

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1. Objetivo General .....	3
2.2. Objetivos Específicos .....	3
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS .....	4
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1. Terminología.....	4
3.2. Redes de distribución de Agua Potable .....	5
3.2.1. Elementos que componen una red de distribución.....	5
3.2.2. Tipologías de Redes de distribución .....	6
3.2.3. Tipos de abastecimientos de las redes.....	6
3.3. Ecuaciones Fundamentales.....	7
3.4. Problemática general de las redes de distribución .....	9
3.4.1. Fugas en las redes de distribución de agua .....	9
3.4.2. Gasto energético en las redes de distribución .....	12
3.5. Leyes, normativas y reglamentación de Referencia.....	14
3.6. Sectorización de Redes de Distribución .....	14
3.6.1. Consideraciones y Criterios para la Sectorización de RDAP.....	16
3.6.2. Teoría de Grafos para la Sectorización .....	20
3.6.3. Etapas de la Sectorización .....	23
3.6.4. Evaluación del Nivel de Fugas y Eficiencia Energética de la RDAP.....	24
4. HIPÓTESIS.....	25
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO.....	26
5. MARCO METODOLÓGICO .....	26
5.1. Diseño de la investigación.....	26

5.2.	Selección de la muestra .....	27
5.3.	Operacionalización de las variables.....	28
5.4.	Recolección de datos.....	30
5.4.1.	Funcionamiento de Epanet 2.2.....	30
5.4.2.	Funcionamiento del toolkit de Epanet (Owa-epanet).....	36
5.4.3.	Simplificación de la RDAP simulada .....	38
5.4.4.	Extraer datos de la RDAP original.....	42
5.5.	Definición de sectores y ubicación de válvulas. ....	43
5.5.1.	Tubería principal .....	43
5.5.2.	Métodos para sectorizar .....	44
5.5.2.1.	Método manual de estratificación de presiones .....	44
5.5.2.2.	Método automático basado en la maximización de la eficiencia energética .....	47
5.6.	Estimación de Fugas y Cálculo de la Eficiencia Energética. ....	51
CAPÍTULO 4: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		53
6.	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	53
6.1.	Presiones .....	53
6.2.	Caudal de Fugas .....	56
6.3.	Eficiencia Energética.....	57
6.4.	Evaluación por método y por sector .....	58
6.4.1.	Método manual de estratificación de presiones .....	58
6.4.1.1.	Sector 1.....	58
6.4.1.2.	Sector 2.....	61
6.4.1.3.	Sector 3.....	64
6.4.1.4.	Sector 4.....	67
6.4.1.5.	Sector 5.....	70
6.4.2.	Método automático basado en la maximización de la eficiencia energética .....	73
6.4.2.1.	Sector 1.....	73

6.4.2.2.	Sector 2.....	76
6.4.2.3.	Sector 3.....	79
6.4.2.4.	Sector 4.....	82
6.4.2.5.	Sector 5.....	85
6.5.	Resumen de resultados .....	88
6.5.1.	Resultados globales .....	88
6.5.2.	Resultados por método de sectorización.....	89
6.5.2.1.	Resultados del método manual de estratificación de presiones.....	89
6.5.2.2.	Resultados del método automático basado en la maximización de la eficiencia energética	89
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS .....		90
7.	CONCLUSIONES .....	90
8.	DESARROLLOS FUTUROS .....	93
BIBLIOGRAFÍA .....		94

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Tipologías de Redes. ....	6
Ilustración 2: Punto óptimo del control de fugas (Farley et al., 2008) (Pearson & Trow, 2008). ....	16
Ilustración 3: Zonas de Influencia de las fuentes de abastecimiento. Fuente: Nuevo Sur. ....	27
Ilustración 4: RDAP alimentada por los depósitos del Cerro Carlos Condell, Curicó. ....	28
Ilustración 5: Valores por defecto EPANET 2.2 .....	30
Ilustración 6: Valores por defecto de Etiquetas ID, Propiedades y Opciones Hidráulicas de la RDAP de Curicó.....	31
Ilustración 7:Elementos de la red. ....	31
Ilustración 8: Propiedades de una bomba de la RDAP de Curicó.....	32
Ilustración 9: Ejemplo de las propiedades de una válvula de la RDAP de Curicó.....	32
Ilustración 10: Propiedades del embalse de la RDAP de Curicó. ....	33
Ilustración 11: Curva Característica de la bomba de la RDAP de Curicó.....	33
Ilustración 12: Propiedades de un depósito de la RDAP de Curicó.....	34
Ilustración 13: Editor de Propiedades de los elementos. ....	34
Ilustración 14: Visor de Epanet. ....	35
Ilustración 15: Visor de Plano. ....	35
Ilustración 16: Exportar el archivo de la red a formato INP. ....	36
Ilustración 17: Asignar patrón de demanda. ....	39
Ilustración 18: Borrar Patrón P-1. ....	39
Ilustración 19: Editor de Controles Programados. ....	41
Ilustración 20: Simplificación del sistema de bombeo. ....	41
Ilustración 21: Transformación de válvulas a nudos sin consumo.....	41
Ilustración 22: RDAP disminuida. ....	42
Ilustración 23: Diagrama para encontrar la tubería principal.....	43
Ilustración 24: Tuberías Principales extraídas del algoritmo DFS.....	44
Ilustración 25: Visor de Presión en los Nudos.....	45
Ilustración 26: Leyenda que muestra los intervalos de Presión con sus respectivos colores.....	45
Ilustración 27: Editor de Leyenda de Presión.....	45
Ilustración 28: Sectores por Presión de la RDAP en el horario de máximo consumo (13:00 hrs.). ..	46
Ilustración 29: Sectorización método manual de estratificación de presiones. ....	47
Ilustración 30: Diagrama funcionamiento de Dijkstra. ....	49
Ilustración 31: Diagrama para encontrar el CMC.....	49
Ilustración 32: Diagrama para uso de Dijkstra y realizar sectores. ....	50

Ilustración 33: Sectorización método automático basado en la maximización de la eficiencia energética. ....	51
Ilustración 34: Rango de Presiones en la Red a las 13:00hrs para el método manual de estratificación de presiones.....	54
Ilustración 35: Rango de Presiones en la Red a las 13:00hrs. para el método automático basado en la maximización de la eficiencia energética. ....	54
Ilustración 36: Gráfico Promedio de Presiones por hora. ....	55
Ilustración 37: Gráfico Caudal de Fugas por hora. ....	56
Ilustración 38: Gráfico Eficiencia Energética por hora. ....	57
Ilustración 39: Gráfico Promedio de Presiones por hora en el Sector 1 en el método manual. ....	59
Ilustración 40: Gráfico Caudal de Fugas por hora en el Sector 1 en el método manual. ....	60
Ilustración 41: Gráfico Eficiencia Energética por hora en el Sector 1 en el método manual. ....	61
Ilustración 42: Gráfico Promedio de Presiones por hora en el Sector 2 en el método manual. ....	62
Ilustración 43: Gráfico Caudal de Fugas por hora en el sector 2 en el método manual. ....	63
Ilustración 44: Gráfico Eficiencia Energética por hora en el Sector 2 en el método manual. ....	64
Ilustración 45: Gráfico Promedio de Presiones por hora en el Sector 3 en el método manual. ....	65
Ilustración 46: Gráfico Caudal de Fugas por hora en el Sector 3 en el método manual. ....	66
Ilustración 47: Gráfico Eficiencia Energética por hora en el Sector 3 en el método manual. ....	67
Ilustración 48: Gráfico Promedio de Presiones por hora en el Sector 4 en el método manual. ....	68
Ilustración 49: Gráfico Caudal de Fugas por hora en el Sector 4 en el método manual. ....	69
Ilustración 50: Gráfico Eficiencia Energética por hora en el Sector 4 en el método manual. ....	70
Ilustración 51: Gráfico Promedio de Presiones por hora en el Sector 5 en el método manual. ....	71
Ilustración 52: Gráfico Caudal de Fugas por hora en el Sector 5 en el método manual. ....	72
Ilustración 53: Gráfico Eficiencia Energética por hora en el Sector 5 en el método manual. ....	73
Ilustración 54: Gráfico Promedio de Presiones por hora en el Sector 1 en el método automático. ....	74
Ilustración 55: Gráfico Caudal de Fugas por hora en el Sector 1 en el método automático. ....	75
Ilustración 56: Gráfico Eficiencia Energética por hora en el Sector 1 en el método automático. ....	76
Ilustración 57: Gráfico Promedio de Presiones por hora en el Sector 2 en el método automático. ....	77
Ilustración 58: Gráfico Caudal de Fugas por hora en el sector 2 en el método automático. ....	78
Ilustración 59: Gráfico Eficiencia Energética por hora en el Sector 2 en el método automático. ....	79
Ilustración 60: Gráfico Promedio de Presiones por hora en el Sector 3 en el método automático. ....	80
Ilustración 61: Gráfico Caudal de Fugas por hora en el Sector 3 en el método automático. ....	81
Ilustración 62: Gráfico Eficiencia Energética por hora en el Sector 3 en el método automático. ....	82
Ilustración 63: Gráfico Promedio de Presiones por hora en el Sector 4 en el método automático. ....	83

Ilustración 64: Gráfico Caudal de Fugas por hora en el Sector 4 en el método automático.....	84
Ilustración 65: Gráfico Eficiencia Energética por hora en el Sector 4 en el método automático. ....	85
Ilustración 66: Gráfico Promedio de Presiones por hora en el Sector 5 en el método automático. ...	86
Ilustración 67: Gráfico Caudal de Fugas por hora en el Sector 5 en el método automático.....	87
Ilustración 68: Gráfico Eficiencia Energética por hora en el Sector 5 en el método automático. ....	88

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumos energéticos del ciclo urbano del agua en la Costa Brava (Sala, 2007). .....	13
Tabla 2. Demanda de energía eléctrica (estimada) ligada al uso del agua en España (Cobacho et al., 2008). .....	13
Tabla 3: Definición de las Variables. ....	29
Tabla 4: Propiedades de los nodos a utilizar en la programación. ....	37
Tabla 5: Propiedades de las tuberías a utilizar en la programación. ....	38
Tabla 6: Factores de demanda Fin de Semana. ....	40
Tabla 7: Resultados globales de la sectorización. ....	88
Tabla 8: Resultados del método manual de estratificación de presiones. ....	89
Tabla 9: Resultados del método automático basado en la maximización de la eficiencia energética. ....	89