

# Contenido

Resumen.	v
Agradecimientos.	viii
Tesis por compendio de artículos.	ix
Índice de figuras	xi
Índice de tablas	xiv
<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
1.1. Objetivos . . . . .	3
1.2. Estado del arte . . . . .	5
1.2.1. Ámbito de trabajo de la tesis doctoral . . . . .	5
1.2.2. Modelo de tareas . . . . .	6
1.2.3. Algoritmos de planificación de tareas . . . . .	8
1.2.4. Fases de la planificación de tareas en sistemas multinúcleo . . . . .	11
1.3. Contribuciones . . . . .	15
1.3.1. ARTÍCULO 1: Integer programming techniques for static scheduling of hard-real time systems . . . . .	15
1.3.2. ARTÍCULO 2: Hardware resources contention-aware scheduling of hard real-time multiprocessor systems . . . . .	15
1.3.3. ARTÍCULO 3: Interference-aware schedulability analysis and task allocation for multicore hard real-time systems . . . . .	16
1.3.4. ARTÍCULO 4: Schedulability analysis of dynamic priority real-time systems with contention . . . . .	16
1.3.5. ARTÍCULO 5: Optimized scheduling of periodic hard real-time multicore systems . . . . .	16
1.3.6. Aportaciones de los artículos . . . . .	17
1.3.7. Relación entre los artículos . . . . .	18
1.3.8. Tabla de cobertura . . . . .	19
1.3.9. Tabla de objetivos . . . . .	19
1.4. Sigüientes secciones . . . . .	20
Bibliografía . . . . .	21

<b>2. Artículo: Integer Programming Techniques for Static Scheduling of Hard Real-Time Systems</b>	<b>23</b>
2.1. Abstract . . . . .	23
2.2. Introduction . . . . .	23
2.3. Related work . . . . .	25
2.4. Model definition . . . . .	26
2.4.1. Periodic task model . . . . .	26
2.4.2. Partitioned model . . . . .	26
2.5. MILP Scheduling approaches . . . . .	27
2.5.1. MILP Model of uniprocessor periodic task systems . . . . .	27
2.5.2. Rolling task MILP model . . . . .	31
2.5.3. Partitioned systems MILP model . . . . .	34
2.5.4. Selection of the weights in the multiobjective function. . . . .	38
2.6. Experimental evaluation . . . . .	39
2.6.1. Experimental conditions . . . . .	39
2.6.2. Experimental results . . . . .	42
2.6.3. Reducing Control Activation Interval . . . . .	51
2.6.4. Evaluation of hierarchical MILP model for partitioned systems . . . . .	51
2.7. Conclusion . . . . .	55
Bibliografía . . . . .	55
<b>3. Artículo: Hardware resources contention-aware scheduling of hard real-time multiprocessor systems</b>	<b>59</b>
3.1. Abstract . . . . .	59
3.2. Introduction . . . . .	59
3.3. Related works . . . . .	61
3.4. Task model and contributions . . . . .	63
3.4.1. Periodic task model . . . . .	63
3.4.2. Worst case interference time . . . . .	64
3.4.3. Contributions . . . . .	66
3.5. Contention aware scheduling algorithm . . . . .	66
3.6. Task allocation algorithms . . . . .	71
3.6.1. UDmin and UDmax allocators . . . . .	73
3.6.2. Wmin allocator . . . . .	75
3.7. Evaluation . . . . .	76
3.7.1. Experimental conditions . . . . .	76
3.7.2. Experimental results . . . . .	79
3.8. Conclusions . . . . .	83
Bibliografía . . . . .	83
<b>4. Artículo: Interference-Aware Schedulability Analysis and Task Allocation for Multicore Hard Real-Time Systems</b>	<b>86</b>
4.1. Abstract . . . . .	86

4.2.	Introduction . . . . .	86
4.3.	Related works . . . . .	87
4.4.	Problem definition and task model . . . . .	91
4.5.	Contention aware utilisation factor . . . . .	93
4.5.1.	Worst case estimation of $I_{j \rightarrow i}^{Tub}$ . . . . .	94
4.6.	Schedulability analysis . . . . .	98
4.6.1.	Example. . . . .	98
4.7.	Task allocation algorithms . . . . .	100
4.7.1.	Overview of existing heuristic bin-packing algorithms. . . . .	101
4.7.2.	Overview of Aceituno's method. . . . .	101
4.7.3.	Proposed allocator considering the interference: Imin . . . . .	102
4.8.	Evaluation . . . . .	103
4.8.1.	Experimental conditions . . . . .	103
4.8.2.	Experimental results . . . . .	105
4.9.	Conclusions . . . . .	110
	Bibliografía . . . . .	111
<b>5.</b>	<b>Artículo: Schedulability analysis of dynamic priority real-time systems with contention</b>	<b>114</b>
5.1.	Abstract . . . . .	114
5.2.	Introduction . . . . .	114
5.3.	Related works . . . . .	116
5.4.	Problem definition and task model . . . . .	117
5.5.	Interference-aware schedulability analysis for dynamic priorities. . . . .	119
5.5.1.	Earliest Deadline First schedulability analysis . . . . .	119
5.5.2.	Interference-aware schedulability analysis for EDF . . . . .	120
5.6.	Evaluation . . . . .	126
5.6.1.	Experimental conditions . . . . .	126
5.6.2.	Experimental results . . . . .	130
5.7.	Conclusions . . . . .	133
	Bibliografía . . . . .	133
<b>6.</b>	<b>Artículo: Optimized Scheduling of Periodic Hard Real-Time Multicore Systems</b>	<b>137</b>
6.1.	Abstract . . . . .	137
6.2.	Introduction . . . . .	137
6.3.	Related works . . . . .	138
6.4.	Task model and problem statement . . . . .	140
6.4.1.	Periodic task model . . . . .	140
6.4.2.	Problem statement . . . . .	141
6.5.	Multiprocessor LP scheduling . . . . .	141
6.6.	System busy periods . . . . .	145
6.7.	Combined Scheduler . . . . .	146

6.8. Rolling horizon MILP model . . . . .	147
6.8.1. RHMA with warm start . . . . .	153
6.9. Evaluation . . . . .	154
6.10. Conclusions . . . . .	160
Bibliografía . . . . .	160
<b>7. Conclusiones</b>	<b>163</b>
7.1. Análisis de los resultados de los algoritmos propuestos . . . . .	164
7.1.1. Resultados de los algoritmos de asignación de tareas a núcleos . . . . .	164
7.1.2. Resultados de los algoritmos de planificación . . . . .	166
7.1.3. Resultados de los análisis de planificabilidad . . . . .	171
7.2. Trabajos futuros . . . . .	176
7.3. Informe de los indicadores de calidad de los artículos publicados . . . . .	178
7.3.1. Indicadores de calidad del Artículo 1 . . . . .	178
7.3.2. Indicadores de calidad del Artículo 2 . . . . .	179
7.3.3. Indicadores de calidad del Artículo 3 . . . . .	180
7.3.4. Indicadores de calidad del Artículo 4 . . . . .	181
7.3.5. Indicadores de calidad del Artículo 5 . . . . .	182
7.4. Coautores de los artículos . . . . .	184