

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
RESUMEN	iii
RESUM	v
SUMMARY	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivación y objetivos	1
1.2 Ámbito de aplicación	3
1.3 Problemática y retos de la operación diaria. Estado del arte	5
1.3.1 Cálculos energéticos e indicadores en sistemas de distribución de agua	6
1.3.2 Métodos para la reducción del consumo energético en SDA	8
1.3.3 Reducción del consumo energético en el caso particular de redes de riego	10
1.4 Estructura de la Tesis	12
CAPÍTULO 2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS	15
2.1 Generalidades de los métodos de optimización	15
2.1.1 Métodos deterministas	15
2.1.2 Métodos heurísticos	17
2.1.3 Métodos metaheurísticos	17
2.2 Software de simulación hidráulica: EPANET	21
2.2.1 Modelado matemático	21
2.2.2 Toolkit de EPANET	24
2.2.3 Modelización hidráulica para la optimización energética	25
CAPÍTULO 3. OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE REDES DE RIEGO CON BOMBEO DIRECTO	27
3.1 Introducción a las particularidades de las redes de riego	27
3.2 Metodología general de optimización energética en redes de riego	30
3.2.1 Definición de una red de riego, con miras a su optimización	30
3.2.2 Planteamiento del problema base de optimización	32
3.2.3 Desdoblamiento del problema en periodo de bombeo y periodo de gravedad	38

3.2.4	Caso de estudio. Comunidad de regantes de “El Realón”	40
3.2.5	Conclusiones derivadas de aplicar la metodología descrita	50
3.3	Mejoras en el método de optimización para acelerar los cálculos	51
3.3.1	Descripción del algoritmo	52
3.3.2	Caso de estudio. Comunidad de regantes de Peñarroya	58
3.3.3	Resultados	61
3.3.4	Conclusiones	65
3.4	Mejoras en el método de maximización del volumen entregado por gravedad	66
3.4.1	Descripción del método	66
3.4.2	Resultados de la aplicación de la variante al caso de estudio de “El Realón”	68
3.4.3	Conclusiones al método mejorado para maximizar el volumen por gravedad	71
3.5	Conclusiones generales	71
CAPÍTULO 4. OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE SISTEMAS DE TRANSPORTE DE AGUA		73
4.1	Introducción	73
4.2	Descripción del método por programación lineal.	74
4.2.1	Definición de los subsistemas	75
4.2.2	Consideraciones sobre la optimización lineal	78
4.2.3	Planteamiento del problema de optimización lineal	79
4.2.4	Cálculo de las funciones de transferencia	84
4.2.5	Obtención del precio de la energía	85
4.2.6	Comparación de resultados	87
4.3	Criterio para el establecimiento del valor final del nivel de los depósitos	88
4.4	Caso de estudio	93
4.5	Resultados	94
4.6	Conclusiones	98
CAPÍTULO 5. MÉTODOS HEURÍSTICOS		101
5.1	Introducción	101
5.2	Cálculo de los flujos energéticos en redes de distribución de agua	102
5.2.1	Descripción del método	102
5.2.2	Ejemplo de aplicación	119
5.2.3	Conclusiones	122
5.3	Metodología de optimización basada en el coste del agua almacenada	123

5.3.1	Equiparación de la densidad de energía a la densidad de coste	124
5.3.2	Función de mezcla en los depósitos	126
5.3.3	Algoritmo voraz de optimización	128
5.4	Resultados	130
5.5	Conclusiones	132
CAPÍTULO 6. TRATAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO		135
6.1	Introducción	135
6.2	Detección y clasificación de los datos anómalos	136
6.3	Metodología de restitución de los datos anómalos	137
6.3.1	Restitución de datos erróneos a partir de patrones	138
6.3.2	Combinación de distintas granularidades en las series de datos	139
6.3.3	Caso particular. Ajuste de las medidas de los caudalímetros en base al balance caudales	140
6.3.4	Caso de que algún caudal sea calculado	142
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES		145
7.1	Conclusiones generales	145
7.2	Aportaciones originales	147
7.3	Publicaciones	147
7.3.1	Revistas JCR	147
7.3.2	Congresos	148
7.3.3	Libros	148
7.4	Discusión y limitación de resultados	149
7.5	Trabajos futuros	150
7.5.1	Cambio de paradigma en la optimización energética de redes de riego	150
7.5.2	Formulación del balance global de energías a lo largo de un periodo de tiempo	151
7.5.3	Definición de nuevos indicadores energéticos	151
7.5.4	Mejora del sistema de filtrado de datos	152
BIBLIOGRAFÍA		153