

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	I
INDICE DE CONTENIDOS.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	XII
INDICE DE TABLAS.....	XV
ACRÓNIMOS.....	XVI

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN 1

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	3

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE 5

2.1 LA OPERACIÓN DE LAS REDES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	5
2.2 MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN PARA LA OPERACIÓN DE REDES DE ABASTECIMIENTO	9
2.3 MODELOS DE PREVISIÓN DE LA DEMANDA.....	11
2.4 FUNDAMENTOS DE LAS REDES NEURONALES	13
2.4.1 Introducción.....	13
2.4.2 Modelo de neurona artificial.....	14
2.4.3 Arquitectura de una ANN.....	16
2.4.4 Proceso de entrenamiento de una ANN.....	17

CAPÍTULO 3. OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN EN TIEMPO REAL DE LAS REDES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA24

3.1 LA GESTION ENÉRGICA.....	24
3.2 ESTRATEGIAS POSIBLES DE OPERACIÓN.....	25
3.3 GESTION DE MODELOS	28
3.3.1 Modelos de simulación de la red hidráulica	28
3.3.2 Modelo de previsión de demanda	30
3.4 MODELOS DE OPTIMIZACIÓN	30
3.4.1 Introducción.....	30
3.4.2 Formulación de un problema de optimización.....	31
3.5 FORMULACIÓN GENERAL DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO PARA LA MINIMIZACIÓN DE COSTES ENERGÉTICOS	32
3.6 METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTA	33

CAPÍTULO 4. SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL COMPORTAMIENTO DE UNA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA MEDIANTE REDES NEURONALES.....36

4.1 MODELOS DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA.....	36
4.1.1 Tipo de modelos matemáticos	37

4.1.2	Componentes de un modelo matemático	38
4.1.2.1	Componentes físicos	38
4.1.2.2	Componentes no físicos	42
4.1.3	Simulación mediante modelos matemáticos	43
4.1.4	Simulación hidráulica mediante metamodelos	47
4.2	ARQUITECTURAS DE REDES NEURONALES PARA SIMULAR EL COMPORTAMIENTO DE LA REDES HIDRÁULICAS	49
4.2.1	Simulación en régimen permanente	49
4.2.2	Análisis de factibilidad	50
4.2.3	Simulación de una etapa en régimen dinámico	51
4.2.4	Incorporación de las leyes de control en simulaciones dinámicas	51
4.2.5	Simulación dinámica completa en periodo extendido	53
4.3	GENERACIÓN DE PATRONES PARA EL ENTRENAMIENTO DE LAS ARQUITECTURAS ANN	54
4.4	ESTRUCTURA INTERNA DE LA TOOLKIT DE EPANET. FUNCIONES Y PROCESO GENERAL DE SIMULACIÓN.....	54
4.4.1	Generalidades del módulo de herramientas	55
4.4.2	Software de entrenamiento ANN. Nevprop v1.16.....	56
4.5	DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE PATRONES A 24 HORAS.....	56
4.6	COMPUTACION PARALELA. PARALELIZACION DEL PROCESO DE ENTRENAMIENTO.....	59
4.6.1	Aspectos generales.....	59
4.6.2	Modelo de paso de mensajes.....	60
4.6.3	Parametros de rendimiento	61
4.6.4	Paralelización del software de entrenamiento.....	64
4.6.4.1	Algoritmo secuencial del proceso de entrenamiento de una ANN	65
4.6.4.2	Paralelización del algoritmo de entrenamiento	67
 CAPÍTULO 5. MODELO DE PREVISIÓN DE LA DEMANDA		73
5.1	MÉTODOS DE PREDICCIÓN DE LA DEMANDA.....	73
5.2	METODOLOGÍA APLICADA.....	74
5.3	FORMULACIÓN DE LOS COMPONENTES PERIÓDICOS DE LA DEMANDA.....	76
5.4	PREVISION DE LA DEMANDA PARA LAS PRÓXIMAS 24 HORAS.....	78
 CAPÍTULO 6. MODELO DE OPTIMIZACIÓN HIBRIDO APLICANDO PROGRAMACIÓN LINEAL Y ALGORITMOS GENÉTICOS		80
6.1	PROGRAMACIÓN LINEAL	80
6.1.1	Modulo de programación lineal OpenSolver	81
6.2	FUNDAMENTOS DE LOS ALGORITMOS GENETICOS	81
6.2.1	Codificación de los cromosomas	83
6.2.2	Generación de la población inicial.....	83
6.2.3	Función de adaptación	83
6.2.4	Selección	83
6.2.5	Reproducción	84

6.2.6	Mutación.....	86
6.2.7	Inserción de los hijos en la población.....	86
6.2.8	Criterios de parada.....	87
6.2.9	Ajustes de los parámetros.....	87
6.2.10	Librería de programación de AG OptiGA.....	88
6.3	FORMULACIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA MINIMIZACIÓN DE COSTES ENERGÉTICOS.....	88
6.4	FORMULACIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA REGULACIÓN DE LAS VÁLVULAS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN.....	92
6.4.1	Variables de decisión.....	92
6.4.2	Restricciones.....	93
6.4.3	Método de penalización de restricciones.....	93
6.4.4	Función objetivo transformada.....	95

CAPÍTULO 7. INTEGRACIÓN DE UN OPTIMIZADOR EN UN SISTEMA SCADA PARA LA OPERACIÓN EN TIEMPO REAL. LA PLATAFORMA SCA-Red.....96

7.1	OBJETIVOS DE LOS SISTEMAS SCADA EN REDES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.....	96
7.2	COMPONENTES DE UN SISTEMA SCADA.....	97
7.3	PROCEDIMIENTOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	98
7.4	TIPO Y FORMATO DE LOS DATOS DE CAMPO.....	99
7.5	GESTIÓN DE ANOMALIAS EN SISTEMAS SCADA Y PROCESADO DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO.....	100
7.6	SINCRONIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE DATOS.....	100
7.7	LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS SCADA.....	101
7.8	INTEGRACIÓN DE MODELOS HIDRÁULICOS EN SISTEMAS SCADA.....	103
7.9	LA PLATAFORMA SCA-Red.....	104
7.9.1	Antecedentes.....	104
7.9.2	Capacidades de la plataforma SCA-Red.....	104
7.9.3	Estructura de la plataforma SCA-Red.....	106
7.10	ALMACENAMIENTO Y PROCESADO DE LOS DATOS SCADA.....	106
7.11	INTEGRACIÓN DE LA PLATAFORMA SCA-Red CON EPANET 2.0.....	108
7.11.1	Asignación de datos de campo en el modelo hidráulico.....	108
7.11.2	Interoperabilidad con el fichero EPANET.....	110
7.11.3	Filtrado de datos.....	111
7.12	ARQUITECTURA DISTRIBUIDA DE LA PLATAFORMA.....	112
7.12.1	Capa servidor.....	112
7.12.2	Capa cliente.....	113
7.12.3	Arquitectura hardware.....	114
7.12.4	Arquitectura software.....	115
7.12.5	Diagramas de secuencia.....	117
7.13	INTEGRACIÓN DE LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTOS EN LA PLATAFORMA SCA-Red.....	118
7.13.1	Optimización de escenarios pasados.....	118
7.13.2	Optimización de escenarios futuros y tiempo real.....	120

CAPÍTULO 8. CASO DE ESTUDIO: APLICACIÓN DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA A VALENCIA Y SU AREA METROPOLITANA.....	123
8.1 INTRODUCCIÓN.....	123
8.2 DESCRIPCIÓN DE LA RED HIDRÁULICA.....	123
8.3 PROCESO GENERAL PARA LA CONFECCIÓN DE DIFERENTES MODELOS.	125
8.3.1 Confección del modelo de detalle a partir del SIG	125
8.3.2 Confección y calibración del modelo estratégico	128
8.3.3 Confección del modelo hidráulico para el entrenamiento de la ANN	131
8.3.4 Régimen de operación de la red de Valencia.....	134
8.3.4.1 Objetivos principales	135
8.3.4.2 Tratamiento de la información SCADA.....	136
8.4 ARQUITECTURA ANN EMPLEADA PARA LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO.....	139
8.4.1 Variables de entrada de la arquitectura ANN	139
8.4.2 Variables de salida de la arquitectura ANN.....	141
8.4.3 Parámetros empleados para la generación de patrones de entrenamiento de la ANN.....	143
8.4.4 Análisis de resultados de la paralelización del proceso de entrenamiento.....	144
8.4.5 Análisis de resultados de la simulación de la arquitectura ANN.	151
8.5 PREVISIÓN DE LAS ZONAS DE DEMANDA.....	156
8.5.1 Análisis de los resultados del modelo de previsión de demanda aplicado.....	157
8.6 PROCESO DE OPTIMIZACIÓN	160
8.6.1 Optimización de los costes de energéticos en las estaciones de bombeo de las plantas de tratamiento	160
8.6.1.1 Variables de decisión	161
8.6.1.2 Restricciones del problema.....	162
8.6.1.3 Parámetros del modelo hidráulico	166
8.6.2 Optimización del régimen de operación de las válvulas.....	169
8.6.2.1 Variables de decisión.....	169
8.6.2.2 Restricciones del problema.....	170
8.6.2.3 Parametros del algoritmo genético	171
8.7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL PROCESO DE OPTIMIZACIÓN	172
8.7.1 Resultados de la optimización del régimen de operación de los grupos de bombeo .	172
8.7.2 Evaluación de los costes energéticos	179
8.7.3 Resultados de la optimización del régimen de operación de las válvulas.....	183
8.7.4 . Tiempos de cálculo consumidos durante el proceso de optimización	187
CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	188
9.1 CONCLUSIONES	188
9.2 APORTACIONES ORIGINALES.....	189
9.3 TRABAJOS FUTUROS.....	191
9.4 PUBLICACIONES ASOCIADAS AL DESARROLLO DE LA TESIS.....	193
9.5 CONTRATOS DERIVADOS DEL DESARROLLO DE LA TESIS.....	194
BIBLIOGRAFIA	195
ANEXOS.....	202

ANEXO 1. DESCRIPCIÓN DEL FICHERO DE ENTRADA DEL SOFTWARE DE ENTRENAMIENTO NEVPROP 1.16.	203
ANEXO 2. CASOS DE ESTUDIO PARA EL ENTRENAMIENTO DE LAS ARQUITECTURAS ANN.....	208
ANEXO 3. PARÁMETROS LIBRERÍA ALGORITMOS GENÉTICOS OPTIGA	216
ANEXO 4. FUNCIONALIDADES DE LOS MÓDULOS DE LA PLATAFORMA SCA-RED	219
A4.1 Módulo SCA-Red MS	219
A4.2 Módulo SCA-Red AD.....	227
A4.3 Módulo SCA-Red RPT	232
A4.4 Módulo SCA-Red SVC	233