

Resumen.....	i
Resum .....	iii
Abstract.....	v

## Índice de los capítulos

### Capítulo 1. Introducción

1.1. Introducción.....	1
1.1.1. Motivación .....	2
1.2. Introducción a la eficiencia en los sistemas de agua a presión .....	5
1.2.1. El trinomio agua – energía – cambio climático: los objetivos del Horizonte 2020.....	11
1.1.2.1. La modernización del regadío.....	14
1.2.2. Las consecuencias energéticas de modernizar el regadío.....	17
1.2.3. El camino recorrido: el protocolo del IDAE.....	21
1.2.4. Estrategias de operación. Posibilidades de mejora.....	23
1.2.5. Implicaciones energéticas del riego a la demanda y del riego programado .....	26
1.2.6. Eficiencia energética y contratación del suministro eléctrico.....	27
1.3. Proceso de mejora de la eficiencia energética de una red a presión .....	29
1.3.1. Conceptos del proceso de mejora de la eficiencia energética de los sistemas de agua a presión.....	30
1.3.2. Necesidad de diagnosticar la eficiencia energética de las redes a presión .....	32
1.3.3. Enfoque general y metodología .....	33
1.4. Antecedentes. Sobre la necesidad de unificar terminología, indicadores, métricas y procedimientos de los análisis energéticos globales .....	36
1.5. Justificación y objetivos .....	38
1.6. Estructura del documento.....	40

## Capítulo 2: Implicaciones ambientales

2.1. Introducción.....	45
2.2. Evolución del cambio climático.....	47
2.2.1. Futuro en el cambio climático, riegos e impactos.....	48
2.2.2. Caminos de futuro para la Adaptación, Mitigación y Desarrollo sostenible .....	48
2.2.3. Relación cambio climático - ciclo del agua.....	50
2.3. Diseñando soluciones para mitigar el cambio climático. El proyecto WaCCliM.....	51
2.4. La herramienta ECAM. Metodología de evaluación y seguimiento .....	52
2.4.1. Concepto del sistema .....	53
2.4.2. La evaluación de la metodología .....	56
2.4.3. Enfoque del Ciclo integral del agua .....	58
2.4.4. Cálculo de las emisiones.....	58
2.4.5. Información general de las emisiones de GEI incluidas en ECAM.....	63
2.4.6. Consideraciones finales.....	65
2.4.7. La estructura de la herramienta ECAM.....	66
2.4.8. La estructura de datos: Variables e indicadores .....	67
2.4.9. Emisiones no consideradas en la herramienta .....	68
2.5. Conclusiones.....	70

## Capítulo 3: Fase de diagnóstico energético

3.1. Introducción.....	72
3.2. Hipótesis de partida.....	74
3.2.1. Sistema ideal sin exceso de presión.....	74
3.2.2. Sistema ideal con el exceso de presión.....	76
3.2.3. Sistema real .....	77
3.3. La eficiencia energética de un sistema de agua a presión.....	79
3.3.1. La eficiencia energética de un sistema ideal (con y sin recuperación de energía) ....	79

---

3.3.2.	La eficiencia energética de un sistema real .....	80
3.3.3.	La eficiencia energética objetivo .....	81
3.3.3.1.	Energía reducible en fugas, $E_{r1,o}$ .....	83
3.3.3.2.	Energía reducible debida a las pérdidas por fricción, $E_{rf,o}$ .....	83
3.3.3.3.	Energía reducible en estaciones de bombeo, $E_{rp,o}$ .....	84
3.3.3.4.	Otras pérdidas de energía reducibles, $E_{ro,o}$ .....	84
3.4.	Disipación y recuperación de energía (con VRP o PAT) en un PWTS .....	84
3.5.	La mejora de la eficiencia de un PWTS .....	85
3.6.	Síntesis del diagnóstico .....	86
3.7.	La herramienta EAGLE .....	88
3.8.	Casos de estudio .....	89
3.8.1.	Caso práctico 1. Evaluación de los diferentes términos energéticos .....	89
3.8.1.1.	Planteamiento del caso .....	90
3.8.1.2.	Cálculo de energías y rendimientos .....	92
3.8.1.3.	Cálculo de energías y rendimientos ante un nuevo escenario .....	96
3.8.1.4.	Cálculo de las energías y rendimiento objetivo .....	100
3.8.2.	Caso práctico 2. Evaluación de la energía topográfica .....	103
3.8.2.1.	Planteamiento del caso .....	104
3.8.2.2.	Cálculo de energías y rendimientos .....	105
3.8.2.3.	Desacoplamiento del sistema .....	106
3.9.	Conclusiones .....	112

## Capítulo 4: Fase de análisis. Auditorías

4.1.	Introducción .....	114
4.2.	Auditoría hídrica .....	116
4.2.1.	Sobre las pérdidas de agua .....	116
4.2.2.	Componentes del balance hídrico .....	117

4.2.3.	Introducción a la auditoría hídrica e indicadores .....	125
4.2.3.1.	Realización de la auditoría hídrica .....	131
4.2.4.	Ejemplo de nuevas técnicas de detección y reparación de fugas .....	136
4.2.4.1.	Sistema remoto de detección de fugas UTILIS .....	136
4.2.4.2.	Técnica automatizada de reparación de fugas sin zanjas (TALR) propuesta por CURAPIPE.....	137
4.3.	Auditoría energética .....	138
4.3.1.	Introducción.....	138
4.3.2.	Sobre los peajes energéticos en una red de distribución de agua .....	139
4.3.3.	Fundamentos de la auditoría energética.....	141
4.3.4.	Integración en periodo extendido de la ecuación de la energía .....	142
4.3.4.1.	Energía entrante en la red, aportada por el embalse o depósito .....	143
4.3.4.2.	Energía entrante en la red, aportada por el equipo de bombeo (energía de eje).....	144
4.3.4.3.	Energía entregada a los usuarios en los nudos de consumo .....	145
4.3.4.4.	Energía saliente de la red a través de las fugas existentes .....	146
4.3.4.5.	Energía disipada por fricción en tuberías y otros elementos .....	146
4.3.4.6.	Término energético de compensación del depósito de cola .....	147
4.3.5.	Balance global de energía .....	147
4.3.6.	Aplicaciones de la auditoría energética .....	148
4.3.7.	Sobre las debilidades y limitaciones energéticas de EPANET .....	150
4.3.7.1.	Introducción al estado actual del módulo energético de EPANET .....	151
4.3.7.2.	Errores principales .....	153
4.3.7.3.	Errores menores .....	153
4.3.7.4.	Mejoras potenciales .....	154
4.3.7.5.	Caso de estudio .....	155
4.4.	Conclusiones.....	160

---

## Capítulo 5: Influencia de la configuración del sistema

5.1. Introducción.....	163
5.2. Suministro de agua en directo o indirecto, desde la perspectiva de la evaluación energética .....	165
5.2.1. Diagnóstico energético .....	166
5.2.2. Ejemplo numérico.....	168
5.2.2.1. Datos Básicos.....	169
5.2.2.2. Resultados del diagnóstico energético.....	171
5.2.2.3. Resultados de la auditoría energética .....	173
5.2.3. Ventajas e inconvenientes del suministro en directo. Análisis económico .....	176
5.2.3.1. Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) .....	177
5.3. Conclusiones.....	180

## Capítulo 6: Estrategias de mejora. Evaluación de acciones

6.1. Introducción.....	182
6.2. Medidas operacionales.....	184
6.2.1. Operar el sistema en su punto de funcionamiento óptimo (BEP, Best Efficient Point) ..	184
6.2.1.1. Reducción de la demanda .....	185
6.2.1.2. Ajustar el sistema al BEP .....	188
6.2.2. Evitar cualquier excedente de energía.....	194
6.2.3. Reducir al mínimo las fugas .....	196
6.2.4. Minimizar las pérdidas por fricción.....	201
6.3. Medidas estructurales .....	206
6.3.1. Utilizar bombas más eficientes .....	207
6.3.2. Recuperar o reducir la energía topográfica.....	212
6.3.3. Mejorar viejos diseños de distribución y suministro .....	215
6.3.4. Evitar las pérdidas no incluidas en los apartados anteriores.....	220

6.3.4.1. Caso de estudio. Sustitución de bombes aspirando de depósitos de rotura por aspiración directa de red .....	221
6.4. Ejemplo de aplicación.....	225
6.4.1. Breve descripción del sistema inicial .....	225
6.4.2. Medidas OP.3 y OP.4. Reducción de las fugas y de la fricción por reducción de la presión .....	229
6.4.3. Medidas OP1: Operar en el BEP .....	231
6.4.4. Medida OP2: Evitar excedentes de energía.....	234
6.4.5. Medida EST1: Recurrir a bombas más eficientes .....	237
6.4.6. Medida EST3: Reducción de energía por fricción por cambio de diámetros .....	238
6.5. Conclusiones.....	240

## Capítulo 7: Conclusiones y desarrollos futuros

7.1. Introducción.....	243
7.2. Proceso de mejora de la eficiencia energética de una red a presión .....	245
7.2.1. Fase de diagnóstico energético .....	246
7.2.2. Fase de análisis (auditorías).....	248
7.2.3. Fase de evaluación de acciones. Definición de estrategias de mejora .....	248
7.2.4. Fase de toma de decisiones.....	249
7.3. Resultados directos de la tesis .....	249
7.4. Desarrollos futuros .....	251
7.5. Conclusión.....	253

## Índice de los anexos

<b>A1 Anexo 1. La herramienta EAGLE .....</b>	<b>255</b>
A1.1 La herramienta EAGLE .....	256
A1.2 Estructura de la herramienta .....	256

---

A1.2.1	Tipología .....	257
A1.2.2	Caracterización .....	260
A1.2.3	Configuración.....	261
A1.2.4	Datos energéticos .....	266
A1.2.5	Datos fuentes.....	267
A1.2.6	Diagnóstico .....	268
A1.2.7	Preauditoría - Objetivo .....	271
A1.2.8	Resumen del diagnóstico .....	275
A1.3	Cuestiones varias sobre la herramienta .....	276
A1.3.1	Mensajes arrojados por EAGLE .....	276
A1.3.2	Tipo de celdas disponibles .....	277
A1.3.3	Ayuda y descripción de las variables.....	278
A1.4	Ejemplos de cálculo .....	278
A1.4.1	Ejemplo sistema urbano.....	278
A1.4.1.1.	Selección de la tipología.....	279
A1.4.1.2.	Caracterización del sistema.....	280
A1.4.1.3.	Configuración .....	282
A1.4.1.4.	Datos energéticos.....	284
A1.4.1.5.	Diagnóstico.....	285
A1.4.1.6.	Preauditoría y energías objetivo .....	291
A1.4.2	Ejemplo sistema riego.....	293
<b>A2</b>	<b>Anexo 2. Manual de usuario de ITAFugas .....</b>	<b>301</b>
A2.1	ITAFugas.....	302
A2.2	Ejemplo de aplicación.....	303
A2.2.1	Método de los nudos:.....	304
A2.2.2	Método de la X:.....	306

<b>A3</b>	<b>Anexo 3. Manual de usuario de ITAEnergy.....</b>	<b>310</b>
A3.1	Descripción del software .....	311
A3.2	Conceptos .....	311
A3.3	Variables y resultados de la auditoría energética. ....	312
A3.3.1	Introducción de valores .....	312
A3.3.2	Resultados obtenidos.....	314
A3.3.2.1.	Balance hídrico:.....	314
A3.3.2.2.	Auditoría energética.....	316
A3.3.2.3.	Indicadores energéticos.....	321
A3.4	Observaciones .....	324
<b>A4</b>	<b>Anexo 4. Referencias.....</b>	<b>326</b>

## Índice de las figuras

### Capítulo 1

Figura 1-1:	El campo ibicenco está sufriendo las consecuencias de la sequía (El Mundo 23/08/2015).....	3
Figura 1-2:	Evolución del consumo y la dotación por habitante y día (AEAS 2014).....	4
Figura 1-3:	Uso del agua por sectores (INE 2008).....	5
Figura 1-4:	Evolución del consumo de energía en los regadíos Españoles (1950-2013) (Berbel et al., 2014) .....	7
Figura 1-5:	Evolución de algunos indicadores hídricos en las ciudades españolas (INE 2016). ....	8
Figura 1-6:	Producción de agua desalada (Ministerio de Fomento, CEDEX).....	9
Figura 1-7:	Consumos específicos de energía. Nota: GWRS, groundwater replenishment system; WWTP, wastewater treatment plant (Lazarova et al. 2012) .....	9
Figura 1-8:	Fotogalería Diario La Verdad (3 Noviembre 2015). “El otoño más lluvioso desde 2001 apenas palía la sequía extrema en la provincia de Alicante. Las precipitaciones han sido beneficiosas para el campo, pero la situación de los embalses sigue siendo crítica.” .....	13
Figura 1-9:	Evolución de la superficie regada según tipos de Riego. Años 2004-2013 (Fuente: Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos, ESYRCE, MAGRAMA 2013) .....	15



Figura 1-10: Evolución del consumo de agua y energía para riego en España con respecto al año 1950.....	19
Figura 1-11: Ejemplo de fluctuación del precio horario del mercado eléctrico diario (OMIE, 2015) .....	28
Figura 1-12: Diagrama de flujo de la metodología. ....	35

## Capítulo 2

Figura 2-1: Interconexiones Agua – Energía- Clima .....	46
Figura 2-2: Límites del sistema urbano del agua .....	54
Figura 2-3: El ciclo urbano del agua (Fuente: IWA. WaCCliM Methodology Factsheet) .....	56
Figura 2-4: Emisiones GEI en la industria del agua (adaptada de OFWAT, 2010).....	59
Figura 2-5: Emisiones de GEI por scope y etapa en la que se cuantifica en la herramienta ECAM .....	64
Figura 2-6: Resumen del enfoque para el cálculo de las emisiones globales de GEI .....	66
Figura 2-7: Estructura de ECAM.....	67

## Capítulo 3

Figura 3-1: Sistema ideal de agua a presión (perfil sin exceso de energía). ....	75
Figura 3-2: Sistema ideal de agua a presión (perfil con exceso de energía).....	77
Figura 3-3: Sistema real de agua a presión (perfil sin el exceso de energía).....	78
Figura 3-4: Comparación de $E_{ti}$ y $E_{tr,o}$ dependiendo del perfil topográfico. ....	82
Figura 3-5: Diagrama de flujo para mejorar la eficiencia en PWTS. Diagnóstico .....	86
Figura 3-6: Esquema del sistema en alta, Caso 1. ....	90
Figura 3-7: Esquema simplificado del perfil del sistema. ....	93
Figura 3-8: Relación entre $E_{uo}/E_{ti}$ en el sistema simplificado y en el sistema con más detalle. ....	96
Figura 3-9: Sistema ideal con exceso de energía. ....	97
Figura 3-10: Comparación del efecto de la VRP en la disipación de energía dependiendo de su ubicación.....	99
Figura 3-11: Esquema red de riego del caso 2 .....	104
Figura 3-12: Sectores de la red de riego Caso 2. ....	106
Figura 3-13: Esquemmatización sectorización del caso 2. ....	107
Figura 3-14: Comparación energía topográfica ideal en el sistema desacoplado y en el sistema completo .....	111

## Capítulo 4

Figura 4-1: Diagrama de flujo para mejorar la eficiencia en un PWTS. Análisis (auditorías).....	115
Figura 4-2: Síntesis estrategias orientadas a la reducción de fugas (IWA, 2000). .....	122
Figura 4-3: Probabilidad e impacto de los diez riesgos globales (Global Risk Perception Survey, 2014. Foro Económico Mundial).....	124
Figura 4-4: Modelo de fugas basado en el NFM (Puust et al., 2010) .....	132
Figura 4-5: Componentes del caudal mínimo nocturno (UKWIR, 1994).....	132
Figura 4-6: Horquillas de las HEA unitarias en California (CEC, 2005).....	139
Figura 4-7: Diagrama simple del balance de energía (BID, 2011) .....	140
Figura 4-8: Notación utilizada para los nudos y líneas de la red de distribución .....	142
Figura 4-9: Tabla de resultados del Balance Hídrico y de la Auditoría Energética (ITAEnergy) .	149
Figura 4-10: Tabla de Indicadores .....	150
Figura 4-11: Esquema de la red caso de estudio.....	155
Figura 4-12: Características del punto de funcionamiento trabajando a dos velocidades distintas .....	159

## Capítulo 5

Figura 5-1: Diagrama de flujo para mejorar la eficiencia en PWTS.....	164
Figura 5-2: izda.) Escenario 1 (suministro indirecto) drcha.) Escenario 2 (suministro en directo) .....	168
Figura 5-3: Esquemas de los escenarios analizados .....	169
Figura 5-4: Factor de emisión (EF) estimado a 24 horas (línea continua), en comparación con el valor medio de EF (línea discontinua). (Stokes et al., 2014).....	179
Figura 5-5: Evolución diaria del factor de emisión (EF) frente a la evolución del precio de la energía.....	180

## Capítulo 6

Figura 6-1: Diagrama de flujo para mejorar la eficiencia en PWTS. Evaluación de acciones.....	183
Figura 6-2: Diagrama de flujo para mejorar la eficiencia en PWTS. Cambios en las condiciones de contorno .....	188
Figura 6-3: Variación horaria a lo largo del año de los periodos de la tarifa 6X. ....	189
Figura 6-4: Sectores de la red de riego Estado final. ....	192
Figura 6-5: Reducción de energía total según el porcentaje de reducción de fugas. ....	199

Figura 6-6: % de reducción de energía total asociada a las fugas según el % de reducción de fugas en función de $j$ .	199
Figura 6-7: % de reducción de energía total asociada a las fugas según el % de reducción de fugas en función de $x$ .	200
Figura 6-8: Variación de la reducción de la energía en función de $x$ y $j$ , para una reducción del caudal fugado del 30%.	201
Figura 6-9: Representación de los costes totales asociados a la renovación de un tubería (Pardo, 2010).	206
Figura 6-10: Pérdidas energéticas típicas en los componentes electromagnéticos de un sistema de agua (BID, 2011).	208
Figura 6-11: Diagrama energético global de las bombas centrífugas.	210
Figura 6-12: Acciones recomendadas para ajustar las curvas del equipo de bombeo a la condición real de operación (BID, 2011).	211
Figura 6-13: Proporciones típicas en el análisis del coste de vida de una bomba industrial de tamaño medio.	212
Figura 6-14: Esquema del funcionamiento propuesto del Rebombear.	214
Figura 6-15: Esquema simplificado de la red de distribución de agua de Jávea modelado con ALLIEVI.	222
Figura 6-16: Situación inicial de la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes. Escenario 1.	223
Figura 6-17: Situación propuesta de la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes. Escenario 2.	224
Figura 6-18: Esquema de la red del sistema inicial.	225
Figura 6-19: Curva de consigna frente a la curva característica del grupo de presión.	228
Figura 6-20: Esquema de la red del sistema inicial.	231
Figura 6-21: Curva de consigna frente a la curva característica del grupo de presión.	232
Figura 6-22: Curva de funcionamiento en los tres sistemas de una bomba.	234
Figura 6-23: Puntos de funcionamiento de la instalación y del grupo de presión.	236

## Capítulo 7

Figura 7-1: Diagrama de flujo de la metodología propuesta.	246
--	-----

## Anexo 1

Figura A1-1: Estructura de EAGLE.	257
Figura A1-2: Tipologías básicas disponibles para el análisis de redes.	257

Figura A1-3: Hoja de Caracterización .....	261
Figura A1-4: Selección Disponibilidad de Datos. Hoja de Configuración .....	262
Figura A1-5: Tabla de datos de Configuración para la selección 1. Cotas y demandas de los nudos de consumo .....	263
Figura A1-6: Tabla de datos de Configuración para la selección 2. Cota de cada nudo de consumo .....	264
Figura A1-7: Tabla de datos de Configuración para la selección 3. Sólo cotas extremas .....	265
Figura A1-8: Sección superior de la hoja Configuración. ....	265
Figura A1-9: Hoja de Datos energéticos. ....	266
Figura A1-10: Hoja de Datos fuentes.....	267
Figura A1-11: Hoja de Diagnóstico .....	269
Figura A1-12: Gráfico de distribución de energías .....	270
Figura A1-13: Gráfico de distribución de energías .....	271
Figura A1-14: Preauditoría del sistema .....	271
Figura A1-15: Energía objetivo perdida por FUGAS .....	273
Figura A1-16: Energía objetivo perdida por BOMBEO.....	273
Figura A1-17: Energía objetivo perdida por FRICCIÓN .....	274
Figura A1-18: Rendimiento objetivo del sistema.....	274
Figura A1-19: Resumen del diagnóstico de una red de abastecimiento de agua a presión .....	275
Figura A1-20: Gráfica del diagnóstico energético del sistema .....	276
Figura A1-21: Ejemplo de mensaje de error .....	277
Figura A1-22: Ejemplo de mensaje de advertencia .....	277
Figura A1-23: Tipo de celdas disponibles .....	278
Figura A1-24: Ejemplo definiciones y ayuda.....	278
Figura A1-25: Esquema de funcionamiento caso 1 .....	279
Figura A1-26: Paso 1. Selección de la tipología .....	280
Figura A1-27: Paso 2. Caracterización .....	281
Figura A1-28: Paso 3. Configuración.....	283
Figura A1-29: Paso 3. Configuración. Pérdidas de agua .....	284
Figura A1-30: Paso 3. Configuración. Pérdidas de agua .....	285
Figura A1-31: Paso 5. Obtención del Diagnóstico .....	286
Figura A1-32: Resultados del Diagnóstico energético en el caso de Disponibilidad de datos 2	287
Figura A1-33: Resultados del Diagnóstico energético en el caso de Disponibilidad de datos 3	288

Figura A1-34: Resultados del Diagnóstico energético. Gráfica de distribución de energías.....	289
Figura A1-35: Resultados del Diagnóstico energético. Gráfica de porcentaje de energías acumuladas.....	289
Figura A1-36: Ejemplo gráfica de porcentaje de energías acumuladas .....	290
Figura A1-37: Paso 6. Obtención de la Preauditoría.....	291
Figura A1-38: Paso 6. Cálculo de las energías objetivo (fugas).....	291
Figura A1-39: Paso 6. Cálculo de las energías objetivo (estación de bombeo) .....	292
Figura A1-40: Gráfica de distribución de energías (real, objetivo e ideal) .....	292
Figura A1-41: Esquema de funcionamiento caso 2. ....	293
Figura A1-42: Paso 2. Caracterización de un sistema de riego .....	295
Figura A1-43: Paso 3. Configuración.....	296
Figura A1-44: Paso 4. Datos energéticos .....	296
Figura A1-45: Paso 5. Análisis de los datos obtenidos en el Diagnóstico .....	297
Figura A1-46: Gráfica de energías acumuladas caso 2 .....	298
Figura A1-47: Gráfica de distribución de energías caso 2 .....	299
Figura A1-48: Paso 6. Análisis de los datos de la preauditoría .....	299
Figura A1-49: Gráfica de distribución de energías ideales, reales y objetivo caso 2.....	300
<b>Anexo 2</b>	
Figura A2-1: Esquema de la red del Ejemplo 1.....	303
Figura A2-2: Distribución supuesta del caudal incontrolado. ....	304
Figura A2-3: Elección del método de la X.....	307
Figura A2-4: Evolución temporal del caudal inyectado. ....	307
Figura A2-5: Representación gráfica de la desviación típica del modelo frente a la del caudal inyectado.....	309
<b>Anexo 3</b>	
Figura A3-1: Ventana de selección de tiempos .....	313
Figura A3-2: Introducción de variables para el cálculo.....	314
Figura A3-3: Tabla de resultados del Balance Hídrico.....	315
Figura A3-4: Tabla de resultados de la Auditoría Energética.....	317
Figura A3-5: Tabla de Indicadores.....	322

## Índice de las tablas

### Capítulo 1

Tabla 1-1: Indicadores de producción y consumo de energía por usos del agua (Corominas, 2010).....	17
Tabla 1-2: Evolución del consumo de energía para riego en España (Corominas, 2010) .....	18
Tabla 1-3. Energía asociado a cada sistema de riego (Corominas, 2010) .....	20

### Capítulo 3

Tabla 3-1: Características de los nudos de la red.....	91
Tabla 3-2: Características básicas (mínimas conocidas) del sistema. ....	91
Tabla 3-3: Comparación de resultados en función del grado de detalle de los datos.....	95
Tabla 3-4: Resultados del escenario con exceso de energía.....	98
Tabla 3-5: Rendimientos energéticos del sistema .....	103
Tabla 3-6: Energías de partida Caso 2. ....	105
Tabla 3-7: Características principales de cada uno de los sectores del Caso 2.....	107
Tabla 3-8: Energías ideales y rendimiento ideal del Sector Alto. ....	108
Tabla 3-9: Energías ideales y rendimiento ideal del Sector Medio.....	109
Tabla 3-10: Energías ideales y rendimiento ideal del Sector Bajo. ....	110
Tabla 3-11: Evaluación del sistema completo y desacoplado .....	110

### Capítulo 4

Tabla 4-1: Beneficios de la gestión de la presión (GIZ, 2011).....	123
Tabla 4-2: Auditoría hídrica (IWA, 2000) .....	126
Tabla 4-3: Auditoría hídrica (Almandoz et al., 2005).....	127
Tabla 4-4: Valores del IFE en países en desarrollo y en vías de desarrollo (Liemberger, 2005). .....	130
Tabla 4-5: Directrices generales para el valor objetivo del IFE (AWWA, 2003).....	130
Tabla 4-6: Notación empleada en la definición de las energías actuantes en el sistema .....	143
Tabla 4-7: Esquema del balance energético a largo plazo de una red de distribución de agua .	148
Tabla 4-8: Datos básicos de los nudos y las tuberías para el caso de estudio .....	156
Tabla 4-9: Características de las bombas .....	156
Tabla 4-10: Auditoría hídrica .....	157

Tabla 4-11: Balance de potencias .....	157
Tabla 4-12: Comparación análisis energético calculado y ofrecido por EPANET.....	158

## Capítulo 5

Tabla 5-1: Características de los nudos y las líneas de la red .....	169
Tabla 5-2: Curvas de modulación de los nudos de consumo.....	170
Tabla 5-3: Características y funcionamiento de las bombas.....	171
Tabla 5-4: Resultado del diagnóstico energético sobre los dos escenarios presentados.....	172
Tabla 5-5: Resultados de la auditoría energética para ambos escenarios .....	174
Tabla 5-6: Mix eléctrico red peninsular (g CO <sub>2</sub> /kWh) (Datos: OCCC 2015) .....	178

## Capítulo 6

Tabla 6-1: Punto de funcionamiento para cada turno. Estado inicial.....	190
Tabla 6-2: Coste del Término de Potencia y Término de energía para la tarifa 6.1A (año 2015, estado inicial). .....	190
Tabla 6-3: Puntos de funcionamiento para cada turno. Estado final .....	193
Tabla 6-4: Comparación de resultados entre el estado inicial y después de las mejoras.....	194
Tabla 6-5: Primera clasificación de los costes que intervienen en el diseño de una red (Pérez et al., 2009) .....	204
Tabla 6-6: Consumo eléctrico medio de la estación de bombeo Adsubia – Cabanes .....	224
Tabla 6-7: Datos básicos de los nudos y las tuberías.....	226
Tabla 6-8: Características de las bombas .....	227
Tabla 6-9: Auditoría energética del sistema inicial (kWh/día).....	227
Tabla 6-10: Regulación de las VRP del sistema .....	229
Tabla 6-11: Auditoría energética tras aplicar las medidas OP3 y OP4 (kWh/día) .....	230
Tabla 6-11: Auditoría energética tras aplicar la medida OP1 (kWh/día).....	232
Tabla 6-13: Regulación del grupo de presión .....	234
Tabla 6-14: Auditoría energética tras aplicar la medida OP2 (kWh/día).....	235
Tabla 6-14: Auditoría energética tras aplicar la medida EST1 (kWh/día).....	237
Tabla 6-16: Auditoría energética tras aplicar la medida EST3 (kWh/día).....	239

**Anexo 2**

Tabla A2-1: Datos de los nudos del ejemplo. ....304

Tabla A2-2: Demandas mayoradas con el caudal incontrolado consumido. ....305

Tabla A2-3: Resultados de la simulación del modelo para cada valor de x.....308

**Anexo 3**

Tabla A3-1: Indicadores de contexto del sistema. ....323

Tabla A3-2: Indicadores energéticos del sistema. ....324