

Índice general	
Índice general xi	
1 Introducción	1
1.1 Aspectos generales	1
1.2 Justificación	5
1.3 Objetivos	6
1.4 Organización de la tesis	7
2 Estado del arte	9
2.1 Introducción a los sistemas multi-agente	9
2.2 Modelo de Agente.	11
2.3 Sistemas Multi-agente Robóticos	12
2.4 Sistemas Holónicos	15
2.5 Sistemas Distribuidos Aplicados a Robots Autónomos	18
2.6 Sistemas de recursos limitados	19
2.7 Gestión de Comunicaciones	20
3 Arquitecturas multi-agente y frameworks robóticos	23
3.1 Arquitectura Multi-agente: JADE (Java Agent DEvelopment Framework)	24
3.1.1 Introducción	24
3.1.2 Herramientas para programadores en JADE	32
3.1.3 Aportaciones a la plataforma JADE	35
xi Índice general	
3.2 Frameworks de Software Orientados a la Robótica	41
3.2.1 LeJOS.	41
3.2.2 ROS	42
3.2.3 V-REP	44
3.3 Aportación a la Integración de MAS con RSF	46
3.3.1 Middleware JADE-LeJOS.	47
3.3.2 Middleware JADE-ROS	48
3.3.3 Aportaciones al software de simulación de robots V-REP	53
3.3.4 Integración JADE y V-REP	55
3.4 Conclusiones del Capítulo	56
4 Autolocalización Local mediante Filtros de Fusión Sensorial con Corrección Continua	57
4.1 Especificación del Problema de la Fusión Sensorial	58
4.1.1 Selección de Algoritmos de Fusión Sensorial	62
4.2 Metodología del Algoritmo de Fusión Sensorial de Corrección Continua	63
4.2.1 Integración de Algoritmos de Fusión en Plataformas de Recursos Limitados	63
4.3 Resultados Obtenidos en Pruebas Empíricas	85
4.3.1 Plataforma LEGO Mindstorms NXT	85
4.3.2 Resultados en la Plataforma Experimental LEGO Mindstorms NXT	88
4.3.3 Plataformas Summit XL y Rbcar	95
4.3.4 Resultados en Sistemas Distribuidos	97
4.4 Conclusiones del capítulo	102
5 Auto-localización Global para Interiores Basada en Correspondencias Geométricas	103
5.1 Algoritmo de Localización Global Geométrica	104
5.2 Metodología del Algoritmo GEMA 2	105
5.2.1 Fase de Calibración.	106

5.2.2 Fase de Segmentación	107
5.2.3 Fase de Localización	116
5.3 Plataforma Experimental: Robotino.	119
5.4 Pruebas Experimentales.	120
5.5 Resultados Obtenidos en Pruebas Empíricas	121
5.6 Conclusiones del capítulo	126
xii Índice general	
6 Autolocalización Local y Global por Eventos mediante Filtros de Fusión Sensorial	
127	
6.1 Problemática relativa a la obtención de la medición del posicionamiento global.	128
6.2 Metodología de Fusión Sensorial basada en Eventos para la Autolocalización Global de Robots	130
6.2.1 Estudio del Evento para la Corrección de la Localización Global	131
6.2.2 Definición Conceptual del evento: Consciencia de Mal Posicionamiento . . .	132
6.2.3 Definición Matemática del evento: Elipsoides de Incertidumbre	132
6.2.4 Análisis para la Determinación del Valor del Evento	136
6.3 Resultados Obtenidos en Pruebas Empíricas	141
6.3.1 Plataformas de Interiores	141
6.3.2 Plataformas Exteriores	149
6.4 Conclusiones del capítulo	153
7 Localización Cooperativa entre Robots mediante Sistemas de Control Distribuido	
155	
7.1 Descripción del Marco de Trabajo de la Localización Cooperativa	157
7.1.1 Holarquía de Robots Cooperativos	157
7.1.2 Red de comunicación entre holones	159
7.1.3 Modelo de Medición Relativa.	162
7.2 Algoritmos de Localización Distribuida Cooperativa: TCLA y ECLA	164
7.2.1 Algoritmo de Localización Cooperativa con Corrección Continua.	166
7.2.2 Algoritmo de Localización Cooperativa con Corrección basada en Eventos .	168
7.3 Resultados Obtenidos en Pruebas Empíricas	175
7.3.1 Plataforma o Monitor de Simulación	175
7.3.2 Resultados Obtenidos en Simulación	177
7.3.3 Robots Summits XL con trayectorias lineales cíclicas	190
7.4 Conclusiones del capítulo	193
8 Navegación y Coordinación de Robots mediante Sistemas Distribuidos	
195	
8.1 Algoritmo de Navegación Autónoma Basado en una Arquitectura Distribuida	
196	
8.1.1 Metodología del Algoritmo de Navegación Propuesto	198
8.1.2 Demostración Experimental	210
xiii Índice general	
8.2 Algoritmo de Coordinación para la Navegación de Robots Móviles de Recursos Limitados	
218	
8.2.1 Descripción de la Arquitectura Distribuida Propuesta	219
8.2.2 Demostración Experimental: Agrupaciones Holónicas de Robots	222
8.3 Conclusiones del Capítulo	231
9 Detección y Evasión de Colisiones de Robots Mediante Consenso entre Agentes	

233	
9.1	Estrategias de Detección y Evasión de Colisiones 234
9.2	Descripción del Algoritmo Propuesto de Detección de Colisiones 236
9.2.1	Marco de Aplicación 237
9.2.2	Obtención del Instante de Máxima Aproximación 238
9.2.3	Metodología de Evasión de Colisiones 242
9.2.4	Estructura de ejecución del Algoritmo 244
9.3	Demostración Experimental: Consenso 1 vs 1 250
9.4	Demostración Experimental: Consenso N vs N. 256
9.5	Conclusiones del Capítulo 269
10	Conclusiones y Trabajos Futuros
271	
10.1	Conclusiones 271
10.2	Trabajo Futuro 275
10.3	Artículos Publicados 277
10.3.1	Capítulos de Libro: 277
10.3.2	Revistas: 277
10.3.3	Congresos Internacionales:..... 278
10.3.4	Congresos Nacionales: 279
Appendices	281
A	Modelo de referencia basado en la especificación FIPA: 281
B	Modelos Cinemático y Dinámico de los Robots 285
B.1	Configuración diferencial 285
B.1.1	Modelo cinemático 286
B.1.2	Modelo dinámico 291
xiv	Índice general
B.2	Configuración Ackerman 303
B.2.1	Modelo cinemático 304
B.2.2	Modelo dinámico 306
B.3	Modelo dinámico de los motores 311
C	Modelo dinámico de los motores del LEGO Mindtorms NXT 313
Bibliografía	321