

CONTENIDOS

Citas	I
Resumen	III
Abstract	V
Resum	VII
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 PRESENTACIÓN	1
1.2 JUSTIFICACIÓN. OPORTUNIDAD DE LA TESIS.....	2
1.3 INVERSIONES NECESARIAS EN RENOVACIÓN DE LA RED	6
1.3.1 <i>El caso de Estados Unidos</i>	6
1.3.2 <i>La situación en Europa</i>	8
1.3.3 <i>La situación Española</i>	18
1.3.4 <i>La situación local en la ciudad de Valencia</i>	20
1.3.5 <i>Resumen de las inversiones necesarias en la renovación de la red</i>	23
1.4 PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO	26
1.5 ESTRUCTURA DE LA TESIS	27

2	REHABILITACIÓN Y RENOVACIÓN DE TUBERÍAS. ESTADO DEL ARTE.....	31
2.1	INTRODUCCIÓN	33
2.2	LA HISTORIA DE LAS TUBERÍAS DE AGUA POTABLE	35
2.3	TIPOS DE MATERIALES UTILIZADOS EN LOS ABASTECIMIENTOS	42
2.3.1	<i>Tuberías de fundición dúctil</i>	44
2.3.2	<i>Tuberías de acero</i>	52
2.3.3	<i>Tuberías de hormigón</i>	56
2.3.4	<i>Tuberías de policloruro de vinilo</i>	60
2.3.5	<i>Tuberías de polietileno</i>	65
2.3.6	<i>Tuberías de policloruro de vinilo con orientación molecular</i>	69
2.3.7	<i>Tuberías de poliéster reforzado con fibra de vidrio</i>	71
2.3.8	<i>Tuberías en desuso</i>	73
2.3.9	<i>Tablas resumen de las características de las tuberías según los materiales</i>	80
2.3.10	<i>Evolución de las roturas según el tipo de tubería</i>	82
2.4	MATERIALES UTILIZADOS EN LOS ABASTECIMIENTOS	87
2.4.1	<i>Utilización de tuberías en Norteamérica</i>	87
2.4.2	<i>Utilización de tuberías en Europa</i>	89
2.4.3	<i>Utilización de tuberías en España</i>	90
2.4.4	<i>Utilización de tuberías en Valencia</i>	92
2.5	CRITERIOS PARA REHABILITAR Y RENOVAR	93
2.5.1	<i>Conceptos previos</i>	93
2.5.2	<i>Razones que aconsejan la rehabilitación y/o renovación</i>	94
2.5.3	<i>Criterios que se deben adoptar en la renovación</i>	97
2.5.4	<i>Los sistemas de soporte a la decisión</i>	99
3	AUDITORÍA HÍDRICA PARA LA EVALUACIÓN DE LOS GRUPOS DE TUBERÍAS ...	103
3.1	INTRODUCCIÓN	105
3.2	AUDITORÍA HÍDRICA DEL SISTEMA	106
3.2.1	<i>Consumo autorizado</i>	108
3.2.2	<i>Volumen no facturado</i>	109
3.2.3	<i>Pérdidas totales</i>	109
3.2.4	<i>Fugas aparentes</i>	109
3.2.5	<i>Fugas reales</i>	111
3.3	REALIZACIÓN DE LA AUDITORÍA	116
3.4	INDICADORES DE GESTIÓN MÁS FRECUENTEMENTE UTILIZADOS	118
3.4.1	<i>Rendimiento volumétrico de una red de distribución</i>	118
3.4.2	<i>Indicadores de gestión relacionados con la auditoría hídrica</i>	118
3.4.3	<i>Umbral mínimo de fugas, UMF</i>	120
3.4.4	<i>Índice de fugas estructural, IFE o ILI</i>	120
3.5	EJEMPLOS DE AUDITORÍA HÍDRICA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN	123

4	POLÍTICAS DE GESTIÓN DE FUGAS EN EL ABASTECIMIENTO A LARGO PLAZO	133
4.1	INTRODUCCIÓN	135
4.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	137
4.3	ANÁLISIS DE LOS COSTES EXISTENTES EN T_p	139
4.3.1	<i>Coste de renovación (C_1)</i>	140
4.3.2	<i>Coste de reparación y mantenimiento (C_2)</i>	141
4.3.3	<i>Costes del agua (C_3)</i>	143
4.3.4	<i>Coste social asociado a la perturbación por obras (C_{41})</i>	145
4.4	OTROS COSTES IMPUTABLES DE APARICIÓN OCASIONAL	146
4.4.1	<i>Coste social asociado a la pérdida de estándares de servicio (C_{42})</i>	146
4.4.2	<i>Coste de oportunidad (C_5)</i>	147
4.5	OBTENCIÓN DEL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN.....	148
4.5.1	<i>Periodo óptimo de renovación para la primera renovación</i>	148
4.5.2	<i>Periodo óptimo de renovación para las infinitas sustituciones</i>	150
4.5.3	<i>Periodo óptimo de renovación para un tiempo definido</i>	153
4.6	EJEMPLO NUMÉRICO.....	155
4.6.1	<i>Desarrollo de los cálculos para una renovación</i>	156
4.6.2	<i>Desarrollo de los cálculos para las infinitas renovaciones</i>	160
4.6.3	<i>Desarrollo de los cálculos para la renovación en un periodo de tiempo definido</i>	168
5	PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN.....	171
5.1	INTRODUCCIÓN	173
5.2	PARÁMETROS INFLUYENTES EN EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN.....	174
5.3	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	178
5.4	EJEMPLO NUMÉRICO.....	185
5.4.1	<i>Desarrollo de los cálculos para una renovación</i>	188
5.4.2	<i>Desarrollo de los cálculos para las infinitas renovaciones</i>	199
5.4.3	<i>Influencia de las particularidades propias de una técnica sin zanja. El caso del entubado por deslizamiento</i>	210

6	AUDITORÍA ENERGÉTICA	217
6.1	INTRODUCCIÓN	219
6.2	EL ESTUDIO DE LA RELACIÓN AGUA-ENERGÍA	223
6.2.1	<i>Estudios realizados en EE.UU.</i>	224
6.2.2	<i>El interés en Europa</i>	225
6.2.3	<i>La situación a escala nacional y local</i>	226
6.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	228
6.4	INTEGRACIÓN EN PERIODO EXTENDIDO DE LA ECUACIÓN DE LA ENERGÍA	231
6.4.1	<i>Energía entrante en la red, aportada por el embalse</i>	232
6.4.2	<i>Energía entrante en la red, aportada por el equipo de bombeo (energía de eje)</i>	233
6.4.3	<i>Energía entregada a los usuarios en los nudos de consumo</i>	233
6.4.4	<i>Energía saliente de la red, a través de las fugas existentes</i>	234
6.4.5	<i>Energía disipada en la fricción del agua con las tuberías</i>	234
6.4.6	<i>Término energético de compensación del depósito de cola</i>	235
6.5	AUDITORÍA GLOBAL DE ENERGÍAS	236
6.6	INDICADORES ENERGÉTICOS BÁSICOS	238
6.6.1	<i>Indicadores de contexto del sistema</i>	238
6.6.2	<i>Indicadores energéticos del sistema</i>	239
6.7	ENERGÍA ASOCIADA A LAS FUGAS EXISTENTES DE UNA RED.....	241
6.8	EJEMPLO NUMÉRICO.....	242
6.8.1	<i>Planteamiento del caso</i>	242
6.8.2	<i>Resultados</i>	244
6.8.3	<i>Valoración de la gestión energética de la red con los nuevos indicadores</i>	246
6.9	EL CAMINO A SEGUIR EN ESPAÑA Y PRINCIPALES OBSTÁCULOS A VENCER.....	249
7	UTILIZACIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS ENERGÉTICO. BÚSQUEDA DE UNA GESTIÓN MÁS SOSTENIBLE.....	253
7.1	INTRODUCCIÓN	255
7.2	GESTIÓN DE LA DEMANDA	256
7.3	LA REDUCCIÓN DE LA PRESIÓN.....	258
7.3.1	<i>Válvulas de regulación</i>	259
7.3.2	<i>Bombas de velocidad variable</i>	261
7.4	EFFECTO ENERGÉTICO DE LAS POLÍTICAS ANALIZADAS ORIENTADAS HACIA UNA GESTIÓN HÍDRICO-ENERGÉTICA MÁS SOSTENIBLE	263
7.5	EL CONCEPTO DE HUELLA ENERGÉTICA DEL AGUA.....	265
7.5.1	<i>Etapa de captación bombeo y transporte del agua en alta</i>	266
7.5.2	<i>Etapa de potabilización</i>	266
7.5.3	<i>Etapa de Distribución</i>	267
7.5.4	<i>Huella energética del agua</i>	267
7.6	CRÉDITOS DE CARBONO	268
7.6.1	<i>Definición e historia</i>	268
7.6.2	<i>El modelo agua-aire desarrollado por el Pacific Institute</i>	274
7.6.3	<i>Cálculo del ahorro en las emisiones a partir de la reducción de las fugas</i>	276
7.7	EJEMPLO NUMÉRICO.....	276
7.7.1	<i>Planteamiento del caso</i>	276
7.7.2	<i>Resultados</i>	284
7.7.3	<i>Valoración de la gestión energética de la red con los nuevos indicadores</i>	288
7.7.4	<i>Ahorro de los créditos de carbono</i>	291
7.7.5	<i>Combinación de todas las actuaciones descritas</i>	294

8	THESIS CONCLUSIONS AND FUTURE RESEARCH	299
8.1	THESIS CONCLUSIONS	301
8.2	FUTURE RESEARCH.....	308
8.2.1	<i>Renovation investments</i>	308
8.2.2	<i>Pipe materials and trenchless technologies</i>	308
8.2.3	<i>Optimum renovation period</i>	309
8.2.4	<i>Relationship between short-term policies and long-term ones</i>	310
8.2.5	<i>Energy audit</i>	310
8.3	NOTATION.....	312
8.4	REFERENCES	317

ANEXOS

ANEXO A: TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN SIN ZANJA

1	INTRODUCCIÓN	A.1
2	UN PASEO POR LA HISTORIA DE LAS TECNOLOGÍAS SIN ZANJA	A.4
3	DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE RENOVACIÓN SIN ZANJA	A.14
3.1	MÉTODOS DE LIMPIEZA	A.14
3.1.1	<i>Métodos no agresivos</i>	A.16
3.1.2	<i>Métodos agresivos</i>	A.17
3.2	REVESTIMIENTOS NO ESTRUCTURALES	A.21
3.2.1	<i>Revestimiento con mortero de cemento</i>	A.21
3.2.2	<i>Revestimiento con resinas de tipo polimérico</i>	A.23
3.3	REVESTIMIENTOS ESTRUCTURALES.....	A.24
3.3.1	<i>Entubado por deslizamiento</i>	A.25
3.3.2	<i>Ajuste preciso a la antigua tubería</i>	A.28
3.3.3	<i>Encamisado térmico</i>	A.34
3.3.4	<i>Entubado espiral</i>	A.38
3.4	MÉTODOS CON ROTURA DE TUBERÍA.....	A.39
3.4.1	<i>Inserción mediante rotura de tubería por apertura y cierre de un cabezal accionado hidráulicamente</i>	A.40
3.4.2	<i>Inserción de tubería mediante rotura por percusión</i>	A.42
3.4.3	<i>Inserción mediante rotura de tubería con cuchilla</i>	A.44
3.5	INSTALACIÓN DE NUEVAS TUBERÍAS	A.45
3.5.1	<i>Perforación horizontal dirigida</i>	A.45
3.5.2	<i>Perforación no dirigida sin extracción del terreno</i>	A.49
3.5.3	<i>Perforación no dirigida con arrastre del terreno</i>	A.51
3.6	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA RENOVACIÓN DE TUBERÍAS CON TÉCNICAS SIN ZANJA	A.57
3.6.1	<i>Resumen de la aplicabilidad de las técnicas según el diámetro nominal</i>	A.59
3.6.2	<i>Resumen de la aplicabilidad de las distintas técnicas según la longitud del tramo a rehabilitar</i>	A.60
3.6.3	<i>Aplicabilidad de las técnicas sin zanja en redes de distribución</i>	A.61
3.6.4	<i>Criterios de selección del tipo de renovación o rehabilitación de la tubería</i>	A.63
4	COSTES ASOCIADOS A LAS DIFERENTES TÉCNICAS	A.66

4.1	RELACIÓN DE COSTES DE LAS DIFERENTES TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN Y RENOVACIÓN SIN APERTURA DE ZANJA EMPLEADAS EN REDES URBANAS.....	A.68
4.2	COSTES DE LAS TÉCNICAS SIN ZANJA EN ESPAÑA	A.70
5	AGRADECIMIENTOS	A.71

ANEXO B: CONCEPTOS RELACIONADOS CON LOS NUEVOS COSTES CONSIDERADOS PARA LA OBTENCIÓN DEL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN

1.	CONCEPTOS ECONÓMICOS BÁSICOS UTILIZADOS EN LA DETERMINACIÓN DEL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN.....	B.1
2.	COSTE SOCIAL ASOCIDO A LA PÉRDIDA DE ESTÁNDARES DE SERVICIO.....	B.2
2.1.	PÉRDIDAS DE ESTÁNDARES DE SERVICIO RELACIONADOS CON LA HIDRÁULICA.	B.2
2.2.	PÉRDIDAS DE ESTÁNDARES DE SERVICIO RELACIONADOS CON LA CALIDAD.....	B.4
3.	COSTE DE OPORTUNIDAD.....	B.5

ANEXO C: POLÍTICAS DE GESTIÓN DE FUGAS EN REDES DE ABASTECIMIENTO EN EL CORTO Y LARGO PLAZO

1	INTRODUCCIÓN.....	C.1
2	PUNTO ÓPTIMO DE COSTES DE MANTENIMIENTO.....	C.2
2.1	CURVA DE GASTOS EN REPARACIONES Y MANTENIMIENTO	C.3
2.2	CURVA DEL VALOR DEL AGUA FUGADA	C.6
2.3	CURVA DE COSTES TOTALES RELACIONADOS CON EL MANTENIMIENTO	C.7
3	OPTIMIZACIÓN A LARGO PLAZO: LA RENOVACIÓN.....	C.8
3.1	MODELACIÓN DEL DETERIORO DEBIDO A LA EDAD DEL SISTEMA	C.9
3.2	OPTIMIZACIÓN DEL CONTROL ACTIVO DE FUGAS CON ENVEJECIMIENTO DEL SISTEMA.....	C.11
4	RELACIÓN ENTRE LAS POLÍTICAS A CORTO Y LARGO PLAZO.....	C.13
5	CONCLUSIONES	C.16

ANEXO D: CUANTIFICACIÓN DEL COSTE SOCIAL

1	COSTES SOCIALES ASOCIADOS A LA RENOVACIÓN DE TUBERÍAS.....	D.1
1.1.	INTERRUPCIÓN DEL TRÁFICO RODADO (C_{41A}).....	D.3
1.2.	DAÑOS QUE SE REALIZAN EN EL PAVIMENTO DE CARRETERAS CERCANAS A LA OBRA (C_{41B}). ..	D.4
1.3.	PÉRDIDA DE PRODUCTIVIDAD POR RUIDOS Y VIBRACIONES (C_{41c}).	D.7
1.4.	PÉRDIDAS EN LOS NEGOCIOS CERCANOS (C_{41D}).....	D.8
1.5.	OTROS.....	D.9
1.6.	OBTENCIÓN DEL COSTE SOCIAL.....	D.10
1.7.	EJEMPLO NUMÉRICO.....	D.12
1.7.1	<i>Planteamiento del caso.....</i>	<i>D.12</i>
1.7.2	<i>Resultados.....</i>	<i>D.13</i>

ANEXO E: EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO PARA UN SISTEMA CON Y SIN VÁLVULA

1. EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO PARA UN SISTEMA CON Y SIN VÁLVULA.	E.1
1.1 INCIDENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN DE UNA VÁLVULA EN UNA RED SIN FUGAS.	E.1
1.2 INCIDENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN DE UNA VÁLVULA EN UNA RED CON FUGAS....	E.3
2. APLICACIÓN NUMÉRICA DEL PROBLEMA	E.7

ANEXO F: CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS

1 APORTACIONES DE LA TESIS	F.1
2 DESARROLLOS FUTUROS	F.9
2.1 INVERSIÓN EN RENOVACIÓN.....	F.10
2.2 TUBERÍAS DE DISTINTO MATERIAL Y TÉCNICAS DE RENOVACIÓN SIN ZANJA	F.10
2.3 DETERMINACIÓN DEL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN	F.11
2.4 RELACIÓN ENTRE LAS POLÍTICAS A CORTO PLAZO (REHABILITACIÓN) Y A LARGO PLAZO (RENOVACIÓN)	F.12
2.5 AUDITORÍA ENERGÉTICA.....	F.12
3 GLOSARIO DE TÉRMINOS	F.15
4 REFERENCIAS	F.20

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. EL BUCLE AGUA – ENERGÍA – CAMBIO CLIMÁTICO	4
FIGURA 2. COMPARACIÓN DE LAS INVERSIONES A REALIZAR EN LOS PRÓXIMOS 20 AÑOS (EPA, 2009).	8
FIGURA 3. COMPARACIÓN ENTRE LAS INVERSIONES Y DINERO FACTURADO REALES Y ESPERADAS (OFWAT, 2008).	10
FIGURA 4. HISTÓRICO DE GASTOS DE OPERACIÓN EN ESCOCIA (WICS, 2008A).	11
FIGURA 5. INVERSIONES PREVISTAS, REALIZADAS Y FUTURAS EN LAS REDES ESCOCESAS (WICS, 2008B)...	11
FIGURA 6. HISTÓRICO DE INVERSIONES EN REDES DE ABASTECIMIENTO EN ALEMANIA (BGW, 2008).....	13
FIGURA 7. HISTÓRICO DE INVERSIONES EN REDES DE SANEAMIENTO DE ALEMANIA (BGW, 2008).	14
FIGURA 8. INVERSIONES DE LOS ABASTECIMIENTOS HOLANDESES (VEWIN, 2007).....	17
FIGURA 9. NÚMERO TOTAL DE ROTURAS EN LA RED DE VALENCIA.....	21
FIGURA 10. ROTURAS POR KM DE TUBERÍA EN LA RED DE ABASTECIMIENTO DE VALENCIA.	22
FIGURA 11. TUBERÍA DE ARCILLA UTILIZADA EN EL AÑO 1800 EN CALIFORNIA (WWW.SEWERHISTORY.ORG).	35
FIGURA 12. TUBERÍA DE PLOMO EN BATH.	36
FIGURA 13. TUBERÍA DE MADERA INSTALADA EN HAMILTON, ONTARIO (RAJANI, 2009A).	36
FIGURA 14. TUBERÍA DE FUNDICIÓN GRIS QUE SIRVE PARA TRAER AGUA HASTA LOS JARDINES DE VERSALLES. TODAVÍA EN SERVICIO EN EL AÑO 1914 (WWW.SEWERHISTORY.ORG).....	37
FIGURA 15. PRIMEROS PASOS EN LA FABRICACIÓN DE FUNDICIÓN GRIS, AÑO 1880 APROX.	37
FIGURA 16. UNIÓN CAMPANA Y ENCHUFE CON SELLADO DE LA JUNTA DE PLOMO.	38
FIGURA 17. INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE FIBROCEMENTO, AÑO 1953.	39
FIGURA 18. TUBERÍA DE FUNDICIÓN GRIS REVESTIDA CON PLOMO.....	41
FIGURA 19. UTILIZACIÓN DE LOS DIVERSOS MATERIALES CON EL TIEMPO EN EE.UU. (CROMWELL Y COL., 2007).	43
FIGURA 20. ASPECTO DE LAS TENSIONES EN TUBERÍAS DE FUNDICIÓN DÚCTIL (PARTE IZQDA, NÓDULO ESFÉRICO) Y FUNDICIÓN GRIS (PARTE DCHA, UNA LÁMINA DE GRAFITO).....	45
FIGURA 21. INSTALACIÓN DE UN ÁNODO DE SACRIFICIO EN UNA TUBERÍA METÁLICA.	47
FIGURA 22. EJEMPLO DE CORROSIÓN EN TUBERÍA DE FUNDICIÓN DÚCTIL.	48
FIGURA 23. PATRÓN DE ROTURAS DE LAS TUBERÍAS DE FUNDICIÓN DÚCTIL INSTALADAS EN SCARBOROUGH (RAJANI, 2009B).	52
FIGURA 24. POSICIÓN DE LOS DISTINTOS COMPONENTES QUE SE UTILIZAN PARA EL HORMIGÓN EN CASO DE SER DE TIPO CILINDRO ALINEADO, (PARTE IZQDA) O CILINDRO ENCAMISADO (PARTE DERECHA).	57

FIGURA 25. ROTURA FRÁGIL DE LOS ALAMBRES DE ACERO POR EXPOSICIÓN AL HIDRÓGENO.	59
FIGURA 26. DOS TIPOS DE ROTURAS DE UNA TUBERÍA DE HORMIGÓN ARMADO.	59
FIGURA 27. ROTURA DE TUBERÍAS DE GRAN DIÁMETRO HORMIGÓN ARMADO Y PRETENSADO (RAJANI, 2009A).....	60
FIGURA 28. ROTURA LONGITUDINAL DE UNA TUBERÍA DE 300 MM DE PVC.	62
FIGURA 29. PATRÓN DE ROTURAS PARA TUBERÍAS DE PVC (RAJANI, 2009C).....	63
FIGURA 30. ROTURA FRÁGIL DE TUBERÍA DE PVC.	63
FIGURA 31. DECAPADO INTERNO DE LAS TUBERÍAS DE LDPE Y PROBLEMAS DE OBSTRUCCIÓN DE UN CONTADOR DOMICILIARIO (CORTESÍA DE AGUAS DE VALENCIA).	67
FIGURA 32. DECAPADO EXTERIOR EN UNA TUBERÍA DE LDPE (CORTESÍA DE AGUAS DE VALENCIA).	68
FIGURA 33. CURVAS DE REFERENCIA EN TUBOS DE PVC-U Y PVC-O (CEDEX, 2006).	70
FIGURA 34. FUNDICIÓN GRIS CON TRAZAS DE GRAFITO (PARTE IZQDA) Y GRAFITO AGRUPADO CON FORMA DE RED (PARTE DERECHA).....	73
FIGURA 35. PATRÓN DE ROTURAS DE LAS TUBERÍAS DE FUNDICIÓN GRIS DE OTTAWA (RAJANI, 2009D). ...	75
FIGURA 36. TIPOS DE ROTURA EN TUBERÍA DE FUNDICIÓN GRIS.	75
FIGURA 37. PATRÓN DE ROTURAS DE LAS TUBERÍAS DE FIBROCEMENTO DE REGINA (HU AND HUBBLE, 2007).	79
FIGURA 38. DIÁMETROS EN MM DE LOS DISTINTOS TIPOS DE TUBOS (CEDEX, 2006).	81
FIGURA 39. LONGITUD (M) DE LOS DISTINTOS TUBOS (CEDEX, 2006).	82
FIGURA 40. INFLUENCIA DEL TERRENO EN EL ÍNDICE DE ROTURAS EN TUBERÍAS DE ACERO (NEWPORT, 1981).	86
FIGURA 41. PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN DE LOS DIFERENTES MATERIALES EN NORTEAMÉRICA (RAJANI, 2009A).....	88
FIGURA 42. PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN DE LOS DIFERENTES MATERIALES EN EUROPA (RAJANI, 2009A).	89
FIGURA 43. LONGITUDES DE TUBERÍA SEGÚN MATERIAL EN ABASTECIMIENTOS ESPAÑOLES (AEAS, 2006).	91
FIGURA 44. LONGITUDES DE TUBERÍA SEGÚN MATERIAL EN LA RED DE ALTA DE VALENCIA.	92
FIGURA 45. LONGITUDES DE TUBERÍA SEGÚN MATERIAL EN LA RED DE BAJA DE VALENCIA.	93
FIGURA 46. ESQUEMA DEL CICLO URBANO DEL AGUA EN LA CIUDAD DE VALENCIA (MURGUI Y COL., 2009)	130
FIGURA 47. ENUMERACIÓN DE LOS COSTES TOTALES CONSIDERADOS.	137
FIGURA 48. ESCALA DE TIEMPOS CONSIDERADA.	140
FIGURA 49. REPRESENTACIÓN CUALITATIVA DEL COSTE DE RENOVACIÓN DE LA TUBERÍA EN €DEL AÑO PRESENTE.....	141
FIGURA 50. REPRESENTACIÓN CUALITATIVA DEL COSTE DE MANTENIMIENTO.....	142
FIGURA 51. REPRESENTACIÓN CUALITATIVA DE LOS COSTES DEL AGUA FUGADA.	143
FIGURA 52. EVOLUCIÓN DE LOS COSTES DESDE EL AÑO PRESENTE HASTA EL INFINITO.	151
FIGURA 53. EVOLUCIÓN DE LOS COSTES DESDE EL AÑO PRESENTE HASTA EL INSTANTE T^*	153
FIGURA 54. REPRESENTACIÓN DE LOS COSTES TOTALES ASOCIADOS A LA RENOVACIÓN DE UNA TUBERÍA.	157
FIGURA 55. VARIACIÓN DEL COSTE TOTAL CUANDO SE INCUMPLEN LOS ESTÁNDARES DE SERVICIO A PARTIR DEL DÉCIMO AÑO.	158
FIGURA 56. REPERCUSIÓN TEMPORAL DEL AHORRO CONSECUENCIA DE LA OPORTUNIDAD.....	159
FIGURA 57. COMPARACIÓN DEL MODELO DE HABITUALES (SHAMIR Y HOWARD, 1979) CON EL MODELO PROPUESTO QUE INCORPORA LOS COSTES DEL AGUA, DE LA ENERGÍA Y SOCIALES.	160
FIGURA 58. COSTES DE LAS INFINITAS RENOVACIONES DE UNA CONDUCCIÓN. APLICACIÓN NUMÉRICA CONSIDERADA SI LA TUBERÍA SE ACABA DE INSTALAR.	161
FIGURA 59. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE COSTES DE RENOVACIÓN DE UNA TUBERÍA.	161
FIGURA 60. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE COSTES DE RENOVACIÓN DE UNA TUBERÍA. CASO HABITUAL EN EL CUAL SE COMIENZA CON UNA RED QUE SE ENCUENTRA EN UN ESTADO DETERMINADO.	163

FIGURA 61. PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN Y COSTES TOTALES (€M) ASOCIADOS A LAS INFINITAS RENOVACIONES DE UNA TUBERÍA.	163
FIGURA 62. VARIACIÓN DEL COSTE TOTAL CUANDO SE INCUMPLEN LOS ESTÁNDARES DE SERVICIO EN EL CASO DE QUE SE CONSIDEREN LAS INFINITAS RENOVACIONES DE UNA TUBERÍA.	164
FIGURA 63. EFECTO DEL AHORRO CONSECUENCIA DE LA OPORTUNIDAD EN EL CASO EN QUE SE CONSIDEREN LAS INFINITAS RENOVACIONES DE UNA TUBERÍA.	165
FIGURA 64. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE COSTES DE RENOVACIÓN DE UNA TUBERÍA.	166
FIGURA 65. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE COSTES DE RENOVACIÓN DE UNA TUBERÍA PARA EL PLANTEAMIENTO DE SHAMIR Y HOWARD EN EL CASO EN QUE SE CONSIDEREN LAS INFINITAS RENOVACIONES DE UNA TUBERÍA.	166
FIGURA 66. COMPARACIÓN DEL MODELO DE SHAMIR Y HOWARD, (COSTES HABITUALES) CON EL NUEVO QUE CONSIDERA LOS COSTES DEL AGUA FUGADA Y LOS COSTES SOCIALES.	167
FIGURA 67. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LAS INVERSIONES EN RENOVACIÓN DE LA TUBERÍA.	168
FIGURA 68. CLASIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN.	175
FIGURA 69. VARIACIÓN DEL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN SEGÚN DIFERENTES VALORES DEL PARÁMETRO A.	182
FIGURA 70. PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN PARA DISTINTOS VALORES DE LOS PARÁMETROS MENOS SIGNIFICATIVOS.	183
FIGURA 71. CICLO DE VIDA DE UNA TUBERÍA ENTERRADA. CURVA DE BAÑERA.	186
FIGURA 72. REPRESENTACIÓN DE LOS COSTES TOTALES ASOCIADOS A LA RENOVACIÓN DE UNA TUBERÍA.	188
FIGURA 73. VARIACIÓN DEL COSTE TOTAL CUANDO SE INCUMPLEN LOS ESTÁNDARES DE SERVICIO A PARTIR DEL DÉCIMO AÑO.	189
FIGURA 74. REPERCUSIÓN TEMPORAL DEL AHORRO CONSECUENCIA DE LA OPORTUNIDAD.	190
FIGURA 75. REPRESENTACIÓN DE LOS COSTES TOTALES ASOCIADOS A LA RENOVACIÓN DE UNA TUBERÍA PARA LAS DIFERENTES TÉCNICAS.	191
FIGURA 76. EVOLUCIÓN DE LA CURVA DE COSTES TOTALES SEGÚN EL PRECIO DE PRODUCCIÓN DEL AGUA.	192
FIGURA 77. COSTE ASOCIADO A LAS PÉRDIDAS DE AGUA POR FUGAS SEGÚN VARIACIÓN DEL COSTE DEL AGUA.	193
FIGURA 78. EVOLUCIÓN DE LA CURVA DE COSTES TOTALES SEGÚN EL COSTE ENERGÉTICO DE PRODUCCIÓN DEL AGUA.	194
FIGURA 79. EVOLUCIÓN DE LA CURVA DE COSTES TOTALES SEGÚN EL CAUDAL MEDIO UNITARIO POR FUGA.	195
FIGURA 80. EVOLUCIÓN DE LA CURVA DE COSTES TOTALES SEGÚN EL TIEMPO MEDIO DE ACTIVIDAD DE LA FUGA.	196
FIGURA 81. REPERCUSIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA TASA CONTINUA DE ACTUALIZACIÓN EQUIVALENTE.	197
FIGURA 82. VARIACIÓN DEL COSTE MÍNIMO TOTAL EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE DE CRECIMIENTO DEL NÚMERO DE ROTURAS.	198
FIGURA 83. COSTES DE LAS INFINITAS RENOVACIONES EN UNA CONDUCCIÓN SEGÚN DISTINTOS TIPOS DE TÉCNICA.	199
FIGURA 84. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE COSTES DE RENOVACIÓN SI SE PARTE DE UNA SITUACIÓN CON TUBERÍA NUEVA Y TÉCNICA TRADICIONAL CON APERTURA DE ZANJA.	200
FIGURA 85. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE COSTES DE RENOVACIÓN CON LA TÉCNICA TRADICIONAL. CASO HABITUAL EN EL CUAL SE COMIENZA CON UNA RED QUE SE ENCUENTRA EN UN ESTADO DETERMINADO.	201
FIGURA 86. COSTES TOTALES (€M) ASOCIADOS A LAS INFINITAS RENOVACIONES PARA LAS J TÉCNICAS.	202
FIGURA 87. VARIACIÓN DEL COSTE TOTAL CUANDO SE INCUMPLEN LOS ESTÁNDARES DE SERVICIO A PARTIR DEL DÉCIMO AÑO PARA EL CASO DE LAS INFINITAS RENOVACIONES.	203
FIGURA 88. REPERCUSIÓN TEMPORAL DEL AHORRO CONSECUENCIA DE LA OPORTUNIDAD PARA EL CASO DE LAS INFINITAS RENOVACIONES.	204

FIGURA 89. EVOLUCIÓN DE LA CURVA DE COSTES TOTALES SEGÚN EL PRECIO DE PRODUCCIÓN DEL AGUA PARA EL CASO DE LAS INFINITAS RENOVACIONES.	204
FIGURA 90. EVOLUCIÓN DE LA CURVA DE COSTES TOTALES SEGÚN LA HUELLA ENERGÉTICA DEL AGUA EN EL CASO DE LAS INFINITAS RENOVACIONES.	206
FIGURA 91. EVOLUCIÓN DE LA CURVA DE COSTES TOTALES SEGÚN EL CAUDAL MEDIO UNITARIO POR FUGA EN EL CASO DE LAS INFINITAS RENOVACIONES.	207
FIGURA 92. EVOLUCIÓN DE LA CURVA DE COSTES TOTALES SEGÚN EL TIEMPO MEDIO DE ACTIVIDAD DE LA FUGA PARA EL CASO DE LAS INFINITAS RENOVACIONES.	208
FIGURA 93. REPERCUSIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA TASA CONTINUA DE ACTUALIZACIÓN EQUIVALENTE PARA EL CASO DE LAS INFINITAS RENOVACIONES.	208
FIGURA 94. REPERCUSIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA TASA CONTINUA DE ACTUALIZACIÓN EQUIVALENTE PARA EL CASO DE LAS INFINITAS RENOVACIONES.	209
FIGURA 95. DISTRIBUCIÓN DE LOS COSTES EN LA DETERMINACIÓN DE LAS INFINITAS RENOVACIONES DE UNA CONDUCCIÓN CON LA TÉCNICA DE ENTUBADO POR DELIZAMIENTO Y TÉCNICA TRADICIONAL. LA SEGUNDA RENOVACIÓN SE REALIZA CON EL MÉTODO DE ENTUBADO POR DESLIZAMIENTO.	211
FIGURA 96. REPRESENTACIÓN DE LAS INVERSIONES A LO LARGO DEL TIEMPO.	212
FIGURA 97. DISTRIBUCIÓN DE LOS COSTES EN LA DETERMINACIÓN DE LAS INFINITAS RENOVACIONES DE UNA CONDUCCIÓN CON LA TÉCNICA DE ENTUBADO POR DELIZAMIENTO Y TÉCNICA TRADICIONAL. LA SEGUNDA RENOVACIÓN SE REALIZA CON EL MÉTODO TÉCNICA TRADICIONAL.	213
FIGURA 98. DISTRIBUCIÓN DE LAS INVERSIONES EN EL TIEMPO EN EL CASO DE RENOVACIÓN MEDIANTE EL ENTUBADO POR DESLIZAMIENTO.	214
FIGURA 99. COSTES TOTALES (€M) ASOCIADOS A LAS INFINITAS RENOVACIONES PARA LAS TÉCNICAS DE ENTUBADO POR DESLIZAMIENTO Y TÉCNICA TRADICIONAL.	215
FIGURA 100. INVERSIONES EN I+D EN LOS PAÍSES IEA (IEA, 2008)	219
FIGURA 101. PRECIO DEL PETRÓLEO EN \$ 2007 (WWW.INFLATIONDATA.COM)	220
FIGURA 102. ETAPAS DEL CICLO DEL AGUA Y ENERGÍA NECESARIA PARA CADA UNA DE ELLAS EN kWh/m ³ (CEC, 2005).	224
FIGURA 103. CONSUMO DE ENERGÍA DEL CICLO URBANO DEL AGUA EN LA CIUDAD DE VALENCIA. MURGUI Y COL (2009)	227
FIGURA 104. TÉRMINOS QUE INTERVIENEN EN LA AUDITORÍA ENERGÉTICA DE UNA RED.	228
FIGURA 105. NOTACIÓN UTILIZADA PARA LOS NUDOS Y LÍNEAS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.	231
FIGURA 106. ESQUEMA GENERAL DE LA RED.	242
FIGURA 107. EL COMPLEJO PUZZLE AGUA – ENERGÍA – CAMBIO CLIMÁTICO (HIGHTOWER, 2005).	251
FIGURA 108. NUEVO ESCENARIO SOBRE EL QUE CALCULAR LA ENERGÍA INVERTIDA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN.	260
FIGURA 109. CURVA CARACTERÍSTICA, CURVA DEL RENDIMIENTO Y COLINAS DE ISORRENDIMIENTO DE UN EQUIPO DE BOMBEO A DIFERENTES VELOCIDADES DE GIRO.	262
FIGURA 110. ETAPAS DEL CICLO DEL AGUA.	265
FIGURA 111. EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES EN ESPAÑA (MMA, 2008).	270
FIGURA 112. CAMPAÑA DE PUBLICIDAD DE LA ORGANIZACIÓN GREENPEACE PREVIA A LA REUNIÓN DEL COP 15 EN EL AEROPUERTO DE LUFTHAVNEN, COPENHAGUE.	271
FIGURA 113. ESQUEMA GENERAL DE LA RED.	277
FIGURA 114. CURVA DE CONSIGNA Y CURVA DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE BOMBEO A DIFERENTES VELOCIDADES DE GIRO.	281
FIGURA 115. PRESIÓN HORARIA EN EL NUDO MÁS DESFAVORABLE.	282
FIGURA 116. PRESIÓN HORARIA EN EL NUDO MÁS DESFAVORABLE EN EL ESCENARIO COMBINADO.	295

FIGURAS EN LOS ANEXOS

FIGURA A.1. UTILIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN SIN ZANJA EN REDES DE SANEAMIENTO DE EE.UU. (NAJAFI Y GOKHALE, 2004).	A.3
FIGURA A.2. BOCETO DE UN DISPOSITIVO DE LIMPIEZA DE UNA RED DE SANEAMIENTO EN LA CIUDAD DE PARÍS (WWW.SEWERHISTORY.ORG).....	A.5
FIGURA A.3. CONJUNTO DE CARRETILLA Y BARCA QUE REALIZABAN LA PRIMERA LIMPIEZA EN PARIS (WWW.SEWERHISTORY.ORG).	A.5
FIGURA A.4. PRIMEROS PROTOTIPOS DE RASCADORES AUTOMÁTICOS EN 1896 (WWW.SEWERHISTORY.ORG).	A.6
FIGURA A.5. TANQUE QUE PERMITÍA LA DESCARGA DE AGUA (TUCSON, ARIZONA, 1900-1925).	A.7
FIGURA A.6. DISCO UTILIZADO PARA LA LIMPIEZA EN LA CIUDAD DE NUEVA YORK EN EL AÑO 1910.....	A.7
FIGURA A.7. CÁMARAS CON TUBO DE VIDICON DE LOS AÑOS 50 FABRICADAS POR RCA CORPORATION.....	A.8
FIGURA A.8. INSPECCIÓN DE TUBERÍAS CON CÁMARA DE VIDEO.	A.9
FIGURA A.9. VISTA DE UN MODERNO SISTEMA DE SELLADO, FRESADO EN TUBERÍAS CON CONTROL DE EQUIPOS DE TELEVISIÓN.....	A.9
FIGURA A.10. ENTUBADO POR DESLIZAMIENTO, SLIPLINING.	A.10
FIGURA A.11. MECANISMO DE INYECCIÓN DE RESINAS QUE SIRVEN COMO REVESTIMIENTO NO ESTRUCTURAL.	A.12
FIGURA A.12. PERFORACIÓN NO DIRIGIDA REALIZADA POR CHERRINGTON EN SACRAMENTO DURANTE LOS AÑOS SESENTA.	A.13
FIGURA A.13. CLASIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN O RENOVACIÓN SIN ZANJA.	A.15
FIGURA A.14. SALIDA DE UNA DESCARGA DE AGUA.	A.16
FIGURA A.15. DOS TIPOS DE RASCADORES.	A.18
FIGURA A.16. INYECCIÓN DE AGUA A ALTA PRESIÓN.	A.19
FIGURA A.17. DIFERENTES TIPOS DE BALAS ABRASIVAS.	A.20
FIGURA A.18. DISPOSITIVOS DE INYECCIÓN DE RESINAS SOBRE LA CONDUCCIÓN.	A.24
FIGURA A.19. MÉTODO DE ENTUBADO POR DESLIZAMIENTO.....	A.25
FIGURA A.20. UNIÓN POR SOLDADURA DE UNA TUBERÍA EN UNA CATA DE ENTRADA.	A.26
FIGURA A.21. CATA DE ENTRADA EN UNA RENOVACIÓN EN TUBERÍA DE 910 MM DE FUNDICIÓN GRIS MEDIANTE ENTUBADO POR DESLIZAMIENTO CON TUBERÍA DE POLIETILENO DE 840 MM, OTTAWA, CANADÁ.....	A.27
FIGURA A.22. CLASIFICACIÓN DE LAS DISTINTAS TÉCNICAS DE AJUSTE PRECISO A LA ANTIGUA TUBERÍA.	A.29
FIGURA A.23. MECANISMO DE REDUCCIÓN DE LA TUBERÍA DE POLIETILENO.	A.30
FIGURA A.24. RODILLOS QUE PRODUCEN LA DEFORMACIÓN EN LAS TÉCNICAS DE AJUSTE MEDIANTE PRESIÓN HIDRÁULICA.	A.31
FIGURA A.25. VISTA DE LA DEFORMACIÓN REALIZADA SOBRE LA TUBERÍA DE POLIETILENO Y UN EJEMPLO DE DEFORMACIÓN IN-SITU.	A.33
FIGURA A.26. INSTALACIÓN DE MANGA INVERTIDA PARA REHABILITACIÓN	A.35
FIGURA A.27. PROCESO DE REVERSIÓN DE LA MANGA SOBRE LA ANTIGUA CONDUCCIÓN.	A.36
FIGURA A.28. REHABILITACIÓN D EUNA TUBERÍA MEDIANTE ENCAMISADO TÉRMICO.....	A.36
FIGURA A.29. UNIDAD CON LA QUE SE REALIZA EL FRAGUADO CON RAYOS UV.	A.37
FIGURA A.30. LAMINA DE PVC CORTADA HELICOIDALMENTE.	A.38
FIGURA A.31. CATA DESDE LA QUE SE REALIZAN DISTINTAS TÉCNICAS.	A.40
FIGURA A.32. MOVIMIENTO DEL CABEZAL DE TIRO QUE PRODUCE LA ROTURA DE LA CONDUCCIÓN.....	A.41
FIGURA A.33. VARILLAS GUÍA DE FACIL MONTADO.....	A.41
FIGURA A.34. UNIÓN DEL CABEZAL DE TIRO Y LA PIEZA UTILIZADA PARA EL ENSANCHAMIENTO.	A.41
FIGURA A.35. INSERCIÓN DE NUEVA TUBERÍA CON ROTURA DE LA ANTIGUA CONDUCCIÓN CON MOTOR ACCIONADO HIDRÁULICAMENTE.....	A.42

FIGURA A.36. INSERCIÓN DE NUEVA TUBERÍA CON ROTURA DE LA ANTIGUA CONDUCCIÓN CON MOTOR ACCIONADO NEUMÁTICAMENTE.	A.43
FIGURA A.37. CABEZAL DE TIRO QUE PRODUCE UNA ROTURA EN LA TUBERÍA MEDIANTE PERCUSIÓN NEUMÁTICA.	A.43
FIGURA A.38. EJEMPLO DEL CORTE DE TUBERÍAS MEDIANTE UNA CUCHILLA.....	A.44
FIGURA A.39. ESQUEMA GENERAL DE LA TÉCNICA INSERCIÓN MEDIANTE ROTURA DE TUBERÍA CON CUCHILLA.	A.44
FIGURA A.40. EJEMPLO DEL ESTUDIO DEL TERRENO PREVIA A LA REALIZACIÓN DE LA PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA.....	A.46
FIGURA A.41. CABEZAL UTILIZADOS PARA LA EXCAVACIÓN EN ROCA.	A.47
FIGURA A.42. MÁQUINA UTILIZADA PARA PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA.	A.48
FIGURA A.43. CILINDRO METÁLICO QUE SE INSERTA EN EL TERRENO.....	A.49
FIGURA A.44. PERFORACIÓN HORIZONTAL POR IMPACTO.....	A.50
FIGURA A.45. EJEMPLO DE LA PERFORACIÓN POR EMPUJE.	A.51
FIGURA A.46. ESQUEMA DE LA HINCA DE TUBERÍA DE ACERO.....	A.52
FIGURA A.47. HINCA DE TUBERÍA DE ACERO DE 1800 MM QUE CRUZA UNA AUTOPISTA EN PRAGA, DICIEMBRE DE 2006.	A.53
FIGURA A.48. VARILLAS EMPLEADAS EN LA TÉCNICA INSERCIÓN DE TUBERÍA MEDIANTE EL TALADRO CON TORNILLO SIN FIN.....	A.54
FIGURA A.49. ESQUEMA DE INSERCIÓN DE TUBERÍA MEDIANTE EL TALADRO CON TORNILLO SIN FIN.	A.54
FIGURA A.50. DISPOSITIVOS HIDRÁULICOS DE PERFORACIÓN.	A.55
FIGURA A.51. TUBERÍAS MACHO Y HEMBRA UTILIZADAS EN LAS HINCAS.	A.56
FIGURA A.52. APLICABILIDAD DE LAS TÉCNICAS SEGÚN DIÁMETRO.	A.59
FIGURA A.53. APLICABILIDAD DE LAS TÉCNICAS SEGÚN LONGITUD.	A.60
FIGURA A.54. DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS OPCIONES DE RENOVACIÓN.	A.63
FIGURA A.55. SELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE RENOVACIÓN (RAJANI, 2009).....	A.64
FIGURA A.56. SELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE RENOVACIÓN. (DEB Y COL., 2009).....	A.65
FIGURA B.1. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA EVOLUCIÓN DEL COSTE DE OPORTUNIDAD.....	B.7
FIGURA C.1. CURVA DE GASTOS EN REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO, CGRM(VF).	C.3
FIGURA C.2. NIVEL PROMEDIO DE FUGAS PARA DOS POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO DIFERENTES.	C.4
FIGURA C.3. CURVA DE COSTES TOTALES EN MANTENIMIENTO.....	C.8
FIGURA C.4. AUMENTO DEL INAF A LARGO PLAZO.	C.10
FIGURA C.5. TRES PERIODOS DE TIEMPO OPTIMIZADOS EN EL LARGO PLAZO.....	C.11
FIGURA C.6. EJEMPLO DE LA EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA CURVA DE COSTES TOTALES CON EL PASO DEL TIEMPO.	C.12
FIGURA C.7. ESCALA DE TIEMPOS.....	C.13
FIGURA C.8. PROCESO REALIZADO PARA CONJUGAR LOS PERIODOS A LARGO Y A CORTO PLAZO.	C.15
FIGURA D.1. COSTES SOCIALES ASOCIADOS A DISTINTAS TÉCNICAS DE RENOVACIÓN.....	D.14
FIGURA D.2. COSTES SOCIALES DE LA RENOVACIÓN DE UNA TUBERÍA CON LA TÉCNICA DE APERTURA DE ZANJA.	D.15
FIGURA E.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA EN UNA RED IDEAL SIN FUGAS.	E.2
FIGURA E.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA EN UNA RED REAL.....	E.4
FIGURA E.3. RELACIÓN ENTRE LA ENERGÍA CONSUMIDA EN EL CASO A Y B PARA LAS COMBINACIONES MOSTRADAS.....	E.8

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ESTIMACIÓN DE LAS INVERSIONES Y RETORNOS DE LA RENOVACIÓN EN REDES DE AGUA EN INGLATERRA Y GALES DEL AÑO 2003 AL 2008 (OFWAT, 2008).....	9
TABLA 2. INDICADORES BÁSICOS DEL ESTADO DE LAS REDES EN FRANCIA SEGÚN EL TAMAÑO DE LA POBLACIÓN ABASTECIDA (ADF, 2002).	15
TABLA 3. INVERSIONES REALIZADAS Y PREVISTAS EN LAS REDES FRANCESAS (ADF, 2002).....	15
TABLA 4. LONGITUD DE TUBERÍAS POR HABITANTE EN ESPAÑA (AEAS, 2006).....	18
TABLA 5. RELACIÓN ENTRE POBLACIÓN Y KILÓMETROS DE TUBERÍAS PARA ESPAÑA (AEAS, 2006).	18
TABLA 6. INVERSIÓN EN RENOVACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN (AEAS, 2006).....	19
TABLA 7. INVERSIÓN EN RENOVACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN POR COMUNIDAD AUTÓNOMA (INE, 2006).	19
TABLA 8. LONGITUDES DE LAS TUBERÍAS SEGÚN DIÁMETRO EN LA RED DE ALTA Y DE BAJA DE VALENCIA.	20
TABLA 9. INDICADORES DE LOS EQUIPAMIENTOS DE LAS REDES DE VALENCIA.....	21
TABLA 10. RESUMEN DE LAS INVERSIONES EN RENOVACIÓN DE TUBERÍAS LOS PRÓXIMOS AÑOS.	24
TABLA 11. INDICADORES BÁSICOS DE LA INVERSIÓN EN RENOVACIÓN POR KM DE TUBERÍA Y POR HABITANTE.	25
TABLA 12. TIPOS DE REVESTIMIENTOS QUE PROTEGEN LAS TUBERÍAS DE FUNDICIÓN DÚCTIL (RAJANI Y KLEINER, 2002).	49
TABLA 13. TIPOS DE REVESTIMIENTOS EN TUBOS DE FUNDICIÓN DÚCTIL (CEDEX, 2006).....	50
TABLA 14. REVESTIMIENTOS HABITUALES EN LOS TUBOS Y PIEZAS DE FUNDICIÓN DUCTIL (UNE-EN 545:1995).	51
TABLA 15. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y COMPRESIÓN SEGÚN LAS NORMAS UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DEL ACERO (CEDEX, 2006).	53
TABLA 16. REVESTIMIENTOS HABITUALES EN LOS TUBOS DE ACERO (CEDEX, 2006).	55
TABLA 17. ALAMBRES DE PRETENSADO. VALORES MÍNIMOS DE LA ESTRICCIÓN TRAS EL ENSAYO DE TRACCIÓN EN PORCENTAJE (CEDEX, 2006).	58
TABLA 18. TIPOS DE ACOMETIDAS POR MATERIAL EN LA RED DE VALENCIA.	67
TABLA 19. DIÁMETROS NOMINALES Y EXTERIORES DE TUBERÍAS (CEN/TC 203 w1015).....	80
TABLA 20. COEFICIENTES DE RUGOSIDAD POR MATERIAL.....	80
TABLA 21. ROTURAS POR UNIDAD DE LONGITUD Y AÑO EN TUBERÍAS DEL REINO UNIDO (MACKELLAR Y PEARSON, 2003).	83

TABLA 22. ROTURAS OBSERVADAS EN 21 CIUDADES DE CANADÁ (NRC, 1993). 83

TABLA 23. DAÑOS REGISTRADOS EN LAS TUBERÍAS DE ALEMANIA (HIRNER, 1997A). 84

TABLA 24. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE HO CHI MINH (LUONG Y FUJIWARA, 2002). 85

TABLA 25. COMPOSICIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN (DI FEDERICO Y COL., 2002). 85

TABLA 26. ROTURAS PRODUCIDAS EN LOS AÑOS DE ESTUDIO (DI FEDERICO Y COL., 2002). 86

TABLA 27. LONGITUD DE TUBERÍAS INSTALADAS EN EE.UU. (AWWA, 2004). 88

TABLA 28. DISTRIBUCIÓN DE MATERIALES EN LOS ABASTECIMIENTOS ESPAÑOLES (AEAS, 2000 Y 2006). 91

TABLA 29. PROBLEMAS DE EPIDEMIAS POR CONTAMINACIÓN DE AGUAS (LINDLEY Y BUCHBERGER, 2002). 95

TABLA 30. CAUSAS DE LAS EPIDEMIAS (RAJANI, 2009A). 96

TABLA 31. VALORES RECOMENDADOS DE FUGAS DE AGUA ESPECÍFICAS EN ALEMANIA (HIRNER, 1997B). 96

TABLA 32. VIDA ÚTIL DE ALGUNOS DISPOSITIVOS HIDRÁULICOS. 98

TABLA 33 AUDITORÍA HÍDRICA (IWA, 2000). 106

TABLA 34 AUDITORÍA HÍDRICA (ALMANDOZ Y COL., 2005). 107

TABLA 35. COMPONENTES DEL CAUDAL MÍNIMO NOCTURNO. 114

TABLA 36. VALORES DEL IFE EN PAÍSES DESARROLLADOS Y EN VÍAS DE DESARROLLO (LIEMBERGER, 2005). 121

TABLA 37. VALORES DEL IFE (MCKENZIE Y COL., 2007) 121

TABLA 38. VALORES DEL IFE COMO DESCRIPTORES Y COMO OBJETIVO (AWWA, 2003) 122

TABLA 39 AUDITORÍA HÍDRICA EN LARISSA EN EL AÑO 2001. (TSITSIFLI Y KANAKOUDIS, 2008). 124

TABLA 40 AUDITORÍA HÍDRICA EN LARISSA EN EL AÑO 2006. (TSITSIFLI Y KANAKOUDIS, 2008). 124

TABLA 41. VALORES ENCONTRADOS EN LOS ABASTECIMIENTOS DE LA REPÚBLICA CHECA. (TUHOVCAK Y KUCERA, 2008). 125

TABLA 42 AUDITORÍA HÍDRICA EN AUCKLAND, NUEVA ZELANDA. (FARLEY Y TROW, 2003). 126

TABLA 43 AUDITORÍA HÍDRICA EN SARINA SHIRE COUNCIL (FARLEY Y TROW, 2003). 126

TABLA 44. INDICADORES DE GESTIÓN INTERNACIONALES (FARLEY Y TROW (2003). 128

TABLA 45. VALORES ENCONTRADOS EN ABASTECIMIENTOS DE DIVERSAS CIUDADES (ALMANDOZ Y COL., 2005) 129

TABLA 46. BALANCE HÍDRICO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VALENCIA EN HM³/AÑO. 131

TABLA 47. CARACTERIZACIÓN DE LOS COSTES ANALIZADOS. 138

TABLA 48. VALORES ADOPTADOS PARA LOS PRINCIPALES TÉRMINOS QUE INFLUYEN EN EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN. 178

TABLA 49. VALORES QUE PROPORCIONAN LOS ADOPTADOS PARA LOS TÉRMINOS QUE DETERMINAN LOS VALORES DE LOS TÉRMINOS DE INVERSIÓN Y MANTENIMIENTO. 180

TABLA 50. PRECIO DE LA TUBERÍA DE POLIETILENO (€DEL AÑO EN CURSO) 185

TABLA 51. COSTE SOCIAL ASOCIADO A LA S PERTURBACIONES POR EJECUCIÓN DE LAS OBRAS (€DEL AÑO EN CURSO) 187

TABLA 52. PARÁMETRO DE INVERSIÓN SEGÚN LA TÉCNICA EMPLEADA (€DEL AÑO EN CURSO) 188

TABLA 53. PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN SEGÚN LA TÉCNICA EMPLEADA (€DEL AÑO EN CURSO)..... 190

TABLA 54. RELACIÓN ENTRE EL COSTE DEL AGUA Y EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN. 192

TABLA 55. RELACIÓN ENTRE LA HUELLA ENERGÉTICA DEL AGUA Y EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN. 193

TABLA 56. RELACIÓN ENTRE EL CAUDAL MEDIO DE FUGAS Y EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN. 194

TABLA 57. RELACIÓN ENTRE EL CAUDAL MEDIO DE FUGAS Y EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN. 195

TABLA 58. RELACIÓN ENTRE LA TASA CONTINUA DE ACTUALIZACIÓN Y EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN. 197

TABLA 59. RELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE DE CRECIMIENTO DE ROTURAS Y EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN. 198

TABLA 60. PERIODO ÓPTIMO Y COSTE TOTAL ASOCIADO A LAS INFINITAS RENOVACIONES DE UNA TUBERÍA (EXCEPTO LA PRIMERA) Y SEGÚN LAS J TÉCNICAS CONSIDERADAS (€M DEL AÑO T_R) 200

TABLA 61. PERIODO ÓPTIMO Y COSTE TOTAL ASOCIADO AL CICLO DE RENOVACIONES DE UNA TUBERÍA SEGÚN LAS J TÉCNICAS EMPLEADAS (€M DEL AÑO T_P) 201

TABLA 62. RELACIÓN ENTRE EL COSTE DEL AGUA Y EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN PARA EL CASO DE LAS INFINITAS RENOVACIONES.	205
TABLA 63. RELACIÓN ENTRE LA HUELLA ENERGÉTICA DEL AGUA Y EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN PARA EL CASO DE LAS INFINITAS RENOVACIONES	205
TABLA 5.64. RELACIÓN ENTRE EL CAUDAL MEDIO DE FUGAS Y EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN PARA EL CASO DE LAS INFINITAS RENOVACIONES.	206
TABLA 65. RELACIÓN ENTRE EL TIEMPO MEDIO DE ACTIVIDAD DE LA FUGA Y EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN PARA EL CASO DE LAS INFINITAS RENOVACIONES.....	207
TABLA 66. RELACIÓN ENTRE LA TASA CONTÍNUA DE ACTUALIZACIÓN Y EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN PARA EL CASO DE LAS INFINITAS RENOVACIONES.	209
TABLA 67. RELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE DE CRECIMIENTO DE ROTURAS Y EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN. PARA EL CASO DE LAS INFINITAS RENOVACIONES.	209
TABLA 68. NOTACIÓN EMPLEADA EN LA DEFINICIÓN DE LAS ENERGÍAS ACTUANTES EN EL SISTEMA	232
TABLA 69. ESQUEMA DE LA AUDITORÍA ENERGÉTICA EN EL LARGO PLAZO EN UNA RED.	237
TABLA 70. INDICADORES DE CONTEXTO DEL SISTEMA.	239
TABLA 71. INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	241
TABLA 72. CARACTERÍSTICAS PROPIAS DE LOS NUDOS Y LÍNEAS DE LA RED.	243
TABLA 73. COEFICIENTES DE MODULACIÓN HORARIA DEL CAUDAL.....	243
TABLA 74. AUDITORÍA ENERGÉTICA EN LA RED CON FUGAS Y SIN FUGAS.	245
TABLA 75. INDICADORES DE GESTIÓN ENERGÉTICOS.	247
TABLA 76. DEMANDA ESTIMADA DE ENERGÍA ELÉCTRICA LIGADA AL USO DEL AGUA EN ESPAÑA (MIMAM, 2000).	256
TABLA 77. AHORRO DE ENERGÍA POR UN USO MÁS EFICIENTE DEL AGUA EN CALIFORNIA (CEC, 2005)...	257
TABLA 78. ANÁLISIS CUALITATIVO DE LOS CONSUMOS ENERGÉTICOS ESPERADOS.	263
TABLA 79. VARIACIÓN DE LAS EMISIONES PERMITIDAS PARA PAÍSES DE LA UNIÓN EUROPEA CON RESPECTO A LAS EMISIONES DE 1990.....	269
TABLA 80. VALORES TIPO DE LA HUELLA ENERGÉTICA DEL AGUA, DESDE EL ORIGEN HASTA LA FASE DE DISTRIBUCIÓN.	275
TABLA 81. CANTIDAD DE CO ₂ EMITIDA A LA ATMÓSFERA SEGÚN ORIGEN DE LA ENERGÍA.	275
TABLA 82. CARACTERÍSTICAS PROPIAS DE LOS NUDOS Y LÍNEAS.	277
TABLA 83. COEFICIENTES DE MODULACIÓN HORARIA DEL CAUDAL.....	278
TABLA 84. COEFICIENTES DE MODULACIÓN DE LA VELOCIDAD DE GIRO DEL EQUIPO DE BOMBEO.	281
TABLA 85. FUENTES DE ENERGÍA	283
TABLA 86. AUDITORÍA HÍDRICA (HM ³ /AÑO)	284
TABLA 87. AUDITORÍA ENERGÉTICA (MWh/año) EN LOS DIFERENTES CASOS ESTUDIADOS, RED REAL....	285
TABLA 88. ENERGÍAS TEÓRICAS DEFINIDAS	287
TABLA 89. AUDITORÍA ENERGÉTICA (MWh/año) EN UNA RED IDEAL SIN FUGAS.	287
TABLA 90. VALORES DE LAS ENERGÍAS TOTALES (MWh/año) ASOCIADAS A LAS FUGAS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN	288
TABLA 91. INDICADORES DE GESTIÓN ENERGÉTICOS PARA LOS CASOS ESTUDIADOS.....	289
TABLA 92. TONELADAS DE CARBONO EMITIDAS PARA CADA UNO DE LOS CASOS REALES (CON FUGAS), IDEALES (SIN FUGAS) Y AHORROS ENTRE AMBOS CASOS.	293
TABLA 93. COEFICIENTES DE MODULACIÓN DE LA VELOCIDAD DE GIRO DEL EQUIPO DE BOMBEO EN EL ESCENARIO COMBINADO.	294
TABLA 94. AUDITORÍA HÍDRICA DEL ESCENARIO COMBINADO (HM ³ /AÑO).	295
TABLA 95. AUDITORÍA ENERGÉTICA (MWh/año) ESCENARIO COMBINADO.	296
TABLA 96. INDICADORES DE GESTIÓN ENERGÉTICOS EN EL ESCENARIO COMBINADO.....	297
TABLA 97. TONELADAS DE CARBONO EMITIDAS EN EL ESCENARIO COMBINADO.....	298

TABLAS EN LOS ANEXOS

TABLA A.1. RELACIÓN ELACIÓN ENTRE POBLACIÓN Y KILÓMETROS DE TUBERÍAS PARA ALGUNOS PAÍSES.	A.2
TABLA A.2. VISIÓN GENERAL DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS TÉCNICAS SIN ZANJA EN REDES DE ABASTECIMIENTO (EPA, 2009).	A.62
TABLA A.3. COSTE DEL CICLO DE LA VIDA LIFE-CYCLE-COST DE UN PROYECTO DE RENOVACIÓN.	A.66
TABLA A.4. COSTES ASOCIADOS A TÉCNICAS SIN ZANJA PARA SANEAMIENTO (ZHAO Y RAJANI, 2002)...	A.68
TABLA A.5. COSTES ASOCIADOS A LAS INSPECCIONES DE LA TUBERÍA (ZHAO Y RAJANI, 2001 Y ALLOUCHE Y FREURE, 2002).	A.69
TABLA A.6. RANGO DE COSTES PARA REDES DE SANEAMIENTO (EPA, 1999).	A.69
TABLA A.7. COSTES ASOCIADOS A LAS TÉCNICAS SIN ZANJA (SELVAKUMAR Y COL., 2002).	A.70
TABLA A.8. COSTES ASOCIADOS A TECNICAS SIN ZANJA. (PARDO Y CABRERA, 2006).	A.71
TABLA D.1. COSTES SOCIALES EN REDES DE SANEAMIENTO (PETERS, 1984).	D.1
TABLA D.2. RANGOS DE CALIFICACIÓN DEL PCI.	D.5
TABLA D.3. REDUCCIÓN DE LA VIDA UTIL DEL PAVIMENTO.	D.6
TABLA D.4. COEFICIENTE DE TECNOLOGÍA EMPLEADOS EN LA CUANTIFICACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE PRODUCTIVIDAD POR RUIDOS Y VIBRACIONES.	D.8
TABLA D.5. COEFICIENTES DE TECNOLOGÍA EMPLEADOS EN LA CUANTIFICACIÓN DE LOS COSTES SOCIALES.	D.11