

Índice

Glosario y diccionario de los símbolos más comunes	11
1 Introducción	13
1.1 <i>Los sistemas que se utilizan como soporte del estudio</i>	13
1.2 <i>El proceso empírico de creación de modelos</i>	14
1.3 <i>Esquema de la memoria</i>	16
2 Redes neuronales para el modelado de sistemas dinámicos: los módulos neuronales	19
2.1 <i>El modelo escogido: redes neuronales artificiales</i>	20
2.1.1 Aproximación de funciones con ANN	21
2.1.2 Identificación de sistemas dinámicos con ANN	21
2.1.3 Control de sistemas dinámicos con ANN	24
2.2 <i>Módulos Neuronales</i>	26
2.2.1 Motivación	26
2.2.2 Estructura del modelo que se utiliza en este trabajo	27
2.2.3 Definición de módulo neuronal	27
2.3 <i>Diseño de módulos neuronales</i>	28
2.3.1 Pertenencia a intervalos	29
2.3.2 Función de pendiente constante en un rango y nula fuera de él	31
2.3.3 Aproximación de funciones lineales a tramos	39
2.3.4 Proceso de diseño de un módulo neuronal	40
2.4 <i>Diseño de un conjunto de NMs útil para el modelado de sistemas no lineales</i>	42
2.4.1 No-linealidad tipo umbral	43
2.4.2 No-linealidad tipo relé con histéresis	43
2.4.3 No-linealidad tipo saturación	45
2.4.4 No-linealidad tipo zona muerta	46
2.4.5 No-linealidad tipo valor absoluto	47

2.4.6	No-linealidad tipo fricción	48
2.4.7	No-linealidad tipo juego de engranajes	49
2.4.8	No-linealidad tipo tope mecánico	51
2.4.9	No-linealidad tipo limitador de velocidad	52
2.4.10	Sistemas lineales	54
3	Estudio de la capacidad aproximativa de las redes de módulos neuronales	57
3.1	Formalización de los elementos básicos y los operadores	58
3.2	Conjunto de elementos que generan Σ_b y Θ	60
3.2.1	Álgebra de las redes de módulos neuronales	60
3.2.2	Elementos de Σ_{NM}	61
3.2.3	Discusión sobre el conjunto de sistemas Σ_{NM}	70
3.3	Capacidad aproximativa de los elementos de Σ_{NM}	70
3.3.1	Planteamiento del problema	71
3.3.2	Cálculo de una cota para $ sy - y $	73
3.3.3	Discusión de los resultados	75
3.4	Discusión sobre las σ -aproximaciones y los módulos neuronales	75
3.4.1	Módulos estáticos	76
3.4.2	Módulos dinámicos	76
4	Modelado de sistemas dinámicos utilizando técnicas evolutivas y redes neuronales modulares	81
4.1	Modelado de sistemas dinámicos con redes neuronales modulares	81
4.1.1	Redes modulares	81
4.1.2	Redes modulares e identificación de sistemas dinámicos	83
4.2	Aprendizaje en redes neuronales modulares	83
4.2.1	Conceptos básicos de BP y BPTT	85
4.2.2	Aprendizaje modular (Modular BackPropagation, MBP)	88
4.3	Técnicas evolutivas como herramientas de optimización y MANN	95
4.3.1	Introducción a las técnicas evolutivas de optimización	95
4.3.2	Utilización de técnicas evolutivas en la optimización de redes neuronales	97
4.3.3	Programación evolutiva	98

4.4	<i>Descripción de la herramienta de modelado de sistemas no lineales con redes neuronales modulares</i>	99
4.4.1	Funcionamiento general de la herramienta de modelado	100
4.4.2	Entorno de optimización evolutiva	101
4.4.3	Simulador de MANN	104
4.4.4	Simulador de redes neuronales	105
4.4.5	Poblaciones de redes neuronales modulares	106
5	Resultados experimentales	107
5.1	<i>Proceso de modelado con la herramienta de optimización evolutiva y redes de módulos neuronales</i>	107
5.1.1	Obtención y análisis de datos	108
5.1.2	Planteamiento y ejecución de las pruebas	109
5.1.3	Recolección de resultados	111
5.1.4	Validación, análisis y refinado de modelos	112
5.2	<i>Motor de corriente continua</i>	114
5.2.1	Datos de entrada y salida e información previa	115
5.2.2	Pruebas realizadas	116
5.2.3	Resultados	117
5.2.4	Análisis de los resultados	120
5.3	<i>Sistema no lineal simulado, con histéresis</i>	121
5.3.1	Descripción	121
5.3.2	Descripción de los datos	123
5.3.3	Pruebas realizadas	123
5.3.4	Resultados	124
5.4	<i>Elemento piezoeléctrico</i>	126
5.4.1	Descripción	126
5.4.2	Descripción de los datos	127
5.4.3	Pruebas realizadas	129
5.4.4	Resultados	129
5.4.5	Validación y análisis de los modelos	131
6	Conclusiones del estudio	135

6.1	<i>Conclusiones y aportaciones principales</i>	135
6.2	<i>Vías futuras de trabajo</i>	138
	Bibliografía	141
	Apéndice A: Sintonía de los parámetros del entorno de optimización evolutiva	147
A.1	<i>Sintonía de los parámetros del simulador neuronal</i>	147
A.2	<i>Descripción del marco de sintonía</i>	148
A.3	<i>Parámetros del operador de selección</i>	149
A.4	<i>Parámetros del operador de mutación</i>	150
	Apéndice B: Resultados de las pruebas de modelado	153
B.1	<i>Resultados de modelado del motor de corriente continua simulado</i>	154
B.2	<i>Resultados de modelado del sistema con histéresis</i>	167
B.3	<i>Resultados de modelado del elemento piezoeléctrico</i>	177