
INDICE

1	CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVO GENERAL DE LA TESIS.....	3
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA TESIS.....	4
1.3	METODOLOGÍA PROPUESTA	5
1.4	DIAGNÓSTICO ACTUAL DEL SISTEMA	5
1.4.1	<i>Estudio del entorno del sistema</i>	6
1.4.2	<i>Diagnóstico de Fenómenos inducidos por la intermitencia en el suministro</i>	6
1.4.3	<i>Metodología de Soporte a las Decisiones propuesta</i>	8
1.5	CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS	9
2	CAPITULO 2: LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.....	11
2.1	LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.....	11
2.2	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN	13
2.2.1	<i>Fuentes de producción</i>	14
2.2.2	<i>Puntos de almacenamiento (tanques o depósitos)</i>	15
2.2.3	<i>Puntos de control o regulación</i>	16
2.2.4	<i>Equipos de impulsión (bombas)</i>	18
2.2.5	<i>Puntos de consumo</i>	20
3	CAPITULO 3: LA GESTIÓN DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.....	21
3.1	EL ENFOQUE DE LA IWA Y EL CONCEPTO DE AGUA NO CONTABILIZADA (ANC).....	21
3.2	LAS PÉRDIDAS EN UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO.....	26
3.2.1	<i>Las Pérdidas físicas en un sistema de abastecimiento</i>	27
3.2.2	<i>Las pérdidas aparentes en un sistema de abastecimiento</i>	30
3.2.3	<i>Errores de medición</i>	31
3.2.4	<i>Errores de facturación</i>	31
3.2.5	<i>Usos no autorizados o ilegales</i>	31
3.2.6	<i>Usos legales no medidos</i>	31
3.3	GESTIÓN DE LAS PÉRDIDAS EN UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO	31
3.3.1	<i>Importancia de la reducción de fugas</i>	32

Índice

3.3.2	<i>Auditoria de una red</i>	34
3.3.3	<i>Papel de las pérdidas de agua en la gestión de las redes</i>	35
3.3.4	<i>Gestión activa</i>	36
3.3.4.1	Técnica de detección y localización de fugas	36
3.3.4.2	Sectorización de las redes	39
3.3.4.3	Control activo de las presiones	44
3.3.4.4	Regulación de la red	46
4	CAPITULO 4: LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA INTERMITENTES	49
4.1	ENTORNO Y CAUSAS QUE PROVOCAN UN SISTEMA CON SERVICIO INTERMITENTE	49
4.2	FENÓMENOS INDUCIDOS POR UN SUMINISTRO DISCONTINUO	50
4.2.1	<i>Ventajas percibidas e inducidas por la intermitencia</i>	50
4.2.2	<i>Desventajas percibidas e inducidas por la intermitencia</i>	51
4.2.2.1	Introducción	51
4.2.2.2	Desventajas percibidas e inducidas por la intermitencia	52
4.3	ASPECTOS A TENER EN CUENTA EN LA GESTIÓN DEL SISTEMA INTERMITENTE	54
4.3.1	<i>Aspectos comerciales</i>	55
4.3.2	<i>Aspectos políticos</i>	55
4.3.3	<i>Aspectos técnicos</i>	56
4.3.3.1	Detección y localización de fugas	56
4.3.3.2	Mediciones de parámetros hidráulicos	58
4.3.3.3	Operación y mantenimiento	59
5	CAPITULO 5: METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO INTERMITENTE	61
5.1	INTRODUCCIÓN	61
5.2	PRIMERA ETAPA: ESTUDIO DEMOGRÁFICO Y CLASIFICACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA	63
5.2.1	<i>Censo poblacional y estimación de la población futura</i>	63
5.2.2	<i>Estudio urbanístico</i>	65
5.2.3	<i>Clasificación de la población y asignación de la demanda</i>	66
5.3	SEGUNDA ETAPA: DIAGNÓSTICO FÍSICO DEL SISTEMA EXISTENTE	67
5.3.1	<i>Inventario de elementos del sistema de abastecimiento</i>	67
5.3.1.1	Sistema de aducción, captación y transporte	68
5.3.1.2	Sistema de producción, almacenamiento e impulsión	68

Índice

5.3.1.3	Sistema de distribución.....	69
5.3.1.4	Depuración de elementos y volcado en el GIS.....	70
5.3.2	<i>Levantamiento del padrón de usuarios</i>	70
5.3.3	<i>Modelación Matemática de un sistema de abastecimiento de agua potable</i> ____	71
5.3.3.1	Introducción	71
5.3.3.2	La era computacional	74
5.3.3.3	Necesidad de modelos de computación	78
5.3.3.4	Usos de la modelización por computación	79
5.3.3.5	El programa EPANET.....	80
5.3.3.6	Representación de la red en EPANET.....	81
5.3.3.7	Modelación matemática de los suministros intermitentes	87
5.3.4	<i>Resultados del diagnóstico físico: propuesta de mejoras a corto plazo</i> _____	90
5.3.5	<i>Diagnóstico de las debilidades inducidas por el suministro intermitente</i> _____	91
5.3.5.1	Estimación del despilfarro energético en el consumo de los usuarios.....	91
5.3.5.2	Estimación de la Disponibilidad A Pagar de los usuarios.....	92
5.3.5.3	Estimación de la eficiencia energética en los equipos de bombeo.....	93
5.4	TERCERA ETAPA: ESTIMACIÓN DEL DÉFICIT HÍDRICO Y PROPUESTA DE ACTUACIONES A LARGO PLAZO.....	94
5.5	CUARTA ETAPA: METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	95
5.5.1	<i>Elección del horizonte temporal para el estudio</i>	95
5.5.2	<i>Elección del objetivo del estudio</i>	95
5.5.3	<i>Método de soporte a las decisiones</i>	97
5.5.3.1	Introducción	97
5.5.3.2	Análisis coste-eficacia.....	97
5.5.3.3	Análisis multiobjetivo	98
5.5.3.4	Análisis coste - beneficio.....	98
5.5.4	<i>Estudio de alternativas</i>	100
5.6	QUINTA ETAPA: IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA ELEGIDA.....	101
6	CAPITULO 6: CASO DE ESTUDIO.....	103
6.1	ENTORNO GEOGRÁFICO DE LA CIUDAD DE TEGUCIGALPA	103
6.2	ENTORNO FÍSICO	104
6.2.1	CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA	105
6.2.2	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA.....	106
6.2.3	CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL: CLIMATOLOGÍA.....	106
6.2.4	CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA.....	106

Índice

6.2.5	PRECIPITACIÓN	107
6.2.6	EVAPORACIÓN Y HUMEDAD DEL SUELO.	109
6.2.7	HIDROLOGÍA Y CAUDALES DE LOS RÍOS.	109
6.2.8	VULNERABILIDAD DEL ENTORNO FÍSICO	110
6.3	ENTORNO SOCIO-ECONÓMICO DEL PAÍS Y DE TEGUCIGALPA	115
6.4	DESARROLLO URBANÍSTICO DEL ÁREA METROPOLITANA.....	116
6.5	DESARROLLO HISTÓRICO DEL SECTOR AGUA Y SITUACIÓN ACTUAL.....	125
6.5.1	MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL DEL SANAA.....	129
6.5.1.1	MARCO LEGAL	129
6.5.1.2	MARCO INSTITUCIONAL	130
6.5.1.3	POLÍTICAS BÁSICAS Y AGENDA DEL AGUA PARA LA CIUDAD	132
7	DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE TEGUCIGALPA	135
7.1	DEFINICIÓN DEL HORIZONTE TEMPORAL DE ESTUDIO.....	135
7.2	ESTUDIO DEMOGRÁFICO Y DE LA DEMANDA HÍDRICA	135
7.2.1	<i>Estimación población actual y proyecciones futuras</i>	135
7.2.1.1	Estudios anteriores	136
7.2.1.2	Estimación utilizada en el estudio y proyección futura	139
7.2.2	<i>Proyección de la población y su clasificación</i>	141
7.2.2.1	Metodología aplicada para la estimación y el pronóstico de la demanda	141
7.2.3	<i>Proyección de la demanda en el horizonte de estudio</i>	147
7.3	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ABASTECIMIENTO ACTUAL	152
7.4	FUENTES DE ABASTECIMIENTO Y CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN HÍDRICA	156
7.4.1	<i>Embalse “Los Laureles”</i>	160
7.4.2	<i>Sub sistema “La Concepción”</i>	161
7.4.3	<i>Sub sistema “San Juancito – La Tigra – Picacho”</i>	161
7.4.4	<i>Sub sistema “Sabacuante - Tatumbra”</i>	162
7.5	RED DE ALTA DEL SISTEMA.....	162
7.5.1	<i>Centros de almacenamiento y estaciones elevadoras</i>	162
7.5.2	<i>Operatividad de la línea de alta</i>	166
7.5.2.1	Planta Concepción.....	167
7.5.2.2	Planta Los Laureles	167
7.5.2.3	EPAS y Tanque Mogote.....	168

Índice

7.5.2.4	Llenadero los Laureles	168
7.5.2.5	Plantel Picacho	168
7.5.2.6	Plantel Miraflores	169
7.5.3	<i>Características de la línea de alta</i>	169
7.5.3.1	Inventario de elementos de la línea de alta	170
7.6	RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA.....	173
7.6.1	<i>Descripción general de la red de distribución</i>	173
7.6.2	<i>Inventario del sistema de agua potable de Tegucigalpa</i>	175
7.6.2.1	Campaña para el levantamiento de centros de tanques y estaciones elevadoras.....	179
7.6.2.2	Levantamiento de puntos GPS	180
7.7	PÉRDIDAS FÍSICAS Y ESTADO DE LAS CONDUCCIONES	181
7.7.1	<i>Antecedentes</i>	181
7.7.2	<i>Campaña de detección y localización de fugas realizada</i>	184
7.7.2.1	Introducción	184
7.7.2.2	Metodología general.....	185
7.7.2.3	Síntesis de los resultados obtenidos.....	186
7.8	MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL SISTEMA.....	188
7.8.1	<i>Metodología utilizada</i>	188
7.8.1.1	Topología de la red.....	188
7.8.1.2	Asignación de cotas.....	188
7.8.1.3	Asignación de rugosidades	190
7.8.1.4	Campaña de mediciones de parámetros hidráulicos	191
7.8.2	<i>Modelación matemática de la línea de alta</i>	191
7.8.2.1	Resultados más destacados de la modelación matemática de la línea de alta	194
7.8.3	<i>Modelación matemática de la red de distribución</i>	196
7.8.3.1	Mediciones de parámetros hidráulicos en la línea de alta.....	196
7.8.3.2	Mediciones de parámetros hidráulicos en la línea de distribución.....	200
7.8.3.3	Asignación de demandas a los nudos	202
7.8.3.4	Asignación de curva de modulación de consumo.....	203
7.8.3.5	Explotación del modelo matemático de las zonas de influencias hidráulicas	206
7.8.3.6	Porciones de red con diámetro de tuberías subdimensionado.....	208
7.8.3.7	El papel real de los centros de almacenamiento en el sistema	209
7.8.3.8	Otros aspectos de deficiencias estructurales	211
7.9	GESTIÓN COMERCIAL E ÍNDICE DEL AGUA NO CONTABILIZADA (ANC)	212
7.9.1	<i>Introducción</i>	212

Índice

7.9.2	<i>Método de facturación actualmente existente en el SANAA</i>	212
7.9.2.1	Consideraciones finales acerca de la Gestión Comercial.....	215
7.10	ESTUDIO ENERGÉTICO DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO EN LA RED	216
7.10.1	<i>Introducción</i>	216
7.10.2	<i>Resultados principales obtenidos con el estudio</i>	217
7.11	ESTUDIO INTEGRADO EN SECTORES PILOTOS.....	220
7.11.1	<i>Metodología utilizada</i>	220
7.11.2	<i>Resultados destacados obtenidos</i>	223
8	CAPITULOS 8: PROPUESTAS DE MEJORAS A CORTO-MEDIO PLAZO	227
8.1	SECTORIZACIÓN HIDRÁULICA.....	227
8.1.1	<i>Metodología empleada</i>	227
8.1.2	<i>Fases implementadas para la sectorización</i>	228
8.1.2.1	Recopilación de la información existente	229
8.1.2.2	Pruebas hidráulicas	230
8.1.2.3	Modelación matemática de los sectores.....	230
8.1.3	<i>Equipos de medición utilizados</i>	231
8.1.4	<i>Construcción de la obra civil</i>	232
8.1.4.1	Unidad de control a la entrada del sector.....	232
8.1.4.2	Ejecución de obra civil complementaria.....	233
8.1.5	<i>Consideraciones adicionales del contexto existente en la sectorización propuesta</i> 234	
8.2	ACTUACIONES PARA SOLVENTAR LAS DEBILIDADES ACTUALES DEL SISTEMA	237
8.2.1	<i>Zona centro Linderos y La Sosa</i>	237
8.2.1.1	Conexión de la Parte Alta de la Colonia Esperanza al Centro Lomas II Etapa.....	237
8.2.1.2	Unión de las dos líneas que alimentan la colonia la Esperanza	239
8.2.2	<i>Zona centro Kennedy III</i>	240
8.2.2.1	Pérdidas de carga en el sector hidráulico 47	240
8.2.2.2	Pérdidas de carga en el sector 44.....	242
8.2.2.3	Pérdidas de carga en el sector 43.....	242
8.2.2.4	Pérdida de carga en el sector 41	243
8.2.2.5	Pérdidas de carga en el sector 50.....	244
8.2.3	<i>Zona de los centros Olimpo I, Olimpo II e inyección Canteras</i>	245
8.2.3.1	Recomendaciones técnicas para el sector 45	245

Índice

8.2.3.2	Revisión de válvulas y reconfiguración de la línea de la inyección Canteras	247
8.2.4	<i>Zona centro Loarque</i>	252
8.2.4.1	Conexión de los Pozos de la Satélite a Loarque Parte Baja	252
8.2.5	<i>Zona centro 14 de Marzo</i>	253
8.2.5.1	Reducción de pérdidas unitarias en las partes altas del Sector 69 y Sector 71	253
8.2.6	<i>Zona La Leona - Picacho</i>	254
8.2.7	<i>Zona Plantel Los Filtros</i>	255
8.2.8	<i>Estimado de tuberías a renovar a corto plazo y accesorios a instalar</i>	256
8.2.9	<i>Estimado de tuberías a renovar a medio y largo plazo</i>	258
8.2.9.1	Renovación de tuberías a renovar a medio plazo en la línea de alta	259
8.2.9.2	Renovación de tuberías a renovar a medio plazo	260
8.2.9.3	Tuberías a renovar por incremento demográfico descontrolado	261
8.3	INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DE REGULACIÓN DE LA RED	264
8.3.1	<i>Situación general</i>	264
8.3.2	<i>Resumen de propuestas</i>	267
9	CAPITULO 9: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA	276
9.1	TERCERA ETAPA: ESTUDIO DEMANDA/OFFERTA	276
9.1.1	<i>Análisis de la oferta hídrica</i>	276
9.1.2	<i>Resumen y definición del déficit actual</i>	277
9.2	ESCENARIOS POSIBLES PARA INCREMENTAR LA OFERTA HÍDRICA EN LA CIUDAD	278
9.2.1	<i>Introducción</i>	278
9.2.2	<i>Escenarios a corto plazo</i>	280
9.2.3	<i>Escenarios a mediano y largo plazo</i>	280
9.2.4	<i>Escenarios de proyectos a largo plazo fuera de los límites del Distrito Central</i> 284	
9.2.5	<i>Consideraciones adicionales y resumen de los estudios</i>	284
9.3	CUARTA ETAPA: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS MEDIANTE ACB	288
9.3.1	<i>Introducción a un análisis económico</i>	289
9.3.2	<i>Definición del horizonte de estudio</i>	291
9.3.3	<i>Alternativas consideradas en el estudio</i>	291
9.3.3.1	Identificación de los principales costes y beneficios esperados	292
9.3.3.2	Identificación de los costes	294

Índice

9.3.3.3	Identificación de los beneficios	311
9.3.3.4	Reducción de las pérdidas físicas	314
9.4	RESULTADO DEL ANÁLISIS COSTES-BENEFICIOS: ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	319
9.4.1	<i>Resumen general</i>	319
9.4.1.1	Actividades realizadas	319
9.4.1.2	Diagnostico del sistema actual.....	321
9.4.1.3	Actuaciones propuestas	322
9.4.2	<i>Evaluación financiera de las actuaciones propuestas</i>	327
9.4.2.1	Marco general de los costos y beneficios considerados.....	327
9.4.2.2	Análisis de las alternativas y balance económico	328
9.4.2.3	Costos de operación y mantenimiento de los proyectos propuestos	330
9.4.2.4	Cronograma propuesto	333
9.4.2.5	Flujo de Caja previsto para las actuaciones propuestas	335
9.4.3	<i>Propuestas organizacionales y administrativas</i>	337
10	CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS.....	339
10.1	RESUMEN CONCLUSIVO	339
10.2	RESULTADOS ALCANZADOS EN ESTA CONTRIBUCIÓN	343
10.2.1	<i>Aplicación real de las actuaciones propuestas en Tegucigalpa a diciembre 2012</i> 345	
10.3	DESARROLLOS FUTUROS.....	346
10.3.1	<i>Desarrollo de un software de modelación matemática para diseño</i>	346
10.3.2	<i>Desarrollo de una metodología para el paso a un servicio continuo</i>	346
10.3.2.1	Planificación micro	347
10.3.2.2	Planificación macro.....	348
10.3.3	<i>Las Alianzas Público-Privada como posible solución</i>	348
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	353

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Nº 1	Distribuciones de caudales en redes de abastecimiento. _____	22
Tabla Nº 2	Tabla del balance hídrico según la IWA/AWWA. _____	24
Tabla Nº 3	Pérdidas físicas y comerciales en distintos países. _____	30
Tabla Nº 4	Técnica de detección y localización de fugas. _____	38
Tabla Nº 5	Crecimiento de la población vs área urbana. _____	118
Tabla Nº 6	Proyecciones de población 2001-2031 _____	136
Tabla Nº 7	Proyecciones de estudios anteriores al 2001. _____	137
Tabla Nº 8	Proyecciones de población utilizada para el estudio. _____	140
Tabla Nº 9	Clasificación de la población por tipo de suministro. _____	142
Tabla Nº 10	Población estimada por tipo de suministro con demanda promedio. _____	142
Tabla Nº 11	Clasificación del SANAA en el 2000. _____	143
Tabla Nº 12	Población estimada por clase social y con demanda promedio estimada. _____	144
Tabla Nº 13	Población proyectada por clase social hasta el 2015 (fuente PCI). _____	144
Tabla Nº 14	Clasificación actual del SANAA para diseños (fuente Dep. Normas y Supervisión, 2011). _____	145
Tabla Nº 15	Relación entre diferente clases sociales consideradas. _____	145
Tabla Nº 16	Porcentaje de población de las diferentes clases sociales consideradas. _____	146
Tabla Nº 17	Clasificación de la demanda por tipo de uso de agua. _____	147
Tabla Nº 18	Resumen de clasificación de la demanda por tipo de uso de agua. _____	147
Tabla Nº 19	Proyección de la población en el horizonte de estudio por clase social. _____	148
Tabla Nº 20	Proyección de la población en el horizonte de estudio por uso del agua. _____	149
Tabla Nº 21	Proyección de la población en el horizonte de estudio por tipo de suministro. _____	150
Tabla Nº 22	Proyección de la demanda en el horizonte de estudio, alternativa 0. _____	151
Tabla Nº 23	Factores de demanda máxima obtenidos. _____	152
Tabla Nº 24	Tipo de servicio por época del año _____	155
Tabla Nº 25	Principales subcuencas abastecedoras de Tegucigalpa. _____	156
Tabla Nº 26	Oferta hídrica de las principales subcuencas abastecedoras de Tegucigalpa. _____	157

Índice

Tabla Nº 27	Capacidad total de producción del sistema (SANAA). _____	159
Tabla Nº 28	Déficit hídrico en 2009 y 2010. _____	159
Tabla Nº 29	Capacidad de producción del sistema en etapas críticas (SANAA). _____	160
Tabla Nº 30	Tanques de almacenamiento. _____	165
Tabla Nº 31	Estaciones elevadoras de la red. _____	166
Tabla Nº 32	Inventario general de los elementos en la línea de alta. _____	170
Tabla Nº 33	Inventario de tuberías de la línea de alta. _____	172
Tabla Nº 34	Inventario general de los elementos en la línea de distribución. _____	177
Tabla Nº 35	Inventario de tuberías de la línea de distribución. _____	178
Tabla Nº 36	Datos GPS de la Estación Elevadora Alto de Loarque. _____	181
Tabla Nº 37	Registro de reparaciones del SANAA, 1999. _____	182
Tabla Nº 38	Colonias seleccionadas para el estudio del JICA, 2001. _____	183
Tabla Nº 39	Ejemplo de hoja de servicio mensual del SANAA. _____	185
Tabla Nº 40	Clasificación de las fugas localizadas por material. _____	186
Tabla Nº 41	Clasificación de las fugas localizadas por diámetro de tuberías. _____	187
Tabla Nº 42	Índice de fugas por kilómetros en los diferentes meses de la campaña _____	187
Tabla Nº 43	Coeficientes de rugosidad adoptados en el modelo _____	191
Tabla Nº 44	Caudales de salida en las plantas principales. Escenario de caudal medio _____	194
Tabla Nº 45	Caudales de salida en las plantas principales. Escenario de caudal máximo _____	194
Tabla Nº 47	Capacidad de regulación en los centros de almacenamiento. _____	211
Tabla Nº 48	Clasificaciones de tarifas por segmento. _____	213
Tabla Nº 49	Datos de ANC del 2010. _____	214
Tabla Nº 50	Contratos en el 2010. _____	214
Tabla Nº 51	Importes pendientes por segmento en Lps. _____	215
Tabla Nº 52	Resultados generales del estudio energético en las bombas. _____	218
Tabla Nº 53	Intervenciones urgentes para el parque de bombas. _____	219
Tabla Nº 54	Dotaciones hídricas según el ranking socio-económico. _____	221
Tabla Nº 55	Estimación del ANM en los sectores pilotos. _____	223
Tabla Nº 56	Estimación del volumen de almacenamiento vs caudal inyectado. _____	224

Índice

Tabla Nº 57	Estimación del gasto energético adicional en los sectores pilotos. _____	224
Tabla Nº 58	Comparación del caudal mensual teórico vs el caudal medido. _____	225
Tabla Nº 59	Comparación del caudal mensual teórico vs el caudal medido. _____	225
Tabla Nº 60	Resumen de propuesta técnica para la zona Linderos y la Sosa. _____	256
Tabla Nº 61	Resumen de propuesta técnica para la zona Kennedy III. _____	256
Tabla Nº 62	Resumen de propuesta técnica para la zona Olimpo I y II. _____	256
Tabla Nº 63	Resumen de propuesta técnica para la zona Loarque. _____	257
Tabla Nº 64	Resumen de propuesta técnica para la zona 14 Marzo – Calpules. _____	257
Tabla Nº 65	Resumen de propuesta técnica para la zona Leona - Picacho. _____	257
Tabla Nº 66	Resumen de propuestas técnicas para el sistema _____	258
Tabla Nº 67	Kilómetros de tuberías a renovar de manera urgente y por diámetro _____	258
Tabla Nº 68	Kilómetros de tuberías a renovar en la línea Univ. Norte – Lomas II Etapa. _____	259
Tabla Nº 69	Kilómetros de tuberías existentes en el Bo. Buenos Aires y Bosque _____	261
Tabla Nº 70	Kilómetros de tuberías a renovar en el Bo. Buenos Aires y Bosque _____	261
Tabla Nº 71	Kilómetros de tuberías a renovar en la Colonia Villanueva. _____	263
Tabla Nº 72	Situación general de los centros de almacenamiento _____	269
Tabla Nº 73	Centros de almacenamiento que requieren ampliación _____	270
Tabla Nº 74	Resumen para el incremento de la capacidad de regulación en el sistema. _____	272
Tabla Nº 75	Oferta máxima actual para la ciudad de Tegucigalpa. _____	277
Tabla Nº 76	Oferta actual para la ciudad de Tegucigalpa en etapa crítica _____	277
Tabla Nº 77	Resumen de déficit hídrico según los diferentes estudios. _____	278
Tabla Nº 78	Comparación económica de proyectos a corto y medio plazo. _____	285
Tabla Nº 79	Comparación económica de proyectos a largo plazo. _____	285
Tabla Nº 80	Tasa de inflación desde el 2003 en Honduras. _____	293
Tabla Nº 81	Costos de proyectos para incrementar la oferta con precio al 2011. _____	295
Tabla Nº 82	Plan de intervenciones para el incremento de la oferta. _____	296
Tabla Nº 83	Reducción del déficit previsto según el plan a implementar. _____	297
Tabla Nº 84	Planificación de ampliación/construcción de los depósitos. _____	299
Tabla Nº 85	Ejemplo de esquema utilizado para el presupuesto de costo de un depósito. _____	300

Índice

Tabla Nº 86	Plan de renovación propuesto en el horizonte de estudio. _____	302
Tabla Nº 87	Costos de instalación por metro lineal. _____	303
Tabla Nº 88	Costos de excavación promedios por metro lineal. _____	303
Tabla Nº 89	Costos de tuberías promedios por metro lineal. _____	304
Tabla Nº 90	Resumen de los costos de renovación promedios por metro lineal. _____	304
Tabla Nº 91	Resumen de los costos de renovación por proyecto. _____	305
Tabla Nº 92	Plan de costes en el horizonte de estudio. _____	306
Tabla Nº 93	Estado de cobertura de micromedición en el 2006 _____	307
Tabla Nº 94	Estado de medidores en el 2011 por rango socio económico. _____	308
Tabla Nº 95	Estado de medidores en el 2011. _____	308
Tabla Nº 96	Estado de cobertura y general de micro medición en el 2011. _____	309
Tabla Nº 97	Medidores necesarios para una cobertura al 100% en el 2011. _____	309
Tabla Nº 98	Plan de instalación de micro medidores. _____	310
Tabla Nº 99	Plan de costos para la instalación de micro medidores. _____	311
Tabla Nº 100	Datos de partida para la estimación del ahorro energético domiciliario. _____	313
Tabla Nº 101	Valor Actualizado Neto de los gastos adicionales energéticos a cargo del usuario. _____	314
Tabla Nº 102	Monto acumulado de los impagos hasta el mes de mayo del 2011. _____	315
Tabla Nº 103	Plan de recaudo de los impagos en los años 2011 - 2016. _____	316
Tabla Nº 104	Plan de recaudo de los impagos en los años 2011 - 2016. _____	317
Tabla Nº 105	Usuarios estimados en el 2011. _____	317
Tabla Nº 106	Tasa de inflación estimada en los últimos 10 años. _____	318
Tabla Nº 107	Tasa de inflación estimada en los últimos 10 años. _____	319
Tabla Nº 108	Análisis de costes por agua. _____	328
Tabla Nº 109	Comparación de costes en cada alternativa. _____	329
Tabla Nº 110	Comparación de costes en cada alternativa en su versión final. _____	330
Tabla Nº 111	Costos de operación y mantenimiento de los proyectos considerados. _____	331
Tabla Nº 112	Valor actualizado neto de los costos de operación y mantenimiento. _____	332
Tabla Nº 113	Desglose de costos y año de puesta en marcha. _____	335
Tabla Nº 114	Flujo de caja previsto. _____	336

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Nº1	Esquema intuitivo del balance hídrico según la IWA. _____	23
Figura Nº2	Esquema de gestión eficiente de las pérdidas físicas según la IWA. _____	25
Figura Nº3	Esquema de gestión eficiente de las pérdidas comerciales según la IWA. _____	26
Figura Nº4	Tiempos de detección, localización y reparación de fugas. _____	27
Figura Nº5	Pérdidas en tuberías principales y secundarias _____	28
Figura Nº6	Pérdidas en conexiones domiciliarias. _____	29
Figura Nº1	Tubería con perfil accidentado con bolsas de aire atrapadas (Cabrera E., 2007). _____	54
Figura Nº2	Ejemplo de estudio de alternativas. _____	96
Figura Nº3	Metodología propuesta en la tesis. _____	101
Figura Nº4	Mapa de la República de Honduras _____	104
Figura Nº5	Intensidad de precipitación en cuenca Ulúa y Valle. _____	108
Figura Nº6	Ubicación el mapa de los ríos Guacerique y del Hombre. _____	110
Figura Nº7	Vertientes hídricas en la ciudad de Tegucigalpa. _____	112
Figura Nº8	Expansión urbana de Tegucigalpa. _____	119
Figura Nº9	Densidad poblacional en el 2001. _____	120
Figura Nº10	Expansión urbana no planificada estimada para el 2031. _____	120
Figura Nº11	Expansión urbana recomendada para el 2031. _____	122
Figura Nº12	Objetivos general de desarrollo urbano. _____	123
Figura Nº13	Estructura del sector de agua y saneamiento en Honduras. _____	128
Figura Nº14	Gráfico de incremento demográfico según el censo del 2001. _____	136
Figura Nº15	Gráfico de incremento demográfico según estudios anteriores al 2001. _____	138
Figura Nº16	Gráfico de comparación entre los diferentes estudios. _____	138
Figura Nº17	Gráfico de proyección utilizada en el estudio. _____	141
Figura Nº18	Estado de la cobertura actual del SANAA. _____	152
Figura Nº19	Fuentes de abastecimiento por sectores de servicio. _____	157
Figura Nº20	Principales subcuencas abastecedoras de Tegucigalpa. _____	158
Figura Nº21	Gráfico del inventario de elementos en la línea del alta. _____	171

Índice

Figura Nº22	Gráfico del inventario de conducciones en la línea del alta. _____	172
Figura Nº23	Línea de alta del sistema en GGS®. _____	173
Figura Nº24	Isolíneas de cotas en la zona de estudio. _____	174
Figura Nº25	Sistema actual de abastecimiento de agua. _____	175
Figura Nº26	Zona completa de actuación del proyecto, GGS®. _____	176
Figura Nº27	Gráfico del inventario de elementos en la línea de distribución. _____	177
Figura Nº28	Gráfico del inventario de conducciones en la línea de distribución. _____	179
Figura Nº29	Esquema simplificado para el levantamiento de tanques y estaciones elevadoras. _____	180
Figura Nº30	Red de línea de alta sobre MDT. _____	189
Figura Nº31	Grafico de salida de caudal en el Tanque Mogote. _____	197
Figura Nº32	Medición de caudal en una de las salidas del tanque Mogote. _____	197
Figura Nº33	Croquis del Tanque Mogote en la ficha correspondiente. _____	198
Figura Nº34	Equipo registrador de caudal. _____	198
Figura Nº35	Equipo registrador de presión. _____	199
Figura Nº36	Ejemplo de curva característica de una bomba _____	199
Figura Nº37	Puntos de la zona de Linderos donde se han tomado datos de presión. _____	200
Figura Nº38	Puntos de la zona de Linderos donde se han tomado datos de caudal. _____	201
Figura Nº39	Puntos de la zona de Linderos donde se han tomado datos de caudal. _____	206
Figura Nº40	Producción vs Facturación en el 2010. _____	214
Figura Nº41	Formulario tipo para la encuesta a los usuarios. _____	222
Figura Nº42	Ejemplo de extracción del GIS de un sector de la red de distribución. _____	229
Figura Nº43	Medición de presión. _____	231
Figura Nº44	Medición de caudales para la sectorización- _____	232
Figura Nº45	Modelo de UOC a la entrada de los sectores sin by pass. _____	233
Figura Nº46	Diseño de Sectorización en Tegucigalpa con ortofoto como fondo. _____	236
Figura Nº47	Diseño de Sectorización en Tegucigalpa con red como fondo. _____	236
Figura Nº48	Zona de Esperanza parte alta con menor presión. _____	238
Figura Nº49	Medidas de mejora recomendadas _____	238
Figura Nº50	Resultado luego de la aplicación de las medidas descritas _____	239

Índice

Figura Nº51	Conexión entre parte alta y baja de la colonia San Miguel. _____	240
Figura Nº52	Válvula de cierre para la parte baja de la colonia San Miguel. _____	240
Figura Nº53	Zona del sector 47 que presenta actualmente altos valores de pérdidas _____	241
Figura Nº54	Escenario futuro para el sector 47, red sectorizada. _____	241
Figura Nº55	Zona con altos valores de pérdidas unitarias del sector 44. _____	242
Figura Nº56	Zona con altos valores de pérdidas unitarias en el sector 43 _____	243
Figura Nº57	Detalle del sector 41. _____	243
Figura Nº58	Recomendación de aumento de diámetro para el sector 41 _____	244
Figura Nº59	Recomendación de aumento de diámetro en la entrada del sector 50. _____	244
Figura Nº60	Mapa de isolíneas de presión del sector 45 _____	245
Figura Nº61	Pérdidas unitarias en el sector. Énfasis en la entrada al sector Flor parte baja. ____	246
Figura Nº62	Recomendaciones técnicas para el sector 45 _____	246
Figura Nº63	Detalle de recomendación técnica del sector 45 _____	247
Figura Nº64	Detalle de recomendación técnica del sector 45 _____	247
Figura Nº65	Válvulas reguladoras de presión con mantenimiento requerido. _____	248
Figura Nº66	Puntos de medición en válvula reguladora de presión VRP-34. Línea 799 _____	249
Figura Nº67	Mediciones en VRP-34: periodo de medición 7 pm- 2 am, servicio Ayestas _____	250
Figura Nº68	Mediciones en VRP-34: periodo de medición 7 am- 4 pm, servicio Bella Vista ____	250
Figura Nº69	Zona alimentada por la inyección Canteras _____	251
Figura Nº70	Presiones en la parte alta de las Ayestas una vez que se incorpore al sector 73. ____	252
Figura Nº71	Conexión entre colonia satélite y Loarque parte baja _____	253
Figura Nº72	Zonas con altos valores de pérdida de carga _____	254
Figura Nº73	Propuesta de mejora para la zona Picachito y Mirador _____	254
Figura Nº74	Propuesta de mejora para el Barrio Chile. _____	255
Figura Nº75	Tramo 1) de la línea Concepción y tramo 2) de bombeo. _____	259
Figura Nº76	Bo. Buenos aires y el Bosque con fugas localizadas _____	260
Figura Nº77	Colonia Villanueva. _____	263
Figura Nº78	Colonia Villanueva, tramo de 8" a instalar. _____	263
Figura Nº79	Colonia Villanueva, tramo de 6" a instalar. _____	264

Índice

Figura Nº80	Densidad de población por hectárea en el 2001 _____	265
Figura Nº81	Expansión urbana controlada según estudio de Princeton University. _____	272
Figura Nº82	Ubicación de los centros de almacenamiento a ampliar y/o construir de manera urgente _____	273
Figura Nº83	Ubicación de máxima del centro Concepción #2 _____	273
Figura Nº84	Ubicación de máxima del nuevo depósito Travesía. _____	274
Figura Nº85	Ubicación de máxima de nuevos depósitos en Villanueva _____	274
Figura Nº86	Fuentes de abastecimiento por sectores de servicio. _____	282
Figura Nº87	Ubicación de sub cuencas alrededor de Tegucigalpa (SANAA, 2006). _____	283
Figura Nº88	Embalses presentes y futuros para Tegucigalpa. _____	283
Figura Nº89	Criterio de eficiencia de Pareto para proyectos a corto plazo con costo total. ____	286
Figura Nº90	Criterio de eficiencia de Pareto para proyectos a corto plazo con costo unitario. _	287
Figura Nº91	Criterio de eficiencia de Pareto para proyectos a largo plazo con costo total. ____	287
Figura Nº92	Criterio de eficiencia de Pareto para proyectos a largo plazo con costo unitario. _	288
Figura Nº93	Evolución de producción máxima y mínima y demanda máxima. _____	298
Figura Nº94	Flujos de cajas acumulados. _____	337