. En el apartado de resultados del MLP del capítulo XI, haremos mención a los resultados obtenidos en este tipo de pruebas por parte de nuestro desarrollo.

IX.2.2 PRUEBA DEL SCP.

A diferencia de los MLPs, que podían ser evaluados de forma sencilla en el laboratorio en condiciones similares a las reales, no pudimos hacer lo mismo con el SCP. Este está diseñado para trabajar con un gran número de MLPs localizados a lo largo de una red de carreteras, sólo en estas condiciones, el SCP puede aplicar sus filtros para la eliminación de falsas alarmas, llevar a cabo los procesos de seguimiento espacial y temporal de los incidentes y realizar una gestión de alarmas adecuada.

Como no nos fue posible encontrar una instalación con el equipamiento y la infraestructura adecuada durante la fase de prototipación del sistema tuvimos que evaluar el SCP mediante el empleo de programas de simulación, que reprodujesen, lo más aproximadamente posible la información proporcionada por los MLPs (test de simulación) y mediante el empleo de 2 MLPs y la reproducción de cintas grabadas con incidentes (test de vídeo).

IX.2.2.1 Pruebas de simulación.

El primer paso para decidir cual era el simulador más apropiado fue definir los datos que deseábamos nos proporcionara el simulador. Fue imposible encontrar un software de investigación o comercial, que nos reprodujera toda la información obtenida por un MLP. Por otro lado, está la dificultad de la propia filosofía de trabajo del SCP, basada en la división de la red de carreteras en segmentos de diferentes tamaños (ver capítulo V) que corresponden con la unidad mínima y que pueden estar asociados a un MLP, constituyendo un segmento real, o a una sección entre dos MLPs, constituyendo un segmento virtual. Necesitábamos, por tanto, un simulador capaz de dividir la carretera en segmentos y de proveer información de tráfico por cada uno de ellos. La elección tenía que recaer en un simulador macroscópico, ya que además, otro de los requisitos importantes que debía de poseer era su capacidad para reproducir incidentes en cualquier punto de la red.

Después de comparara las características de varios simuladores macroscópicos existentes decidimos trabajar con "METANET" [Papageorgiou, 90] ya que además de ser el que mejor se adaptaba a nuestras necesidades tenía la ventaja de que era fácil de usar.

IX.2.2.1.1 Simulación con METANET.

Cuatro son los pasos que hay que seguir para realizar una simulación de tráfico con el programa METANET.

1. *Definición de las características geográficas de la red.* Estas tenían que coincidir con las de la red implementada en el SCP, para poder emplear posteriormente los resultados. En el punto V.2.2 ya describimos con más detalle la metodología necesaria para adaptar la descripción de METANET a la descripción de nuestro sistema. Estas características son:
 - Longitud de la carretera.
 - Número de segmentos de cada carretera.
 - Parámetros físicos de la carretera.
 - Conexión entre carreteras (nodos).
 - Coordenadas geográficas de cada nodo.
2. *Definición de las características del tráfico.* Hay que definir la situación inicial de la red, las variaciones de comportamiento del flujo durante el periodo de simulación en los puntos de entrada y salida, la tendencia del tráfico en cada bifurcación (a modo del porcentaje de vehículos que optan por un camino u otro) y la variación de esta tendencia durante la simulación.
3. *Definición de los incidentes.* La presencia de un incidente en la red se simula en METANET como una restricción en la capacidad de la zona donde se produce el incidente. La información necesaria para describir un incidente es:
 - Hora de inicio.
 - Hora de finalización.
 - Posición en la carretera (número y punto kilométrico).
 - Porcentaje de reducción de capacidad que produce.
4. *Definición del periodo de simulación y de los datos de salida.* El último paso antes de ejecutar la simulación consiste en definir la duración de la simulación, la frecuencia entre cada ciclo de simulación, y la frecuencia de los datos de salida, que siempre tiene que ser un múltiplo de la frecuencia de simulación.

Una vez definidas las condiciones de simulación, se procede a ejecutar el programa, obteniendo como resultado un fichero con las condiciones de tráfico (flujo, velocidad y densidad) en cada uno de los segmentos de la red y para cada intervalo de salida.

IX.2.2.1.2 Correspondencia entre los datos de METANET y los datos de los MLPs.

Después de obtener la simulación de la red, hemos de establecer primeramente una correlación entre los segmentos de METANET y los del SCP (descrita adecuadamente en el punto IV.2.2), y en segundo lugar, hemos de adaptar los datos proporcionados por METANET al formato empleado por el SCP. Seis son los datos básicos que necesita el SCP para que podamos evaluar su funcionamiento interno, a partir de ficheros de simulación:

- Tipo de incidente.
- Nivel de confianza.
- Gravedad del incidente

- Velocidad media.
- Densidad espacial.
- Flujo

De esta relación, sólo los cuatro últimos son proporcionados, de forma directa por METANET. Con respecto a los restantes, el tipo de incidente se resuelve considerando la gravedad del incidente proporcional a la restricción de capacidad que este produce sobre la vía, y respecto al nivel de confianza, decidimos fijarlo uniforme a todos los segmentos y con un valor fijo de 100 %. El tipo de incidente lo obtenemos en función de la gravedad del incidente y las condiciones de tráfico, para lo que establecimos las relaciones de la tabla 1:

| INCIDENTE | RESTRICCIÓN | VELOCIDAD |
|--------------------|-------------|-----------|
| Veh. parado arcén | < 5 % | > 50 km/h |
| Veh. parado carril | > 5 % | > 50 km/h |
| Veh. parado cong. | > 5 % | < 50 km/h |

Tabla 1.- Relación entre el tipo de incidente y las condiciones de simulación.

Teniendo en cuenta las correspondencias anteriores, creamos, mediante un programa especialmente diseñado para ello, un fichero que combina los seis datos anteriores, adecuadamente convertidos, tanto para cada segmento del SCP como para cada ciclo de procesamiento. Este fichero se usó como fuente de entrada para la evaluación del sistema central de procesamiento.

IX.2.2.1.3 Simulación del SCP.

El proceso para comprobar el funcionamiento del SCP consistió en sustituir el módulo que se encargaba de obtener los datos de los MLPs del servidor de comunicaciones (ver capítulo VIII), por otro módulo que leyese dichos datos del fichero de simulación creado a tal efecto.

Hemos de remarcar que, aunque en el fichero de entrada estaban almacenados tanto los datos correspondiente a los segmentos reales como a los virtuales, el módulo de simulación leía únicamente los primeros, ya que los virtuales no se encuentran asociados a ningún tipo de fuente exterior de datos.

IX.2.2.1.4 Pruebas realizados.

Llevamos a cabo dos tipos de test sobre el SCP:

- *Test con una sola carretera.* Se definía una sola carretera, sin puntos de bifurcación, ni rampas de entrada o salida, de modo que cada segmento estaba ligado a un sólo segmento anterior y posterior.
- *Test con cruces de carreteras.* Se definía una red de carreteras, con varios puntos de unión entre ellas. En este caso, existían varios segmentos pertenecientes a más de una carretera.

La figura 1 muestra un ejemplo con los diferentes tipos de carretera.

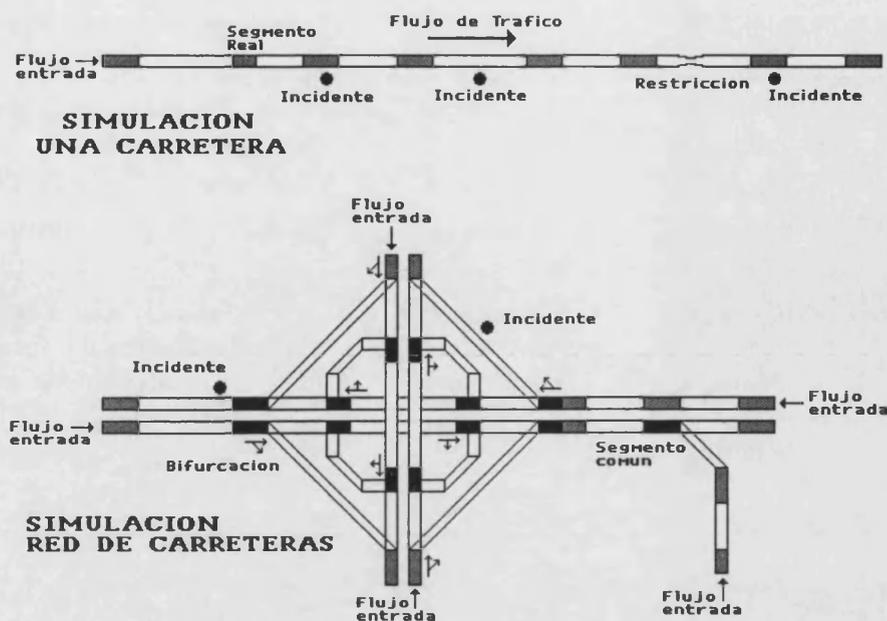


Figura 1.- Tipos de simulación aplicadas al SCP.

Test con una sola carretera.

Los principales aspectos que evaluamos con este tipo de configuración fueron:

- Las reglas para la definición del nivel de servicio en los segmentos virtuales (definidas en el capítulo VI).
- Las reglas para el seguimiento espacial y temporal de los incidentes (definidas en el capítulo VII).
- Las reglas para la descripción del incidente (definidas en el capítulo VII).

Para evaluar las reglas del primero y segundo grupo, creamos un fichero de salida semejante al empleado como fichero de entrada, y comparábamos los valores de los segmentos virtuales obtenidos por cada uno de los sistemas. Para el tercer grupo, la evaluación la tuvimos que realizar mediante el análisis por un experto de las descripciones proporcionadas y los datos con las que se obtuvieron.

Seis fueron los parámetros que combinamos en la creación de los ficheros de entrada, obteniendo un rango de situaciones críticas que nos permitió el estudio del comportamiento del sistema dentro de las limitaciones del simulador (ver tabla 2):

- Flujo de entrada: Corresponde al número de vehículos que entran en la carretera simulada. Reprodujimos situaciones desde muy poco flujo a flujos muy elevados. Combinamos flujos de 1000, 2000 y 3000 veh/km/h.
- Capacidad de la carretera: Corresponde al número máximo de vehículos que pueden circular por la carretera sin producir situaciones de congestión. Trabajamos con diferentes tipos de carreteras. Combinamos capacidades de 10, 33 (capacidad crítica), 60, 100 y 170.

- Localización de los incidentes. Situamos los incidentes tanto sobre segmentos reales como sobre virtuales. (Se localizaron cerca de las entradas, salidas y en mitad de tramos largos).
- Severidad del incidente: Corresponde a la reducción de capacidad producida sobre la vía por el incidente. Representamos incidentes de diferentes restricciones en la carretera. Combinamos valores de 25, 50, 75 y 100 %.
- Duración del incidente: Trabajamos con distintos tiempos de permanencia del incidente, combinando valores de 10, 20 y 30 minutos.
- Número de incidentes presentes. Reprodujimos situaciones en las que se sucedían varios incidentes en diferentes localizaciones de forma casi simultánea. Esta combinación fue muy útil para comprobar las reglas de seguimiento de incidentes. Combinamos incidentes desde 1 a 4 simultáneamente.

| | PARÁMETRO | RANGO |
|--------------------------|-------------------------|--|
| Simulación tráfico | Flujo de entrada | 1000, 2000 o 3000 veh/km/h |
| | Capacidad | 10, 33, 60, 100, 170 veh/km |
| Simulación incidentes | Localización incidentes | Entradas (<500 m), Salidas (<500 m), en medio. |
| | Severidad incidente | 25, 50, 75 y 100 % |
| | Duración incidente | 10, 20 y 30 minutos. |
| | Nº incidentes | 1, 2, 3 y 4. |

Tabla 2.- Combinación de elementos empleados en la creación de ficheros de simulación.

Creamos en total unos 240 ficheros de simulación con una duración entre 5 y 10 minutos, combinando los factores anteriores. No simulamos todas las combinaciones posibles, sino que comenzamos con aquellas más restrictivas, es decir, las que presentaban alguna condición de tráfico más extrema, de manera que si no producían consecuencias notables, no creábamos las combinaciones con valores menos extremos puesto que sus consecuencias eran menores.

Desde un punto de vista de evaluación del sistema, muchos de los ficheros de simulación creados eran analíticamente iguales, produciendo respuestas del análogas, por lo que el número de combinaciones que empleamos en el punto siguiente fue menor.

Test con cruces de carreteras.

Los principales aspectos que evaluamos con estos test fueron:

- Reglas para el filtrado de falsas alarmas (definidas en el capítulo V y VI).
- Reglas para la estimación del nivel de servicio de segmentos virtuales en bifurcaciones (definidas en el capítulo V)
- Reglas para el seguimiento de incidentes a través de accesos e intersecciones (definidas en el capítulo VI).

La metodología que empleamos para comprobar el funcionamiento de estas reglas fue un poco diferente al caso anterior, ya que consistió en ir ejecutando paso a paso el SCP bajo simulación, verificando que todos los estados de la red eran coherentes y que no

aparecían falsas alarmas. Cuando detectamos una situación errónea paramos el programa y analizamos las condiciones existentes para detectar causa del error en la aplicación de la regla.

Como en el caso anterior creamos un conjunto de ficheros de simulación abarcando un amplio rango de situaciones, a las que incluimos un nuevo factor:

- Proporción de flujos de bifurcación. Corresponden al porcentaje de vehículos que escogen un camino u otro cuando llegan a un punto de bifurcación. De acuerdo con este factor, las consecuencias de un incidente se propagan de forma diferente sobre una carretera u otra. Utilizamos combinaciones desde un 5 % a un 15 %, respecto a entradas y salidas de carreteras principales (5, 10 y 15) y entre un 30 a un 70 % entre carreteras principales (30, 40, 50, 60, y 70).

El número de ficheros creados en este caso fue de 80, y en su confección empleamos únicamente aquellos valores de la tabla 2, que producían situaciones más conflictivas y analíticamente más complicadas.

IX.2.2.2 Pruebas con cintas de vídeo

Las pruebas del SCP mediante vídeo las realizamos usando dos MLPs conectados a un servidor de comunicaciones vía RS232 y este, a su vez, al SCP también vía RS232, tal como muestra la figura 2. Los MLPs empleaban las imágenes proporcionadas por dos videos, siendo su salida visualizada en dos monitores.

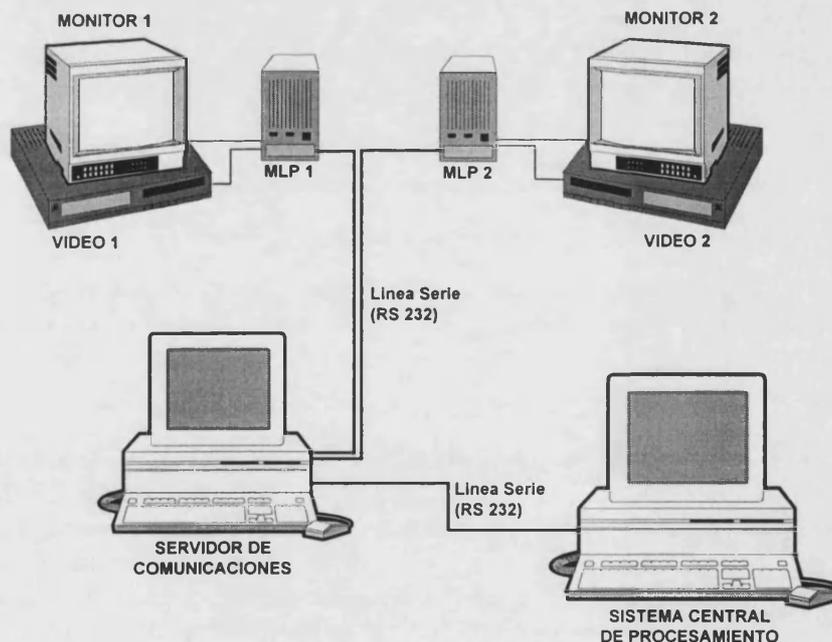


Figura 2.- Estructura de las pruebas con vídeo del SCP.

Usando el prototipo anterior realizamos un conjunto de test dirigidos especialmente a evaluar la conducta del SCP cuando recibe datos reales de MLPs. Los siguientes aspectos fueron estudiados:

- Identificación de incidentes en segmentos reales (definido en el capítulo VI)
- Detección de incidentes en segmentos virtuales (definido en el capítulo VI).

- Reglas para el cálculo del nivel de servicio en segmentos reales (definido en el capítulo VI).
- Reglas para el cálculo del nivel de servicio en segmentos virtuales (definido en el capítulo VI).

Las pruebas realizadas presentaban básicamente tres limitaciones respecto a una prueba en condiciones reales:

- No podíamos evaluar el sistema más de tres horas seguidas.
- Sólo podíamos analizar un segmento virtual, que además siempre debía de pertenecer a la carretera principal.
- La información proporcionada por el MLP siempre debíamos de considerarla como correcta.

En esta fase de comprobación mediante vídeo, empleamos 10 cintas de 4 horas de duración con diferentes situaciones de tráfico (fluido, denso y congestionado) e incidentes (vehículos parados en el arcén, y vehículos parados en congestión). Combinamos estas cintas con diferentes configuraciones del tramo (ver figura 3), en donde variábamos el número de segmentos virtuales existentes entre los reales, la distancia entre ellos, las características de los segmentos y los datos de los MLPs, para analizar su comportamiento en diferentes condiciones.

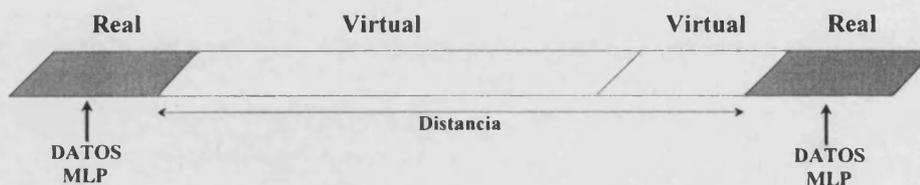


Figura 3.- Parámetros variables en las pruebas con vídeo.

IX.3. PRUEBAS DE CAMPO

Una vez concluida la fase de prototipación del sistema, durante la cual hemos realizado las pruebas de laboratorio pertinentes habiendo refinado el adecuado funcionamiento del mismo, pasamos a evaluar el sistema en condiciones reales mediante la ejecución de un conjunto de pruebas de campo.

Conviene resaltar, que estas pruebas no se pensaron con el único objetivo de probar un sistema de DAI, ya que su coste es obviamente muy elevado. En particular, las administraciones que son las propietarias de las infraestructuras auxiliares, asociaron a estas pruebas otros objetivos particulares que justifican el esfuerzo económico que ha permitido la ejecución de las pruebas que vamos a describir a continuación. Por otro lado, hay que señalar, que el diseño experimental se tuvo que hacer teniendo en cuenta las particularidades de cada instalación, lo que fue una restricción importante, comparado con los grados de libertad que tuvimos durante las pruebas de simulación y basadas en vídeo. Sin embargo, hemos tratado de mantener la máxima homogeneidad en las pruebas de campo, que pensamos que justifican el esfuerzo de carácter europeo llevado a cabo por la Comisión de la UE.

IX.3.1 PRUEBA PILOTO DE AMBERES.

IX.3.1.1 Localización e infraestructura existente.

La prueba piloto belga la realizamos sobre el anillo de circunvalación de Amberes (ver figura 4), bajo la financiación del proyecto INVAID y el Ministerio belga de transporte y la colaboración de la policía local de la ciudad de Amberes, encargada de la gestión del tráfico en dicha área. Este anillo tiene unos 45 km. y soporta un volumen de circulación de unos 120000 vehículos diarios (80000 coches y 40000 vehículos pesados).

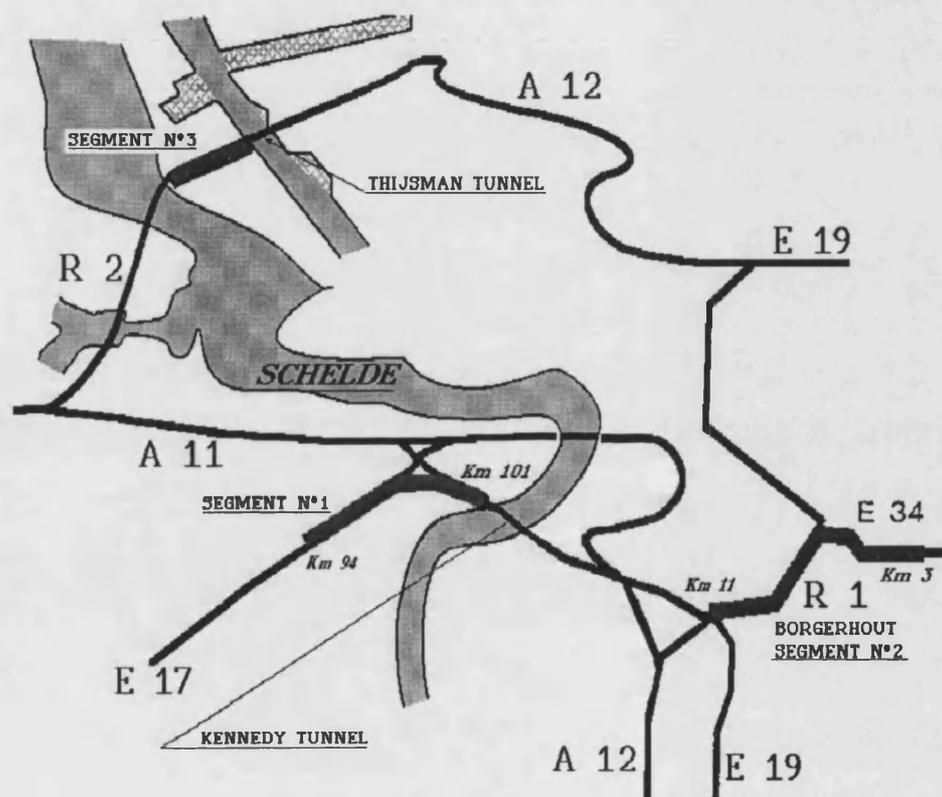


Figura 4.- Area de experimentación en Amberes.

IX.3.1.1.1 Congestion

La tabla 3 describe la evolución histórica de los retrasos acaecidos en esta zona durante los últimos cinco años, previos a 1991:

| AÑO | RETRASO (HORAS) |
|------|-----------------|
| 1986 | 399 |
| 1987 | 721 |
| 1988 | 1096 |
| 1989 | 890 |
| 1990 | 1196 |

Tabla 3.- Retraso en horas ocasionado en el anillo de circulación de Amberes

Los datos de la tabla sólo deben considerarse como una indicación acerca de los retrasos producidos, ya que éstos sólo se empezaban a medir, desde el momento en que la cola alcanza una longitud de al menos tres kilómetros, no teniéndose en cuenta las retenciones más pequeñas.

Hemos de hacer notar que en 1989 se abrió al tráfico un carril extra en una parte del anillo, por lo que ese año se redujeron sensiblemente los retrasos (en un 10%). Sin embargo, y debido a la evolución del tráfico, los retrasos de 1990 fueron incluso mayores que en 1988.

IX.3.1.1.2. Datos ambientales

Bélgica es una nación situada en Medio-Europa al lado del mar. Las condiciones meteorológicas son pues:

- de tipo oceánico, es decir, moderado y húmedo, con importantes lluvias.
- Ocasionalmente con nieblas muy espesas.

IX.3.1.1.3. Infraestructura existente

Estaciones de toma de datos (flujo y velocidad)

Existen instalados bucles electromagnéticos dobles y sencillos en todas las intersecciones y accesos del anillo, permitiéndonos obtener datos de flujo y velocidades en la red.

Cámaras de vídeo

Hay montadas un total de 209 cámaras de vídeo, distribuidas sobre 8 áreas geográficas. De las cuales 6 envían de forma simultánea 4 señales de vídeo al centro de control de tráfico mientras que el resto únicamente envían dos. La transmisión de la señal de vídeo se realiza mediante la utilización de cable coaxial y pares trenzados para cubrir pequeñas distancias, y fibra óptica para las largas. En el centro de control pueden seleccionarse y verse las señales de vídeo en un total de 24 monitores.

Teléfonos de emergencia

En la carretera existen situados teléfonos de emergencia espaciados cada 2 kilómetros. Estos teléfonos son atendidos por los operadores del centro de control, que toman las medidas oportunas en cada caso.

Sistemas de Paneles de Mensajes Variable (PMV)

Los PMV están limitados a las zonas de túneles, estando prevista la instalación de PMV cada 500 metros, aunque no dentro del periodo de la prueba.

Los mensajes de los Paneles de Mensajes Variables son decididos por la policía (operadores del centro de control) en base a la información visual recibida a través de las cámaras.

Red de transmisión de datos

La red de transmisión de datos es una red dedicada a través de cable telefónico y fibra óptica con protocolo IEC TC57.

IX.3.1.2 Descripción de la prueba

IX.3.1.2.1 Objetivos

Los principales objetivos que se pretendieron cubrir con esta prueba piloto fueron:

- Adaptabilidad del sistema a una instalación de vigilancia existente.
- Operabilidad del sistema dentro o cerca de un túnel.
- Repercusión de las condiciones meteorológicas, luminosas y de tráfico en el funcionamiento del sistema.
- Detección y localización de congestiones.
- Utilidad del sistema para producir datos (eventualmente para paneles de señales variables).
- Características y rendimientos del Sistema Central.
- Posibilidad de utilización del Sistema Central como interfaz entre las instalaciones existentes y el usuario.
- Uso del Sistema Central para la selección automática de las imágenes de las cámaras en el sistema de televisión existente.

Desde el punto de vista de los operadores del centro de control de tráfico dos son los objetivos básicas que debería de cubrir un sistema dentro del CGT:

- Ayudar a la policía en sus tareas de gestión y control de tráfico;
- Aportar un sensor para la detección automática de incidentes.

IX.3.1.2.2 Áreas de experimentación

Las prueba se realizaron en tres áreas caracterizadas por:

1. *Túnel Kennedy (42)*

Se caracteriza por presentar congestiones diarias en la intersección con la autovía E-17, de al menos 1½ horas, durante las horas punta de la mañana.

2. *Borgerhout (43)*

Presenta problemas de congestiones en la intersección con la autovía E-19, al menos unas 10 veces por semana, con duraciones de hasta dos horas en las horas punta de la mañana y la tarde.

Las congestiones tienen una extensión media de 7 kilómetros y suelen abarcar desde la E-34 hasta la R-1 por la mañana y desde la E-19 a la R-1 por la tarde. Estas congestiones son debidas principalmente a la saturación de entradas y salidas de tráfico en los accesos.

3. *Tijmanstunnel (44)*

A la entrada del túnel se forman congestiones diarias que duran más de media hora en las horas punta de la tarde.

Las congestiones llegan a alcanzar una media de 2 kilómetros de longitud y son debidas principalmente a la limitación de capacidad del túnel.

A partir de las cámaras disponibles en estas áreas de interés seleccionamos cuatro grupos de cámaras para la evaluación del SCP, como aparece en la tabla 4 (ver figura 5)

| Número Grupo | Número Sitio | Número Cámara | Número MLP | Nº segmento SCP | Descripción |
|--------------|---------------|---------------|------------|-----------------|-----------------------------|
| 1 | 42 | 13 | 0 | 0 | E-17 (Dirección Amberes) |
| | | 7 | 1 | 3 | E-17 (Dirección Amberes) |
| | | 2 | 2 | 8 | E-17 (Dirección Amberes) |
| | | 10 | 3 | 28 | Acceso R-7 hacia Amberes. |
| 2 | 42 | 3 | 0 | 19 | E-17 (Dirección Burch) |
| | | 5 | 1 | 22 | E-17 (Dirección Burch) |
| | | 10 | 2 | 35 | Acceso de Amberes hacia R-7 |
| | | 6 | 3 | 42 | Acceso de Amberes hacia R-6 |
| 3 | 42 (Túnel) | 2 | 0 | 8 | E-17 (Dirección Amberes) |
| | | 29 | 1 | 10 | E-17 (Dirección Amberes) |
| | | 31 | 2 | 12 | E-17 (Dirección Amberes) |
| | | 16 | 3 | 14 | E-17 (Dirección Amberes) |
| 4 | 42 | 7 | 0 | 3 | E-17 (Dirección Amberes) |
| | | 4 | 1 | 6 | E-17 (Dirección Amberes) |
| | | 10 | 2 | 28 | Acceso R-7 hacia Amberes |
| | | 6 | 3 | 36 | Acceso R-6 hacia Amberes |

Tabla 4.- Descripción de los grupos de trabajo.

Los criterios seguidos para el establecimiento de los grupos fueron:

- Que las cámaras cubrieran un área continua de carretera o las salidas y entradas de un cruce.
- Que se evitasen distancias entre cámaras superiores a un kilómetro.
- Que se procurase no alterar el normal uso de las instalaciones por parte de la policía.

IX.3.1.2.3. Arquitectura del sistema

La prueba piloto de Amberes estaba compuesta por cuatro MLPs conectados directamente a la entrada de señal de las cámaras para evitar el paso por la matriz de vídeo y de esa forma no interferir con las operaciones de la policía. La imagen pasaba por un multiplexor de vídeo para grabar la señal, antes y después de su procesado, para poder realizar una evaluación posterior de los datos recogidos. Las salidas de los cuatro detectores estaban conectadas al Sistema Central de Procesamiento, que se instaló en un PC-486 en la sala técnica del túnel Kennedy. El SCP estaba conectado con el servidor de comunicaciones a través de una línea RS232 para recibir los datos de los MLPs.

En la figura 6, puede verse la arquitectura del sistema en los centros de control. La instalación de Amberes estaba compuesta por los siguiente equipos:

- Propios del sistema de DAI:
 - 4 Módulo Locales de Procesamiento.
 - 2 Sistemas Centrales de Procesamiento (Uno local y el otro remoto).
 - 1 Servidor de comunicaciones.

- Para la evaluación del sistema:
 - 1 Multiplexor de vídeo.
 - 1 Vídeo de alta velocidad.
 - 1 Monitor de vídeo
- De la infraestructura existente empleados por el sistema:
 - 1 Matriz de control de vídeo.

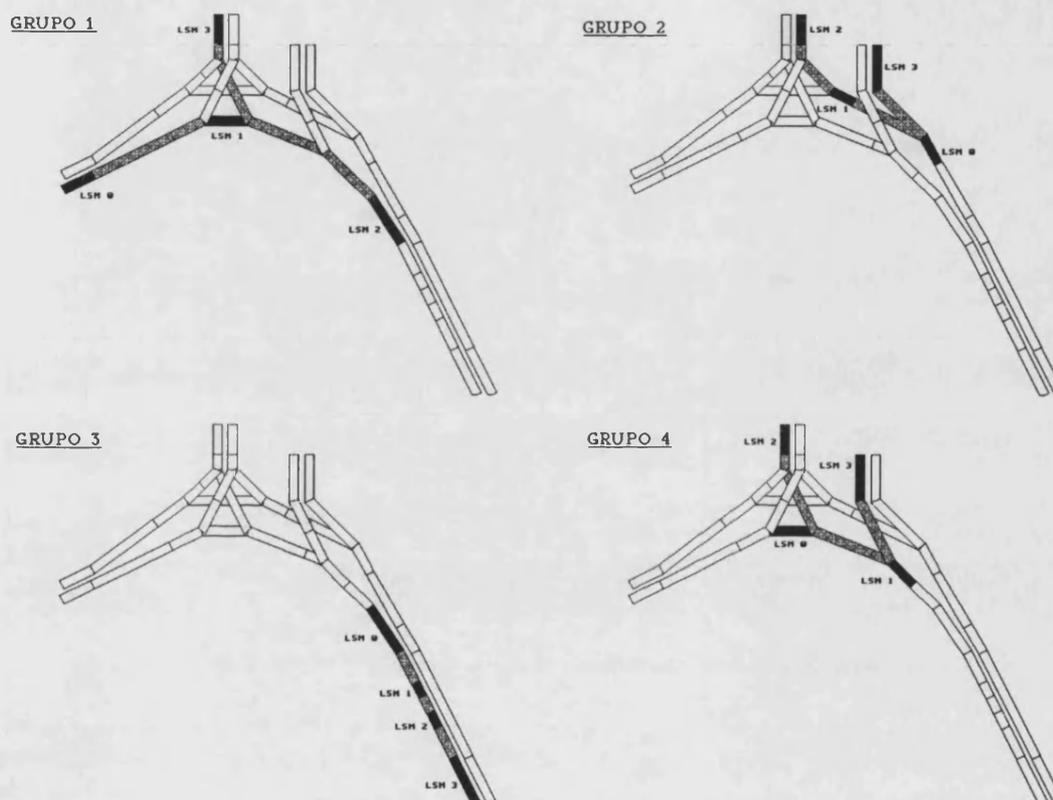


Figura 5.- Grupos de estudio

Estos equipos se instalaron en dos salas acondicionadas distantes 2 Km. La primera de ellas, que hemos denominado sala técnica, era un edificio dedicado a la instalación de equipos, situado al lado del túnel Kennedy, que contenía todas las matrices de recepción de vídeo y donde se recibían las imágenes de todas las cámaras. La disponibilidad de todas las señales de vídeo fue determinante a la hora de escoger el lugar más idóneo para la instalación de todos los equipos excepto el SCP remoto, puesto que nos permitía capturar las imágenes a la entrada de la matriz de control evitando interferir sobre la operación diaria de la sala de control.

Las señales de vídeo de las cámaras seleccionadas fueron separadas en dos ramas antes de su entrada en la matriz de vídeo. La primera rama se conectó a un multiplexor de vídeo y de este a un equipo de grabación de alta velocidad, con lo que se podía almacenar las imágenes de las 4 cámaras durante 24 horas en una cinta de 4 horas. La otra rama se conectó a la entrada de los MLPs (ver figura 6).

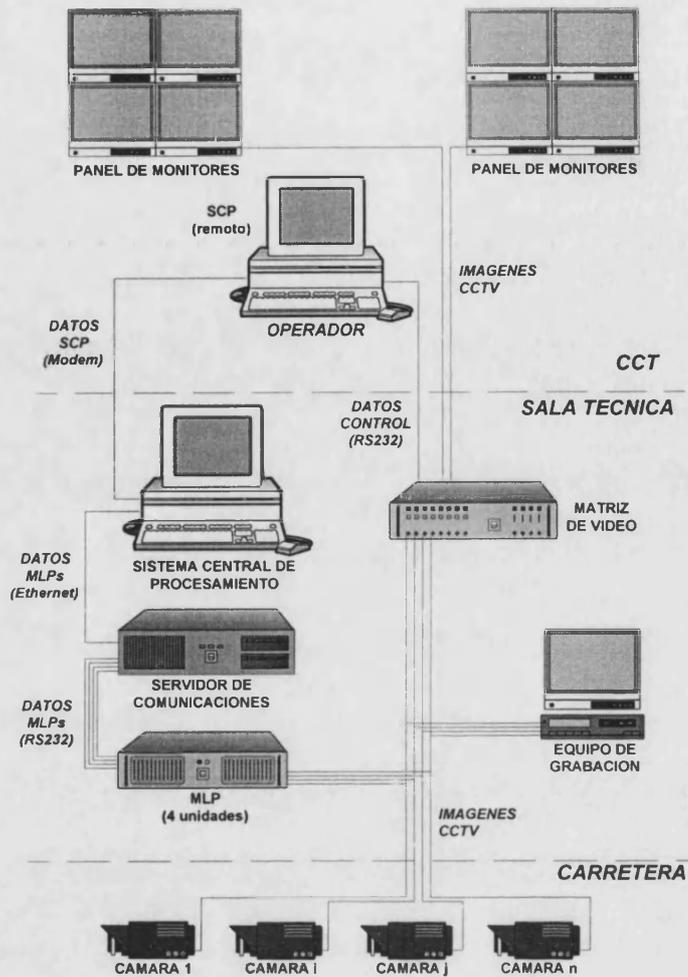


Figura 6: Arquitectura del sistema en la prueba piloto de Amberes.

El Sistema Central de Procesamiento también se instaló en la sala técnica, en su versión PC sobre un ordenador 486 a 33 MHz y estaba conectado a los MLPs a través de otro ordenador PC (386 a 33Mhz) que hacía las funciones de servidor de comunicaciones y de configurador de los MLPs. La comunicación entre el SCP y el servidor se realizó a través de una conexión de ethernet. La comunicación con los MLPs se realizó a través de 4 puertos RS232.

La segunda sala en donde se instalaron equipos fue el Centro de Control de Tráfico (CGT) encargado de la gestión de las áreas involucradas en el experimento. En dicho centro se instaló un SCP idéntico al de la sala técnica estando conectado con él a través de un módem. La función de este SCP remoto era la de reproducir el estado de tráfico calculado por el SCP local y los mensajes de las alarmas producidas para que el operador del CGT tuviese conocimiento de ellas (ver figura 7).



Figura 7.- Instalación del SCP remoto en el centro de control de Amberes

IX.3.2 PRUEBA PILOTO DE LION

IX.3.2.1 Localización e infraestructura existente

La prueba de Lion se llevó a cabo como parte de los experimentos incluidos en el proyecto MELYSSA, con la cofinanciación de AREA, empresa concesionaria de la autovía en donde se ejecuto la prueba. Esta zona pertenecen a la red de carreteras del área de Lion llamada CORALY y está situada al este de la ciudad, en la autovía A43 destino Ginebra (ver figura 8).

La prueba la realizamos sobre cuatro kilómetros y medio de dicha autopista en una zona bastante recta en la que existen tres puentes y dos enlaces. Destaca por una gran afluencia de tráfico (aproximadamente 100000 vehículos por día) presentando diariamente dos períodos especialmente críticos, a causa de las congestiones que se producen.

En el momento en que se realizó la prueba, la zona estaba muy poco equipada sin ninguna cámara ni panel PMV, aunque ya se había instalado un nuevo y potente equipamiento de fibra óptica para la transmisión de señales.

IX.3.2.2 Descripción de la prueba

Los objetivos planteados para esta prueba se centraron especialmente en la evaluación del Módulo Local de Procesamiento:

- Evaluación del funcionamiento de los MLPs durante periodo continuado.
- Optimización de los indicadores cualitativos y cuantitativos del sistema.
- Evaluación del “proceso de envío de mensajes al operador”.
- Evaluación de la metodología de procesamiento de imágenes empleada.

Desde el punto de vista del operador, los objetivos fundamentales de esta prueba fueron:

- Evaluación de una instalación óptima capaz de proporcionar un plan de cobertura total de detección automática de incidentes.

- Evaluación de la reacción del operador.

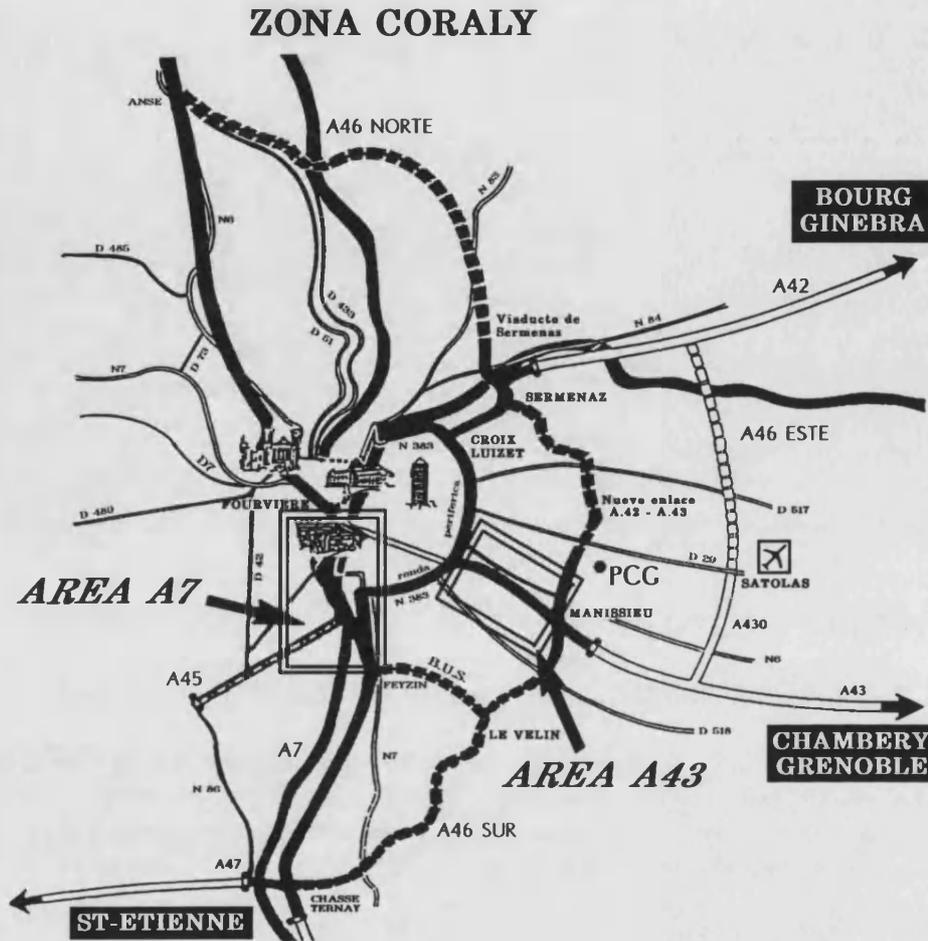


Figura 8: Zona Coraly en Lyon

IX.3.2.2.1 Arquitectura del sistema

Para la prueba de Lyon se instalaron un total de 16 cámaras fijas, dedicadas exclusivamente al experimento, que proporcionaban una cobertura total de la zona de estudio (ver figura 9).

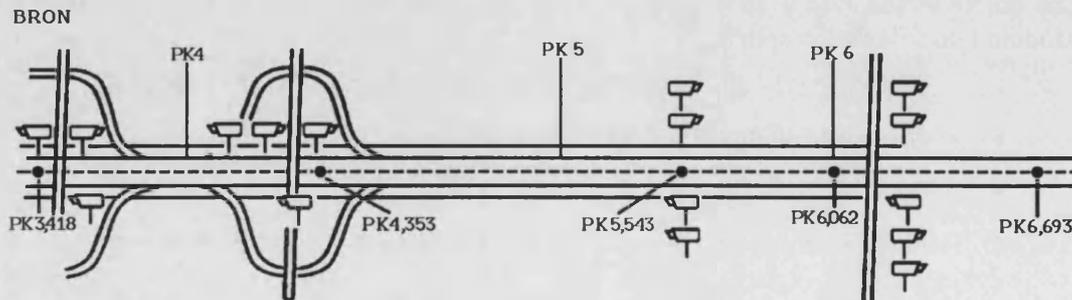


Figura 9: Prueba en la A43

La mayor parte de las cámaras se orientaron de cara al tráfico para, en primer lugar, minimizar el retraso en la detección, y en segundo lugar evitar en todo lo posible los efectos de solapamiento entre vehículos.

La señal de estas dieciséis cámaras fue transmitida al centro de gestión de tráfico (CGT) mediante un canal de fibra óptica.

En el CGT se habilitó una sala exclusiva para el experimento, en donde se instalaron todos los equipos, tal como muestra la figura 10 y donde se realizó todo el proceso de toma de datos y evaluación.

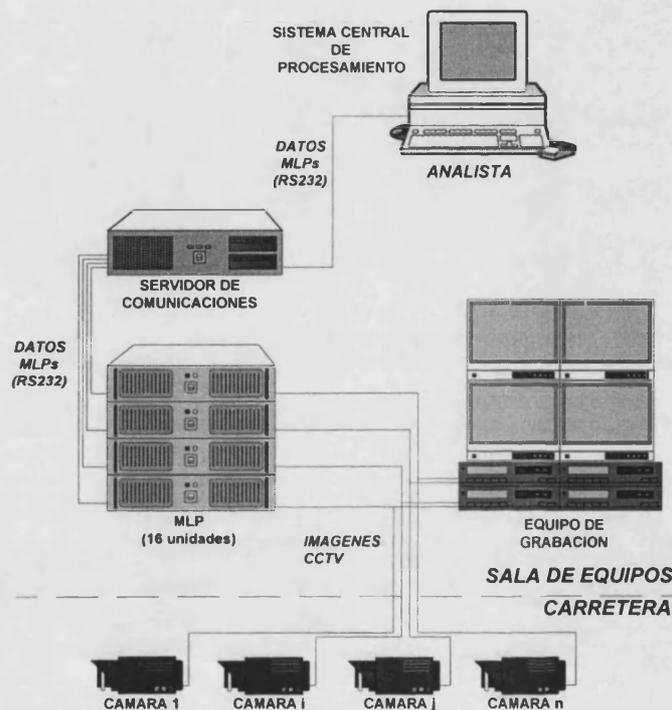


Figura 10.- Arquitectura de la prueba piloto de Lion

La instalación de Lion estaba compuesta por los siguientes equipos:

- Propios del sistema de DAI.
 - 16 Módulos Locales de Procesamiento.
 - 1 Sistema Central de Procesamiento.
 - 1 Servidor de comunicaciones.
- Para la evaluación del sistema.
 - 4 Multiplexores de vídeo.
 - 4 Vídeos de alta velocidad.
 - 4 Monitores de vídeo.

Como en el caso de Amberes, la señal de vídeo de cada cámara se conectó a un analizador y a uno de los vídeos. Los analizadores a su vez se conectaron al servidor de comunicaciones vía RS 232 (figura 11).



Figura 11.- MLPs y SCC en la sala de equipos de Lion.

El servidor estaba constituido por un ordenador PC 386, con dos placas de 8 puertos serie, y se comunicaba con el SCP mediante otra línea serie, conectada a uno de los dos puertos del PC. La versión del SCP que se instaló fue la versión UNIX, sobre una estación de trabajo HP-730 (figura 12).

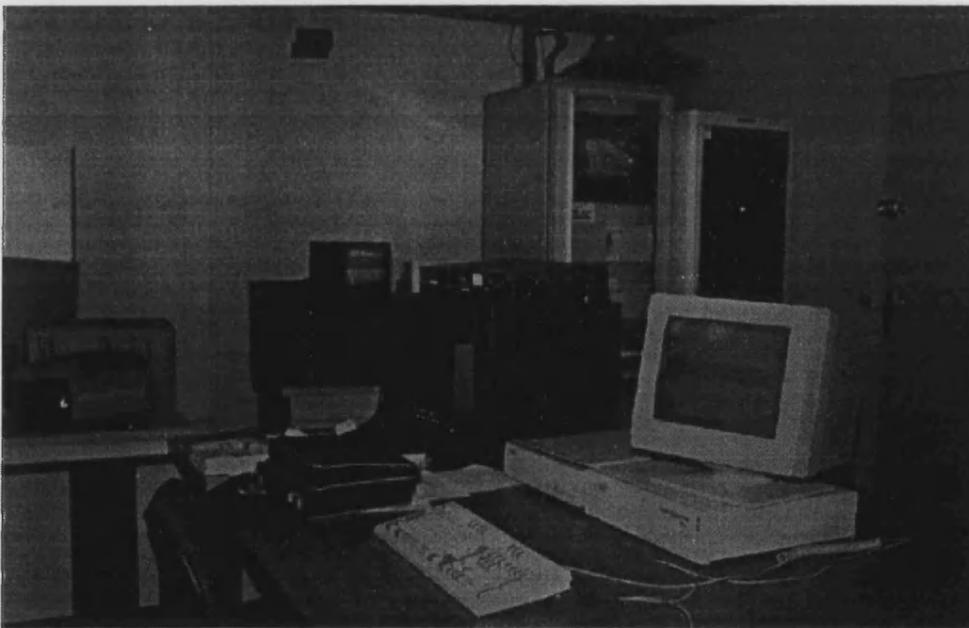


Figura 12.- SCP en la sala de equipos de Lion.

Para el proceso de evaluación se emplearon cuatro videos de alta velocidad que eran capaces de registrar, en forma de mosaico, las imágenes de cuatro señales consecutivas: ello permitió que se pudieran registrar en cintas de 4 horas los que había ocurrido durante 24 horas. Estas cintas fueron después analizadas manualmente por operadores para localizar los incidentes producidos.

IX.3.3 PRUEBA PILOTO DE MADRID

IX.3.3.1 Localización e infraestructura existente

IX.3.3.1.1 Descripción general

La prueba de Madrid se realizó dentro del entorno del proyecto Europeo ARTIS (“Advanced Road Traffic Informatics In Spain”), con la colaboración de la Dirección General de Tráfico (DGT) y constituyó la prueba más importante de las que se realizaron desde el punto de vista de infraestructura y extensión de la zona de estudio. Esta abarcaba una parte del corredor español que conecta Barcelona con Sevilla a través de Madrid, constituida por el tramo de la autovía de circunvalación M-40 entre las intersecciones con la N-II (llamado nodo Eisenhower) y la N-IV (llamado nodo SuperSur). Esta zona representa una importante línea de comunicación permitiendo la conexión entre las áreas urbana e interurbana de los alrededores de Madrid (ver figura 13).

La zona de estudio es una autovía de dos sentidos de circulación con tres carriles por sentido, con un total de 15 kilómetros de carretera en cada dirección.

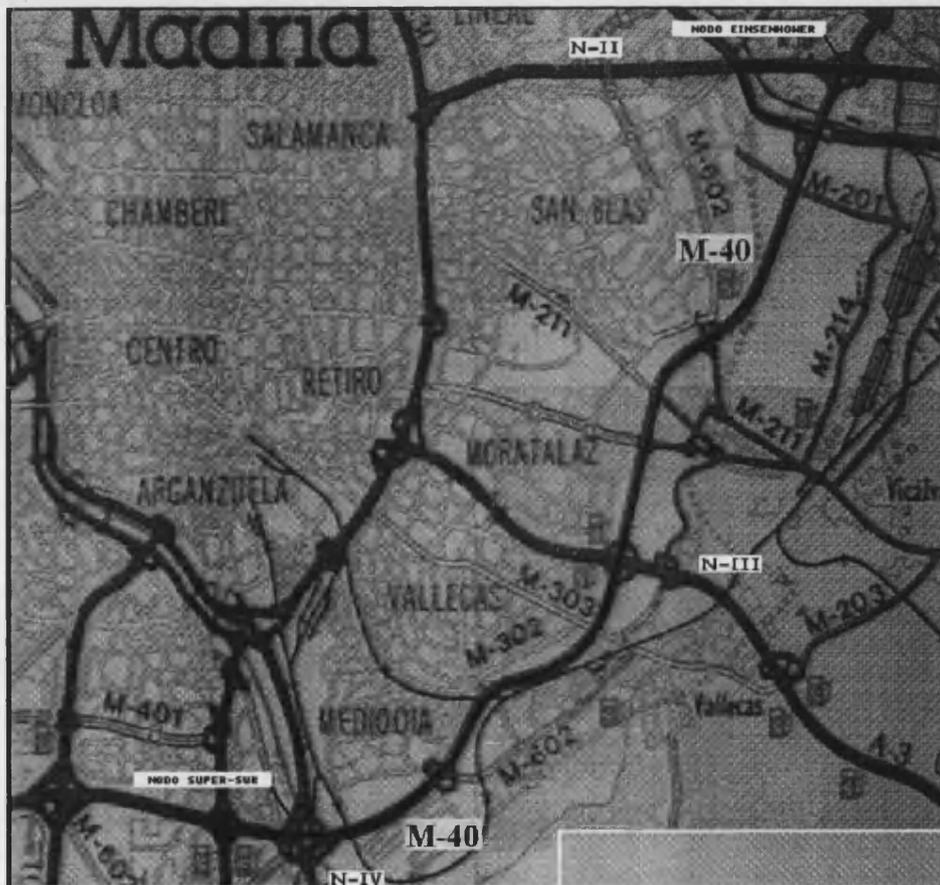


Figura 13.- Localización de la prueba en la M-40

Características del tráfico

La zona de la prueba se caracteriza por tener un tráfico denso durante buena parte del día. Este tráfico está constituido principalmente por vehículos privados, y en la zona sur por un importante flujo de vehículos de transporte de mercancías. También existe un numeroso flujo de autobuses que conectan Madrid con las ciudades dormitorio de la zona. La media diaria de

tráfico varía entre 22500 y 35000 vehículos con picos aislados de hasta 40000 vehículos algunos días.

El origen de los principales problemas es:

- Elevado flujo de vehículos en ambas direcciones que provoca congestiones durante las horas punta.
- Tasa elevada de accidentes que causan grandes colas e importantes retrasos.
- Numerosas obras en la carretera que causan restricciones de circulación en algunos carriles.
- La incorporación a la N-II por el nodo Eisenhower y la circulación por el nodo SuperSur que provoca largas colas que las zonas de enlaces.
- No existen itinerarios alternativos para evitar las colas.

Infraestructura existente

En el momento en que se ejecuto la prueba, la M-40 era una autovía de reciente construcción en la que la única infraestructura existente era el de cableado eléctrico para la alimentación de equipos. Por lo tanto, tuvimos que realizar un trabajo de completo de diseño de la instalación y de la infraestructura civil necesaria para la ejecución del proyecto piloto.

IX.3.3.2 Descripción de la prueba

La prueba de Madrid constó de 16 cámaras instaladas sobre la M-40 y conectadas con el centro de control mediante un sistema de fibra óptica, que permitía la presencia de todas las imágenes. La principal característica de la prueba fue que se probó toda la potencia que es capaz de desarrollar el Sistema Central de Procesamiento operando en una zona cubierta sólo parcialmente por cámaras y con importantes zonas ciegas. La tabla 5 muestra la distribución y características de los segmentos reales y virtuales definidos en la prueba.

| SEGMENTOS REALES | | | | | | SEGMENTOS VIRTUALES | | | | |
|------------------|--------|-----------|----------|-----------|---------------|------------------------------|---------------|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Numero segment | Cámara | PK inicio | PK final | Dirección | Longitud (km) | Segmentos virtuales próximos | Longitud (km) | Comentarios | Número de rampas de salida | PK de las rampas de salida. |
| | | | | | | | | | 1 | 20,9 |
| 0 | 937 | 20,5 | 20,4 | N | 0,1 | 1, 2 y 3 | 3,8 | | 4 | 19,6/19,4/ 19,3/16,7 |
| 4 | 933 | 16,6 | 16,4 | N | 0,2 | 5 | 1,2 | | 1 | 16,2 |
| 6 | 934 | 15,2 | 15 | N | 0,2 | 7 y 8 | 1,9 | | 3 | 14,4/14/ 13,2 |
| 9 | 931 | 13,1 | 12,9 | N | 0,2 | 10 y 11 | 2,7 | | 1 | 11,3 |
| 12 y 13 | 929 | 10,2 | 10 | N | 0,2 | 44 | 0,3 | | 0 | |
| 41 | 926 | N-100 | N-100 | N | 0,05 | 42 | 0,05 | Salida a Zaragoza: seg. virtual 45 | 0 | 9 |
| 43 | 925 | N-100 | N-100 | N | 0,1 | - | | | | |
| | | | | | | | | | 1 | N-100 |
| 36 | 927 | N-100 | N-100 | S | 0,1 | 37 y 38 | 0,3 | | 0 | |
| 39 | 928 | N-100 | 10 | S | 0,2 | 40, 14, 15 y 16 | 2,9 | | 3 | 10,7/12/ 12,5 |

| | | | | | | | | | | |
|----|-----|------|------|---|-----|-------------|-----|--------------------------|---|--------------------|
| 17 | 930 | 12,9 | 13,2 | S | 0,3 | 18 y 19 | 1,9 | | 0 | |
| 20 | 932 | 15,1 | 15,2 | S | 0,1 | 21 | 1,7 | | 2 | 15,2/16,6 |
| 22 | 935 | 16,9 | 17,1 | S | 0,1 | 23 y 24 | 2 | | 0 | |
| 25 | 936 | 19,1 | 19,2 | S | 0,1 | 26, 27 y 28 | 1,6 | | 3 | 19,3/19,4/ 19,5 |
| 29 | 938 | 20,8 | 20,9 | S | 0,1 | 30 y 31 | 1 | | 1 | 20,9 |
| | | | | | | 33 y 34 | 0,3 | Salida a Ocaña | | |
| 32 | 940 | 21,9 | 22 | S | 0,1 | - | | | | |
| 35 | 939 | N-IV | N-IV | S | 0,1 | - | | Sobre la N-IV a Ocaña | | |

Tabla 5.- Características de los segmentos definidos en la prueba de Madrid.

Otros datos de interés sobre las características de la prueba fueron:

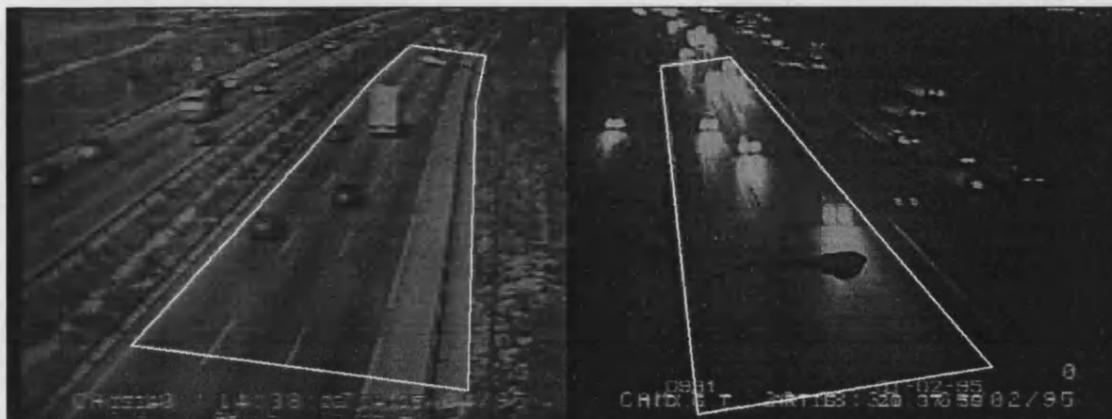
- Longitud media de los segmentos:
 Reales: 0,15 Km. Virtuales: 1,55 Km
- Longitud total de los segmentos:
 Reales: 2,35 Km (10 %) Virtuales: 24,00 Km (90 %)
- Número medio de salidas en segmentos virtuales: 1,5

En las fotografías de las figura 14 se puede observar el campo de visión de cada una de las cámaras y la zona de procesamiento definida para cada segmento real.

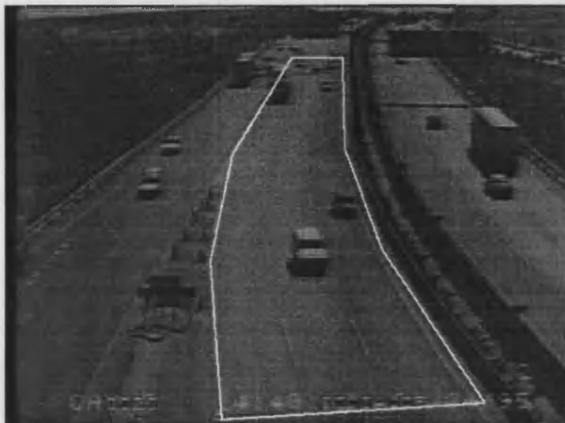


Segmento 0, Cámara 937

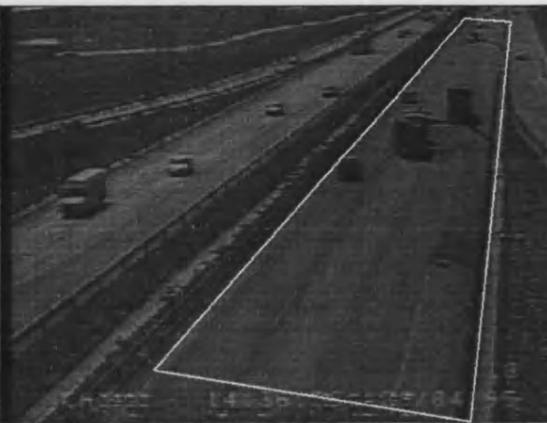
Segmento 4, Cámara 933



Segmento 6, Cámara 934



Segmento 9, Cámara 931



Segmentos 12 y 13, Cámara 929



Segmento 17, Cámara 930



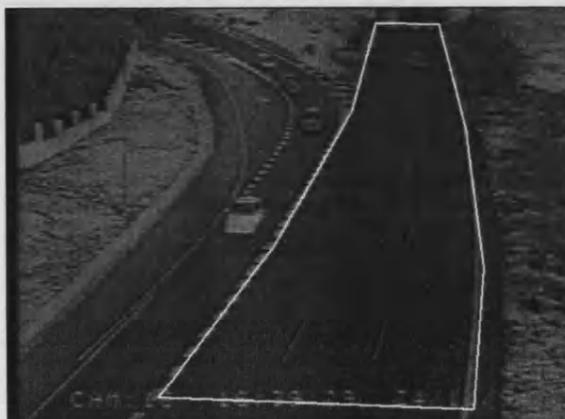
Segmento 20, Cámara 932



Segmento 22, Cámara 935



Segmento 25, Cámara 936



Segmento 29, Cámara 938



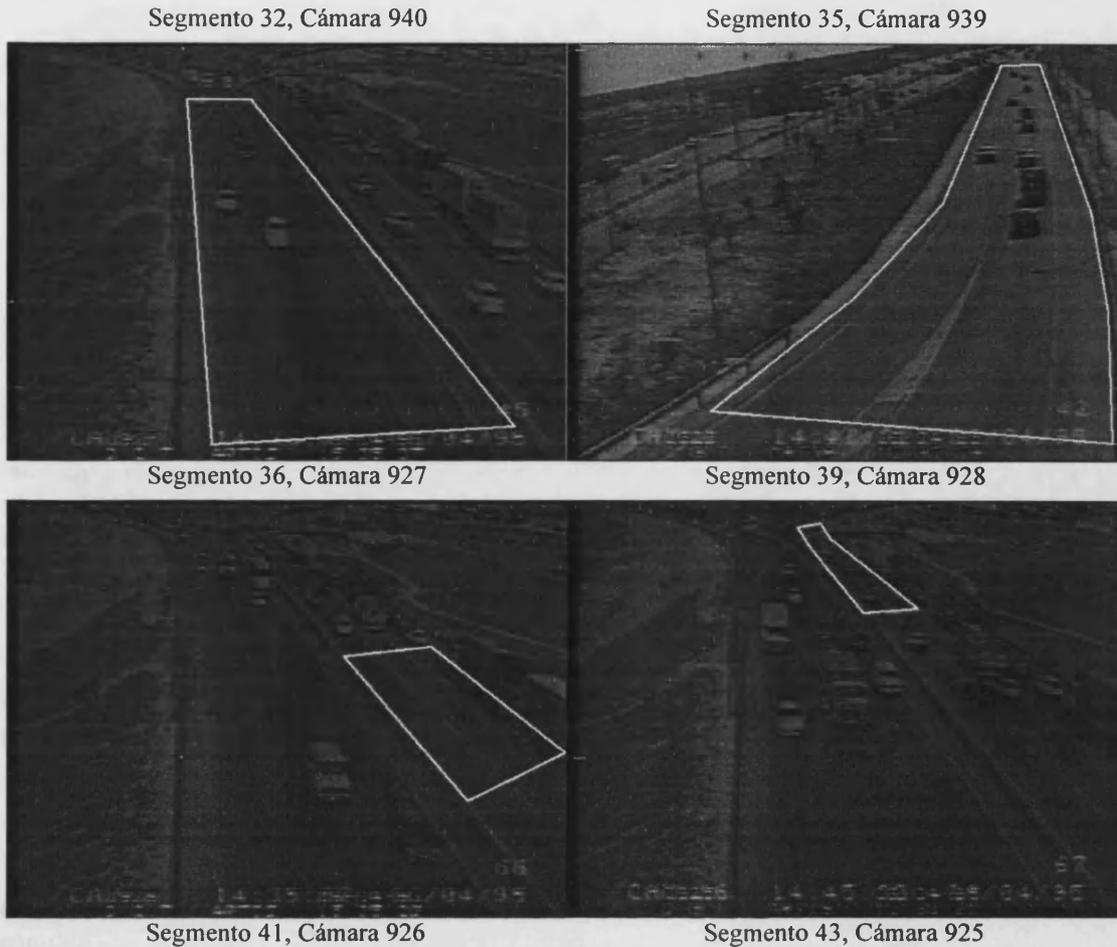


Figura 14.- Campo de visión de cada una de las cámaras en la prueba de Madrid

IX.3.3.2.1 Objetivos

A diferencia de la prueba de Lion que estaba centrada en el Módulo Local de Procesamiento, la prueba de Madrid se orientó a la evaluación del Sistema Central de Procesamiento. Cinco son los aspectos fundamentales que tratamos de evaluar en ella:

- El cálculo del Nivel de Servicio proporcionada por el SCP tanto para segmentos reales como virtuales. El Nivel de Servicio en los segmentos reales se calcula mediante el valor de la ocupación espacial y la velocidad media del segmento (Ver capítulo VI), por lo que previamente a la evaluación del mismo comprobaremos la exactitud de ambas medidas a nivel del MLPs.
- La estimación del flujo de tráfico, que es calculado por el SCP utilizando la velocidad y la ocupación, junto con los algoritmos para la corrección de flujo en función de la ocupación.
- La detección y filtrado de incidentes a nivel del SCP constituyen los puntos fundamentales de la evaluación, y en relación con este aspecto del sistema tratamos de evaluar las siguientes funciones (ver capítulo VII):
 - Recepción de los incidentes provenientes de los MLPs.
 - Retraso en la notificación del incidente.
 - Filtrado de incidentes.
 - Corrección del tipo de incidente.

- Capacidades de detección de incidentes en segmentos virtuales.
- El seguimiento de las consecuencias del incidente a lo largo de la carretera y su clasificación de acuerdo a esta evolución.
- La aceptación del sistema por parte del usuario, a quien le pedimos su opinión sobre varios temas.
 - Interfase con el operador.
 - Integrabilidad del sistema
 - Resultados.

IX.3.3.2.2. Arquitectura del sistema

Para explicar la instalación de la prueba piloto en Madrid vamos a considerar dos tipos de especificaciones: Las primeras referentes a elementos instalados en la carretera, su emplazamiento y su comunicación con el centro de control. La segunda referida a los equipos instalados en el CGT y la interconexión entre ellos.

Instalación en carretera

Las principales especificaciones de la infraestructura de carretera empleada en la prueba española las podemos resumir en los siguientes aspectos (Ver figura 15 con el emplazamiento):

- Se instalaron 16 cámaras fijas en color situadas sobre postes de entre 10 y 15 metros de altura.
- La situación de los postes se decidió sobre el terreno, buscando la situación idónea de las cámaras, aunque la situación real pudo variar en algunos metros debido a la existencia de otros postes.
- Las imágenes de las cámaras se suministraban directamente al centro de control mediante un sistema de transmisión de fibra óptica.

Instalación en la sala de control

La distribución de los elementos del sistema en el CGT se muestran en la figura 16. Las características de la instalación son:

- Todos los elementos del sistema (MLPs, servidor de comunicaciones y sistema central de procesamiento) están localizados en la sala de control.
- La imagen de cada cámara se separa en dos canales:
 - Uno conectado al MLP donde se analiza la imagen.
 - Otro conectado a la matriz de vídeo, para poder monitorizar la carretera sobre un panel de pantallas.
- Se instalaron 16 analizadores y un servidor de comunicaciones que conectaba los analizadores al sistema central a través de una línea de comunicaciones serie RS232.

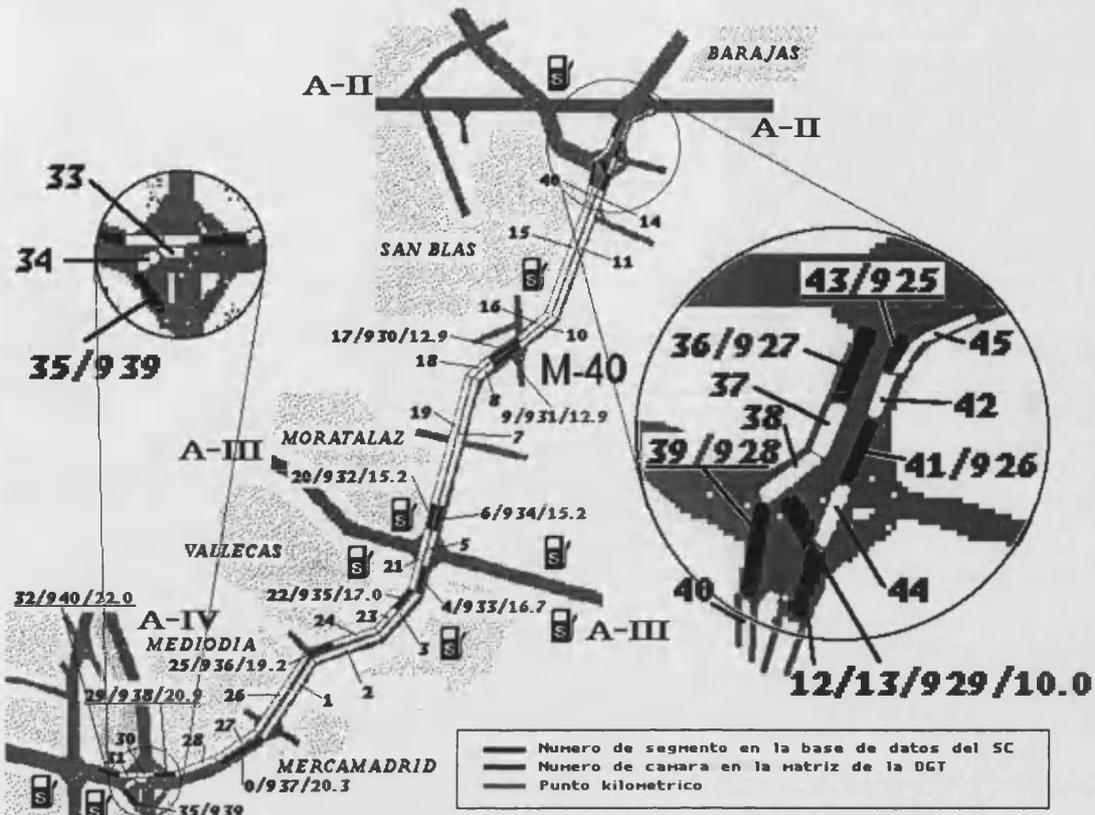


Figura 15: Instalación de las cámaras en la carretera y segmentos considerados

IX.3.3.2.3 Características

Las principales características de la prueba piloto de Madrid, son:

- Se analizan ambas direcciones de tráfico.
- Se vigilan del orden de 25 kilómetros de carretera.
- Las zonas cubiertas por las cámaras son aproximadamente 2,5 kilómetros, mientras que el resto es analizado por el Sistema Central.
- La representación de la red está constituida por 18 segmentos reales y 30 virtuales, que están agrupados en 6 carreteras principales:
 - N-IV dirección Norte
 - N-IV dirección Sur
 - N-II dirección Madrid
 - N-II dirección Guadalajara
 - Carretera al aeropuerto dirección Norte
 - Carretera al aeropuerto dirección Sur
- En las definiciones internas de los segmentos, algunos de los virtuales han sido divididos en varios para facilitar la tarea de procesamiento.

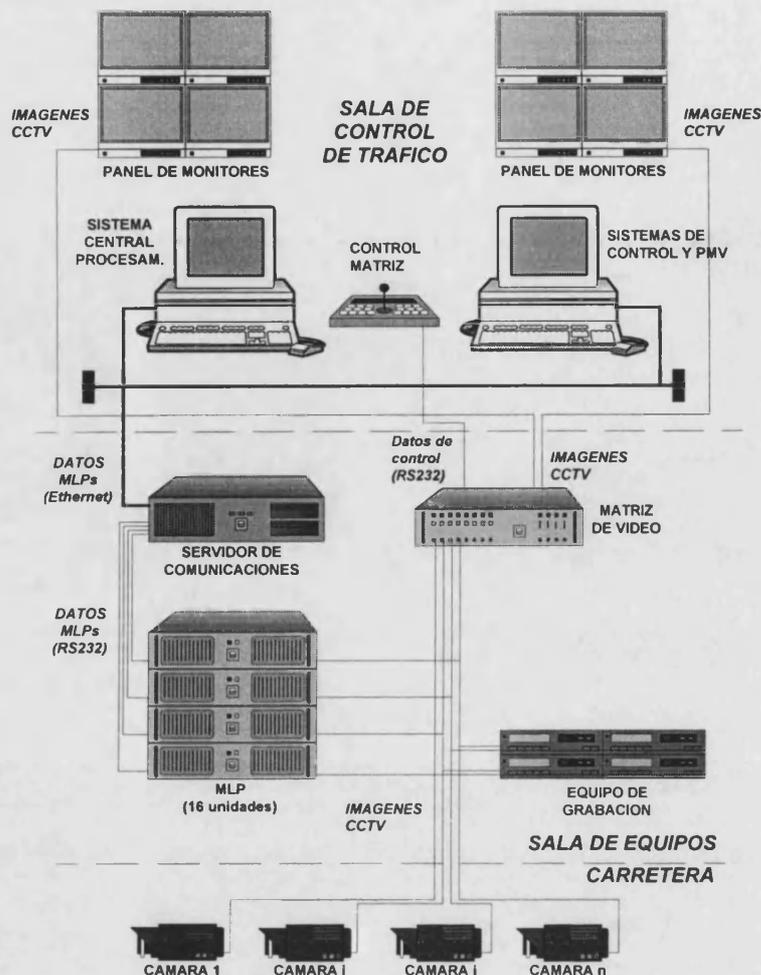


Figura 16.- Arquitectura de la instalación en la prueba piloto de Madrid

IX.3.4 CONCLUSIÓN

Una vez presentadas las características de cada una de las pruebas, podemos descubrir las principales semejanzas y diferencias que existen entre ellas.

- En Amberes se empleó una instalación de cámaras ya existente, mientras que las pruebas de Lion y Madrid se realizaron sobre instalaciones nuevas.
- En Lion existía una cobertura total de las cámaras, mientras que en Amberes y Madrid la cobertura era parcial.
- En Amberes y Lion se habilitó una sala para la instalación de los equipos y la ejecución del experimento, mientras que en Madrid, los equipos se instalaron en el CGT.
- La prueba de Amberes contó un pequeño número de MLPs (4), mientras que en Lion y Madrid se empleó un número bastante superior (16).
- En Amberes se empleó un SCP remoto, para tener la información del SCP en el CGT, en Lion el SCP estaba en la misma sala que los MLPs y en Madrid directamente en el SCP.
- En Amberes se empleó la versión DOS del sistema central de procesamiento, mientras que en Lion y Madrid se empleó la versión UNIX.

- La extensión del área estudiada de forma conjunta en las pruebas de Amberes y Lion fue pequeña (No más de 3 kilómetros de carretera), mientras que en Madrid se llegaron a monitorizar amplias zonas (más de 30 kilómetros).
- En Lion no se definieron segmentos virtuales, mientras que en Amberes y Madrid sí, aunque la distancia media de los primeros era pequeña (aprox. 200 m), mientras que en Madrid la distancia media era mucho más grande (aprox. 1500 m).

A pesar de estas diferencias entre las pruebas, la verdadera distinción se realizó a la hora de determinar que aspectos del sistema se iban a evaluar en cada una de ellas, para lo cual se definieron diferentes escenarios de trabajo que se distribuyeron entre cada una de las pruebas de acuerdo a su adecuación a cada uno de ellos (ver el capítulo siguiente de metodología).

Una vez realizadas las pruebas, las instalaciones dedicadas a las mismas han sido utilizadas de distinta manera por sus propietarios:

- *Amberes*: El experimento fue totalmente desmontado, no existiendo actualmente ningún equipo de la prueba en funcionamiento.
- *Lion*: Se han mantenido los módulos locales de procesamiento, aunque se ha suprimido el SCP, actualmente los operadores trabajan visualizando la señal de vídeo reproducida por los MLPs, sobre la que se superpone la presencia de alarmas.
- *Madrid*: De todas las pruebas es la única en la que el sistema se mantiene sistema en funcionamiento, utilizándolo los operadores del CGT de la DGT en sus tareas diarias de supervisión y control.

CAPITULO X ➤

CAPITULO X

EVALUACIÓN DEL SISTEMA: METODOLOGÍA.

X.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo vamos a presentar la metodología aplicada en la fase de experimentación y evaluación de nuestro sistema. Describiremos los métodos para la captación de datos, teniendo en cuenta que debido a la duración y localización de las pruebas piloto (ver capítulo IX), en muchos casos no nos fue posible estar presente durante todo el periodo de evaluación y por tanto tuvimos que diseñar una metodología que nos facilitase la evaluación a posteriori.

X.2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

X.2.1 ESCENARIOS DE EVALUACIÓN.

Para llevar a cabo una evaluación homogénea para las diferentes pruebas piloto, definimos un conjunto de escenarios y de hipótesis de trabajo. Cada escenario lo definimos como un grupo de pruebas relacionados con una función del sistema. Más concretamente, los escenarios se consideran como un medio para probar o invalidar hipótesis relacionadas con las principales funciones del sistema, que hemos resumido en la tabla 1. Hemos de hacer mención al papel jugado por las pruebas de laboratorio, como base de partida, a la hora de definir las funciones que se iban evaluar y la metodología que emplearíamos para resolver las preguntas planteadas en cada escenario.

- **Escenario 1a:** Está dedicado a evaluar la capacidad del Módulo Local de Procesamiento para detectar incidentes, y se enfocó principalmente sobre los siguientes tipos de incidentes:
 - Vehículos parados en el arcén.
 - Vehículos parados en algún carril principal, no causados por congestiones.
 - Vehículos parados debido a congestiones.
- **Escenario 1b:** Está dirigido a evaluar las capacidades del Sistema Central de Procesamiento para la detección de incidentes, tanto en los segmentos reales, como en los virtuales, por lo que lo dividimos en dos sub-escenarios.
- **Escenario 2a:** Este segundo escenario del MLP está orientado a evaluar sus capacidades para la obtención de datos de tráfico.

- **Escenario 2b:** Está enfocado a la evaluación de la efectividad de la información cualitativa proporcionada por el SCP, tanto en las zonas reales como en las virtuales. La principal información de tráfico proporcionada por el SCP es el nivel de servicio de los segmentos, aunque también es capaz de estimar el valor de parámetros de tráfico en segmentos virtuales.
- **Escenario 3b:** Esta dirigido a evaluar las potencialidades del SCP para el estudio de las consecuencias del incidente. Como sabemos, mientras permanece activo un incidente, el SCP produce una descripción espacial y temporal del incidente (ver capítulo VII). La descripción temporal concierne a las fases con las que identificamos el incidente, mientras que la espacial se sintetiza en la localización del primer y último segmento afectado por las consecuencias del incidente. Sólo estudiamos la descripción espacial, dado la imposibilidad de comparar las descripciones del incidente del sistema con otros sistemas o datos de referencia.
- **Escenario 4b:** Esta enfocado a comprobar las posibilidades de emplear el sistema como proveedor de información a otros sistemas de control de tráfico. Lo evaluamos mediante cuestionarios, dirigidos a los usuarios (ver anexo 1).

| HIPÓTESIS | ESCENARIOS DE EVALUACIÓN | |
|--|---|--|
| | a nivel del MLP (a) | a nivel del SCP (b) |
| 1.- Detección de incidentes en cualquier situación operativa. | Detección de incidentes que ocurren en el campo de visión de la cámara- | Detección de incidentes en el campo de visión y en segmentos virtuales. Filtrado de incidentes. |
| 2.- Información cualitativa de tráfico. | Medidas de tráfico (velocidad media y ocupación). | Información cualitativa del estado de tráfico. |
| 3.- Sistema de ayuda en la toma de decisiones del operador. | --- | Seguimiento de las consecuencias de un incidente. |
| 4.- Integración del sistema en un centro de gestión de tráfico | ---- | Calidad de la información proporcionada, mejora sobre los sistemas tradicionales y capacidad de integración. |

Tabla 1.- Resumen de los escenarios de evaluación.

X.2.2 PROCEDIMIENTO DE TOMA DE DATOS

X.2.2.1 Tipos de datos.

Para cada escenario, definimos los procedimientos experimentales a emplear y los tipos de datos a obtener. Estos se agrupan en cuatro tipos:

- **Datos del Sistema** Corresponden a los resultados producidos por el sistema a evaluar (MLP o SCP). Estos datos son almacenados automáticamente por los sistemas en ficheros diarios.

En el caso del SCP, contienen tanto los datos de entrada proporcionados por los MLP, como los resultados del SCP en cada ciclo de procesamiento, para todos los segmentos de la red. De este modo podremos utilizar esta información para:

- Reproducir el procedimiento de análisis del SCP y obtener nuevos resultados

- Obtener una información particular de un segmento definido y durante un periodo de tiempo.
- **Datos de referencia:** Son los datos utilizados como referencia para evaluar los resultados del sistema. Se obtienen directamente de imágenes de CCTV utilizando diversos métodos con respecto a los datos a ser medidos. Este proceso siempre lo realiza un operador.
- **Datos Externos:** Se refieren a aquellos datos que permiten caracterizar las condiciones externas en las que se han realizado los experimentos. Los umbrales del sistema y las características de las pruebas de campo están almacenadas en ficheros, mientras que las condiciones meteorológicas diarias se registran manualmente.
- **Cuestionarios:** Los utilizamos cuando el factor a ser evaluado no produce datos que puedan ser medir. Generalmente, estos factores están relacionados con la opinión del operador.

X.2.2.2 Procesos de toma de datos

Los procesos de toma de datos los hemos clasificado en dos tipos básicos (ver figura 1):

- **Procesos on-line:** Que crean los ficheros de datos mientras el sistema está ejecutándose. Por lo general, todos los ficheros de datos del sistema se obtienen con este tipo de procesos, aunque existen ficheros de referencia que se crean durante la evaluación del sistema por parte del operador, como por ejemplo los ficheros relacionados con el nivel de servicio.
- **Procesos off-line:** Que crean los ficheros de datos después de que se han obtenido los ficheros de datos. Por lo general, corresponde a ficheros de referencia, que crea el operador después de observar lo que ha ocurrido mediante la reproducción de cintas de vídeo, y los ficheros de datos externos que se crean a posteriori, después de apuntar las condiciones en que se ejecuto la prueba

Además, en algunos escenarios crearemos también ficheros de datos del SCP off-line. Esto se efectúa mediante un proceso de simulación que emplea como únicos datos de entrada los valores producidos por los MLPs, reproduciremos los resultados del SCP pero modificando alguna de las características de la red, umbrales o condiciones de contorno, pudiendo comparar de este modo los resultados antes y después de las modificaciones.

En ambos casos, los ficheros de datos, de referencia y externos se unen en un único fichero (ver figura 1), que posteriormente analizaremos para obtener, mediante programas estadísticos las diferencias entre los datos del sistema y los del operador. Los datos externos se usan para obtener los resultados de acuerdo a distintas condiciones. Por ejemplo, el número de falsas alarmas de acuerdo a condiciones meteorológicas.

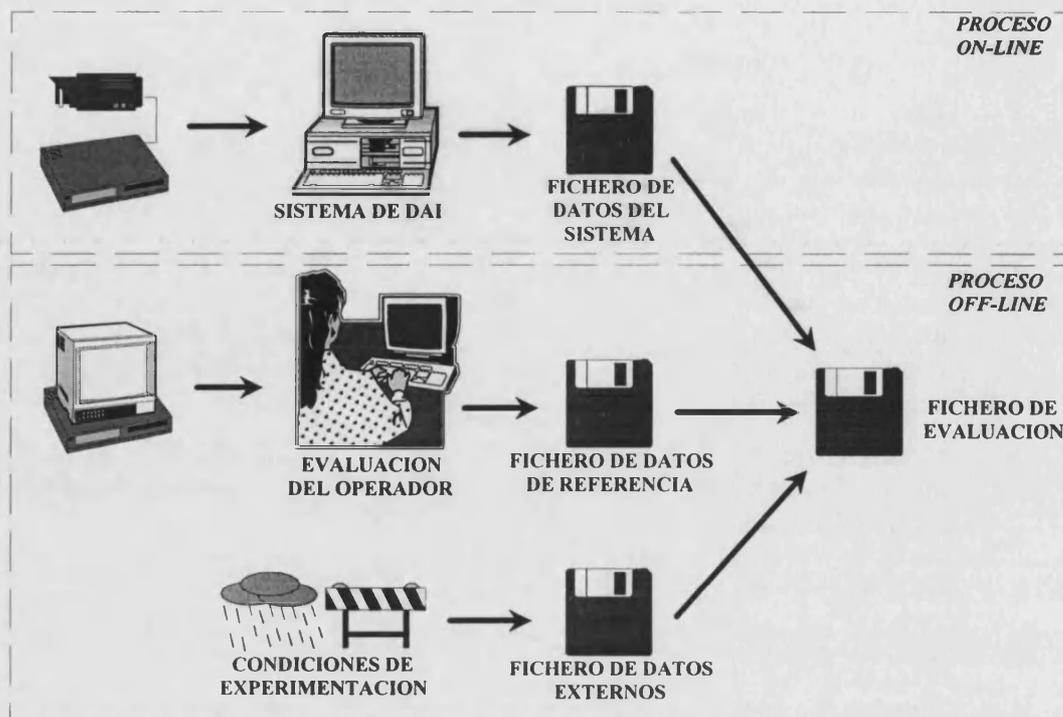


Figura 1.- Proceso de toma de datos para la evaluación.

X.2.2.3 Plan de evaluación.

La tabla 2 muestra las fechas, lugares y escenarios que se evaluaron en cada una de las pruebas piloto que se realizaron.

| ESCENARIO | PRUEBAS PILOTO | | |
|---|------------------------|----------------------|----------------------------|
| | AMBERES | LION | MADRID |
| 1a Detección de incidentes a nivel del MLP. | Marzo-93 Julio-93 | Marzo-93 Mayo-93 | - |
| 1b Detección de incidentes a nivel del SCP. | Febrero-93 Marzo-93 | Mayo-93 | Diciembre-94 Marzo-95 |
| 2a Medidas a nivel del MLP | - | Enero-93 Marzo-93 | - |
| 2b Medidas a nivel del SCP | - | - | Octubre-94 Noviembre-94 |
| 3b Seguimiento de incidentes. | | | Enero-95 Marzo-95 |
| 4b Integración del sistema | | | Abril-95 |

Tabla 2.- Plan de evaluación en las diversas pruebas piloto.

X.2.3 CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Vamos a especificar a continuación aquellos criterios que empleamos para evaluar cada uno de los aspectos del sistema incluidos en cada uno de los escenarios de evaluación.

X.2.3.1 Escenario 1a

Los criterios dados a continuación se calcularon para cada tipo de incidente:

Porcentaje de falsas alarmas (PFA)

Todas las alarmas deben de estar correlacionadas con un hecho real, consecuentemente la determinación de si una alarma correspondía verdaderamente a un hecho real, sólo se puede llevar a cabo examinando las grabaciones de vídeo del periodo evaluado. Definimos:

$$PFA = N^{\circ} \text{ falsas alarmas} / N^{\circ} \text{ de alarmas} \quad (1)$$

Frecuencia de Falsas Alarmas (FFA)

Corresponde a la frecuencia de aparición de falsas durante un día de operación, por cada cámara.

$$FFA = N^{\circ} \text{ falsas alarmas} / 24 \text{ horas} / \text{cámara} \quad (2)$$

Porcentaje de Detección (PD)

Compararemos todos los incidentes con el número confirmados como reales, para obtener el porcentaje de buenas detecciones. Definimos:

$$PD = N^{\circ} \text{ incidentes reales detectados} / N^{\circ} \text{ incidentes} \quad (3)$$

Tiempo Medio de Detección (TMD)

Para cada detección correcta, calculamos el tiempo entre que un operador decide que el vehículo está parado y el tiempo que tarda el sistema en producir la alarma. Este tiempo es promediado para todos los incidentes del mismo tipo.

$$TMD = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Tdi \quad (4)$$

Tdi: Tiempo para detectar el incidente i.
n: Número de incidentes.

X.2.3.2 Escenario 1b

Para evaluar la operatividad del SCP, con respecto a los efectos que adiciona a los proporcionados por el MLP solo, hemos definido diversos criterios. El SCP puede ejercer una acción con respecto a incidentes del tipo 2 y 3 (ver punto X.2.1), con dos efectos positivos:

- Eliminar falsas alarmas del MLP
- Detectar incidentes que no son detectados a nivel local

Aunque también puede tener los siguientes efectos negativos:

- Detectar incidentes falsos (= aumento del PFA total del MLP)
- Eliminar alarmas verdaderas (= disminuir el PD del MLP)

La evaluación del Sistema Central se centra en dejar claro esos dos efectos inversos. A continuación redefinimos el PFA total y el PD total en este sentido:

Porcentaje Total de Falsas Alarmas (PTFA)

Corresponde al porcentaje de falsas alarmas dirigidas finalmente al operador, cada 24 horas después añadir los procesos de filtrado y de detección de incidentes del SCP.

$$PTFA = PFA_{MLP} + PFA_{SCP} - PFAE_{SCP} \quad (4)$$

PFA_{MLP} : N° de falsas alarmas a nivel de MLP.

PFA_{SCP} : N° de falsas alarmas a nivel de SCP.

$PFAE_{SCP}$: N° de falsas alarmas eliminadas a nivel de SCP.

Porcentaje Total de Detección (PTD)

Corresponde al porcentaje de alarmas correctamente reportadas al operador cada 24 horas después de añadir las detectadas en los segmentos virtuales y eliminar las consideradas como falsas alarmas por el SCP.

$$PDT = PD_{MLP} + PD_{SCP} - PDE_{SCP} \quad (5)$$

PD_{MLP} : porcentaje de incidentes reales detectados a nivel del MLP

PD_{SCP} : porcentaje de incidentes reales detectados a nivel del SCP

PDE_{SCP} : porcentaje de incidentes eliminados a nivel del SCP

Para evaluar la capacidad del SCP de filtrar incidentes, vamos a definir otro conjunto de criterios, relacionados con las funciones de filtrado.

Porcentaje de Incidentes Filtrados (PIF)

Corresponde al porcentaje de incidentes, verdaderos o falsos, que se incluyen dentro del rango de situaciones a las que hay que aplicar alguna de las funciones de filtrado, y sobre los que el sistema si le aplica dicho filtro, aunque éste no actúe.

$$PIF = \text{N° incidentes filtrados} / \text{N° incidentes} \quad (6)$$

Porcentaje de Incidentes No Filtrados (PINF)

Corresponde al porcentaje de incidentes que respondiendo a una situación a la que hay que aplicar una de las funciones de filtrado, el sistema no le aplica el filtro.

$$PINF = \text{N° incidentes no filtrados} / \text{N° incidentes} \quad (7)$$

Porcentaje de Incidentes Filtrados Correctamente (PIFC)

Corresponde al porcentaje de incidentes filtrados, a los cuales el filtro se les a aplicado correctamente, ya sea porque modifica un valor del incidente que era incorrecto o porque mantiene sus valores, puesto que todos eran correctos.

$$PIFC = \text{N° incidentes filtrados correctamente} / \text{N° incidentes filtrados} \quad (8)$$

Porcentaje de Incidentes Filtrados Erroneamente (PIFE)

Corresponde al porcentaje de incidentes filtrados, a los cuales el filtro se les a aplicado incorrectamente, manteniendo un valor erroneo o modificando uno correcto.

$$PIFE = \text{N° incidentes filtrados erroneamente} / \text{N° incidentes filtrados} \quad (9)$$

X.2.3.3 Escenario 2a

Los criterios seleccionados a continuación tratan de mostrar la precisión de las medidas proveídas por los MLP (velocidad media y ocupación espacial)

Error relativo Medio (EM)

$$EM = \sum_{i=1}^n i \cdot (M_i - R_i) \cdot \frac{100}{\sum_{i=1}^n i \cdot R_i} \quad (10)$$

M_i: medida proporcionada por el MLP en un intervalo de tiempo i

R_i: medidas de referencia para el mismo intervalo de tiempo i

n : número de intervalos de tiempo

Error cuadrático medio (ECM)

$$ECM = [\Sigma(M_i - R_i)^2 / \Sigma(R_i)^2]^{1/2} \quad (11)$$

Rango del Error (RE)

$$RE = [\text{ValorMin}, \text{ValorMax}] \quad (12)$$

ValorMin = {V_i = M_i-R_i*1900/R_i so as prob (RE < Remin) = 2.5%}

ValorMax = {V_i = M_i-R_i*1900/R_i so as prob (RE > Remax) = 2.5%}

X.2.3.4 Escenario 2b

Los criterios que vamos a definir nos permitirán evaluar las medidas de tráfico proporcionadas por el SCP, que hemos reducido a la cualificación del nivel de servicio de la carretera.

Porcentaje de Errores (PE)

Corresponde al porcentaje de errores en la estimación del Nivel de Servicio respecto al número de medidas tomadas. Definimos que existe un desacuerdo cuando el Nivel de Servicio proporcionado por el SCP no corresponde con el valor del operador.

$$PE = \text{suma (Desacuerdos)}/n \quad (13)$$

Tiempo medio de retraso (TMR)

Teniendo en cuenta que el SCP aplica un proceso de filtrado para evitar errores y saltos bruscos en la estimación del Nivel de Servicio, vamos a dar este parámetro, que permite evaluar el retraso que existe entre la observación de un cambio en el estado de tráfico y su reporte por parte del sistema.

$$TRM = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n T_{ci} \quad (14)$$

T_{ci} = Tiempo que tarda el sistema en detectar un cambio de NS.

n = Número de modificaciones de NS producidas.

X.2.3.5 Escenario 3b

Una de las funcionalidades del SCP es su capacidad para seguir las consecuencias espaciales de un incidente desde su nacimiento hasta que es eliminado. Para evaluar este proceso hemos definido los siguientes criterios:

Porcentaje de Seguimiento Correcto (PSC)

Esta asociado a la capacidad del software para determinar a que segmentos de la carretera esta afectando la congestión producida por el incidente durante su evolución.

$$PSC = ICS * 100 / n \quad (15)$$

ICS: número correcto de seguimiento de consecuencias de un incidente

n: número de incidentes

Precisión en la Posición de la Cola (PPC)

Hace referencia a la determinación de la posición final de las consecuencias producidas por el incidente.

$$PPC = \frac{\sum (QM_{ij} - QR_{ij})^2}{\sum QR_{ij}^2} \quad (16)$$

QM_{ij} : posición de la onda de choque i en el instante j

QR_{ij} : posición de referencia de la onda de choque i en el instante j

X.2.3.6 Escenario 4b

La integrabilidad es la habilidad del sistema para “mezclarse” con otros sistemas de control en un entorno de gestión dado. Hemos diferenciado tres modos de integración:

Tipo a: coexistencia con el Sistema de Control de Tráfico

No existe ninguna unión directa entre el Sistema y cualquier otro de los SCT. Los operadores deben de trabajar con los diferentes sistemas independientemente (figura 2).

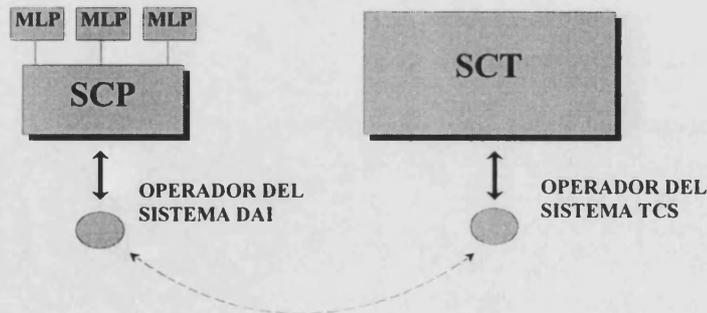


Figura 2.- Coexistencia del sistema de DAI con el SCT

Tipo b: intercambio de datos

Existe una unión física entre el sistema y el SCT a través del cual se intercambian información numérica. Este cambio puede ser de una dirección, del sistema de DAI al

SCT o bidireccional. Como en el caso anterior los operadores deben de trabajar con los sistemas de forma independiente (figura 3).

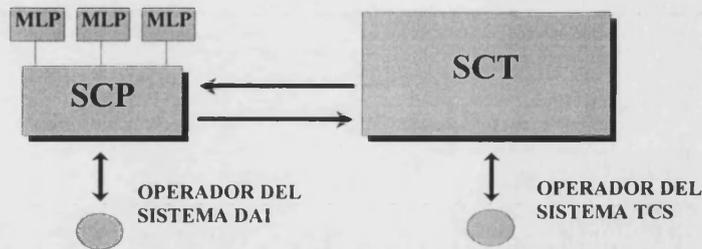


Figura 3.- Intercambio de datos entre el Sistema DAI y el SCT.

Tipo c: Integración en el SCT

Se caracteriza porque el SCP se integra dentro del SCT, de modo que la gestión del primero se realiza a través de las facilidades del SCT, representando la información en el sistema de representación del SCT. Los MLP son considerados como un sensor cualquiera. En este caso, el operador puede trabajar con los dos sistemas desde el mismo puesto y desde la misma interface (figura 4).

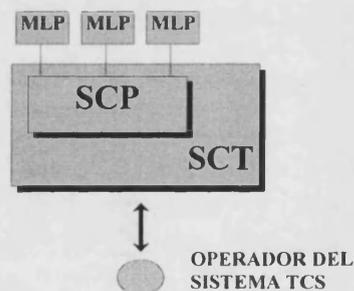


Figura 4.- Integración del sistema DAI en el SCT.

X.2.3.7 Criterios relacionados con la aceptación

Definimos la aceptación como una valoración subjetiva de la utilidad y beneficio de la integración del Sistema en un SCT. Esta valoración la realiza un usuario.

Existen al menos tres niveles de usuario. A falta de mejor criterio, hemos tratado de identificar el nivel apropiado para cada una de las pruebas piloto.

- **Nivel estratégico.** Se valora preguntando a la persona encargada de la decisión final sobre la adquisición/incorporación/integración de un sistema de DAI en el actual (o futuros) SCT. El coste y el beneficio son los elementos clave a considerar.
- **Nivel de gestión.** Se valora preguntando a la persona encargada de la gestión del CGT, quien puede aconsejar sobre el beneficio potencial de la adquisición / incorporación / integración de un sistema de DAI. La operatividad es el principal elemento.
- **Nivel operacional.** Se valora preguntando a la persona/ personas encargadas de la operación diaria del SCT. Facilidad de uso, desahogo de las operaciones tediosas (Mirar monitores de TV), la operatividad y amigabilidad son los elementos clave.

CAPITULO X

Evaluación del sistema: Metodología.

La evaluación a estos tres niveles se cumple usando cuestionarios que el investigador debe dirigir a las personas apropiadas. Estos cuestionarios se adjuntan en el anexo 1.

CAPITULO XI ➤

CAPITULO XI

EVALUACIÓN DEL SISTEMA: RESULTADOS EXPERIMENTALES.

XI.1. INTRODUCCIÓN

Antes de comenzar con la presentación de los resultados experimentales, conviene explicitar la cadencia temporal en la que se han ido desarrollando los diferentes elementos de que consta el sistema. Por razones de claridad expositiva hemos decidido estructurar la presentación de la memoria, presentando únicamente la arquitectura general, y a partir de ella describir primeramente, el módulo de más bajo nivel, el Módulo Local de Procesamiento, y finalmente el módulo de más alto nivel, el Sistema Central de Procesamiento. Sin embargo, el desarrollo histórico de ambos módulos no coincide con esta secuencia de exposición. Esta aclaración es pertinente ahora, ya que si no tenía relevancia en los capítulos dedicados a la descripción, es importante tanto para justificar la racionalidad de la línea de trabajo que hemos seguido, como para la interpretación de los resultados y el modo en que van a ser expuestos en este capítulo.

Como se puso de manifiesto, implícitamente, al describir las características de las pruebas piloto, las etapas que se han seguido son (ver figura 1):

1. ***Definición del sistema, requisitos, arquitectura y especificaciones funcionales.*** Esta fase, recogida en los capítulos I y II, fue realizada de forma conjunta por UCL, INRETS y nosotros.
2. ***Desarrollo e implementación de cada módulo.*** Este trabajo se realizó en paralelo por cada centro de investigación, existiendo una comunicación continua para delimitar los requisitos y necesidades que impusieron unos módulos a otros. Nuestra tarea se centró fundamentalmente en el SCP, descrita en los capítulos V, VI y VII.
3. ***Ejecución de las pruebas de laboratorio.*** Cada grupo realizó las pruebas de laboratorio sobre sus propios sistemas para su depuración y refinamiento. Nuestras pruebas se han descrito en el punto IX.2 del capítulo IX.
4. ***Desarrollo de un prototipo.*** En él se integraron cada uno de los elementos desarrollados (MLP y SCP) y como elemento intermedio entre ambos tuvimos que definir e implementar el servidor de comunicaciones (ver el capítulo VIII). Es en esta etapa donde empiezan a ponerse de manifiesto algunas limitaciones del MLP, tal como estaba entonces, respecto de los requisitos iniciales y donde nos planteamos la necesidad de desarrollar nuestra propia versión del MLP, basada en una metodología que nos permitiera tanto ajustarnos mejor a ellas, como mejorar las posibilidades de sinergia con el SCP. En el capítulo III realizamos una descripción comparativa de las aproximaciones correspondientes para cada versión

del MLP, poniendo en relieve las novedades que nosotros aportamos frente a las ya desarrolladas por nuestros colegas.

5. **Definición de las pruebas de campo.** Realizamos la instalación de los equipos y la adecuación de las infraestructuras existentes para la ejecución de las pruebas de campo, y definimos los criterios de evaluación a emplear (ver capítulo X).
6. **Evaluación de resultados.** Realizamos la evaluación de los datos obtenidos durante el período de experimentación. Esta evaluación fue llevada a cabo de forma independiente para cada uno de los módulos del sistema. Por tanto, nuestra tarea se centro fundamentalmente en la evaluación del SCP, y en este sentido, la primera parte del este capítulo la hemos dedicado a presentar los resultados obtenidos para el SCP. Sin embargo, en paralelo con la fase de ejecución de las pruebas piloto, fuimos desarrollando nuestro MLP (ver su descripción detallada en el capítulo IV) y realizando las primeras pruebas de laboratorio para depurarlo y refinarlo. De este modo, estábamos realizando con nuestro MLP los mismos pasos que se siguieron con los MLPs y el SCP, y que lógicamente, deberían de concluir (fuera ya del ámbito de esta tesis) con:
 - La evaluación, en condiciones reales, del nuestro MLP.
 - La evaluación, en condiciones reales, del sistema formado por nuestro MLP y el SCP.

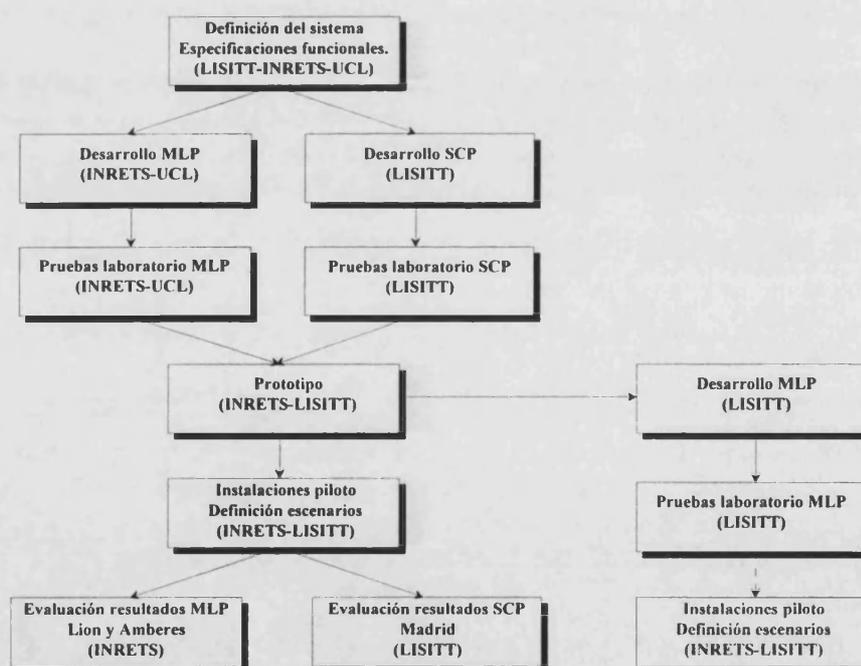


Figura 1.- Fases del desarrollo del sistema.

Obviamente, la dimensión de las pruebas y el coste, tanto de infraestructura como de personal, necesario para repetir las pruebas de campo hicieron imposible su ejecución. Ante esta situación, y como ya poseíamos los datos de la evaluación del MLP INRETS y una videoteca de incidentes, decidimos realizar una evaluación comparativa de nuestro MLP con el de INRETS empleando las cintas de vídeo existentes. En este sentido, la segunda parte de este capítulo está dedicada a la presentación de estos resultados. Comienza, en primer lugar, y como simple referencia, con los resultados y conclusiones obtenidos por INRETS de su sistema. Hemos de decir que en este caso, nos hemos limitado a reproducir los resultados disponibles en

la bibliografía ([INVAID II/D13-I, 94] y [INVAID II/D15, 95]) y que no somos responsables de la metodología de evaluación seguida. En segundo lugar realizamos un estudio comparativo del comportamiento de ambos sistemas bajo las mismas condiciones.

XI.2. EL SISTEMA CENTRAL DE PROCESAMIENTO

XI.2.1 PARÁMETROS GENERALES

El Sistema Central de Procesamiento fue evaluado en 2 zonas (ver capítulo IX):

- a) Un pequeño experimento realizado en Amberes.
- b) Una prueba de campo a gran escala realizada en la carretera M-40 de Madrid: Esta prueba de campo se realizó bajo el control del proyecto ARTIS [ARTIS /D14, 95] con la coordinación de INVAID II para la homogeneización de metodología [ARTIS /D7P1, 93].

La tabla 1 resume los parámetros generales del experimento en cada zona.

| Concepto | AMBERES | MADRID |
|----------------------------|--------------------|-----------------------|
| Nº de cámaras | 4 | 16 |
| Tamaño medio de la máscara | 50m | 250m |
| Tipo de instalación | no dedicado | semi dedicado |
| Programación | Febrero - Marzo 94 | Octubre 94 - Marzo 95 |
| Horas de trabajo | 640 h | 1680 h. |
| Ficheros de datos | 28 ficheros | 70 ficheros |
| Horas de vídeo registradas | 192 h. | 450 h. |
| Evaluación del operador | 80 h. | 576 h. |

Tabla 1.- Parámetros generales de los experimento del sistema central.

La información dada en esta tabla permite cualificar la evaluación del SCP, cuyas características son las siguientes:

- La capacidad de medida de los MLP y el SCP trabajando sinérgicamente dentro de la arquitectura planteada fueron evaluados en distintas condiciones geográficas y ambientales.
- Uso de dos interfaces del SCP, el primero (Amberes) basado en una plataforma PC y el segundo basado en una estación de trabajo UNIX.
- La duración de la prueba piloto en Madrid permitió valorar la capacidad del SCP para gestionar muchos MLP en funcionamiento continuo.
- La amplitud de la instalación de Madrid permitió trabajar con una gran longitud de la carretera que fue analizada por el SCP e hizo factible el estudio de la capacidad del SCP para el seguimiento de grandes congestiones y para detectar incidentes en segmentos virtuales de la carretera. En nuestro conocimiento esta es la prueba más extensa, llevada a cabo hasta la fecha para sistemas de DAI basados en visión artificial.

XI.2.2 RESULTADOS GLOBALES.

Debido tanto al pequeño porcentaje de incidentes detectados en el experimento de Amberes, como que algunos de los aspectos a evaluar sólo pudieron comprobarse en el experimento de Madrid, hemos decidido agrupar los valores de ambos a la hora de presentar los resultados.

XI.2.2.1 Escenario 1b: Detección de Incidentes.

- *Vehículos parados en el carril en condiciones de tráfico fluido.*

| | MADRID |
|---------------|--------|
| Nº incidentes | 20 |
| PTD | 85 % |
| PTFA | 15 % |

Tabla 2.- Vehículos parados en el carril en condiciones de tráfico fluido.

siendo:

PTD: Porcentaje Total de Detecciones (MLP + SCP).

PTFA: Porcentaje Total de Falsas Alarmas.

- *Vehículos parados en el carril en congestión.*

| | MADRID |
|---------------|--------|
| Nº incidentes | 412 |
| PTD | 100 % |
| PTFA | 0 % |

Tabla 3.- Vehículos parados en el carril en congestión.

- *Vehículos parados en el arcén.*

| | MADRID |
|---------------|--------|
| Nº incidentes | 47 |
| PTD | 80 % |
| PTFA | 15 % |

Tabla 4.- Vehículos parados en el arcén.

- *Retraso en la Detección*

- *Incidentes en segmentos reales:* En este caso, el retraso en la detección corresponde al intervalo de tiempo transcurrido entre la aparición del incidente en la carretera y entre que este incidente es reportado por el MLP y el SCP. Se pudo confirmar durante los experimentos, este retraso es siempre menor al intervalo de petición de datos (15 seg). A veces, el SCP no

reportó incidentes de muy corta duración (1%). Afortunadamente, estos incidentes no son relevantes para el operador.

- *Incidentes en segmentos virtuales:* El retraso en la detección no se ha considerado como un criterio de evaluación para los incidentes en segmentos virtuales porque no había ningún dato de referencia (hora de comienzo del incidente) disponible para compararlo. De acuerdo al algoritmo utilizado para la detección, el retraso es proporcional a la velocidad de la onda de choque que llega a los detectores aguas arriba y aguas abajo. En otras palabras, dependerá de la longitud del segmento virtual y del nivel del tráfico.

Comentarios

- Aunque han sido incluidos como *detecciones correctas*, el operador consideró falsos algunos incidentes clasificados como “Parado en Carril” ya que de hecho su posición real estaba localizada en el arcén. Estos casos ocurrieron en algunos segmentos donde el arcén era demasiado estrecho como para ser definido en la configuración del MLP, por lo que realmente se trata de un error implícito en la definición del área de trabajo y no del funcionamiento del MLP. La figura 2 muestra la relación del PTD en vehículos parados en carril teniendo en cuenta este hecho y considerándolo como una detección correcta con una posición incorrecta.

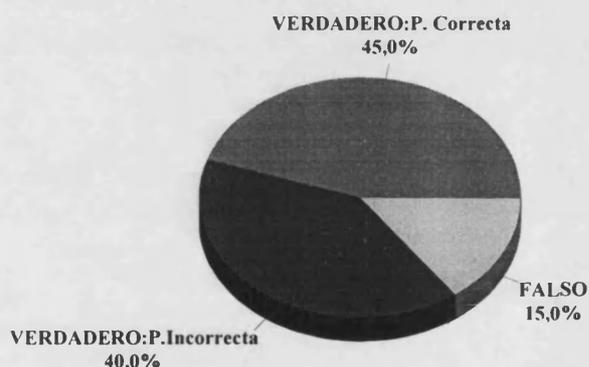


Figura 2.- Porcentaje de detección de vehículos parados en carril

Todos los incidentes anteriores se refieren a detecciones en segmentos reales, sin embargo, el SCP es, así mismo capaz de detectar incidentes en segmentos virtuales, aunque únicamente aquellos que producen una situación de congestión. Estos resultados son los que se muestran para este caso se muestran en la tabla 5.

- *Vehículos parados en el carril en congestión en segmentos virtuales.*

El objetivo principal de la prueba de Madrid fue la validación de la capacidad del SCP para detectar incidentes en segmentos virtuales.

| | MADRID |
|---------------|--------|
| Nº incidentes | 72 |
| PTD | 100 % |
| PTFA | 0 % |

Tabla 5.- Vehículos parados en el carril en congestión en segmentos virtuales.

Comentarios

- El problema principal para evaluar los incidentes en segmentos virtuales proviene del hecho de que, en general, no existía ninguna referencia visual, ni datos de referencia dentro de la zona para verificar el incidente. Por tanto, consideramos tres tipos de detecciones:
 - *Detecciones verdaderas*, aquellos incidentes que fueron verificados visualmente.
 - *Detecciones coherentes*, cuando el incidente se ha verificado visualizando las condiciones de tráfico tanto aguas arriba como aguas abajo de la zona.
 - *Detecciones falsas*, cuando el incidente no se ha podido incluir en ninguno de los casos anteriores.

Teniendo en cuenta estas definiciones, en las que las dos primeras son consideradas como correctas, el PTD en segmentos virtuales resultó estar distribuido tal como muestra la figura 3.

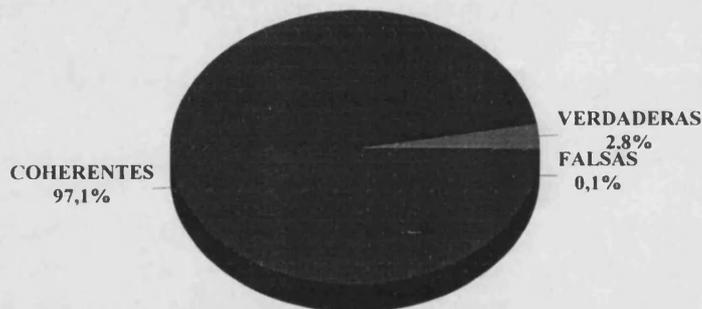


Figura 3.- Clasificación del PTD de incidentes virtuales

- Debido al bajo número de incidentes reconocidos por el operador en segmentos virtuales, necesitamos introducir un dato nuevo. Vamos a describir tres métodos que se emplearon para mejorar el proceso de evaluación. Estos son:
 - Análisis del fichero de alarmas.
 - Coche flotante durante 3 días.
 - Informes de la policía y la DGT.

Análisis del fichero de alarma:

Este método no emplea ningún dato de referencia, sino que consiste en examinar manualmente los ficheros de alarmas producidos por el SCP para detectar posibles anomalías o incoherencias en base a los valores de los parámetros de tráfico en el entorno de la alarma.

Este método no proporciona ningún resultado acerca de la proporción de detección ni del tiempo medio de detección, pero da algunas indicaciones sobre la proporción de falsas alarmas y nos ayuda a comprender sus causas. El SCP almacena en un fichero ASCII, todas las alarmas activadas, tanto en segmentos reales como virtuales, siendo completado con datos externos proporcionados por el operador siempre que sea posible.

El análisis se realizó sobre un fichero con 2329 alarmas correspondientes a 28 días conteniendo tanto alarmas de incidentes como situaciones de congestión. De las 506 alarmas producidas en los segmentos virtuales, sólo tuvimos en consideración las causadas por incidentes. Para obtener un análisis más correcto, cuando un incidente se mantenía activo menos de 10 minutos después de su primera aparición, sólo era considerado como una sola alarma, con lo que suprimimos alrededor de 1/3 de las alarmas.

Comprobamos la coherencia del fichero empleando el criterio de la tabla 6.

| Condiciones en que se produce la alarma. | Calificación alarma | Código |
|--|---------------------|--------|
| Velocidades muy elevadas | Error de medida | M |
| Baja velocidad y baja ocupación | Error de medida | M |
| Alarma de vehículo parado en carril aguas arriba anterior a la alarma en el segmento virtual | Caso anómalo 1 | A1 |
| Alarmas de congestión aguas abajo o aguas arriba anteriores a la alarma en el segmento virtual | Caso anómalo 2 | A2 |
| Ocupación alta tanto aguas arriba como aguas abajo del segmento virtual | Caso anómalo 3 | A3 |
| Validada por el operador mediante una cámara adyacente. | Verdadero | V |
| Otros (Los patrones de tráfico causantes de la alarma son coherentes entre sí). | Coherente | C |

Tabla 6.- Criterio empleado para comprobar la coherencia de las alarmas en segmentos virtuales.

El finalmente el fichero de alarmas contenía 1489, de las cuales 331 fueron alarmas en segmentos virtuales, que se distribuyeron de la siguiente manera (ver tabla 7).

| TIPO DE ALARMA | Nº DE MUESTRAS | PORCENTAJE |
|-----------------|----------------|------------|
| Error de medida | 73 | 22.1 % |
| Anomalía 1 | 4 | 1.2 % |
| Anomalía 2 | 2 | 0.6 % |
| Anomalía 3 | 7 | 2.1 % |
| Verdaderas | 3 | 0.9 % |
| Coherentes | 242 | 73.1 % |
| TOTAL | 331 | 100 % |

Tabla 7.- Distribución de alarmas en segmentos virtuales.

Comentarios:

- Respecto a los errores en las medidas, sólo unos pocos estaban producidas por velocidades muy elevadas en segmentos reales situados aguas abajo del incidente virtual. La mayoría de los errores se produjeron por coexistir velocidades bajas con ocupaciones bajas en el segmento real anterior y posterior (La causa de este problema la hemos discutido en el capítulo VI).

- Los casos anómalos 1 y 2 están relacionados con el proceso de razonamiento del SCP, y son . En el primer caso el incidente se produce realmente en el segmento real anterior, pero el SCP considera que la causa del mismo se ha producido en el segmento virtual posterior. El segundo caso se produce cuando el incidente es una congestión recurrente, y tanto el segmento anterior como el posterior se encuentran afectados por una situación de tráfico congestionado, por lo que no es lícito que la alarma se produzca sobre el segmento virtual situado entre ambos.
- Sólo se han podido verificar tres alarmas virtuales mediante el empleo de cámaras que tenían acceso a la zona virtual, correspondiente este valor a un porcentaje poco significativo estadísticamente.

Coche flotante:

Como la observación visual del estado de tráfico desde un vehículo no es una información precisa, decidimos a notar aquellos incidentes que podrían haber afectado al tráfico. Solo se reportaron 5 incidentes con un posible efecto sobre el tráfico, lo que representa menos del 3% de los incidentes reportados durante este periodo , que fueron de 221, y al menos 2 de ellos tuvieron un efecto significativo, causando colas y congestión sobre varios cientos de metros, aunque con un número de muestras tan reducido no podemos llegar a ninguna conclusión estadística. De los cinco potenciales incidentes virtuales sólo 3 fueron detectados por el SCP.

Informes de la policía y la DGT.

Como información básica de referencia para la evaluación del sistema empleamos en primer lugar los formularios rellenos por el operador de postes SOS, dentro del área de actuación del sistema. Los datos obtenidos se resumen en la tabla 8.

| Informes DGT | | | | | Fichero de alarmas | | |
|--------------|-------|------|-----------|-----------------------------------|--------------------|------|--------|
| Día | Hora | PK | Dirección | Comentario | Segmento | Tipo | Alarma |
| 06/02/95 | 11:35 | 18.5 | S | Accidente | 24 | V | N |
| 12/02/95 | 18:30 | 13.6 | N | Problema mecánico | 7 | V | N |
| 13/02/95 | 17:40 | 10.0 | S | Problema mecánico | 15 | V | N |
| 13/02/95 | 17:55 | 12.0 | S | Problema mecánico | 15 | V | N |
| 16/02/95 | 11:57 | 13,6 | N | Problema mecánico | 7 | V | N |
| 21/02/95 | 19:50 | 14,8 | ? | Perdida de carga en la carretera. | 7 o 19 | V | N |
| 24/02/95 | 21:52 | 20.2 | S | Problema mecánico | 27 | V | N |
| 25/02/95 | 15:35 | 21.2 | S | Pinchazo | 30 | V | N |
| 27/02/95 | 16:40 | 12.0 | S | Problema mecánico | 15 | V | N |
| 28/02/95 | 07:28 | 18.5 | S | Falta de gasolina | 24 | V | N |
| 03/03/95 | 12:43 | 13.6 | ? | Problema mecánico | 7 o 19 | V | N |
| 05/03/95 | 19:56 | 10.0 | S | Problema mecánico | 40 | V | N |
| 21/02/95 | 07:39 | 18.5 | ? | ? | 2 o 24 | R/V | N |

Comentarios:

- La comparación de los informes de la DGT con el fichero de alarmas del sistema muestra que ninguno de los 13 incidentes reportados a través de los postes SOS fue detectado. La causa fundamental de este hecho es que todos ellos se produjeron sobre segmentos virtuales y además no produjeron ningún efecto sobre el nivel de servicio de la carretera. En la mayoría de los casos, los vehículos se detuvieron en el arcén, excepto en uno de ellos, provocado por un accidente que es causa potencial de una perturbación sobre el tráfico, sin embargo, el hecho de que ocurriese en situaciones de poco flujo explica que no fuese detectado por el sistema.
- Del análisis de la tabla 8, podemos llegar a concluir que el PD del sistema en este tipo de incidentes es del 0 %. No debe sorprendernos este resultado, puesto que el tipo de incidentes que es capaz de detectar el sistema en segmentos virtuales y los representados en la muestra son totalmente diferentes.

Durante el experimento también examinamos los informes de incidentes/accidentes registrados por la policía, en la parte norte de la zona del experimento (desde la N-III a la N-II). Encontramos 7 incidentes que se produjeron en algún segmento virtual (ver tabla 9).

| Informes Policía | | | | | | Fichero de Alarmas | | |
|------------------|-------|--------------|--------|---------|---------------|------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Fecha | Hora | Carretera | PK | Heridos | Segmento | Alarma seg. real | Alarma seg. virtual | Comentarios |
| 04/01/95 | 11:15 | N-100 | 0.3 | 3 Leves | 36(R) / 37(R) | DV/IV en 36 | Nada | |
| 06/02/95 | 20:30 | M-40 | 10.4 | 1 Leve | 14(V) / 15(R) | DV/IV en 36 y 39. | en 37 | |
| 27/02/95 | 17:45 | M-40 | 10.6 | 1 Leve | 14(V) / 15(V) | DV/IV/CO en 36 y 39 | Nada | Confirmado por operador |
| 22/02/95 | 09:55 | N-100 | 0.55 | Ninguno | 37(V) / 38(V) | SS en 36 | Nada | |
| 24/02/95 | 18:30 | N-II a M-40 | acces. | Ninguno | 14(V) / 15(V) | CO en 36 y 39, existía antes | Nada | |
| 26/02/95 | 01:30 | N-100 a M-40 | acces. | Ninguno | 40(V) / 15(V) | Nada | En 37 | |
| 03/03/95 | 23:00 | N-100 | 0.5 | Ninguno | 37(V) / 38(V) | Nada | Nada | |

Tabla 9.- Comparación de los informes de la policía con los datos del sistema.

Comentarios:

- De los siete incidentes, parece que dos de ellos fueron detectados por el sistema (esta evaluación se realizó a posteriori, empleando los ficheros del sistema por lo que no se pudo conocer en realidad si esta correlación era real).

XI.2.2.2 Escenario 1b: Filtrado de Incidentes:

Recordemos las tres funciones del SCP relacionadas con el filtrado de falsas alarmas y la identificación errónea del incidente (ver capítulo VII). Estas son funciones que se aplican a incidentes reales, que tienen algún error en su descripción. Las funciones evaluadas son las siguientes:

- Filtrado de vehículos parados en carril (F1).

- Filtrado de alarmas de congestión en segmentos virtuales (F2).
- Error en la identificación de congestiones por vehículos parados (F3).

La tabla 10 muestra los resultados de evaluación obtenidos.

| | F1 | F2 | F3 |
|-------------|-------|-------|-------|
| Nº Muestras | 3 | 29 | 71 |
| PIF | 100 % | 93 % | 100 % |
| PINF | 0 % | 7 % | 0% |
| PIFC | 100 % | 100 % | 70 % |
| PIFE | 0 % | 0 % | 30 % |

Tabla 10.- Resultados de la evaluación de las funciones de filtrado de incidentes.

Siendo:

PIF: Porcentaje de incidentes filtrados.

PINF: Porcentaje de incidentes no filtrados.

PIFC: Porcentaje de incidentes filtrados correctamente.

PIFE: Porcentaje de incidentes filtrados erróneamente

Comentarios:

- La primera función de filtrado (F1) ocurrió solo en tres casos, durante condiciones de lluvia, por lo tanto los resultados no son estadísticamente significativos. Los tres fueron eliminados correctamente. El descubrimiento más importante es que no se produjo ningún filtrado erróneo (alarmas verdaderas canceladas) durante el período de prueba, no modificando el porcentaje de detección. Aunque esta afirmación no puede ser demostrada.
- El segundo (F2) es un filtro útil porque reduce las falsas alarmas del SCP producidas en segmentos virtuales durante la noche (flujo de tráfico muy bajo), manteniendo la operatividad normal de la detección durante el día. No se utiliza ningún programa para poner en marcha el filtro, sino que se basa en las condiciones de tráfico, para evitar filtrados falsos entre distintos periodos de iluminación.
- El último filtro (F3) funciona correctamente en todos los segmentos, excepto en aquellos donde se incluye una salida dentro de la máscara del MLP. El relativamente alto porcentaje de "filtrado erróneo" (30%) se produce en estos casos cuando se forma una cola en el carril de deceleración mientras que los carriles principales están en condiciones normales de tráfico.

XI.2.2.3 Escenario 2b: Nivel de Servicio:

El nivel de servicio es una cuantificación de la condición del flujo de vehículos, y se define como resultado de la percepción humana (ver capítulo VI). Los valores obtenidos para los criterios de evaluación empleados fueron los siguientes (ver tabla 11):

| | Fluido | Congestionado | TOTAL |
|-------------|-------------|---------------|-------------|
| N° Muestras | 963 | 37 | 1000 |
| P. Tiempo | 96,3 % | 3,7 % | 100 % |
| PE | 0,5 % | 12,6 % | 1,1 % |
| TMR | 1,4 ciclos. | 1,4 ciclos. | 1,4 ciclos. |

Tabla 11.- Resultados de la evaluación del Nivel se servicio.

siendo:

PE: Porcentaje de error.

TMR: Tiempo medio de reacción.

Comentarios

- Aunque el porcentaje de error es mayor en congestión, todas las congestiones fueron detectadas y reportadas por el sistema. Este valor más alto del PE es debido al hecho de que la duración de muchos casos de congestión fue sólo de unos cuantos ciclos de procesamiento, aunque sin embargo, en estas situaciones, un retraso en el ciclo constituye una diferencia relativamente importante entre el operador y el sistema.
- La existencia de los TMR se justifica porque normalmente, la reacción del operador a un cambio en el nivel del tráfico es más rápida que la reacción del sistema, ya que éste utiliza un proceso de filtrado temporal con el fin de reducir el número de detecciones falsas. A partir de la tabla se puede obtener que estos retrasos no son significativos en congestiones de larga duración (duración mayor de 2 minutos, equivalente a 8 ciclos) que son los más importantes para el operador.

XI.2.2.4 Escenario 3b: Seguimiento de los incidentes:

La evaluación de la capacidad del SCP para el seguimiento de incidentes no fue fácil de evaluar y en este sentido, no se pudo obtener datos de referencia suficientemente fiables para evaluar la precisión en la posición de la cola, puesto que no existían cámaras sobre toda la carretera.

En esta evaluación distinguimos dos condiciones externas diferentes, el seguimiento de los incidentes en tráfico fluido y el seguimiento en tráfico denso o congestionado. Los resultados se muestran en la tabla 12.

| | Fluido | Congestionado | TOTAL |
|-------------|--------|---------------|-------|
| N° Muestras | 183 | 57 | 240 |
| PSC | 100 % | 96 % | 99 % |

Tabla 12.- Porcentaje de seguimiento correcto

siendo:

PSC: Porcentaje de seguimiento correcto.

La función de seguimiento utiliza asimismo dos funciones adicionales para reducir el número de alarmas repetitivas mostradas al operador a lo largo de segmentos afectados por un incidente.

1. *Eliminación de alarmas simultáneas debidas al mismo incidente (F1).*

Cuando una congestión se extiende a más de un segmento las alarmas de “parada en congestión” son transmitidas por los MLP en el mismo ciclo de procesamiento. Sin embargo, son debidas al mismo acontecimiento principal, por lo que esta función sólo mantiene la alarma que está en cabeza, mientras que elimina las otras.

2. *Cálculo de incidentes independientes (F2).*

Similar al caso anterior, en estados de congestión las alarmas de “parada en congestión” son configuradas y canceladas frecuentemente por el MLP (efecto onda), aunque se pueden considerar como consecuencia de la misma congestión. El sistema central decide qué alarmas tienen que considerarse como pertenecientes, o no, al mismo incidente, esto es, si se agrupan o no.

La tabla 13 muestra los resultados obtenidos:

| | F1 | F2 |
|------|-------|-------|
| PIF | 100 % | 100 % |
| PINF | 0 % | 0 % |
| PIFC | 86 % | 93 % |
| PIFE | 14 % | 7 % |

Tabla 13.- Capacidad del seguimiento de incidentes

Comentarios

- El número de alarmas analizadas fue de 240, todas ellas producidas bajo tráfico denso o congestionado en varios días y horas. Obteniéndose una notable y significativa reducción en el número de las alarmas mostradas al operador.
- Las alarmas eliminadas pueden ser suprimidas total o parcialmente. En general el segundo caso se produce cuando el sistema detecta el acontecimiento principal más tarde, o cuando la alarma se mantiene después de que el acontecimiento principal se haya solucionado, pudiendo convertirse en el nuevo acontecimiento principal. La figura 4 muestra el porcentaje de alarmas totalmente y parcialmente eliminadas en los ficheros experimentales.

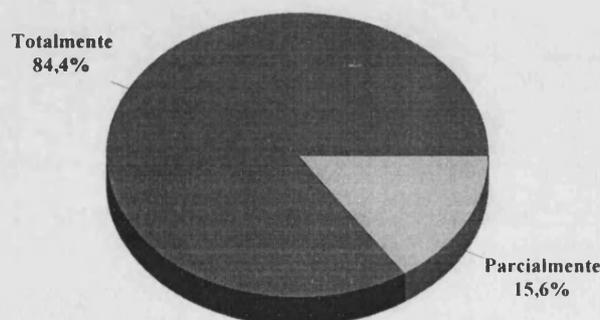


Figura 4.- Porcentaje de alarmas eliminadas por el SCP

XI.2.2.5 Escenario 4b: Integrabilidad

La integración del sistema a instalaciones existentes se tiene que considerar a dos niveles:

- integración en instalaciones existentes de CCTV
- integración con los sistemas actualmente existentes de monitorización del tráfico

XI.2.2.5.1 Integración en sistemas de CCTV existentes.

Uno de los aspectos estudiados durante la experimentación del sistema es la capacidad para integrar los sensores de DAI. en instalaciones de CCTV existentes. Estudiamos los siguientes aspectos específicos:

- calidad de la señal de vídeo.
- posición (altura, orientación) de la cámara.
- requisitos ambientales.
- conexiones físicas.

Las conclusiones se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Una señal de vídeo suficientemente satisfactoria para un operador humano es aceptable para un sensor de DAI. Sin embargo hay algunas matizaciones que realizar:
 - una baja calidad de la señal provoca una influencia desfavorable en la operatividad del sensor.
 - movimientos de la cámara (por ejemplo debido a la fuerza del viento en el poste donde está instalada la cámara) que no molestan la observación del operador humano puede causar problemas al sistema de DAI.
2. Las cámaras existentes están normalmente situadas para dar al operador humano el ángulo de vista más satisfactorio. Esta orientación se puede utilizar cuando se añade un sensor de DAI. Sin embargo, podemos obtener una mayor área de trabajo si la cámara está instalada de una manera más apropiada para el sensor de DAI.
3. Los requisitos ambientales de la instalación del sistema DAI son semejantes a los empleados por otros equipos electrónicos.
4. La conexión física de la instalación de CCTV existentes al sistema de DAI se realiza mediante cables estándar. En desarrollos posteriores debe de estudiarse el uso de componentes basados en módulos y/o rack.

Comentarios

- Podemos concluir que el sistema puede estar perfectamente conectado a una instalación de CCTV existente bajo la condición de que los usuarios deben ser conscientes de las posibles limitaciones:
 - un campo de visión mas corto en las cámaras que no están dedicadas a la aplicación de DAI y que puede, además, estar entorpecido por puentes y pórticos.
 - el uso de cámaras móviles que tienen que ser manejadas muy cuidadosamente.

- Además se ha descubierto que el porcentaje de detección es sensible a la posición relativa de la cámara con respecto a la carretera:
 - cuando la cámara está a un lado de la carretera está en la mejor posición para detectar incidentes que ocurren en el arcén (82% PD).
 - cuando la cámara está en una posición central, está en el mejor emplazamiento para detectar incidentes que ocurren en carriles principales (85% PD) y está peor situada (debido a oclusiones) con respecto a incidentes que ocurren en el arcén (67% PD).

XI.2.2.5.2 Integración en sistemas existentes de monitorización de tráfico

Las pruebas piloto se realizaron en un sistema aislado, sin interconexión con los equipos existentes de monitorización de tráfico o a interfaces hombre-máquina ya existentes en la sala de control. La razón principal fue la evaluación del sistema independientemente del funcionamiento de otros elementos. Sin embargo, es obvio que en un entorno real, el sistema de DAI debe constituir parte de un sistema de monitorización más completo.

El sistema proporciona dos tipos de datos: medidas y alarmas. En el caso de las medidas no debe haber ningún problema de integración, ya que están definidas de una manera estándar (velocidad [Km/h], periodo de integración programable). La integración de datos de alarma, por otro lado, no es siempre tan evidente, ya que los datos asociados con una alarma están directamente relacionados con el tipo de sensor; tipo de incidente, posición, duración, velocidad de los vehículos cerca del lugar. No existe ningún sistema automático de gestión del tráfico que esté preparado para introducir estos paquetes de datos en cada ciclo de detección y manejarlos dentro de un proceso de gestión de incidentes. Por tanto, se debe implementar la integración como un interfaz entre el sensor de DAI y el sistema SCT. Tomando como referencia la operatividad del sistema (porcentaje de detección, retraso en la detección y porcentaje de falsa alarma) la integración debería presentar una mejora significativa de todo sistema capaz de poner mensajes de aviso en PMV, medidas de control de la velocidad u otras acciones de gestión de incidentes.

XI.2.3 ASPECTOS GENERALES DEL SISTEMA

XI.2.3.1 Coste

A la hora de decidirse por la instalación del un sistema, uno de los aspectos evaluados por los propietarios de las instalaciones, por no decir el único, es la relación calidad-precio del sistema que se ofrece. Por tanto, y como mera referencia una vez presentada las capacidades y eficiencia del sistema, vamos a detallar en la tabla 14 el coste estimado de una instalación típica que comprende 16 MLPs, 1 SCC y 1 SCP, además se incluyen dos monitores y una matriz de control de vídeo para la vigilancia. Arquitectura similar a las realizadas en la prueba de Lion y Madrid. (ver capítulo IX).

| Ítem | Descripción | Cant | Equipo total (Pts) | Instalación total + puesta en marcha (Pts) | Coste global (Pts) |
|------|--|------|--------------------|--|--------------------|
| 1. | Recogida de Imágenes Cámaras, lentes, accesorios, suministro de electricidad, postes y obras públicas | 16 | 15.000.000 | 3.000.000 | 18.000.000 |
| 2. | Transmisión de imágenes y visión | | | | |

| | | | | | |
|----|--|----|------------|-----------|------------|
| | Transmisores para fibra óptica, receptores para fibra óptica, matriz de conmutación, monitores (16 dentro/2 fuera), monitores, conectores, cables... | 16 | 9.000.000 | 2.100.000 | 11.100.000 |
| 3. | Procesamiento de Imágenes Modulo Local de Procesamiento INVAID, armario, conectores | 16 | 21.000.000 | 1.200.000 | 22.200.000 |
| 4. | Centro de Control de Tráfico Servidor de Comunicación + software, Sistema Central ET + software, impresora, conectores, cables... | 1 | 3.750.000 | 450.000 | 4.200.000 |
| 5. | TOTAL | | 48.756.000 | 6.750.000 | 55.500.00 |

Tabla 14.- Coste de los componentes del sistema

Comentarios

- El precio dado en la tabla es para una versión prototipo del sistema de DAI. El coste de la instalación completa depende de la topología elegida: Los MLP localizados al pie de la carretera o en el Centro de Control. En la primera opción, no sería necesario transmitir señales de vídeo al Centro de Control, reduciendo considerablemente el coste en el equipo de transmisión. En la segunda opción, la señal de vídeo es necesaria en el Centro de Control.
- De la tabla anterior, el sistema de DAI sería un sistema competitivo considerando una reducción normal del coste de producción, mientras que el mercado crece, y aprovechando la adaptabilidad de utilizar instalaciones de CCTV existentes e infraestructura que representa más del 50% del coste total.
- La Dirección General de Tráfico, jugó un papel fundamental a la hora de facilitar la evaluación del sistema, ya que patrocinó la instalación de los equipos del sistema de DAI y la infraestructura necesaria para su correcto funcionamiento. Por su lado, LISITT aportó de forma desinteresada, el software que había sido desarrollado.

XI.2.4 Aceptación del usuario

Tres propietarios de infraestructura han participado en la evaluación del sistema de DAI:

- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (Amberes) (MVG)
- AREA (operador de autopistas privadas, LION) (AREA)
- Dirección General de Tráfico (Madrid) (DGT).

Sus opiniones acerca de la operatividad del sistema y su utilidad se resumen a continuación:

- La detección de vehículos parados es muy satisfactoria. Sin embargo, los tipos de incidentes considerados (nivel MLP) no son los únicos en los que el operador del CCT pueda estar interesado (MVG).
- La detección de vehículos parados es muy importante para que los operadores de las autopistas puedan mandar asistencia médica/mecánica rápidamente (AREA).

- Se consideró que la detección de la congestión (100% PD) y la monitorización en tiempo real de la posición de la cola era una característica muy positiva para soportar la gestión del tráfico (DGT).
- El sistema proporciona características nuevas e interesantes con respecto a aplicaciones existentes. Para explotar la capacidad del sistema de una manera más conveniente sería necesario su integración (DGT).
- El SCP reúne los siguientes requisitos: detección en tiempo real, avisos visuales y auditivos a los operadores, seguimiento de la evolución del incidente a lo largo de la carretera, visualización de imágenes de las cámaras donde está ocurriendo un incidente. Aunque el Interfaz del Operador es amigable permitiendo un acceso fácil y rápido a todos los datos del sistema, se necesitarían algunas mejoras para que fuera utilizado por personal no especializado (DGT).
- Se podrían añadir nuevas capacidades de detección en versiones futuras: detección de transeúntes y bicicletas en los carriles principales y arceles, detección de vehículos en sentido contrario, detección de vehículos en uno o un grupo de carriles y posibilidad de cambiar la dirección normal del tráfico en uno o un grupo de carriles (DGT) (Estas últimas capacidades ya están incluidas en nuestro MLP).
- No hay ningún problema en integrar el procesador en instalaciones existentes o nuevas ya que la entrada para el procesador de DAI es una señal de vídeo estándar. Incluso señales de vídeo de baja calidad se pueden integrar sin problemas. La salida, sin embargo, se debería estandarizar para facilitar la integración a sistemas de monitorización existentes (MVG).
- La valoración del coste total del sistema tiene que tener en cuenta el uso de componentes del sistema para uso múltiple, pe.: el uso de cámaras de vídeo tanto para el control visual por operadores del CCT como para la extracción de datos. (MVG).
- El sistema de DAI ha estado funcionando durante más de 5 meses en Madrid. El sistema ha sido considerado muy útil y conveniente, dando soporte al control actual y la tarea de monitorización en el CCT. Se prevé para el futuro cercano la integración con el Centro de Información y el Control del Corredor Este para proporcionar información periódica de incidentes, nivel de servicio y congestión a lo largo del anillo de la M-40. (DGT).
- Para la compañía AREA, ha estado en funcionamiento durante un año, y se está extendiendo a otras secciones críticas de la red de AREA (AREA).

XI.3. MODULO LOCAL DE PROCESAMIENTO

XI.3.1 RESULTADOS DEL MODULO INRETS.

Como ya hemos comentado las instalaciones de las diferentes pruebas piloto se realizaron empleando el Módulo Local de Procesamiento de INRETS (que fue el primero en llegar a producto industrializable), por lo que los resultados de las pruebas piloto se refieren a dicho MLP.

XI.3.1.1 PARÁMETROS GENERALES

Como se detallo en el capítulo IX, el MLP se evaluó en dos pruebas piloto diferentes. La tabla 15 resume los características generales de cada una de ellas.

| | LION | AMBERES |
|--|--------------------------------------|------------------------------------|
| Nº de incidentes registrados | 3446 | 156 |
| Nº de cámaras/MLP | 16 | 4 |
| Tamaño medio de las máscaras | 400m | 50m |
| Tipo de instalación | dedicado | no dedicado |
| Programa | Marzo-Mayo 93 | Marzo-Julio 93 |
| Nº incidentes x MLP x Tiempo x Distancia | 17.95 incidentes x MLP x 100 m x mes | 13 incidentes x MLP x 100 m x mes. |

Tabla 15.- Parámetros generales del experimento en cada área

Un sencillo análisis estadístico del número de incidentes registrados por MLP por día y por distancia nos muestra que no existe una diferencia significativa entre las muestras obtenidas para cada uno de los experimentos y que se pueden considerar pertenecientes a la misma población y emplear los resultados de forma conjunta. Calculamos el valor de χ^2 en el caso de una variable, considerando como valor esperado la media de ambos (17.4), para un nivel de significación del 0.01 y obtenemos que podemos admitir la hipótesis nula: Que ambas muestras pertenecen al mismo grupo de población de forma general.

De acuerdo a la información de la tabla 15, podemos calificar la validez de la evaluación general realizada en base a los siguientes datos:

- El alto número de incidentes registrados (> 3000) permite defender la validez estadística de la evaluación.
- El número de cámaras analizadas permitieron la evaluación del MLP con respecto un amplio rango de características externas.
- Cuando el tipo de instalación era dedicada, se pudieron analizar zonas de procesamiento más amplias.
- La ejecución de las pruebas en dos países diferentes y durante distintos periodos nos permitió observar el comportamiento del sistema bajo muy diversas condiciones ambientales (iluminación, tráfico, condiciones meteorológicas...).

XI.3.1.2 RESULTADOS GLOBALES.

XI.3.1.2.1 Escenario 1a: Detección de incidentes.

Las tablas 16, 17 y 18 muestran los valores obtenidos para cada uno de los criterios empleados para la evaluación de la capacidad de detección de incidentes del MLP (ver capítulo IX), en cada uno de las pruebas piloto

- *Vehículos parados en el carril en condiciones de tráfico fluido.*

| | Lion | Amberes | GLOBAL |
|---------------|-------|---------|--------|
| Nº incidentes | 1521 | 16 | 1537 |
| PD | 90 % | 88 % | 90 % |
| PFA | 12 % | 4 % | 12 % |
| FFA | 0,26 | 0,02 | 0,26 |
| TMD | 15 s. | 15 s. | 15 s. |

Tabla 16.- Vehículos parados en el carril en tráfico fluido.

La figura 5 muestra un ejemplo muy ilustrativo de detección de un vehículo parado en un carril. La bandera en mitad de la imagen representa que el MLP ha detectado el incidente.

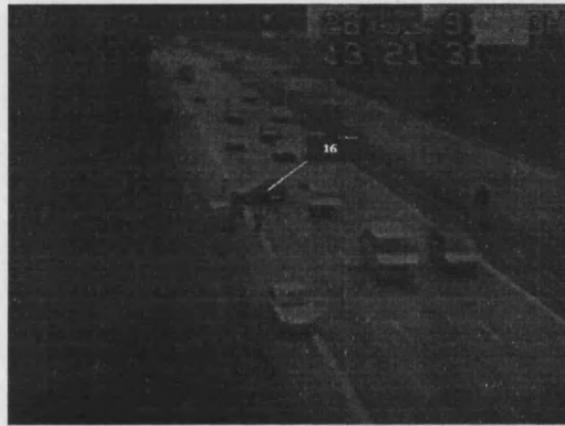


Figura 5.- Ejemplo de detección de un vehículo parado en un carril.

- *Vehículos parados en el carril en condiciones de tráfico congestionado.*

| | Lion | Amberes | GLOBAL |
|---------------|-------|---------|--------|
| Nº incidentes | 24 | 37 | 61 |
| PD | 99 % | 100 % | 100 % |
| PFA | 0 % | 0 % | 0 % |
| FFA | 0 | 0 | 0 |
| TMD | 15 s. | 15 s. | 15 s. |

Tabla 17.- Vehículos parados en el carril en tráfico congestionado.



Figura 6.- Ejemplo de vehículo parado en congestión.

- *Vehículos parados en el arcén.*

| | Lion | Amberes | GLOBAL |
|---------------|-------|---------|--------|
| Nº incidentes | 1901 | 103 | 2004 |
| PD | 83 % | 76 % | 82 % |
| PFA | 8 % | 2 % | 7 % |
| FFA | 0,13 | 0,02 | 0,13 |
| TMD | 40 s. | 40 s. | 40 s. |

Tabla 18.- Vehículos parados en el arcén.



Figura 7.- Detección de un vehículo parado en el arcén dentro de un túnel.

Comentarios:

- En ambas zonas de evaluación, el porcentaje de detección muestra un nivel muy alto, en término medio varía del 90% para los incidentes que ocurren en tráfico libre hasta casi el 100% para incidentes ocurridos durante situación de congestión, mientras que en caso de vehículos parados en el arcén se reduce al 83 %, aunque este sigue siendo un buen valor.
- La frecuencia de falsas alarmas varía de 0,26 por día en cada cámara, con respecto a incidentes en tráfico libre, hasta casi cero para incidentes ocurridos en

congestión. Estos porcentajes representan un valor realmente bajo, que puede considerarse no significativo respecto a situaciones en las que no se producen falsas alarmas.

- Los TMD coinciden con el tiempo mínimo definido en el sistema, fijado en 15 s. para vehículos parados en los carriles principales y 40 s. para vehículos parados en el arcén. Este hecho es una de las razones principales por las que el PD en el caso de vehículos parados en el arcén es menor, ya que un vehículo puede verse ocultado por un vehículo en movimiento, incrementándose la probabilidad de ocultamiento con la duración de parada, aunque se disminuye el PFA.

XI.3.1.2.2. Escenario 2a: Parámetros de tráfico.

- *Velocidad media.*

| | Día | Noche | Transición | GLOBAL |
|-------------|------|-------|------------|--------|
| Nº Muestras | 180 | 140 | 20 | 340 |
| ERM | 3,85 | 5,49 | 3,19 | 4,66 |
| ECM | 0,59 | 0,91 | 0,35 | 0,79 |

Tabla 19.- Resultados de la medida de velocidad.

- *Ocupación espacial*

No se pudo evaluar la ocupación espacial, puesto que no se ha encontrado un sistema de referencia fiable que proporcionase el valor de la ocupación espacial en un área de carretera.

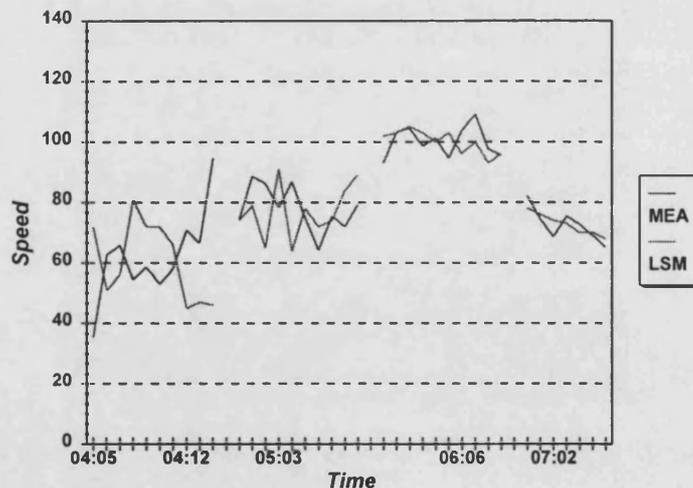


Figura 8.- Valores de la velocidad de los MLP vs valores medidos

Comentarios:

- Las medidas de la velocidad muestran unos resultados buenos, si tenemos en cuenta que los MLP no se han orientado a la medida de parámetros. La noche tiene un EM mayor cuando por la carretera circulan muy pocos vehículos. Este efecto se puede ver en la figura 8, donde las discrepancias entre la referencia y los datos del

MLP son mayores a primeras horas de la mañana (horas de noche). Esta diferencia si es estadísticamente significativa (con un nivel de significación del 0.01) aunque no tienen influencia sobre la detección de un incidente en el MLP y es muy pequeño en detecciones de incidentes en segmentos virtuales debido a los filtros del SCP.

XI.3.1.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Todos los resultados del experimento han sido examinados con respecto a causas externas que pueden influir en la operatividad del proceso de DAI. Vamos a determinar y discutir si las causas analizadas son estadísticamente suficientemente significativas para considerarse como un factor a tener en cuenta o no. Consideraremos un nivel de significación $\alpha=0.05$.

XI.3.1.3.1 Sensibilidad a características estáticas

Analizamos el efecto que tienen sobre el Porcentaje de Detección (PD) y el Porcentaje de Falsas Alarmas (PFA) factores estáticos. La tabla 20 resume la significación de la sensibilidad del factor sobre el proceso de detección, que son comentadas posteriormente.

| Condición | Caso 1 | Caso 2 | χ^2 para el PD. | χ^2 para el PFA. |
|---|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Tiempo mínimo de detección | 15 segundos | 40 seg. | $\chi^2 = 2.59$ no significativo | $\chi^2 = 2.64$ no significativo |
| Posición de la cámara | en estructura rígida | en poste | $\chi^2 = 23.92$ significativo | $\chi^2 = 0.60$ no significativo |
| Orientación de la cámara | aguas arriba | aguas abajo | $\chi^2 = 2.32$ no significativo | $\chi^2 = 1.84$ no significativo |
| Calidad de la señal de vídeo | muy ruidoso | aceptable | $\chi^2 = 1.06$ no significativo | $\chi^2 = 70.74$ significativo |
| Efecto de ocultación (por curvas o focales de gran longitud) | Sin efectos de ocultación | Posibles efectos de ocultación. | $\chi^2 = 21.9$ significativo | $\chi^2 = 0.89$ no significativo |
| Detección en el borde de la máscara. | incidentes dentro de la máscara | incidentes al borde de la máscara | $\chi^2 = 24.6$ significativo | $\chi^2 = 0.50$ no significativo |

Tabla 20.- Sensibilidad a características estáticas

Tiempo mínimo de detección:

El MLP tiene un umbral mínimo de tiempo que debe de ser superado por un vehículo parado antes de que se active la alarma de incidente. Hemos probado que la variación de este umbral de tiempo de 15 s. a 40 s. no supone una alteración significativa del porcentaje de detección de alarmas. Hemos de matizar que a la hora de considerar el número de incidentes muestreados en el caso de 40 s. no hemos considerado como tales aquellos cuya duración es inferior a dicho tiempo, por lo que la variación del umbral si afecta al número total de incidentes, pero no al porcentaje de detección. Por otro lado, el porcentaje de falsas alarmas tampoco se ve afectado por esta modificación, por lo que desde el punto de vista de operatividad es más efectivo fijar un umbral de tiempo de 15 segundos, puesto que la detección es más rápida y no se ve perjudicada.

Cámaras en situadas en postes respecto a cámaras situadas en puentes:

La instalación de las cámaras en estructuras rígidas, si tiene un efecto apreciable sobre el PD. Debido a la ausencia de vibración se registraron mejores porcentajes de detección en comparación con los PD proporcionados por cámaras instaladas en postes (la mejora es del orden del 7%). La vibración, por efecto del viento sobre la cámara, produce que vehículos parados situados en zonas del fondo de la máscara parezcan que se encuentran en movimiento, anulando la capacidad del sistema para detectarlos. El PFA no se ve alterado por la instalación de las cámaras en los postes, por lo tanto podemos concluir que es preferible instalar las mismas sobre estructuras rígidas que sobre postes.

Orientación de las cámaras:

En un principio se pensó que las cámaras deberían estar orientadas preferentemente aguas arriba (analizando las vistas frontales de los vehículos) para que la parte aguas abajo de la carretera pudiera ser fácilmente analizada por el sistema (primer plano). Sin embargo no se ha encontrado ninguna diferencia significativa de realizar el procesamiento en un sentido u otro.

Calidad de señales de vídeo:

Durante el experimento de Amberes se ha podido poner de manifiesto que una mala calidad de la señal de vídeo no tiene un efecto apreciable sobre el porcentaje de detección, aunque sí presenta un efecto favorable en lo referente al número de falsas alarmas, reduciendo estas considerablemente (reduciendo del orden del 6% el PFA). La causa de este fenómeno es que una baja calidad de señal de entrada actúa como un filtro pasa baja de la imagen, eliminando ruidos y situaciones de falsas alarmas.

Ocultamiento en curvas:

El efecto del ocultamiento de vehículos por otros ha de considerarse como un factor bastante significativo a la hora de decidir la posición de las cámaras en el sistema DAI. En el experimento se descubrió que sobre las cámaras que cubrían curvas se producía hasta una disminución del orden del 14 % en el PD de vehículos parados en el carril exterior. Ello se atribuye a la ocultación que provocan los camiones y vehículos altos sobre el vehículo parado en el carril más alejado de la cámara. Este efecto depende de la altura y la posición lateral de la cámara.

Detección en el borde de la imagen:

Como hemos indicado, con el fin de reducir falsas alarmas, los vehículos son seguidos antes de que se paren. Esta operación, a veces no tiene éxito, especialmente cuando se procesa en el borde de la imagen. Como consecuencia, se produce un porcentaje de detección significativamente menor que cuando los vehículos se paran sobre el resto de la imagen.

XI.3.1.3.2. Sensibilidad a fenómenos dinámicos

De un modo semejante al anterior, se analizan la sensibilidad a fenómenos dinámicos. La tabla 21 resume la sensibilidad de la detección en función de diferentes factores externos, de acuerdo con los resultados experimentales.

| Condición | Opción 1 | Opción 2 | χ^2 para el PD | χ^2 para el PFA. |
|------------------|------------------|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Nivel de Tráfico | No congestionado | Congestionado | $\chi^2 = 5.25$ significativo | $\chi^2 = 7.02$ significativo |
| Lluvia | Lluvia fuerte | Sin lluvia | $\chi^2 = 0.36$ no significativo | / 3 |
| Viento | Vientos fuertes | Sin viento | $\chi^2 = 23.92$ significativo | $\chi^2 = 0.60$ no significativo |
| Iluminación | noche | luz del día | $\chi^2 = 10.78$ significativo | $\chi^2 = 36.20$ significativo |
| Sombra lateral | sombra | no sombra | $\chi^2 = 14.74$ significativo | $\chi^2 = 0.31$ no significativo |

Tabla 21.- Sensibilidad a fenómenos dinámicos

Nivel de tráfico:

Se puede observar que tanto el PD como el PFA son sensibles al nivel de tráfico existente cuando se produce la detención del vehículo. Así, las paradas en un contexto de congestión presentan un porcentaje de detección cerca del 100% y del 0% de FA, mientras que cuando el nivel del tráfico corresponde a tráfico libre, la detección es ligeramente menos satisfactoria (PD cerca del 90% y PFA aproximadamente del 10%). Esta dependencia del nivel de tráfico se justifica por el comportamiento del tráfico en dichas situaciones, ya que en condiciones de tráfico congestionado se produce la detección de más de un vehículo, por lo que el sistema siempre puede detectar alguno de los vehículos parados en caso de que “pierda” el primero de ellos.

Condiciones meteorológicas:

Lluvia: Aunque el PD se reduce ligeramente con lluvia fuerte, esta reducción no es estadísticamente significativa, sin embargo, no ocurre lo mismo con el PFA, que si sufre un incremento considerable, llegando a multiplicarse por 3 en estas situaciones.

Viento: El efecto del viento está asociado totalmente con la posición de las cámaras, así, el efecto del viento es significativo en aquellas cámaras situadas sobre postes metálicos poco rígidos. Los efectos negativos corresponden a los manifestados cuando describimos la influencia de la instalación de las cámaras.

Efectos de la luz: El funcionamiento del sistema también se ve afectado por el periodo del día en que se encuentre, así, el PD en condiciones de tráfico fluido es sensiblemente inferior durante la noche (pasando de un 84% a un 80%). Aunque esta diferencia es estadísticamente significativa no supone una reducción notable de la capacidad de detección. Sin embargo, respecto al PFA este si que se ve gravemente afectado cuando trabaja de noche, llegando a duplicarse en algunas situaciones. La principal causa de este efecto es el bajo volumen de vehículos que generalmente se observa por la noche. La figura 8 muestra un ejemplo de detección en periodo nocturno.



Figura 11.- Ejemplo de detección de noche

Efectos de la sombra: Como ya explicamos en el capítulo IV, las sombras laterales presentan un efecto significativo sobre el porcentaje de detección, incrementando este un 5% más aproximadamente que cuando no existen sombras. La causa de este fenómeno reside en que la presencia de la sombra incrementa la superficie del vehículo de modo que cuando se detiene, esta detección afecta a un porcentaje mayor de la imagen siendo más fácil su detección. En este sentido, las sombras laterales no afectan al porcentaje de falsas alarmas, ya que siempre están asociadas a un vehículo y por tanto, si se produce una detección por causa de la sombra, ésta será correcta.

XI.3.2 COMPARACIÓN MLP LISITT vs MLP INRETS

Con objeto de poder comparar nuestro MLP con el de INRETS, hemos realizado un conjunto de pruebas de laboratorio con ambos equipos empleando las mismas imágenes y definiendo máscaras semejantes para realizar un estudio comparativo de ambos y poder extrapolar los resultados (ver figura 9).

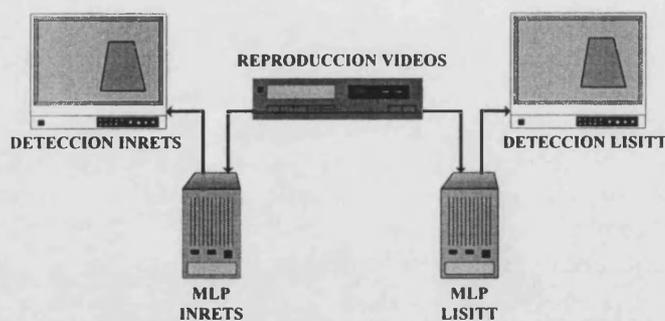


Figura 9.- Comparación de resultados entre INRETS y LISITT.

XI.3.2.1 Comparación de sistemas

A continuación vamos a presentar las primeras conclusiones obtenidas de la comparación entre el MLP de INRETS y nuestro módulo, tras las primeras pruebas mediante vídeo (ver figura 1). Hemos de señalar, que a pesar de que existen un gran número de cintas de vídeo donde se recoge e funcionamiento de los MLPs instalados en las pruebas piloto (sólo en Madrid hay registradas más de 250 cintas de 4 horas de duración) la mayoría de estas cintas no son válidas para realizar un análisis comparativo entre sistemas, puesto que las cintas se grabaron para realizar la evaluación posterior del funcionamiento de los sistemas, y por lo tanto:

- Se grabaron a alta velocidad (x8) y no se pueden reproducir en formato de velocidad normal.
- Se grabaron imágenes en formato mosaico, es decir, una misma imagen contenía las imágenes de 4 MLP, con lo que la resolución de la imagen de una cámara pasaba de tener 512 x 512 puntos a 64 x 64, con la pérdida de información que ello supone.
- Se grabó la salida de los MLPs y no la salida de la cámara, por lo que las imágenes se encuentran muestreadas, en un periodo aproximado de 4 a 5 imágenes por segundo, y además el MLP sobrepone a la imagen datos de tráfico y una bandera cuando se produce un incidente, lo que impide utilizar dichas cintas para evaluar otros sistemas.

Sólo durante unos periodos de tiempo se utilizaron las instalaciones de las pruebas piloto para grabar cintas directamente de las cámaras en formato normal. Son este subconjunto de cintas las que hemos utilizado para realizar la comparación entre los sistemas. La tabla 22 muestra los valores más significativos entre ellos, como podemos observar en dicha tabla, aparecen dos tipos de incidentes que el sistema de INRETS no puede detectar: vehículos en dirección contraria, y situaciones de congestión, y que hemos incluido, aunque el número de muestras empleadas y las condiciones externas sobre las que se han probado no son tan exhaustivas como en la evaluación de la prueba piloto.

| ASPECTO | Nº Muestras | PD | | PFA | | TMD | |
|--|-------------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| | INR/LIS | INR | LIS | INR | LIS | INR | LIS |
| Vehículos parados en carril en condiciones de tráfico fluido | 2 | 100 % | 100 % | 0 % | 0 % | 15 s | 15 s |
| Vehículos parados en carril en condiciones de congestión. | 45 | 100 % | 100 % | 0 % | 0 % | 15 s | 15 s |
| Vehículos parados en el arcén | 78 | 82 % | 94 % | 3,5 % | 5,9 % | 15 s | 17 s |
| Vehículos en contra dirección | 30 | - | 95 % | - | 3 % | - | 1 s |
| Congestión sin vehículos parados | 24 | - | 100 % | - | 5 % | - | 60 s |

Tabla 22.- Resultados comparativos entre los dos MLP.

Comentarios:

- En los incidentes de vehículos parados en un carril en condiciones de tráfico fluido, el número de casos es muy pequeño con lo que los porcentajes que incluimos no son representativo. Sin embargo, la detección por ambos equipos y la metodología empleada en este caso, similar a la de vehículos parados en el arcén, nos lleva a suponer que la efectividad de nuestro MLP será, al menos, semejante a la del módulo INRETS.
- Podemos observar que el porcentaje de detección en el caso de vehículos parados en el arcén es mayor en nuestro equipo, que en el de INRETS. La causa principal es que varios de los incidentes analizados se detenían en la parte inferior de la máscara, no siendo detectados por el módulo INRETS. Por otro lado, el porcentaje de falsas alarmas es mayor en nuestro módulo, posiblemente esta diferencia viene producida por el hecho de los vehículos que permanecen largo tiempo parados en el arcén (más de 10 minutos), produciendo una variación sensible en el fondo cuando se mueven, que es considerada por nuestro MLP como otro vehículo

parado. INRETS soluciona este problema deshabilitando la zona en donde se produjo el incidente durante un tiempo prudencial.

- No disponemos de grabaciones de vehículos en contra dirección, aunque para evaluar este incidente empleamos una cinta con muy bajo flujo de vehículos, en la que definimos la dirección del tráfico en sentido contrario al real, de modo que todos los vehículos que pasaba se debían de considerar en contra dirección. En la prueba existieron algunos vehículos que no fueron detectados. Este hecho se debió principalmente a que los vehículos iban muy cerca de otro vehículo, o a que realizaban un cambio de carril.
- La detección de congestiones mostró ser eficaz en situaciones en las que los vehículos se movían lentamente sin llegar a detenerse el tiempo suficiente para activar el umbral de vehículo parado. Por lo general, estas detecciones se producían antes de que el sistema detectase una alarma de incidente en congestión.

XI.3.2.2 Sensibilidad a fenómenos externos

Incluiremos un comentario de como afectan los factores externos a nuestro MLP, en base a las conclusiones obtenidas después de analizar algunas pruebas realizadas con cintas con dichas características, aunque estas conclusiones son fruto de la observación del comportamiento esperado respecto al funcionamiento del módulo de INRETS, ya que el número de muestras sobre las que hemos trabajado no fueron lo suficientemente significativas desde el punto de vista estadístico para poder aceptar los resultados como definitivos.

XI.3.2.2.1 Sensibilidad a características estáticas

Tiempo mínimo de detección:

Como en el caso del MLP de INRETS, el tiempo mínimo de detección en nuestro MLP es un parámetro que se fija de antemano y que servirá para determinar cuando un vehículo parado debe de activar una alarma. Repitiendo los experimentos anteriores con un tiempo de detección más alto obtenemos que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los PD o PFA de ambos módulos.

Cámaras en situadas en postes respecto a cámaras situadas en puentes:

No hemos podido evaluar el efecto de la situación de cámaras en postes o estructuras rígidas, puesto que a pesar de tener cintas con ambas características, no se encontraba añadido el efecto del viento, por lo que los resultados eran similares en ambos casos.

Orientación de las cámaras:

No se encuentra diferencia apreciable en nuestro MLP, de una orientación a otra.

Calidad de señales de vídeo:

No se ha podido evaluar este efecto.

Ocultamiento en curvas:

Este efecto, que es debido al ocultamiento en ciertas perspectivas también se produce en nuestro diseño, aunque existe una ligera mejoría en el PD respecto de INRETS (sobre el 2%), no significativa estadísticamente debido al pequeño número de muestras. La razón principal es que nosotros empleamos unos algoritmos que permiten mantener “activa” la

detección del vehículo cuando este es ocultado momentáneamente por otro, siempre y cuando la ocultación sea por un tiempo reducido y no de forma continuada.

Detección en el borde de la imagen:

Esta efecto no se ha manifestado en nuestro MLP, puesto que la metodología que empleamos no se basa en el seguimiento del vehículo, detectando la parada de vehículos una vez cruzan la línea de la máscara.

Efecto de parada entre carriles:

Este efecto no se produce en el módulo INRETS, basado en el seguimiento de vehículos, y sólo aparece en el nuestro cuando algún vehículo se detiene entre dos carriles, y únicamente aparece en nuestro módulo produciendo una disminución en el porcentaje de detección (- 3 %). La causa es que el vehículo, al estar dividido entre dos carriles y eliminarse las líneas de procesamiento más cercanas a la divisoria de estos, el vehículo no llega a ocupar el porcentaje de celdas mínimo para activar el proceso de detección.

XI.3.2.2.2 Sensibilidad a fenómenos dinámicos

Nivel de tráfico:

Este efecto es común en ambos MLP y se debe a la naturaleza de la situación, puesto que en congestión existen más vehículos que se detienen, con lo que son más fáciles de detectar.

Condiciones meteorológicas:

Lluvia y viento fuertes: En ninguno de los dos casos disponemos de cintas en donde se reflejasen incidentes bajo estas condiciones por lo que no hemos podido probar el funcionamiento de nuestro sistema en estas condiciones, ni mucho menos compararlo con los resultados presentados por el módulo INRETS, sin embargo, es de esperar un comportamiento análogo en estas condiciones, puesto que afectan de igual modo a la imagen original.

Efectos de la luz: A primera vista, nuestro sistema no se ve afectado en un incremento tan elevado de falsas alarmas durante la noche, mantiene su porcentaje medio de detección y de falsas alarmas, con variaciones no significativas, debido fundamentalmente a la diferencia de metodología empleada para la detección de vehículos (ver capítulo III), aunque el número de muestras obtenidas nos impide dar una valoración real de esta homogeneidad.

Efectos de la sombra: Las sombras laterales no producen efecto sobre el sistema, manteniéndose el porcentaje de detección, debido al empleo de un algoritmo para suprimirlas cuando estas tienen un tamaño considerable (ver capítulo IV).

XI.3.2.3 Conclusión

Para concluir hemos de admitir que la evaluación comparativa del funcionamiento de nuestro sistema ante fenómenos externos, no ha podido realizarse todo lo exhaustivamente que hubiéramos deseado, pero los primeros resultados muestran que el funcionamiento de ambos sistemas va a ser similar bajo las mismas condiciones externas, excepto para aquellos fenómenos cuya causa esté fundamentada en la metodología del proceso de detección.

CAPITULO XI

Evaluación del sistema: Resultados experimentales.

CONCLUSIONES ➤

CONCLUSIONES

La aplicación de técnicas de visión artificial para la detección de incidentes dentro de un entorno espacial se ha mostrado como un elemento innovador en el campo de los sistemas de DAI, que permite la detección de incidentes por su propia naturaleza y no por las consecuencias que estos producen, tal y como hacen los sistemas clásicos. Además, el empleo de las cámaras de CCTV como elementos de sensorización nos ha permitido trabajar sobre una amplia zona de carretera, introduciendo el **procesamiento espacial**, frente al procesamiento puntual que realizan los sistemas basados en lazos magnéticos. La consecuencia principal de este procesamiento espacial es la capacidad de los sistemas basados en técnicas de visión para detectar vehículos parados de forma individual y analizar su comportamiento sobre una superficie continua, frente a las limitaciones de la mayoría de los sistemas clásicos que únicamente detectan situaciones que producen retenciones.

A nivel del sistema de visión artificial, llamado Módulo Local de Procesamiento, hemos identificado y especificado, en estrecha colaboración con otros centros de investigación, una estructura centrada en un conjunto de módulos independientes que sirve de referencia básica para el desarrollo de nuevos sistemas de sensorización para la Detección Automática de Incidentes basados en procesamiento de imágenes. En este sentido, hemos aplicado un metodología, que tomando como punto de partida la división de la escena en celdas propuesta por Neil Hoose [Hoose, 92], emplea la **relación temporal** entre los puntos de procesamiento que mejora la **descripción cualitativa** del estado de la celda que Hoose obtenía, mediante la aplicación de un conjunto de reglas basadas en cinco parámetros de la celda: porcentaje de ocupación, porcentaje de parada, tiempo de ocupación, tiempo de parada y relación de presencia. Como resultado, hemos obtenido un sistema local de DAI, que en sus primeros resultados, iguala o mejora, sistemas semejantes (IMPACTS, TRISTAR, etc) y es capaz de detectar **nuevos tipos de incidentes**: Vehículos circulando en contra dirección, y de proporcionar **parámetros de tráfico** (velocidad, ocupación espacial y flujo), respondiendo de este modo a los requisitos propuestos por los operadores.

A pesar de lo dicho en el párrafo anterior, tenemos que decir que dentro del MLP la investigación no está cerrada, quedan algunos problemas por resolver, tales como el efecto de enmascaramiento sobre vehículos parados o el efecto de las luces de los vehículos que circulan en dirección contraria por carriles adyacentes al analizado; creemos además que es posible mejorar el funcionamiento del sistema respecto a la producción de falsas alarmas. Existen también problemáticas puntuales que necesitarían de la revisión de los algoritmos y las reglas internas para incrementar la eficacia del sistema en lugares particulares como túneles, en los que la variación brusca de luminosidad y la baja altura de la cámara producen una reducción en la calidad de las medidas y de las detecciones.

Sin embargo, si tenemos que seleccionar el aspecto más importante y novedoso que presentamos en nuestro trabajo, esta recaería sobre el Sistema Central de Procesamiento. De él hay que destacar tanto su planteamiento como elemento de detección, basado en algoritmos de



sección, y de gestión de la totalidad de la red, como su funcionalidad en el filtrado de falsas alarmas.

El SCP se concibió en primer lugar como un elemento de DAI, que empleaba, fundamentalmente, la información proporcionada por los Módulos Locales de Procesamiento, para realizar la **detección en las zonas virtuales**, situadas entre dos MLPs, permitiendo cubrir una amplia red de carretera con un número reducido de MLPs. Los resultados experimentales han demostrado la eficacia para llevar a cabo este proceso de detección, aunque los tipos de incidentes capaces de ser detectados en estas zonas se reducen a congestión. En segundo lugar, el SCP se concibió como un elemento de ayuda para el **soporte de decisiones** de los operadores. En este sentido ha mostrado ser útil en las tareas de monitorización, puesto que el sistema se encarga de recopilar el volumen de datos proporcionados por los MLP, presentando de forma gráfica y sencilla la situación del **estado del tráfico en tiempo real** y avisando al operador de la **presencia de incidentes en la red**.

A nuestro entender, uno de los elementos claves en la consecución de las capacidades del sistema, es la modelización para la descripción de la red de carreteras. Esta se basa en una **descripción a diferentes niveles**, que permite la adaptación del sistema a múltiples entornos y vías, estableciendo **relaciones lógicas** que facilitan la interpretación de la situación sobre cada tramo de la red en función de sus condiciones de contorno y el estado de sus segmentos vecinos. Hemos de destacar la compatibilidad de nuestro modelo con modelos empleados en simulación macroscópica, aspecto que abre el camino a nuevas líneas de trabajo que permitan **predecir el estado futuro de la red** y su evolución mediante la simulación de cortos periodos de tiempo en base a la situación existente en cada momento.

Otro de los aspectos destacables donde el SCP ha mostrado claras ventajas frente a otros sistemas de DAI, es su capacidad para el **filtrado de falsas alarmas**, y el **seguimiento de la evolución del incidente** a lo largo de la red. Ambos procesos se basan en el **análisis espacio-temporal** de la descripción cualitativa de la situación del tráfico. Para lo cual, hemos definido un conjunto de reglas que se encargan, en primer lugar de verificar la coherencia de las alarmas proporcionadas por los MLPs en función de la historia del segmento y sus relaciones con los segmentos vecinos; en segundo lugar, estas reglas establecen una correspondencia con segmentos con estados de tráfico más severos determinando si la situación producida es consecuencia de un incidente anterior, o por el contrario se debe a un incremento de la demanda. Este proceso nos ha permitido realizar una **descripción del incidente** mediante un conjunto de valores, tanto cualitativos como cuantitativos.

La evaluación del sistema ha constituido una de las tareas más costosas, técnica y temporalmente, del trabajo realizado. Hemos tratado en todo momento de llevar a cabo una evaluación lo más completa, amplia e independiente posible. Para ello, se realizaron un conjunto de pruebas piloto, en varios países, en las que se pusieron a prueba las diferentes funcionalidades del sistema. Estas pruebas no hubieran sido posible sin la colaboración de las administraciones locales y el soporte de varios proyectos del Programa Marco de la UE. La extensión de los experimentos, casi más de un año en conjunto, y la magnitud del sistema instalado, llegando a cubrir unos 30 km de carretera con 16 MLPs en el caso de Madrid, nos permite asegurar que esta es la **evaluación más exhaustiva** que se ha realizado en Europa de un sistema de estas características. Además, ésta fue realizada en gran medida por usuarios y operadores ajenos a su desarrollo, siguiendo la **metodología y criterios** predefinidos para cada uno de los aspectos bajo evaluación, lo que da fe de la validez e imparcialidad de los resultados obtenidos.

Con respecto a estos, hemos de destacar el excelente comportamiento del sistema, tanto a nivel del MLP como del SCP, a la hora de detectar vehículos parados en situaciones de congestión,

alcanzando porcentajes de detección del 99 %, muy por encima de sistemas basados en lazos magnéticos. Con respecto al resto de tipos incidentes, no detectables por sus consecuencias, el sistema ha presentado unos **resultados muy buenos** obteniendo porcentajes de detección que oscilan sobre el 85 %, demostrando su capacidad para operar en diversas condiciones, tanto de instalaciones e infraestructuras como medioambientales. Quizás el aspecto más sobresaliente que resume el comportamiento del sistema, ha sido la **buena aceptación de los operadores**, y su integración como elemento de ayuda a sus tareas diarias dentro de un Centro de Gestión de Tráfico. Aspecto este que siempre ha estado presente durante la etapa de investigación.

Un aspecto notorio, fuera de lo que consideraríamos como trabajo propio, es la aceptación que la Comunidad Europea ha mostrado al sistema desarrollado, el cual constituye en estos momentos el ejemplo más notable, y representativo, dentro del marco de investigación de sistemas para la detección y gestión de incidentes del entorno europeo.

Por último remarcar que el trabajo realizado no queda cerrado en esta memoria, sino que constituye un sólido punto de partida para el desarrollo de sistemas para la gestión integral de los incidentes que incluyan funciones que permitan tomar acciones de control para reducir los efectos de los incidentes, como la gestión de la red de paneles de mensajes variables o la sugerencia de itinerarios alternativos, y que pueden ser fácilmente incorporadas al sistema mediante la adición de los elementos adecuados a la estructura de la base de datos, sin necesidad de modificar los ya existentes.

CONCLUSIONES

GL

AR

AK

BU

BD

BE

BI

CC

CC

CC

CC

DD

DA

EN

EC

FE

HE

IV

IE

DD

IE

LE

MA

MA

MC

MO

MO

GLOSARIO ➤

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

- ARIMA:** AutoRegresive Integrated Moving Average model.
- ARTEMIS:** Automatic Road Traffic Event Monitoring and Information System (Sistema Automático de Información y Monitorización de eventos de tráfico en carreteras)
- BDD:** Base de Datos Dinámica.
- BDG:** Base de Datos Geográfica.
- BDI:** Base de Datos de Incidentes.
- BDP:** Base de Datos Periódicos.
- CCATS:** Camera and Computer-Aided Traffic Sensor.
- CCIDS:** Camera Controlled Incident Detection Sensors.
- CCTV:** Circuito Cerrado de Televisión.
- CGT:** Centro de Gestión de Tráfico
- DDA:** Detector de Área Ancha.
- DAI:** Detección Automática de Incidentes.
- EM:** Error relativo Medio.
- ECM:** Error Cuadrático Medio
- FFA:** Frecuencia de falsas alarmas.
- HIOCC** HIgh OCCupancy algorithm.
- I+D:** Investigación y Desarrollo.
- IDRIS:** Incident Detection for Road Informatics and Safety (Detección de Incidentes para Información de Trafico y Seguridad).
- IMPACTS:** Image Processing for Automatic Computer Traffic Surveillance.
- INRETS:** Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité.
- LISITT:** Laboratorio Integrado de Sistemas Inteligentes y Tecnologías de la información en Tráfico.
- MAE:** Módulo de Análisis Espacial.
- MAT:** Módulo de Análisis Temporal.
- MELYSSA:** Mediterranean-Lyon-Stuttgart Site for ATT.
- MDE:** Módulo de Datos Externos.
- MDI:** Módulo de Detección de Incidentes.

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

| | |
|---------------|---|
| MGA: | Módulo de Gestión de Alarmas. |
| MLP: | Módulo Local de Procesamiento. |
| MPI: | Módulo de Procesamiento de Imágenes. |
| MVA: | Módulo de Visión Artificial. |
| MVD: | Módulo de Validación de Datos. |
| NA: | Nivel de Alarma. |
| NC: | Nivel de Confianza. |
| NS: | Nivel de Servicio. |
| NSP: | Nivel de Servicio Previo. |
| PD: | Porcentaje de Detección |
| PE: | Porcentaje de Errores |
| PFA: | Porcentaje de Falsas Alarmas. |
| PIF: | Porcentaje de Incidentes Filtrados. |
| PIFC: | Porcentaje de Incidentes Filtrados Correctamente. |
| PIFE: | Porcentaje de Incidentes Filtrados Erróneamente. |
| PINF: | Porcentaje de Incidentes No Filtrados. |
| PMV: | Paneles de Mensajes Variables. |
| PTD: | Porcentaje Total de Detecciones |
| PTFA: | Porcentaje Total de Falsas Alarmas. |
| RE: | Rango del error. |
| RWS: | RijksWaterStaat transport research center. |
| SCOOT: | Split, Cycle and Offset Optimisation Technique. |
| SCP: | Sistema Central de Procesamiento. |
| SCT: | Sistema de Control de Tráfico. |
| SND: | Desviación normal estándar. |
| TMD: | Tiempo Medio de Detección. |
| UCL: | University College of London. |
| UE: | Unión Europea. |

REFERENCIAS ➤

REFERENCIAS

- [Abramczuk, 84] **T. Abramczuk:** "A Microcomputer based TV-Detector for Road Traffic", Symp. on Road Research Program, OECD, Tokyo 1984.
- [Abramczuk, 89] **T. Abramczuk and A. Bielik:** "Image Processing Techniques applied to Traffic Measurement", Proceedings of the IFAC conference on Control, Computers and Communications in Transportation, Paris, 1989.
- [Ahmed, 82] **S.A. Ahmed and A.R. Cook:** "Discrete Dynamic Models for Freeway Incident Detection Systems", Transportation Planning and Technology, 1982, Vol. 7, pp. 231-242.
- [Ahmed, 83] **S.A. Ahmed:** "Stochastic processes in freeway traffic", Traffic Engineering and Control, June/July 1983, pp. 306-310.
- [ARTIS /D7P1, 93] **J.J. Martínez, J. Martínez, S. Guillén:** "Methodology of evaluation of the INVAID system in M-40". Deliverable N°7 pI, ARTIS project, DRIVE II programme. September 1993.
- [ARTIS /D14, 95] **J.J. Martínez, J. Martínez, S. Guillén, R. Ferrís, A. Fuertes, J.M. Blosseville, M.M. Davee, P.Y. Appert:** "Execution of AID Field Trial in Spain". Deliverable N°14, ARTIS project, DRIVE II programme. April 1995.
- [ARTIS /D15, 95] **J.J. Martínez, J. Martínez, S. Guillén, R. Ferrís, A. Fuertes, V. Cavero, J.M. Blosseville, M.M. Davee, P.Y. Appert:** "Experiment results evaluation of the AID field trial". Deliverable N°15, ARTIS project, DRIVE II programme. May 1995.
- [Aymerich, 91] **M. Aymerich:** "Sistemas de detección convencional", Ponencia de XVIII Semana de la Carretera - Mesa Monográfica 2: Hacia unas carreteras inteligentes, Sevilla, 1991, p.p. 25-45.
- [Barceló, 91] **J. Barceló:** "Traffic Management Systems", Concise Encyclopedia of Traffic and Transportation Systems, Pergamon Press, 1991, pp. 541-550.
- [Bell, 86] **M.G.H. Bell and B. Thancanamootoo:** "Automatic Incident Detection in Urban Road Networks", Proceeding of Several Traffic Operation Management, 1986.

REFERENCIAS

- [Bell, 88] **M.G.H. Bell and S. Thancanamootoo:** "Automatic Incident Detection within Urban Traffic Control Systems", Proceeding of Roads and Traffic 2000 Conf., Berlin 1988, pp. 35-9.
- [Bell, 91] **M.C. Bell:** "Traffic Control Systems: Architecture", Concise Encyclopedia of Traffic and Transportation Systems, Pergamon Press, 1991, pp. 531-536.
- [Bell, 91] **M.C. Bell, G. Scemama and L.J. Ibbetson:** "CLAIRE: An Expert System for Congestion Management", Advanced Telematics in Road Transport, DRIVE Conference C.E.E., Bruselas 1991, pp. 596-613.
- [Beucher, 87] **S. Beucher, J.M. Blosseville and F. Lenoir:** "Traffic Spatial Measurements using Video Image Processing", Intelligent Robots and Computer Vision: Sixth in a Series, SPIE Vol. 848, 1987.
- [Blonk, 91] **J. Blonk:** "Universal roadside processor". Advanced Telematics in Road Transport, DRIVE Conference C.E.E., Bruselas 1991, pp. 1428-1437.
- [Blonk, 94] **J.C. Blonk and J. Giezen:** "Development of a General European Road Data Information Exchange Network, An architectural Development approach", Firts World Congress on ATT & IVHS, París, December 1994.
- [Blosseville, 89] **J.M. Blosseville, C. Krafft, F. Lenoir, V. Motyka and S. Beucher:** "TITAN: A Traffic Mesurement System using Image Processing Techniques", IEE 2nd International Conference on Road Traffic Monitoring, Conference publication n° 299, February 1989.
- [Blosseville, 91] **J.M. Blosseville, S. Sellam, S. Guillén, J.J. Martínez, V. Motika and F. Bessaguet:** "Automatic Incident Detection using Computer Vision Techniques", Advanced Telematics in Road Transport, DRIVE Conference C.E.E., Bruselas 1991.
- [Blosseville, 94] **J.M. Blosseville, J.M. Morin, S. Bouzar, F. Lenoir and P. Lochegnie:** "Results of TRISTAR AID System Obtained From 3 Field Experimentations", 7th International Conference on Traffic Monitoring and Control, London, April 1994.
- [Bogaert, 94] **Bogaert, Martel, Cornez and VanBunnen:** "CCDIS-Video Traffic Surveillance with a Grey level Profile Following Algorithm", WTCM Belgium-ISATA, Aachen 1994.
- [Bosque, 92] **J. Bosque:** "Sistemas de información geográfica". Ed. RIALP. Madrid 1992.
- [Box, 65] **G.E. Box:** "A new method for constrained optimization and comparison with other methods", Computer Journal 8, 42-52.
- [Box, 69] **G.E. Box and G. Jenkins:** "Time Series Analysis Forecasting and Control", Holden Day, 1969.

- [Brittan, 90] **P. Brittan and M.C. Fairhurst:** "High Speed Image Classification using Transputer Arrays", Colloquium on Image Analysis for Transport Applications, 16 February 1990.
- [Broqua, 91] **F. Broqua, G. Lerner, V. Mauro and E. Morello:** "Cooperative Driving: Basic Concepts and a first Assessment of *Intelligent Cruise Control* Strategies", Advanced Telematics in Road Transport, DRIVE Conference C.E.E., Bruselas 1991, pp. 908-915.
- [Burkhand, 87] **M. Burkhand and N. Rehfeld:** "Real Time Road Surveillance by an Optical Sensor", Real Time Image Processing: Concepts and Technologies, SPIE Vol. 860, 1987.
- [Busch, 90] **F. Busch and M. Fellendorf:** "Automatic Incident Detection on Motorways", Traffic Engineering and Control, April 1990, pp. 221-227.
- [Chatziioanou, 91] **A.E. Chatziioanou et al.:** "Testing and Feasibility of VIPS for Traffic Detection", ATT in Transportation Engineering, August 1991.
- [Cohen, 91] **S. Cohen and Z. Ketselidou:** "Systemes de Detection d'Incidents sur Autoroute", Journée Spécialisée, Arcueil Cedex, France, Décembre 1991.
- [Cohen, 93] **S. Cohen:** "Surveillance du trafic autoroutier. Test en Ile-de-France avec le logiciel DAISI", Recherche Transports Sécurité n° 37, Mars 1993, pp. 15-22.
- [Collins, 79] **J. F. Collins, C.M. Hopkins, J.A. Martin:** "Automatic Incident Detection - TRRL algorithms HIOCC and PATREG", Transp. Road Res. Lab. (U.K.), TRRL Suppl. Rep. 526, 1979.
- [Collins, 83] **J. F. Collins:** "Automatic incident detection. Experience with TRRL algorithm HIOCC", Departament of transport, TRRL. Report SR775, Crowthorne. 1983.
- [Conesa, 90] **M. Conesa y A. Garcia:** "Capacidad y niveles de servicio", Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, 90.370, 1990.
- [Cook, 74] **A.R. Cook and D.E. Cleveland** "Detection of freeway capacity-reducing incidents by traffic stream measurements", Transport Research Record 495 Incidents and Freeway Oper., 1974.
- [CORD, 94] **S. Guillén, A. Sala, X. Zhang et Al.:** "AID Task force working paper: FACT FINDING REPORT", CORD project V2056. Ertico, December 1994.
- [CORD, 95] **F. Busch, X. Zhang et Al.:** "Guidelines for the implementation of Automatic Incident Detection Systems", CORD project V2056. Ertico, March 1995.
- [Cremer, 81] **M. Cremer:** "Incident detection of freeways by filtering techniques", Preprints of the 8th IFAC Congress, Kyoto 1981.

- [Cypers, 90] **L. Cypers, G. Kolacny and J.M. Poncelet:** "CCATS: the Image Processing-based Traffic Sensor", Traffic Engineering and Control, June 1990, pp. 371-375.
- [Del Castillo, 93] **J.M. Del Castillo, P. Pintado y F.G. Benítez:** "Una Metodología para Ajustar Curvas Velocidad-Densidad a Datos de Tráfico", 1^{er} Symposium sobre Ingeniería de los Transportes, Sevilla, Marzo 1993, pp. 81-89.
- [Dickinson, 88] **K.W. Dickinson and C.L. Wan:** "Road Traffic Data Collection using the TRIP System", Proc. Seminar on Transportation Planning Methods and IEE Road Traffic Monitoring, February 1988.
- [Dickinson, 89] **K.W. Dickinson and R. Ashworth:** "Traffic Data Collection and Analysis using Video Image Processing", Proc. Seminar on Traffic Operation and Management PTRC. 1989
- [Elphinstone,87] **A.C. Elphinstone, M.K. Lau, A.P. Heron, L.Seed, G.S. Hobson, A.R. Powell, A. Houghton and R.C. Tozer:** "RAPAC: A High-Speed Image-Processing System", IEE Proceeding Vol 134, January 1987.
- [EUCO-COST,79] **EUCO-COST, 30:** "Theme 6 - Incident Detection". Refer. 30/94/79 XII/880/79
- [Fellendorf, 88] **M. Fellendorf:** "Comparison of Procedures for Automatic Incident Detection", Proceeding of Roads and Traffic 2000 Conf., Berlin 1988, pp. 233-238.
- [Gascón, 93] **C. Gascón Camarero e I. Garrido Santiago:** "Estimación Adaptativa del Estado del Tráfico, con Aplicación a la Detección de Incidentes", 1^{er} Symposium sobre Ingeniería de los Transportes, Sevilla, Marzo 1993, pp. 91-98.
- [Gonzalez, 87] **R.C. Gonzalez and P. Wintz:** "Digital Image Processing". 2nd edition, Addison-Wesley Publishing Company. 1987
- [Guillén, 91] **S. Guillén, J.J. Martínez y G. Martín:** "Aplicaciones de Técnicas de Procesamiento de Imágenes en Tráfico", Ponencia de XVIII Semana de la Carretera - Mesa Monográfica 2: Hacia unas carreteras inteligentes, Sevilla, 1991, p.p 47-67.
- [Hall, 93] **F.L. Hall, Y. Shi and G. Atala:** "On-line testing of the McMaster incident detection algorithm under recurrent congestion". 72nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, USA, 1993.
- [HERMES, 94] "Finnal project report", HERMES project, DRIVE II programe. CEE. 1994.
- [Hilgers,80] **C.J. Hilgers:** "A Method for Calculating a Group of Algorithms for Automatic Incident Detection", Rijkswaterstaat, The Hague, The Netherlands, 1980.

- [Hobbs, 89] **A.A. Hobbs and R.J. Clifford:** "AUTOWARN - A Motorway Incident Detection and Signalling System", Institution of Electrical Engineers, Conf. Road Traffic Monitoring, 1989, IEEE Report N° 299, pp. 167-71.
- [Hoose, 89] **N. Hoose:** "Queue Detection using Computer Image Processing", IEE 2nd International Conference on Road Traffic Monitoring, Conference publication n° 299, February 1989.
- [Hoose, 91] **N. Hoose:** "Computer image processing in traffic engineering", Research studies press LTD, England 1991.
- [Hoose, 92] **N. Hoose:** "IMPACTS: an Image Analysis Tool for Motorway Surveillance", Traffic Engineering and Control, March 1992, pp. 140-147.
- [Houghton, 87] **A. Houghton, G.S. Hobson, L. Seed and R.C. Tozer:** "Automatic Monitoring of Vehicles at Road Junctions", Traffic Engineering and Control, October 1987.
- [Houghton, 87] **A. Houghton, G.S. Hobson, L. Seed and R.C. Tozer:** "Automatic Vehicle Recognition", IEE 2nd International Conference on Road Traffic Monitoring, Conference publication n° 299, February 1989.
- [Iñigo, 85] **R.M. Iñigo:** "Traffic Monitoring and Control using Machine Vision: a Survey", IEEE Transactions on Industril Electronics, August 1985.
- [Iñigo, 90] **R.M. Iñigo y otros:** "Devlonics Traffic Monitoring System: A report on its evaluation Using Traffic Video tapes", US, February 1990.
- [INVAID I/D1, 89] **G. Martín, J.M. Blosseville, N. Hoose, F. Lemaire, F. Bessaguet and L. Cypers:** "State of the art report". Deliverable N°1, INVAID I project, DRIVE programme. April 1989.
- [INVAID I/D2, 89] **G. Martín, J.M. Blosseville, N. Hoose, F. Lemaire, F. Bessaguet and L. Cypers:** "Incident Definition". Deliverable N°2, INVAID I project, DRIVE programme. April 1989.
- [INVAID II/D13-I, 94] **J.M. Blosseville, J. Morin, A. Dekonick, L. Cypers and P.Y. Appert:** "Finnal Report of the Field Trial in Antwerp". Deliverable N°13 Part I, INVAID II project, DRIVE II programme. June 1994.
- [INVAID II/D15, 95] **J.M. Blosseville, J.J. Martínez, J. Martinez, S. Guillén, R. Ferrís, A. Fuertes, J. Morin, A. Dekonick, L. Cypers, R. Tegembos and J. Chrisoulakis:** "Validation of results and comparative analysis". Deliverable N°15, INVAID II project, DRIVE II programme. March 1995.
- [Ketselidou, 94] **Z. Ketselidou and S. Cohen:** "State of the Art of AID Systems. Part I: Loop Based Systems", Journée Spécialisée, Arcueil Cedex, France, Décembre 1991.
- [Kudo, 90] **Y. Kudo, T. Yamahira, T. Tsurutani and M. Naniwada:** "Traffic Flow Measurement System using Image Processing", Syst. and Comput., Japan, Vol. 17. 1990.

- [Kühne, 87] **R. Kühne:** "Freeway speed distribution and acceleration noise calculations from stochastic continuum theory and comparisons with measurements", Proc. 10th Int. Symp. Transport and Traffic Theory, Elsevier, Amsterdam, pp. 119-37
- [Lakisminarayanan, 89] **N. M. Lakisminarayanan and Y.J. Stehenedes:** "Expert system for strategic response to Freeway Incidents". AATT Conference, February 1989.
- [Levin, 79] **M. Levin and G.M. Krause:** "Incident Detection Algorithms", Transp. Res. Rec. 772, 1979, pp.49-58.
- [Levin, 82] **M. Levin and G.M. Krause:** "Incident Detection - A Bayesian Approach", Transp. Res. Rec. 682, 1982, pp.52-58.
- [List, 89] **G. List, J. Pond, R. Raess, D. Knitowski and S. Krishnamurthy:** "Video Image Processing Pattern Recognition to Perform Traffic Counts", AATT Conference, February 1989.
- [Mammar, 94] **S. Mammar and J.M. Blosseville:** "Traffic Variables Recovery", 7th IFAC/IFORS Symposium on Transportation Systems: Theory and Application of Advanced Technology, Tianjin, China, August 1994, Vol I pp. 55-60.
- [Martínez, 89] **J.J. Martínez:** "Estado del arte en proceso digital de imágenes aplicado al tráfico". Informe para la empresa ETRA. Proyecto TIMS. Marzo 1989.
- [Messer, 74] **C. J. Messer and C.L. Dudek:** "Incident detection on urban freeways". Transportation Research Record 495, 1974, pp 12-24.
- [Michalopoulos, 89] **P. G. Michalopoulos R. Fitch and B. Wolf:** "Development of a Breadboard System for Wide Area Vehicle Detection", AATT Conference, February 1989, pp 139 - 146.
- [Michalopoulos, 92] **P.G. Michalopoulos et al.:** "Field Deployment of AUTOSCOPE in the FAST-TRAC ATMS ATIS programme", Traffic Engineering and Control, September 1992.
- [Michalopoulos, 93] **P.G. Michalopoulos, R.D. Jacobson, C.A. Anderson and T.B. DeBruycker:** "Automatic Incident Detection through Video Image Processing", Traffic Engineering and Control, February 1993, pp. 66-75.
- [Michalopoulos, 94] **P. G. Michalopoulos and C. A. Anderson:** "The economics of video detection implementation on freeways", Traffic Engineering and Control, December 1994, pp 679 - 684.
- [Moore, 81] **R.C. Moore:** "Road Sensors for Traffic Data Collection", Sensors in highway and civil engineering, ICE, London 1981, pp 73-83.
- [Papageorgiou, 90] **M. Papageorgiou:** "METANET Documentation", Technische Universitat Munchen, 1990.

- [Papageorgiou, 91] **M. Papageorgiou:** "Traffic Control Models", Concise Encyclopedia of Traffic and Transportation Systems, Pergamon Press, 1991, pp. 530-531.
- [Payne, 76a] **H.J. Payne, E.D. Helfenbein and H.C. Knobel:** "Development and Testing of Incident Detection Algorithms", Vol 2 Final Report FHWA Contract N° FH 11 8278, February 1976.
- [Payne, 76b] **H.J. Payne, D.N. Goodwin and M.D. Teener:** "Evaluation of Existing Incident Detection Algorithms", Federal Highway Administration Report N° FHWA-RD-75-39, 1976.
- [Persaud, 88] **B.N. Persaud and F.L. Hall:** "Catastrophe Theory and Patterns in 30-second Freeway Traffic Data-Implications for Incident Detection", Transpn. Res. -A, Vol.23A, N° 1, pp.103-113.
- [Pfannerstill, 89] **E. Pfannerstill:** "Automatic Monitoring of Traffic Conditions by Reidentification of Vehicles", Institution of Electrical Engineers, Conf. Road Traffic Monitoring, IEEE Report N° 299, 1989, pp. 172-175.
- [PIMS D1, 92] **J.J. Martínez, S. Bayarri, S. Guillén, J.M. Blosseville and F. Lenoir:** "Prototype specification report". Deliverable N°1, PIMS project, VALUE programme, March 1992.
- [Ritchie, 90] **S. G. Ritchie:** "A Knowledge-based Decision Support Architecture for Advanced Traffic Management", Transpn. Res.-A., Vol.24A, N° 1, Printed in Great Britain 1990, pp. 27-37.
- [Ritchie, 93] **S. G. Ritchie:** "Applications of Emerging Technologies in Intelligent Vehicle Highway Systems", 1^{er} Symposium sobre Ingeniería de los Transportes, Sevilla, Marzo 1993.
- [Roberts, 94] **N.P. Roberts and S.A. Webb:** "Incidents on motorways". Traffic Engineering and Control. October 1994.
- [Rourke, 91] **A. Rourke and M. G. H. Bell:** "Queue detection and congestion monitoring using image processing". Traffic engineering and control, September 1991, pp. 412-421.
- [Shimizu, 89] **K. Shimizu and N. Shigehara:** "Image Processing System used Cameras for Vehicle Surveillance", IEE 2nd International Conference on Road Traffic Monitoring, Conference publication n° 299, February 1989.
- [Tritel, 93] **N.V. Tritel:** Evaluation of CCATS", Report of project EUROTRIANGLE, October 1993.
- [Versavel, 89] **J. Versavel, F. Lemaire and D. Van der Stede:** "Camera and Computer-Aided traffic Sensor", IEE 2nd International Conference on Road Traffic Monitoring, Conference publication n° 299, February 1989.

- [Wan, 90] **C.L. Wan, K.W. Dickinson, A. Rourke, M.G.H. Bell and N. Hoose:** "Low-cost Image Analysis Transport Applications", Colloquium on Image Analysis for Transport Applications, 16 February 1990.
- [Wild, 91] **B. Wild:** "Using Artificial Intelligence in Traffic Engineering. Perspectives and Potential Applications", Advanced Telematics in Road Transport, DRIVE Conference C.E.E., Bruselas 1991, pp. 881-891.
- [Yagar, 91] **S. Yagar:** "Traffic Control Systems: Trends", Concise Encyclopedia of Traffic and Transportation Systems, Pergamon Press, 1991, pp. 536-541.

REFERENCIAS RELACIONADAS CON ESTA MEMORIA

- [Guillén, 92] **S. Guillén, J.J. Martínez, F. Bessaguet and G. Martín:** "Knowledge Based System for Traffic Monitoring and Incident and Congestion Detection, using Image Processing and Computer Vision Data", IEE Proceeding of the Sixth International Conference on Road Traffic Monitoring and Control, London, April 1992, pp. 148-152.
- [Guillén, 93] **S. Guillén and J.J. Martínez:** "Field Trials on Video based AID; Achievements and Evaluation issues", Technical Days DRIVE conference, Bruselas, Febrero 1993, pp. 287-292.
- [Guillén, 93] **S. Guillén and J.J. Martínez:** "Evaluation of the INVAID AID System in a Ring Motorway Section in Madrid", ISSATA, 26th International Symposium on Automotive Technology and Automation, Germany, Septiembre 1993, pp. 603-608.
- [Guillén, 94] **S. Guillén, A. Fuertes, E. Díaz, R. Ferrís, V. Cavero and J.J. Martínez:** "Evaluation of a computer vision based automatic incident and congestion detection system in a urban context", IFAC: 7th Symposium on Transportation Systems, China, August 1994, pp. 489-495.
- [Guillén, 94] **S. Guillén, J.J. Martínez, J.M. Blosseville, P. Chauvet, J.M. Morin, M. Renard, A. Dekoninck, L. Cypers and B. Lepers:** "Evaluation of the INVAID AID System in a Motorway Environment", Firts World Congress on ATT & IVHS, París, December 1994.
- [Martínez, 94] **J.J. Martínez, S. Guillén, S. Sellam, A. Boulmakoul, F. Boilot, E. Díaz, R. Ferrís and V. Cavero:** "Evaluation of a Computer Vision based Automatic Incident Detection System in an urban context", Firts World Congress on ATT & IVHS, París, December 1994.
- [Martínez, 95] **J.J. Martínez, R. Ferrís, J. Martínez, S. Guillén and A. Fuertes:** "Final results of the VIGIL system from European field trials", 3th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, Barcelona, September 27-29, 1995.

ANEXO ➤

ANEXO

FORMULARIOS DE EVALUACIÓN

A continuación presentamos los formularios empleados en la evaluación del sistema. Estos están divididos en dos bloques, y forman parte del Deliverable de evaluación del proyecto ARTIS [ARTIS /D7P1, 93].

- BLOQUE 1: Evaluación general.
 - FORM 1: Criterios técnicos.
 - FORM 2: Integración tipo A.
 - FORM 3: Integración tipo B
 - FORM 4: Aceptación.
 - FORM 5: Costos.
- BLOQUE 2: Evaluación del interface gráfico.
 - FORM 1: Integrabilidad.
 - FORM 2: Recursos gráficos.
 - FORM 4: Aceptación de las prestaciones.

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

TECHNICAL CRITERIA

FORM 1

Page 1 of 4

GLOBAL RESULTS

Site: Scenario: Results: Camera position
Period: CP1:
CP2:
...:

| | CP 1 | CP 2 | ... | Together |
|-----------------------------|------|------|-----|----------|
| Number of real incidents | | | | |
| Number of detected incident | | | | |
| Detection rate DR | | | | |
| Number of false alarms | | | | |
| False alarm rate FAR | | | | |
| False alarm frequency FAF | | | | |
| Mean time to detect MTTD | | | | |

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

TECHNICAL CRITERIA

FORM 1

Page 2 of 4

GLOBAL RESULTS

Site: Scenario: Results: Ligt
Period: LIG1: day
LIG2:
LIG3:

| | LIG 1 | LIG 2 | LIG 3 | Together |
|-----------------------------|-------|-------|-------|----------|
| Number of real incidents | | | | |
| Number of detected incident | | | | |
| Detection rate DR | | | | |
| Number of false alarms | | | | |
| False alarm rate FAR | | | | |
| False alarm frequency FAF | | | | |
| Mean time to detect MTTD | | | | |

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

TECHNICAL CRITERIA

FORM 1

Page 3 of 4

GLOBAL RESULTS

Site:

Scenario:

Results: Incident type

Period:

IT1: stop in emergency

IT2: stop on carriage way in free flow

IT3: stop on carriage way in congestion

IT4: slowing down traffic

IT5: recovering traffic

| | IT 1 | IT 2 | IT 3 | IT 4 | IT 5 | Together |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|----------|
| Number of real incidents | | | | | | |
| Number of detected incident | | | | | | |
| Detection rate DR | | | | | | |
| Number of false alarms | | | | | | |
| False alarm rate FAR | | | | | | |
| False alarm frequency FAF | | | | | | |
| Mean time to detect MTTD | | | | | | |

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

TECHNICAL CRITERIA

FORM 1

Page 4 of 4

GLOBAL RESULTS

Site:

Scenario:

Results: Camera orientation

Period:

CO1: approaching

CO2: leaving

| | CO 1 | CO 2 | Together |
|-----------------------------|------|------|----------|
| Number of real incidents | | | |
| Number of detected incident | | | |
| Detection rate DR | | | |
| Number of false alarms | | | |
| False alarm rate FAR | | | |
| False alarm frequency FAF | | | |
| Mean time to detect MTTD | | | |

ARTIS WA 3 EVALUATION FORMS

INTEGRABILITY TYPE "a": No direct connection

FORM 2

Page 1 of 5

Objective:

The objective of these Forms are to assess the suitability of the INVAID data to bring the operator with valuable information and assist him/her in the daily operation of the TCS.

Scenario definition:

INVAID CS is attached to all LSMs and runs in a dedicated workstation with graphic screen and keyboard. INVAID Operator (IOP) has or could have direct vision to the CCTV monitors on a wall panel. Output data from INVAID is sent to the screen and to internal files. No connection is provided between INVAID system and any other (except of external media for alerting the operator on alarms).

Actual installation description:

Describe here the environment where the INVAID system is installed and its current use. ie: the INVAID system is used to provide high level of automatization to an existing (or new) CCTV based surveillance system with added capabilities of incident detection.

| Site (City) | Organization | Operator name | Period of test | Date |
|-------------|--------------|---------------|----------------|------|
| | | | | |

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

INTEGRABILITY TYPE "a": No direct connection

FORM 2

Page 2 of 5

Features to evaluate: ALARMS

1- Qualify the usefulness of data for the normal operation of your system

A: very high B: High C: Medium D: Irrelevant E: Harmful or annoying

2- Qualify the correspondence between the data and the existing data in your system

A- High correspondence B- Equivalent data exist C- No equivalent data exist

3- Describe the use you make or would make of this data

| Type of Alarm | 1 | 2 | 3 |
|--|---|---|---|
| Alarm 1: stationary vehicle in the shoulder lane | | | |
| Alarm 2: stationary vehicle in the main lane | | | |
| Alarm 3: stationary vehicle in congestion | | | |
| Alarm 4: low speed traffic condition | | | |
| Alarm 5: incident situation in blind zone | | | |

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

INTEGRABILITY TYPE "a": No direct connection

FORM 2

Page 3 of 5

Features to evaluate: MEASUREMENTS AND TRAFFIC DATA

1- Qualify the usefulness of data for the normal operation of your system

A: very high B: High C: Medium D: Irrelevant E: Harmful or annoying

2- Qualify the correspondence between the data and the existing data in your system

A- High correspondence B- Equivalent data exist C: No equivalent data exist

3- Qualify the level of the traffic description

A: OK B- Too many levels (mark grouping) C: Too few levels (specify number)

4- Describe the use you make or would make of this data

| Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------------------|---|---|---|---|
| Speed | | | | |
| Spatial occupancy (Density) | | | | |
| Flow | | | | |
| Traffic Level of Service: | | | | |
| Empty | | | | |
| Normal | | | | |
| Low congestion | | | | |
| Medium congestion | | | | |
| High congestion | | | | |

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

INTEGRABILITY TYPE "a": No direct connection

FORM 2

Page 4 of 5

Features to evaluate: SPATIAL AND TEMPORAL DESCRIPTION

1- Qualify the usefulness of data for the normal operation of your system

A: very high B: High C: Medium D: Irrelevant E: Harmful or annoying

2- Qualify the correspondence between the data and the existing data in your system

A- High correspondence B- Equivalent data exist C: No equivalent data exist

3- Describe the use you make or would make of this data

4- Indicate additional data you would like to get

| Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------|---|---|---|---|
| Incident tracking | | | | |
| Evolution of congestion | | | | |
| Phases of evolution | | | | |

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

INTEGRABILITY TYPE "a": No direct connection

FORM 2

Page 5 of 5

Features to evaluate: GLOBAL APPRAISAL

1- Qualify the usefulness of the INVAID system to assist you in the daily operation of the TCS

A: very high B: High C: Medium D: Irrelevant E: Harmful or annoying

2- Qualify the level of correspondence between the INVAID data and the usual data you normally use in the daily operation

A: High correspondence B: Significant correspondence C: Low D: None

3- Qualify the improvements you have detected using the INVAID system in your daily routine

A: very high B: High C: Medium D: Irrelevant E: Negative

1

2

3

Describe the improvements you have detected using the INVAID system in your daily routine

Indicate data you would recommend for integration into the Traffic Control system

| | | |
|----------------------------------|-----|----|
| Alarms | YES | NO |
| Measurements and traffic data | YES | NO |
| Spatial and temporal description | YES | NO |

Additional comments from operator:

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

INTEGRABILITY TYPE "b": Direct connection exist between
INVAID and the TCS

FORM 3

Page 1 of 8

Objective:

The objective of these Forms are to assess the aptitude of the INVAID system to share data with the TCS and to bring the operator with valuable information and assist him/her in the daily operation of the TCS.

Scenario definition:

INVAID CS is attached to all LSMs and runs in a dedicated workstation with graphic screen and keyboard. INVAID Operator (IOp) has or could have direct vision to the CCTV monitors on a wall panel. A connection is provided between the INVAID system to the TCS. Output data from INVAID is sent to the screen, to internal files and to the TCS. The TCS operator may have access to INVAID through his/her computer terminal.

Actual installation description:

Describe here the environment where the INVAID system is installed and its current use.

| Site (City) | Organization | Operator name | Period of test | Date |
|-------------|--------------|---------------|----------------|------|
| | | | | |

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

INTEGRABILITY TYPE "b": Direct connection exist between
INVAID and the TCS

FORM 3

Page 2 of 8

Features to evaluate: DATA TO DATA CORRESPONDENCE

Identify the data of the TCS / INVAID system that has a correspondent data in the INVAID / TCS

- 1- The data is identical. No significant difference exist neither in meaning nor in use.
- 2- The data/s are similar or has a high level of equivalence. They might be used indistinctly.
- 3- The data has/have low equivalence, however it might be used after some equivalence or interfacing.
- 4- The data has no equivalence in the other system.

Please indicate with an arrow and the appropriated number.

| ALARMS | | ALARMS |
|---|--|-------------------------------|
| 1-stationary vehicle in the shoulder lane | | |
| 2- stationary vehicle in the main lane | | |
| 3- stationary vehicle in congestion | | |
| 4- low speed traffic condition | | |
| 5- incident situation in blind zone | | |
| | | |
| MEASUREMENTS AND TRAFFIC DATA | | MEASUREMENTS AND TRAFFIC DATA |
| Speed | | |
| Spatial occupancy | | |
| Flow | | |
| Traffic Level of Service: | | |
| Empty | | |

| | | |
|---|--|---|
| Normal | | |
| Low congestion | | |
| Medium congestion | | |
| High congestion | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| SPATIAL AND TEMPORAL DESCRIPTION | | SPATIAL AND TEMPORAL DESCRIPTION |
| Incident tracking | | |
| Evolution of congestion | | |
| Phases of evolution | | |
| | | |
| OTHER DATA | | OTHER DATA |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

TOTAL NUMBER OF 1s:

TOTAL NUMBER OF 2s:

TOTAL NUMBER OF 3s:

TOTAL NUMBER OF 4s:

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

INTEGRABILITY TYPE "b": Direct connection exist between
INVAID and the TCS

FORM 3

Page 4 of 8

Features to evaluate: EQUIVALENCE OF TYPE 1

From the FORM 3 Pages 2&3, identify those data labeled with a number 1 and describe. Add pages if necessary.

| SYSTEM | INVAID | TCS |
|-----------------|--------|-----|
| | | |
| NAME | | |
| DEFINITION | | |
| FORMULA | | |
| MIN INTEG. TIME | | |
| RANGE | | |
| INTEGRABILITY | | |
| | | |
| NAME | | |
| DEFINITION | | |
| FORMULA | | |
| MIN INTEG. TIME | | |
| RANGE | | |
| INTEGRABILITY | | |

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

INTEGRABILITY TYPE "b": Direct connection exist between
INVAID and the TCS

FORM 3

Page 5 of 8

Features to evaluate: EQUIVALENCE OF TYPE 2

From the FORM 3 Pages 2&3, identify those data labeled with a number 2 and describe. Add pages if necessary.

| SYSTEM | INVAID | TCS |
|-------------------------|--------|-----|
| | | |
| NAME | | |
| DEFINITION | | |
| FORMULA | | |
| MIN INTEG. TIME | | |
| RANGE | | |
| MAIN DIFFERENCE | | |
| CHANGES FOR INTEGRATION | | |
| | | |
| NAME | | |
| DEFINITION | | |
| FORMULA | | |
| MIN INTEG. TIME | | |
| RANGE | | |
| MAIN DIFFERENCE | | |
| CHANGES FOR INTEGRATION | | |

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

INTEGRABILITY TYPE "b": Direct connection exist between
INVAID and the TCS

FORM 3

Page 6 of 8

Features to evaluate: EQUIVALENCE OF TYPE 3

From the FORM 3 Pages 2&3, identify those data labeled with a number 3 and describe. Add pages if necessary.

| SYSTEM | INVAID | TCS |
|---------------------------|--------|-----|
| | | |
| NAME | | |
| DEFINITION | | |
| FORMULA | | |
| MIN INTEG. TIME | | |
| RANGE | | |
| MAIN DIFFERENCE | | |
| LIKELIHOOD OF INTEGRATION | | |
| CHANGES FOR INTEGRABILITY | | |
| | | |
| NAME | | |
| DEFINITION | | |
| FORMULA | | |
| MIN INTEG. TIME | | |
| RANGE | | |
| MAIN DIFFERENCE | | |
| LIKELIHOOD OF INTEGRATION | | |
| CHANGES FOR INTEGRABILITY | | |

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

INTEGRABILITY TYPE "b": Direct connection exist between
INVAID and the TCS

FORM 3

Page 7 of 8

Features to evaluate: DATA WITH NO EQUIVALENCE

From the FORM 3 Pages 2&3, identify those data labeled with a number 4 and describe. Add pages if necessary.

| DATA | DESCRIPTION |
|--|--|
| | |
| SOURCE | |
| NAME | |
| DEFINITION | |
| FORMULA | |
| MIN INTEG. TIME | |
| RANGE | |
| | |
| Qualify the likely use in the other system | A- Too positive B- Recommended <input type="checkbox"/> C- No significant D- No recommended |
| Describe the expected benefit | |
| Needed changes for integrability (in both systems) | |
| Estimated cost of such changes | A- No significant B- Affordable <input type="checkbox"/> C- Too costly C- Impossible |

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

INTEGRABILITY TYPE "b": Direct connection exist between
INVAID and the TCS

FORM 3

Page 8 of 8

Features to evaluate: GLOBAL APPRAISAL

1- Qualify the usefulness of the INVAID data in the TCS operation

A: very high B: High C: Medium D: Irrelevant E: Harmful or annoying

2- Qualify the level of equivalence between the INVAID data and the TCS data

A: High equivalence B: Significant equivalence C: Low D: None

3- Qualify the improvements you have detected using the INVAID system as a data source of the TCS

A: very high B: High C: Medium D: Irrelevant E: Negative

1

2

3

Describe the improvements you have detected using the INVAID system directly connected to the TCS

Indicate data you would recommend for further integration into the Traffic Control system

| | | | |
|----------------------------------|---------|-----|----|
| Alarms | ALREADY | YES | NO |
| Measurements and traffic data | ALREADY | YES | NO |
| Spatial and temporal description | ALREADY | YES | NO |

Additional comments from operator:

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

ACCEPTANCE ASSESSMENT

FORM 4

Page 1 of 6

Objective:

The objective of these Forms are to assess the acceptance of the INVAID system and the usefulness and benefit of its integration in the current (or any further) TCS, from the part of the user.

Scenario definition:

INVAID CS was evaluated during (.....) month, following the evaluation procedures defined by INVAID II project. The results has been analysed by the user who is now in condition to bring his/her opinion about the different features appraised in the field trial.

The role of the person in charge of this assessment must be differentiated, according to the following categories:

- a) Strategically (decision maker)
- b) Managerial (TCC manager)
- c) Operational (System operator)

Actual installation description:

Describe here the environment where the INVAID system is installed and its current use.

| Site (City) | Organization | User role id. | Period of test | Date |
|-------------|--------------|---------------|----------------|------|
| | | | | |

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

ACCEPTANCE ASSESSMENT

FORM 4

Page 2 of 6

Features to evaluate: **INTRINSIC PERFORMANCE**

Give your valuation of the following features, according to the scale below:

- A: Very positive/useful. High quality performance. It meet in excess our requirements
- B: Positive/useful. Good performance. It meet our requirements
- C- Fairly positive/useful. Performance should be improved. It partially meet our requirements
- D- No positive/useful. Low performance. It should be dramatically improved to meet our req.

| USEFULNESS OF ALARMS | VAL | COMMENTS |
|---|-----|----------|
| 1-stationary vehicle in the shoulder lane | | |
| 2- stationary vehicle in the main lane | | |
| 3- stationary vehicle in congestion | | |
| 4- low speed traffic condition | | |
| 5- incident situation in blind zone | | |
| Indicate other alarms you would like to get | | |
| INTRINSIC PERFORMANCE | | COMMENTS |
| False Alarm Rate (LSM global) | | |
| False Alarm Rate (CS global) | | |
| Detection Rate | | |
| Detection Time (MTTD) | | |
| Location Accuracy | | |
| Indicate improvements you would like to get | | |

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

ACCEPTANCE ASSESSMENT

FORM 4

Page 3 of 6

| ACCURACY MEASUREMENTS TRAFFIC DATA | OF AND | VAL | COMMENTS |
|---|-----------|-----|----------------------------------|
| Speed | | | |
| Spatial occupancy | | | |
| Flow | | | |
| Traffic Level of Service: | | | |
| Empty | | | |
| Normal | | | |
| Low congestion | | | |
| Medium congestion | | | |
| High congestion | | | |
| Other data you would like to get | | | |
| SPATIAL AND TEMPORAL DESCRIPTION | | | SPATIAL AND TEMPORAL DESCRIPTION |
| Incident tracking | | | |
| Evolution of congestion | | | |
| Phases of evolution | | | |
| Other description you would like to get | | | |

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

ACCEPTANCE ASSESSMENT

FORM 4

Page 4 of 6

Features to evaluate: INTEGRABILITY

Give your valuation of the following features, according to the scale below:

- A: Very High. No changes are needed. It can be used immediately.
- B: Good. Non or minor changes are needed.
- C: Medium. Significant changes are needed. But it worth.
- D: No integration is possible or recommended.

| FEATURES | VAL | COMMENTS |
|---|-----|----------|
| Alarms | | |
| Measurements | | |
| Traffic Level of Service | | |
| Spatial and temporal description | | |
| Type of Integrability you would like to get | | |
| Global appraisal | | |

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

ACCEPTANCE ASSESSMENT

FORM 4

Page 5 of 6

Features to evaluate: COST AND POTENTIAL BENEFITS

Give your evaluation of the following features, according to the scale below, taking into account the current infrastructure and integration plans:

- A: Very positive. Affordable cost for the expected performance.
- B: Positive. Cost is affordable if performance is maintained.
- C- Fairly positive. Cost should be reduced to cater for expected performance.
- D No too positive. Too costly. It must be reduced to cater for the expected performance
- E Negative. Too costly. It does not worth for the expected performance.

| COST | VAL | COMMENTS |
|------------------------------------|-----|----------|
| Video equipment (camera, lens ...) | | |
| Infrastructure (poles, EP,) | | |
| Communication (coax, fiber ...) | | |
| Video processing (INVAID) & AID | | |
| Installation | | |
| Maintenance | | |
| Global cost for your installation | | |

ARTIS WA 3 - EVALUATION FORMS

ACCEPTANCE ASSESSMENT

FORM 4

Page 6 of 6

Features to evaluate: COST AND POTENTIAL BENEFITS

Give your valuation of the following features, according to the scale below, taking into account the current infrastructure and integration plans:

- A: Very positive. Very high benefit expected .
- B: Positive. High benefit may be obtained.
- C- Fairly positive. More accurate estimation of benefit is necessary.
- D Low benefit. It is not very sure this benefit can be relevant.

| BENEFIT | VAL | COMMENTS |
|-----------------------------|-----|----------|
| Time benefits | | |
| Safety benefits | | |
| Indirect overall benefits | | |
| Global appraisal of benefit | | |

ARTIS WA 3

SITE :

COSTS

| ITEM | | PER UNIT | QUANTITY | TOTAL COST | EXPLANATORY FACTORS |
|------------------|-------------------|----------|----------|------------|---|
| VIDEO EQUIPMENT | CAMERA | | | | total length covered, number of cameras, monitors, switching matrix, optical correctors, special features. |
| | ... | | | | |
| | ... | | | | |
| INFRASTRUCTURE | POLES | | | | poles, gantries, additional or reused, power supply, clustering facilities, choices made for the optimization of cameras number and position, special geometric features of the motorway section, ... |
| | ... | | | | |
| | ... | | | | |
| COMMUNICATION | CABLE | | | | architecture, and communication link justification (fiber optics, coax,...) transmission technique (multiplex, compression...), additional or re-used facilities, civil engineering specific costs. |
| | CIVIL ENGINEERING | | | | |
| | ... | | | | |
| VIDEO PROCESSING | ANALYSER | | | | version of LSM and CSM used (which incidents detected, which functions used ? ...) |
| | SERVER | | | | |
| | CENTRAL SYSTEM | | | | |
| | ... | | | | |
| INSTALLATION | ... | | | | any justification of unusual costs, if relevant ; includes reception costs and operators training costs. |
| | ... | | | | |
| | ... | | | | |
| OPERATION | POWER | | | | |
| | ... | | | | |
| | ... | | | | |
| MAINTENANCE | CAMERA | | | | based on observed costs with mention of specific maintenance problems, if any. |
| | ... | | | | |
| | ... | | | | |

ARTIS WA 3: HOJAS DE EVALUACIÓN

INTERFACE GRAFICO

FORM 1 Pag: 2/1

**2. INFORMACION
SOBRE LA RED****GRAFICA****COMENTARIOS**

| | | |
|--|--|--|
| 2.1 Marque la información que considera adecuada de esta ventana | <input type="checkbox"/> Número de cámara <input type="checkbox"/> Número de LSM <input type="checkbox"/> número de segmento <input type="checkbox"/> número de carretera <input type="checkbox"/> dirección <input type="checkbox"/> número de incidentes <input type="checkbox"/> iconos <input type="checkbox"/> Otros | |
| 2.2 Representación cámaras y/o número de cámara en la red | <input type="checkbox"/> Clara <input type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Confusa | |
| 2.3 Representación del número de LSM | <input type="checkbox"/> Clara <input type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Confusa | |
| 2.4 Representación del número de segmento | <input type="checkbox"/> Clara <input type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Confusa | |
| 2.5 Representación del número de carretera | <input type="checkbox"/> Clara <input type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Confusa | |
| 2.6 Representación de la dirección | <input type="checkbox"/> Clara <input type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Confusa | |
| 2.7 Representación del número de incidentes | <input type="checkbox"/> Clara <input type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Confusa | |
| 2.8 Representación de iconos | <input type="checkbox"/> Clara <input type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Confusa | |

**3. INFORMACION
SEGMENTOS****SOBRE****COMENTARIOS**

| | | |
|---|---|--|
| 3.1 Datos de la ventana estática de segmentos | <input type="checkbox"/> Demasiados <input type="checkbox"/> Correctos <input type="checkbox"/> Muy pocos | |
| 3.2 Significado de la información estática de segmentos | <input type="checkbox"/> Clara <input type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Confusa | |

ARTIS WA 3: HOJAS DE EVALUACIÓN

INTERFACE GRAFICO

FORM 1 Pag: 3/1

| | | |
|--|--|--|
| 3.3 Marque la información que considera adecuada de esta ventana | <input type="checkbox"/> Tipo de segmento <input type="checkbox"/> Longitud <input type="checkbox"/> Número de carretera <input type="checkbox"/> Número de LSM asociado <input type="checkbox"/> Número de cámara asociada <input type="checkbox"/> Tipo de carretera <input type="checkbox"/> Datos relativos al LSM <input type="checkbox"/> Otras informaciones | |
| 3.4 Datos de la ventana dinámica de segmentos | <input type="checkbox"/> Demasiados <input type="checkbox"/> Correctos <input type="checkbox"/> Muy pocos | |
| 3.5 Significado de la información dinámica de segmentos | <input type="checkbox"/> Clara <input type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Confusa | |
| 3.6 Marque la información que considera adecuada de esta ventana | <input type="checkbox"/> Información de segmento <input type="checkbox"/> Nivel de servicio <input type="checkbox"/> Nivel de confianza <input type="checkbox"/> <i>Report</i> de incidentes <input type="checkbox"/> Datos de tráfico <input type="checkbox"/> Otras informaciones | |
| 3.7 Frecuencia de refresco de la información | <input type="checkbox"/> Excesiva <input type="checkbox"/> Adecuada <input type="checkbox"/> Lenta | |

4. VENTANAS DE INFORMACION.

COMENTARIOS

| | | |
|--|--|--|
| 4.1 Marque la información que considera adecuada de esta ventana | <input type="checkbox"/> Estado de los analizadores <input type="checkbox"/> Incidentes activos <input type="checkbox"/> Alarmas deshabilitadas <input type="checkbox"/> Datos estaticos de segmentos | |
| 4.2 Información sobre estado de los analizadores | <input type="checkbox"/> Clara <input type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Confusa | |
| 4.3 Información sobre incidentes activos | <input type="checkbox"/> Clara <input type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Confusa | |

ARTIS WA 3: HOJAS DE EVALUACIÓN

INTERFACE GRAFICO

FORM 1 Pag: 4/1

4.4 Información sobre alarmas deshabilitadas

- Clara
- Correcta
- Confusa

4.5 Información sobre datos estáticos de segmentos

- Clara
- Correcta
- Confusa

5. MENÚ DE CONFIGURACIÓN.

COMENTARIOS

5.1 Marque la información que considera adecuada que sea accesible al operador

- Procesos activos
- Umbrales Alarmas
- Parametrización incidentes
- Umbrales de velocidad
- Umbrales de ocupación
- Colores
- Datos carreteras
- Directorios de trabajo
- Datos estáticos de segmentos.

5.2 Configuración de procesos activos

- Clara
- Correcta
- Confusa

5.3 Configuración de alarmas

- Clara
- Correcta
- Confusa

5.4 Configuración de incidentes

- Clara
- Correcta
- Confusa

5.5 Configuración de velocidad

- Clara
- Correcta
- Confusa

5.6 Configuración de ocupación

- Clara
- Correcta
- Confusa

5.7 Configuración de colores

- Clara
- Correcta
- Confusa

5.8 Configuración de carreteras

- Clara
- Correcta
- Confusa

ARTIS WA 3: HOJAS DE EVALUACIÓN

INTERFACE GRAFICO

FORM 1 Pag: 5/1

5.9 Configuración de directorios

-
- Clara
-
-
- Correcta
-
-
- Confusa

5.10 Configuración datos estaticos de segmento

-
- Clara
-
-
- Correcta
-
-
- Confusa

**6. REPRESENTACIÓN
ALARMAS**

DE

COMENTARIOS

6.1 Marque que tipos de informes sobre alarma son adecuados, o necesarios.

-
- Señales gráficas en pantalla.
-
-
- Ventana de mensajes
-
-
- Fichero historico.

6.2 Niveles de jerarquía de alarmas: 3.

-
- Pocos
-
-
- Correctos
-
-
- Demasiados

6.3 Características de la bandera de alarma.

-
- Buenas
-
-
- Normal
-
-
- Malas

6.4 Características de la ventana de incidentes

-
- Buenas
-
-
- Normal
-
-
- Malas

6.5 Características de la señal sonora.

-
- Buenas
-
-
- Normal
-
-
- Malas

6.6 Ventana de mensajes del operador.

-
- Adecuada
-
-
- Innecesaria

6.7 Marque que información sobre la alarma es necesaria.

-
- Información del segmento
-
-
- Tipo de incidente
-
-
- Cámara
-
-
- Nivel de alarma
-
-
- Duración

**7. REPRESENTACIÓN TEMPORAL
DE LA CARRETERA**

COMENTARIOS

7.1 Utilidad de la representación de la evolución de los incidentes y congestiones

-
- Útil
-
-
- Normal
-
-
- Poco útil

ARTIS WA 3: HOJAS DE EVALUACIÓN

INTERFACE GRAFICO

FORM 1 Pag: 6/1

| | | |
|--|---|--|
| 7.2 Claridad de la información representada. | <input type="checkbox"/> Facil de interpretar <input type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Dificil de interpretar | |
| 7.3 Acceso a diferentes carreteras. | <input type="checkbox"/> Sencillo <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Complicado | |
| 7.4 Acceso a la información histórica de un segmento. | <input type="checkbox"/> Sencillo <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Complicado | |
| 7.5 Utilidad del acceso a información histórica de segmentos. | <input type="checkbox"/> Útil <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Poco útil | |
| 7.6 Acceso a la información de la evolución de incidentes. | <input type="checkbox"/> Sencillo <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Complicado | |
| 7.7 Utilidad del acceso a información histórica de incidentes. | <input type="checkbox"/> Sencillo <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Complicado | |
| 7.8 Claridad de la información mostrada | <input type="checkbox"/> Facil de interpretar <input type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Dificil de interpretar | |

8. REPRESENTACIÓN ESTADÍSTICA

COMENTARIOS

| | | |
|--|---|--|
| 8.1 Utilidad de la información estadística | <input type="checkbox"/> Útil <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Poco útil | |
| 8.2 Tamaño de la ventana de histogramas | <input type="checkbox"/> Pequeño <input type="checkbox"/> Correcto <input type="checkbox"/> Excesivo. | |
| 8.3 Escala de las variables. | <input type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Incorrecta | |
| 8.4 Escala de tiempo | <input type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Incorrecta | |

ARTIS WA 3: HOJAS DE EVALUACIÓN

INTEGRABILIDAD

FORM 1 Pag: 1/1

1. ALARMAS**COMENTARIOS**

| | | |
|--|--|--|
| 1.1 Utilidad de la información de incidentes para el Centro de Control de Tráfico (CCT). (En general) | <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Poca <input type="checkbox"/> Nula. | |
| 1.2 Correspondencia entre los datos de incidentes proporcionados por INVAID y los datos existentes en el CCT | <input type="checkbox"/> Alta correspondencia <input type="checkbox"/> Datos Equivalentes <input type="checkbox"/> No hay datos equivalentes | |
| 1.3 Utilidad de detectar vehículos parados en el arcén (tipo 1) | <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Poca <input type="checkbox"/> Nula. | |
| 1.4 Utilidad de detectar vehículos parados en el carril (tipo 2) | <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Poca <input type="checkbox"/> Nula. | |
| 1.5 Utilidad de detectar vehículos parados en congestión (tipo 3) | <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Poca <input type="checkbox"/> Nula. | |
| 1.6 Utilidad de detectar bajadas bruscas de velocidad (tipo 4) | <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Poca <input type="checkbox"/> Nula. | |
| 1.7 Utilidad de detectar situaciones anormales en zonas sin cámaras (tipo 5) | <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Poca <input type="checkbox"/> Nula. | |

2. MEDIDAS DE TRAFICO**COMENTARIOS**

| | | |
|---|--|--|
| 2.1 Utilidad de los datos de tráfico para el CCT. (En general) | <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Poca <input type="checkbox"/> Nula. | |
| 2.2 Correspondencia entre los datos de tráfico proporcionados por INVAID y los datos existentes en el CCT | <input type="checkbox"/> Alta correspondencia <input type="checkbox"/> Datos Equivalentes <input type="checkbox"/> No hay datos equivalentes | |

ARTIS WA 3: HOJAS DE EVALUACIÓN

INTEGRABILIDAD

FORM 1 Pag: 2/1

| | | |
|---|---|--|
| 2.3 Niveles de tráfico proporcionados por INVAID | <input type="checkbox"/> Correctos <input type="checkbox"/> Demasiados niveles <input type="checkbox"/> Pocos niveles. | |
| 2.4 Utilidad de los datos de velocidad proporcionados por INVAID. | <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Poca <input type="checkbox"/> Nula. | |
| 2.5 Utilidad de los datos de ocupación espacial proporcionados por INVAID. | <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Poca <input type="checkbox"/> Nula. | |
| 2.6 Utilidad de los datos de intensidad proporcionados por INVAID. | <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Poca <input type="checkbox"/> Nula. | |
| 2.7 Utilidad de los datos de niveles de servicio proporcionados por INVAID. | <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Poca <input type="checkbox"/> Nula. | |

3. INFORMACIÓN ADICIONAL.

COMENTARIOS

| | | |
|---|--|--|
| 3.1 Utilidad de información adicional del incidente, diferente del tipo y localización, para el CCT. (En general) | <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Poca <input type="checkbox"/> Nula. | |
| 3.2 Correspondencia entre la información adicional proporcionados por INVAID y los datos existentes en el CCT | <input type="checkbox"/> Alta correspondencia <input type="checkbox"/> Datos Equivalentes <input type="checkbox"/> No hay datos equivalentes | |
| 3.3 Utilidad del seguimiento de las consecuencias de los incidentes. | <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Poca <input type="checkbox"/> Nula. | |
| 3.4 Utilidad del estudio de la evolución de las congestiones. | <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Poca <input type="checkbox"/> Nula. | |

ARTIS WA 3: HOJAS DE EVALUACIÓN

INTEGRABILIDAD

FORM 1 Pag: 3/1

3.5 Utilidad de la presentación de las fases del incidente.

- Alta
- Normal
- Poca
- Nula.

4. EVALUACIÓN GENERAL**COMENTARIOS**

4.1 Utilidad del sistema INVAID en la rutina diaria del CCT

- Alta
- Normal
- Poca
- Nula.

4.2 Correspondencia entre los datos del INVAID y los datos utilizados normalmente por el CCT.

- Alta correspondencia
- Datos Equivalentes
- No hay datos equivalentes

4.3 Mejoras que el sistema puede proporcionar a la rutina normal del CCT.

- Muchas
- Algunas
- Pocas
- Ninguna.

4.4 Información que debería ser integrada al resto de sistemas del CCT

- Incidentes
- Medidas de tráfico
- Información adicional.

4.5 Necesidad de la integración del sistema al CCT.

- Positiva
- Recomendada
- Poco recomendada.
- Inútil.

4.6 Aceptación de la integración en función del coste de la misma.

- A un coste razonable.
- Sólo con bajo coste
- Sin coste alguno.

ARTIS WA 3: HOJAS DE EVALUACIÓN

ACEPTACIÓN DE LAS PRESTACIONES

FORM 4 Pag: 1/4

1. DETECCIÓN DE INCIDENTES**COMENTARIOS**

| | | |
|---|---|--|
| 1.1 Porcentaje de falsas alarmas (Sensor Local). | <input type="checkbox"/> Buena, excede los requerimientos <input type="checkbox"/> Normal, cumple los requerimientos <input type="checkbox"/> Mala, no alcanza los requerimientos mínimos | |
| 1.2 Porcentaje de falsas alarmas (Sistema Central). | <input type="checkbox"/> Buena, excede los requerimientos <input type="checkbox"/> Normal, cumple los requerimientos <input type="checkbox"/> Mala, no alcanza los requerimientos mínimos | |
| 1.3 Porcentaje de detección de incidentes. | <input type="checkbox"/> Buena, excede los requerimientos <input type="checkbox"/> Normal, cumple los requerimientos <input type="checkbox"/> Mala, no alcanza los requerimientos mínimos | |
| 1.4 Tiempo medio de detección. | <input type="checkbox"/> Bueno, excede los requerimientos <input type="checkbox"/> Normal, cumple los requerimientos <input type="checkbox"/> Malo, no alcanza los requerimientos mínimos | |
| 1.5 Localización de los incidentes. | <input type="checkbox"/> Buena. <input type="checkbox"/> Normal. <input type="checkbox"/> Mala. | |

2. PARÁMETROS DE TRAFICO**COMENTARIOS**

| | | |
|--|---|--|
| 2.1 Precisión en la velocidad | <input type="checkbox"/> Buena. <input type="checkbox"/> Normal. <input type="checkbox"/> Mala. | |
| 2.2 Precisión en la ocupación espacial | <input type="checkbox"/> Buena. <input type="checkbox"/> Normal. <input type="checkbox"/> Mala. | |
| 2.3 Precisión la estimación del flujo | <input type="checkbox"/> Buena. <input type="checkbox"/> Normal. <input type="checkbox"/> Mala. | |

ARTIS WA 3: HOJAS DE EVALUACIÓN

ACEPTACIÓN DE LAS PRESTACIONES

FORM 4 Pag: 2/4

2.4 Precisión en el nivel de servicio

- Buena.
 Normal.
 Mala.

3. INFORMACIÓN ADICIONAL**COMENTARIOS**

3.1 Exactitud en el seguimiento de incidentes.

- Buena.
 Normal.
 Mala.

3.2 Exactitud en la evolución de las congestiones.

- Buena.
 Normal.
 Mala.

3.3 Exactitud en la presentación de las fases del incidente.

- Buena.
 Normal.
 Mala.

4. INTEGRACIÓN**COMENTARIOS**

4.1 Datos de incidentes

- Fácil. Pocos cambios
 Normal con algunas modificaciones.
 No es posible o recomendada.

4.2 Datos de tráfico

- Fácil. Pocos cambios
 Normal con algunas modificaciones.
 No es posible o recomendada.

4.3 Niveles de servicio

- Fácil. Pocos cambios
 Normal con algunas modificaciones.
 No es posible o recomendada.

4.4 Información adicional

- Fácil. Pocos cambios
 Normal con algunas modificaciones.
 No es posible o recomendada.

ARTIS WA 3: HOJAS DE EVALUACIÓN

ACEPTACIÓN DE LAS PRESTACIONES

FORM 4 Pag: 3/4

5. BENEFICIOS

COMENTARIOS

| | | |
|---|---|--|
| 5.1 Ahorro de tiempo. | <input type="checkbox"/> Notable <input type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Poco <input type="checkbox"/> Ninguno | |
| 5.2 Incremento de la seguridad. | <input type="checkbox"/> Notable <input type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Poco <input type="checkbox"/> Ninguno | |
| 5.3 Mejora global del funcionamiento del CCT. | <input type="checkbox"/> Notable <input type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Poco <input type="checkbox"/> Ninguno | |

6. COSTOS BENEFICIOS

FRENTE A

COMENTARIOS

| | | |
|---|--|--|
| 6.1 Equipos de vídeo (cámaras, lentes, etc.) | <input type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Hay que reducir costos <input type="checkbox"/> Muy costoso para los resultados esperados. | |
| 6.2 Infraestructura (Postes, acometidas, etc.). | <input type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Hay que reducir costos <input type="checkbox"/> Muy costoso para los resultados esperados. | |
| 6.3 Comunicaciones (Coaxial, fibra, etc.) | <input type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Hay que reducir costos <input type="checkbox"/> Muy costoso para los resultados esperados. | |
| 6.4 Sistema INVAID. (Analizadores) | <input type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Hay que reducir costos <input type="checkbox"/> Muy costoso para los resultados esperados. | |
| 6.5 Sistema INVAID (Sistema central) | <input type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Hay que reducir costos <input type="checkbox"/> Muy costoso para los resultados esperados. | |
| 6.6 Instalación. | <input type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Hay que reducir costos <input type="checkbox"/> Muy costoso para los resultados esperados. | |

ARTIS WA 3: HOJAS DE EVALUACIÓN

ACEPTACIÓN DE LAS PRESTACIONES

FORM 4 Pag: 4/4

6.7 Mantenimiento.

- Notable
- Aceptable
- Poco
- Ninguno

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

FACULTAT DE CIÈNCIES FÍSIOQUES

Reunit el Tribunal que subscriu, en el dia de la,
acordà d'atorgar, per unanimitat, a aquesta Tesi Doctoral
d'En/ Na/ N' JUAN JOSE MARTINEZ DURA
la qualificació d' CUM LAUDE

València a 10 d' NOVIEMBRE de 19 95.

El Secretari,

El President,



A handwritten signature in blue ink, consisting of a vertical line with a horizontal stroke across it.

A large, stylized handwritten signature in blue ink, featuring a large loop and several vertical strokes.