

# Índice general

---

Índice de figuras	xxv
Índice de tablas	xxxi
<b>I Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. La Seguridad Vial: un problema del siglo XXI . . . . .	3
1.2. ITS: ¿La solución? . . . . .	7
1.3. La importancia de la información . . . . .	10
1.4. Estructura y contenido de la tesis . . . . .	12
Bibliografía . . . . .	14
<b>II Estado del Arte</b>	<b>19</b>
<b>2. El láser escáner en aplicaciones ITS</b>	<b>21</b>
2.1. Tecnologías usadas en ITS . . . . .	21
2.2. Sensores de Infrarrojo: detectores activos . . . . .	26
2.3. Láser Escáner: el porqué . . . . .	27
2.4. Láser Escáner: Antecedentes y trabajos actuales . . . . .	32
2.5. Láser Escáner: Equipos comerciales . . . . .	35
2.5.1. SICK: LMS 221-30206 . . . . .	38

2.5.2.	ACUITY: AccuRange 4000 . . . . .	39
2.5.3.	OSI LaserScan: AutoSense 800 . . . . .	40
2.5.4.	ASIM: TT-293 . . . . .	42
	Bibliografía . . . . .	44
<b>3.</b>	<b>Centros de Gestión de Tráfico - CGT</b>	<b>49</b>
3.1.	Centros de Gestión de Tráfico Urbano . . . . .	51
3.2.	Arquitectura de un CGT . . . . .	53
3.2.1.	Sistemas de sensorización y monitorización . . . . .	54
3.2.2.	Sistemas de señalización variable . . . . .	55
3.2.3.	Sistemas de información de tráfico . . . . .	57
3.2.4.	Infraestructuras de comunicaciones . . . . .	58
3.3.	Parámetros de tráfico necesarios en un CGT . . . . .	59
3.3.1.	Relación entre los parámetros de tráfico . . . . .	61
3.4.	Investigación en el sector de tráfico: el caso americano y el caso europeo . . . . .	64
3.5.	Conclusiones . . . . .	66
	Bibliografía . . . . .	68
<b>III</b>	<b>Hipótesis de partida, Objetivos y Desarrollo</b>	<b>73</b>
<b>4.</b>	<b>Objetivos</b>	<b>75</b>
<b>5.</b>	<b>Materiales y Metodología</b>	<b>77</b>
5.1.	Metodología . . . . .	77
5.2.	Programas Desarrollados y Software . . . . .	78
5.3.	Equipos e Instrumentación . . . . .	79
<b>6.</b>	<b>Arquitectura Hardware</b>	<b>81</b>
6.1.	Consideraciones Previas . . . . .	82
6.1.1.	Principio de Operación . . . . .	82

---

---

6.2.	Estudio del caso del equipo comercial SICK LMS 221-30206 . . . . .	85
6.2.1.	Configuración de las comunicaciones . . . . .	85
6.2.2.	Conectores del Equipo . . . . .	88
6.3.	Diseño de la placa de circuito impreso . . . . .	89
6.3.1.	Etapas Conversoras . . . . .	90
6.3.2.	Microprocesador . . . . .	92
6.3.3.	Alimentación y Otros . . . . .	95
6.3.4.	Comunicaciones . . . . .	97
6.4.	Pruebas y validación de la Arquitectura Hardware . . . . .	97
6.4.1.	Pruebas de Comunicación Serie . . . . .	98
6.4.2.	Pruebas de Comunicación Serie mediante una tarjeta PC Card . . . . .	99
6.5.	Conclusiones . . . . .	103
	Bibliografía . . . . .	105
<b>7.</b>	<b>Arquitectura Software</b>	<b>107</b>
7.1.	Firmware DSC . . . . .	108
7.1.1.	Generación del baudrate de la UART . . . . .	110
7.1.2.	Configuración del equipo y normalización de la trama . . . . .	112
7.1.2.1.	Corrección del efecto de ángulo . . . . .	114
7.1.2.2.	Detección y eliminación de objetos estáticos sobre la vía . . . . .	116
7.1.2.3.	Detección de vehículos y envío de información al ordenador . . . . .	120
7.2.	Software de Procesado realizado en el ordenador . . . . .	122
7.2.1.	Reconstrucción de los vehículos . . . . .	123
7.2.1.1.	Recepción y tratamiento de las tramas . . . . .	124
7.2.1.2.	Distribución de las tramas en vehículos . . . . .	125
7.2.1.3.	Reconstrucción del vehículo según la posición de escaneo . . . . .	133
7.2.2.	Tratamiento de los datos . . . . .	134
7.2.2.1.	Eliminación de las Vistas Laterales . . . . .	135
7.2.2.2.	Tratamiento de Reflexiones Perdidas . . . . .	139

---

---

7.2.2.3. Técnicas de Interpolación y Diezmado . . . . .	142
7.3. Interfaz Gráfica de Usuario . . . . .	144
7.3.1. Bloques Principales . . . . .	146
7.3.1.1. Representación de la vía y del vehículo . . . . .	146
7.3.1.2. Datos estadísticos . . . . .	148
7.3.2. Opciones del Interfaz . . . . .	149
7.4. Conclusiones . . . . .	151
Bibliografía . . . . .	153
<b>8. Proceso de Clasificación: enfoque y metodología</b>	<b>155</b>
8.1. Técnicas de Reconocimiento de Patrones . . . . .	155
8.1.1. Árboles de decisión . . . . .	158
8.1.2. Técnicas de Bootstrap . . . . .	161
8.2. Medidas de la investigación . . . . .	164
8.2.1. Definiciones de las clases de vehículos . . . . .	164
8.2.2. Estándares de clasificación . . . . .	166
8.3. Recopilación de datos y creación de la base de datos . . . . .	169
8.4. Método de muestreo . . . . .	172
8.4.1. Tamaño muestral . . . . .	174
8.4.1.1. Cálculo de la afijación . . . . .	175
8.4.1.2. Cálculo del tamaño de la muestra . . . . .	176
8.4.1.3. Cálculo de los tamaños muestrales de cada una de las categorías	177
8.4.1.4. Parque de vehículos: datos proporcionados por la DGT . . .	178
8.4.2. Conclusiones . . . . .	179
8.5. Proceso Aprendizaje . . . . .	182
8.5.1. Parámetros seleccionados . . . . .	182
8.5.2. Definición de patrones: Árboles de clasificación . . . . .	184
8.5.2.1. Primera Discriminación . . . . .	187
8.5.2.2. Segunda Discriminación . . . . .	189

---

8.5.2.3.	Tercera Discriminación . . . . .	191
8.5.2.4.	Cuarta Discriminación . . . . .	193
8.5.2.5.	Sexta Discriminación . . . . .	195
8.5.3.	Conclusiones . . . . .	197
8.6.	Proceso de Test . . . . .	199
8.6.1.	Primera Discriminación . . . . .	202
8.6.2.	Segunda Discriminación . . . . .	203
8.6.3.	Tercera Discriminación . . . . .	204
8.6.4.	Cuarta Discriminación . . . . .	207
8.6.5.	Sexta Discriminación . . . . .	209
8.6.6.	Conclusiones . . . . .	210
8.7.	Conclusiones . . . . .	212
	Bibliografía . . . . .	214

**IV Resultados y Evaluación 219**

**9. Resultados y Discusión 221**

9.1.	Instalación del equipo en la vía . . . . .	221
9.1.1.	Emplazamiento del sistema . . . . .	221
9.1.2.	Equipos: conexiones y características . . . . .	222
9.1.3.	Características de la captura de datos . . . . .	223
9.2.	Detección de vehículos: evaluación . . . . .	225
9.2.1.	Pruebas de Laboratorio . . . . .	226
9.2.2.	Pruebas de Campo . . . . .	227
9.3.	Clasificación de vehículos: evaluación . . . . .	229
9.3.1.	Pruebas de Laboratorio . . . . .	229
9.3.2.	Pruebas de Campo . . . . .	230
9.4.	Conclusiones . . . . .	235

---

Bibliografía . . . . .	236
<b>V Conclusiones y Trabajo Futuro</b>	<b>237</b>
<b>10. Conclusiones</b>	<b>239</b>
<b>11. Líneas Futuras de Investigación</b>	<b>249</b>
<b>12. Aportaciones</b>	<b>253</b>
12.1. Trabajos colaterales desarrollados . . . . .	253
12.1.1. Sensores Inteligentes: Proyecto TRACKSS . . . . .	253
12.1.1.1. Arquitectura Operacional . . . . .	255
12.1.1.2. Arquitectura Funcional . . . . .	257
12.1.1.3. Validación de resultados: Colaboraciones . . . . .	258
12.1.1.4. Conclusión . . . . .	261
12.1.2. Estudio del caso del equipo comercial Acuity Accurange 4000 . . . . .	262
12.1.2.1. Arquitectura Hardware . . . . .	263
12.1.2.2. Arquitectura Software . . . . .	266
12.1.2.3. Validación de resultados . . . . .	268
12.1.2.4. Conclusiones . . . . .	269
12.2. Publicaciones . . . . .	270
12.2.1. Artículos en Congresos Nacionales . . . . .	270
12.2.2. Artículos en Congresos Internacionales . . . . .	272
12.2.3. Artículos en Revistas . . . . .	273
12.2.4. Proyecto Europeo TRACKSS - 7PM . . . . .	273
12.2.5. Otros Artículos en el área ITS . . . . .	274
Bibliografía . . . . .	275

---

---

<b>VI Anexos</b>	<b>277</b>
<b>A. Imágenes de vehículos por clases</b>	<b>279</b>
A.1. Clase Motocicletas . . . . .	279
A.2. Clase Tipo Turismo . . . . .	280
A.3. Clase Furgonetas . . . . .	283
A.4. Clase Camiones . . . . .	285
A.5. Clase Camiones con tráiler . . . . .	288
A.6. Clase Autobuses . . . . .	290
<b>B. Código programa para la extracción de características: <i>ClasiCoche</i></b>	<b>291</b>
<b>C. Código programa para diseño de los árboles de decisión: <i>Generar_arboles</i></b>	<b>303</b>
<b>D. Código programa para el análisis mediante la técnica Bootstrap: <i>GruposTest</i></b>	<b>307</b>
<b>Lista de acrónimos y símbolos</b>	<b>317</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>323</b>

---





# Índice de figuras

---

1.1. Logotipo de la Semana Mundial para la Seguridad Vial . . . . .	5
1.2. Diferentes organizaciones de ITS en el mundo . . . . .	10
2.1. Diferentes tipos de sensores intrusivos . . . . .	23
2.2. Diferentes tipos de sensores no intrusivos . . . . .	24
2.3. Sistema Láser Escáner empleado por H. Cheng et al. . . . .	33
2.4. Sistema Láser Escáner empleado por S.A. Ahmned et al. . . . .	33
2.5. Sistema Láser Escáner empleado por C. Harlow . . . . .	34
2.6. Sistema Láser Escáner empleado por J. Pehkonen . . . . .	35
2.7. Principio de operación del LMS 221-30206 . . . . .	39
2.8. Tecnología de medida de distancias aplicada en el AR4000 . . . . .	40
2.9. Principio de operación del equipo AutoSense 800 . . . . .	41
2.10. Zonas de detección del equipo TT-293 . . . . .	42
3.1. Arquitectura de un CGT Urbano . . . . .	53
3.2. Sistemas de monitorización mediante cámaras . . . . .	55
3.3. Sistemas de señalización variable . . . . .	56
3.4. Sistemas de información de tráfico . . . . .	58
3.5. Relaciones generalizadas entre los parámetros de intensidad, densidad y velocidad en tráfico continuo . . . . .	63
6.1. Principio de operación . . . . .	83
6.2. Medida de alturas . . . . .	83

---

6.3. Captura de la trama de inicio . . . . .	87
6.4. Conexiones traseras del sensor LMS . . . . .	88
6.5. Conector Serie del sensor LMS . . . . .	88
6.6. Diseño de la PCB . . . . .	89
6.7. Esquemático Conversor Serie-USB . . . . .	91
6.8. Esquemático Conversores Varios . . . . .	91
6.9. PCB: Etapas Conversoras . . . . .	92
6.10. Esquemático Microprocesador . . . . .	93
6.11. Esquemático Oscilador Externo . . . . .	93
6.12. DSC modelo dsPIC30F4011 . . . . .	95
6.13. Esquemático Alimentación . . . . .	96
6.14. PCB: Etapas varias . . . . .	96
6.15. Comunicaciones en la PCB . . . . .	98
6.16. Prueba de comunicaciones serie: prototipo . . . . .	99
6.17. Prueba de comunicaciones serie: captura de pantalla . . . . .	100
6.18. Prueba de comunicaciones serie via PC Card . . . . .	102
6.19. Prueba de comunicaciones serie: captura de pantalla . . . . .	102
6.20. Hardware diseñado e implementado . . . . .	103
7.1. Arquitectura general del sistema . . . . .	108
7.2. Tareas del DSC . . . . .	110
7.3. Diagrama de flujo del Firmware . . . . .	113
7.4. Vector “ <i>datos_escaneados</i> ” . . . . .	114
7.5. Vector “ <i>vector_ángulo</i> ” . . . . .	115
7.6. Vector “ <i>valores_medidos</i> ” . . . . .	116
7.7. “ <i>Vector_Offset</i> ” . . . . .	117
7.8. “ <i>Vector_Offset</i> ” corregido . . . . .	117
7.9. Vehículos detectados sobre la vía . . . . .	118
7.10. Cálculo del valor medido . . . . .	119

---

7.11. Zoom realizado sobre la representación de la vía en ausencia de vehículos . . . . .	119
7.12. Representación de la vía en ausencia de vehículos . . . . .	120
7.13. Procesado llevado a cabo en el ordenador . . . . .	123
7.14. Vía: planta . . . . .	124
7.15. Vía: vista 3D . . . . .	124
7.16. Diagrama de Flujo del algoritmo de distribución de las tramas . . . . .	128
7.17. Diferentes escaneos realizados sobre la vía . . . . .	131
7.18. Vehículos detectados . . . . .	134
7.19. Casos reales de vistas laterales . . . . .	136
7.20. Vistas Laterales . . . . .	137
7.21. Matriz con información de autobús y turismo . . . . .	137
7.22. Matrices de los vehículos tras el tratamiento de vistas laterales . . . . .	139
7.23. Turismo que presenta casos de reflexiones perdidas . . . . .	140
7.24. Turismo tras la eliminación de reflexiones perdidas . . . . .	141
7.25. Vehículos con reflexiones perdidas: antes y después . . . . .	142
7.26. Casos extremos de reflexiones perdidas: antes y después . . . . .	143
7.27. Interpolación y Diezmado: antes y después . . . . .	144
7.28. Interfaz Gráfico de Usuario: Bloques . . . . .	146
7.29. GUI: Representación de la vía . . . . .	147
7.30. GUI: Representación del vehículo . . . . .	148
7.31. GUI: Clases de Vehículos . . . . .	148
7.32. GUI: Estadísticos . . . . .	149
7.33. GUI: Opciones . . . . .	150
7.34. GUI: Configuración del sensor . . . . .	151
7.35. Requerimientos Software . . . . .	151
8.1. Arquitectura de Reconocimiento de Patrones . . . . .	157
8.2. Estándar AUSTROADS Fuente: <a href="http://www.austroads.com.au">www.austroads.com.au</a> . . . . .	167
8.3. Estándar FHWA Fuente: <a href="http://www.fhwa.dot.gov">www.fhwa.dot.gov</a> . . . . .	168

---

8.4. Diseño de la base de datos . . . . .	172
8.5. Aspecto de la base de datos . . . . .	173
8.6. Árbol de clasificación . . . . .	185
8.7. Primera Discriminación: árbol de clasificación . . . . .	188
8.8. Primera Discriminación: Tamaño óptimo del árbol . . . . .	188
8.9. Segunda Discriminación: árbol de clasificación . . . . .	189
8.10. Segunda Discriminación: Tamaño óptimo del árbol . . . . .	190
8.11. Tercera Discriminación: árbol de clasificación . . . . .	192
8.12. Tercera Discriminación: Tamaño óptimo del árbol . . . . .	193
8.13. Cuarta Discriminación: árbol de clasificación . . . . .	194
8.14. Cuarta Discriminación: Tamaño óptimo del árbol . . . . .	195
8.15. Sexta Discriminación: árbol de clasificación . . . . .	196
8.16. Sexta Discriminación: Tamaño óptimo del árbol . . . . .	197
8.17. Programa para la obtención de los parámetros . . . . .	198
8.18. Flujo del Proceso de Aprendizaje . . . . .	199
8.19. Diagrama de dispersión . . . . .	202
8.20. Histograma de la exactitud en la segunda discriminación . . . . .	204
8.21. Histograma de la segunda discriminación por clases . . . . .	205
8.22. Histograma de la exactitud en la tercera discriminación . . . . .	206
8.23. Histograma de la tercera discriminación por clases . . . . .	207
8.24. Histograma de la exactitud en la cuarta discriminación . . . . .	208
8.25. Histograma de la cuarta discriminación por clases . . . . .	209
8.26. Histograma de la exactitud en la sexta discriminación . . . . .	210
8.27. Histograma de la sexta discriminación por clases . . . . .	211
8.28. Flujo del Proceso de Test . . . . .	211
8.29. Programa para la generación de los grupos de test . . . . .	212
9.1. Emplazamiento del sistema . . . . .	222
9.2. Cruce bajo estudio . . . . .	223

---

---

9.3. Instalación en la vía . . . . .	224
9.4. Vehículos de la clase Turismo: Todoterrenos . . . . .	232
9.5. Vehículos de la clase Camión . . . . .	233
9.6. Camión grúa . . . . .	233
9.7. Vehículos de la clase Furgoneta . . . . .	234
10.1. Implementación de la Arquitectura Hardware . . . . .	240
10.2. Diferentes Programas Desarrollados . . . . .	242
10.3. Árbol de clasificación . . . . .	244
10.4. Esquema de la tesis . . . . .	248
12.1. Cronograma del proyecto TRACKSS . . . . .	255
12.2. Arquitectura del KSS Láser Escáner . . . . .	256
12.3. Interacción: anuncio-subscripción-publicación . . . . .	258
12.4. Modificación de los sensores afectados por la intensidad luminosa en la vía . . . . .	260
12.5. Restricción de la entrada de vehículos al centro urbano . . . . .	261
12.6. Modelo Accurange y AccuRange Line Scanner . . . . .	263
12.7. Conectores: modelo comercial Acuity . . . . .	265
12.8. Montaje realizado con el modelo comercial Acuity . . . . .	266
12.9. Arquitectura general del sistema: modelo comercial Acuity . . . . .	266
12.10 Test Laboratorio: imagen 3D Equipo Acuity . . . . .	269
12.11 Test Laboratorio Equipo Acuity . . . . .	269
A.1. Vehículos de la categoría: Motocicleta . . . . .	280
A.2. Vehículos de la categoría: Tipo Turismo . . . . .	283
A.3. Vehículos de la categoría: Furgoneta . . . . .	284
A.4. Vehículos de la categoría: Camión . . . . .	288
A.5. Vehículos de la categoría: Camión con tráiler . . . . .	289
A.6. Vehículos de la categoría: Autobús . . . . .	290

---



# Índice de tablas

---

2.1. Comparativa de las tecnologías usadas en ITS . . . . .	25
2.2. Tecnologías: Información proporcionada y coste del equipo [MK07] . . . . .	30
2.3. Comparativa de equipos comerciales . . . . .	37
6.1. Bytes que miden la distancia . . . . .	84
6.2. Rangos de medidas . . . . .	85
6.3. Configuración por defecto . . . . .	85
6.4. Datos capturados ASCII-Hexadecimal . . . . .	88
6.5. Valores de Badurate de la PC Card . . . . .	101
6.6. Requerimientos Hardware . . . . .	104
7.1. Generador del baudrate con el oscilador a 7,5 MHz . . . . .	111
7.2. Generador del baudrate con el oscilador a 6 MHz . . . . .	112
7.3. Número de valores del “ <i>vector_ángulo</i> ” para cada una de las posibles combi- naciones . . . . .	115
7.4. Formato de la trama . . . . .	121
8.1. Estándar TLS de clasificación de vehículos . . . . .	170
8.2. Número de vehículos presentes en la base de datos y por procesos . . . . .	172
8.3. Valores de la afijación para cada una de las categorías . . . . .	176
8.4. Valores de los tamaños de la muestra para cada una de las categorías . . . . .	178
8.5. Cálculo del tamaño de las categorías. Parque de vehículos provincia de Valencia (DGT) . . . . .	179

---

8.6. Cálculo del tamaño de las categorías. Parque de vehículos nacional (DGT) . . . . .	179
8.7. Comparativa tamaños muestrales por categorías . . . . .	180
8.8. Porcentaje por categorías respecto a al población total . . . . .	181
8.9. Parámetros de la Primera Discriminación . . . . .	189
8.10. Parámetros de la Segunda Discriminación . . . . .	191
8.11. Parámetros de la Tercera Discriminación . . . . .	193
8.12. Parámetros de la Cuarta Discriminación . . . . .	195
8.13. Parámetros de la Sexta Discriminación . . . . .	197
8.14. Matriz de Confusión . . . . .	200
8.15. Matriz de Confusión de la Primera discriminación . . . . .	202
8.16. Matriz de Confusión de la Segunda discriminación . . . . .	203
8.17. Matriz de Confusión de la Tercera Discriminación . . . . .	205
8.18. Matriz de Confusión de la Cuarta Discriminación . . . . .	208
8.19. Matriz de Confusión de la Sexta Discriminación . . . . .	210
9.1. Equipos instalados y características . . . . .	224
9.2. Test de Laboratorio - Detección de Vehículos . . . . .	226
9.3. Test Experimental - Detección de Vehículos . . . . .	228
9.4. Test Experimental - Clasificación de vehículos: Matriz de confusión . . . . .	230
9.5. Test Experimental - Clasificación de vehículos: Evaluación . . . . .	231
10.1. Requerimientos Funcionales . . . . .	247
12.1. Configuración por defecto . . . . .	264
12.2. Formato de la trama: modelo comercial Acuity . . . . .	267

---