UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO – CHILE

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA POTABLE Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE MEDICIÓN CONTINÚA EN GRANDES CONDUCCIONES. CASO: GRAN ALIMENTADORA-VALPARAÍSO

MARÍA DE LOS ANGELES RAMÍREZ ROJAS

Memoria para optar al Título de
Ingeniero Civil

Profesor Guía
ALVARO OSSANDON

Octubre de 2017

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO – CHILE

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA POTABLE Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE MEDICIÓN CONTINÚA EN GRANDES CONDUCCIONES. CASO: GRAN ALIMENTADORA-VALPARAÍSO

Memoria de titulación presentada por
MARIA DE LOS ANGELES RAMÍREZ ROJAS

Como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil

Profesor Guía
ALVARO OSSANDON

Octubre de 2017

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, agradecer al equipo completo del Departamento de Pérdidas de ESVAL S.A., ya que fue en donde nació la idea de realizar este análisis de pérdidas.

A Harold Díaz, por el trabajo previo realizado en su práctica profesional que culminó en esta memoria.

A Don José Alvarez, del Departamento de Macromediciones, por su buena voluntad al disponer de su equipo para la obtención de los datos necesarios para el desarrollo de este tema, por su apoyo durante todos los meses que demoró la realización de este proyecto.

A Felipe Soto y Catalina Garrido por su ayuda en la correcta redacción de este documento.

Y, por último, pero más importante, a mi familia y a mis amigos, que me han apoyado siempre, no sólo durante el desarrollo de este tema. Gracias Mamá, Nano, Stefanie por estar siempre ahí para mí. Hoy soy lo que soy gracias a ustedes.

RESUMEN

La gestión de pérdidas de Agua Potable es un proceso relevante para las compañías sanitarias a nivel nacional. Las pérdidas pueden separarse en técnicas y comerciales. Las pérdidas técnicas se refieren principalmente a fugas en los elementos de distribución de agua potable como conducciones, matrices, arranques y elementos de la red; mientras que las pérdidas comerciales se dan por la sub-medición y el consumo no autorizado de agua.

El presente trabajo se centra en la gran conducción que suministra el agua potable a Valparaíso, comúnmente llamada "Gran Alimentadora", la cual obtiene su caudal desde el Estanque Lyon (estanque ubicado en la subida a Cerro Barón antes de llegar a La Planchada, cercano a subida Santos Ossa). Ésta abarca el sector centro de Valparaíso, desde la Avenida Alemania hasta calle Colón aproximadamente, a través de conducciones de derivación de agua potable.

El proceso de esta investigación consistirá en realizar mediciones de caudal en cámaras de ventosas de la Gran Alimentadora y en sus derivaciones. De esta forma, se determinará el caudal nocturno que consume cada sector abastecido por la Gran Alimentadora. Además, se tendrán datos del volumen de agua producido por el Estanque Lyon y del volumen de agua facturado. Estos valores darán como resultado el volumen total de agua que se perdió el 2016, el cual tiene un componente de pérdida técnica y de pérdida comercial.

De esta manera, con los valores de caudal nocturno para cada sector de derivación y el volumen de pérdida total, se puede aplicar la metodología BABE (Burst and Background Estimates). Con esta herramienta se estiman las fugas de fondo que se producen y el uso normal nocturno que debería existir por sector con respecto al caudal nocturno medido en terreno

A su vez, se estima la presión mínima nocturna correspondiente al caudal mínimo nocturno medido por sector. Esta se obtiene modelando la red en el software WaterCAD. Para ello, se ingresan las demandas de caudal en los nodos de demanda de la red correspondientes por sector, obteniéndose así, la presión para cada nodo.

Teniendo los valores de caudal nocturno, presión y volumen de pérdidas ya definidos, se aplica una metodología propia de ESVAL para calcular el porcentaje de pérdida técnica y comercial. Estos porcentajes de pérdidas se utilizarán luego para poder obtener el Índice de Fugas en la Infraestructura (ILI, por sus siglas en inglés).

La parte final de la memoria se centra en un análisis de factibilidad de instalación de equipos de medición continua de caudal, teniendo en cuenta costos de renovación de redes y/o equipos, costos de inspección de fugas, contratistas y costos de compra e instalación de estos equipos. La cantidad de equipos a instalar está dada por los sectores con mayor pérdida total, instalando los equipos en puntos que agrupan derivaciones de la Gran Alimentadora.

ABSTRACT

Loss management of Drinking Water is a relevant process for the sanitary companies in a national level. The losses can be separated on technical and commercials. The technical losses are referring to leaks in the distribution elements of drinking water like ducts, matrix, pulling outs and networks elements; the commercial losses are given due to the sub-measuring and the not allowed consumption of water.

This research focuses on the great conduction that delivers the drinking water supply to Valparaíso, commonly called "Big feeder", which obtains its flow from Estanque Lyon (located in the Cerro Baron before reaching to La Planchada, near to Santos Ossa). This spans the center of Valparaiso, from Avenida Alemania until Colon Street approximately, through bypass pipes of drinking water.

The process consists on making measures of the flow in suction cup chambers from the Big Feeder, and in the derivations of this one, to determine the nocturnal flow that consumes each provided sector by the Great Feeder. Moreover, there are water volume data produced by Estanque Lyon and registered water volume; with these values it is obtained the total of water that it was lost in 2016, which has a technical loss and commercial loss.

With the night flow values for each sector of derivation and the total volume loss, it is applied the BABE (Burst and Background Estimates) methodology to estimate the background leaks that are produced and the average night use that should be exist per sector regarding to the night flow measured on terrain.

It is estimates that the minimum night pressure corresponds to the minimum flow measured per sector. This can be obtained modeling the network on the WaterCAD software. For that, the demands of the flow are entered on the nodes of demand of the corresponding network per sector, thus obtaining, the pressure for each node.
Having the night flow values, pressure and loss volume already defined, it is applied an ESVAL's own methodology to calculate the percentage of technical and commercial loss. These percentages of loss are used then to obtain the Index Loss in Infrastructure (ILI, for their acronym in English)

The final part of the memory is focused in a feasibility analysis of equipment install of continuing measure of the flow, considering the costs of renovation of network and/or equipment, leaks inspection equipment, contractors and purchase costs and installment of these equipment. The amount of equipment to install is given by the sectors with greater total loss, installing the equipment on points that tie derivations from the Big Feeder.

GLOSARIO

$\#Clientes$: Cantidad de clientes

$\%ANC$: Porcentaje de Agua No Contabilizada

$\%Pérdida_{comercial}$: Pérdida comercial en un sistema de distribución

$\%Pérdida_{técnica}$: Pérdida técnica en un sistema de distribución

$\%PCD$: Pérdidas comerciales por distribución

$\%PD$: Pérdidas por distribución

$\%PTD$: Pérdidas técnicas por distribución

$Q_{mediomedido}$: Caudal medio medido

ANC: Agua No Contabilizada

Af: Área de la fuga, [m^2]

$BNPF$: Beneficio neto perdido por fugas, [%]

$BNPNF$: Beneficio neto perdido por no facturación, [%]

$BNPT$: Beneficio neto pérdidas técnicas, [%]

$BNTP$: Beneficio neto total perdido, [%]

$CANC$: Costo por agua no comercializada, [$]

$CARL$: Current Annual Real Losses (Pérdidas reales anuales actuales)

$CAUI$: Cantidad agua usada en inodoros, [l/persona/hr]

CMN: Caudal Mínimo Nocturno

$CPPD$: Costo por pérdidas de distribución, [$]

CPT: Costo por pérdida técnica, [$]

Cd: Coeficiente de descarga

Cw: Costo variable promedio de producción de agua potable, [$/$m^3$]

Dot_noct: Dotación nocturna teórica

EGA: Estado general de los arranques, [l/hr/arranque]

EGR: Estado general de la red, [l/s/km]

F: Facturación, [m^3/mes]

FCP: Factor corrector de la presión

FF: Fugas de fondo, [m^3/hr]

FFA: Fugas de fondo en arranques, [m^3/hr]

FFC: Fugas de fondo en conexiones, [m^3/hr]

FFN: Fuga física nocturna, [m^3/hr]

$FFPMN$: Fugas de fondo a presión media nocturna, [m^3/hr]

FFT: Fugas de fondo en tuberías, [m^3/hr]

FMN: Flujo mínimo nocturno, [m^3/hr]

$FMNM$: Flujo mínimo nocturno medido, [l/s]

$GUND$: cantidad grandes usuarios no domésticos, [clientes]

$H.A.$: Hormigón Armado

ILI: Infraestructure Leakage Index (Índice de fugas de la infraestructura)

LT: Longitud de tuberías, [m]

Lm: Longitud de red, [km]

Lp: Longitud de los arranques, [km]

$MCGUND$: media de consumo grandes usuarios no domésticos, [m^3/clientes]

$MCPUND$: media de consumo pequeños usuarios no domésticos, [m^3/clientes]

Nc: Número de arranques, [unidad]

P: Presión, [mca]

$PADN$: Población activa durante la noche, [%]

PC: Pérdidas Comerciales, [m^3/mes]

$PCMN$: Pérdidas al caudal mínimo nocturno

PE: Población estimada, [personas]

PMN: Presión media nocturna, [mca]

PSE: Producción a la salida del estanque, [m^3/mes]

PT: Pérdidas técnicas, [m^3/mes]

$PUND$: cantidad pequeños usuarios no domésticos, [clientes]

$Pmedia$: Presión media, [mca}

Qa: Caudal antes de la derivación, [l/s]

Qb: Caudal después de la derivación, [l/s]

Qd: Caudal de la derivación, [l/s]

Qf: Caudal de fuga, [l/s]

$Qmediomedido$: Caudal medio medido en 24 horas.

Qmn_{medido}: Caudal mínimo nocturno medido

$Qmnt$: Caudal mínimo nocturno teórico

SC: Sector de corte

$SGZV$: Subgerencia Zonal Valparaíso

$SISS$: Superintendencia de Servicios Sanitarios

SP: Sector de presión

T: Tarifa, [$/m^3]

$TFFA$: Tasa fugas de fondo en propiedades, [l/propiedad/hr]

$TFFC$: Tasa fugas de fondo en conexiones, [l/arranque/hr]

$TFFT$: Tasa fugas de fondo en tuberías, [l/km/hr]

$UARL$: Unavoidable Annual Real Losses (Pérdidas reales anuales inevitables)

UND: Uso normal doméstico, [m^3/hr]

$UNDGU$: Uso normal doméstico grandes usuarios, [m^3/hr]

$UNDPU$: Uso normal doméstico pequeños usuarios, [m^3/hr]

UNN: Uso normal nocturno, [m^3/hr]

INDICE

AGRADECIMIENTOS ..... **II**

RESUMEN ..... **III**

ABSTRACT ..... **IV**

GLOSARIO ..... **V**

INDICE ..... **VIII**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **X**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **XIII**

INDICE DE ECUACIONES ..... **XV**

I. INTRODUCCIÓN **1**

II. OBJETIVOS **3**

1. OBJETIVOS GENERALES 3
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3

III. MARCO TEÓRICO **4**

1. PÉRDIDAS DE AGUA 4
   - *1.1. Causas de las pérdidas* *4*
   - *1.2. Impactos* *5*
   - *1.3. Tipos de Pérdidas de Agua* *5*
   - *1.4. Criterios para determinar el nivel de pérdidas en ESVAL S.A.* *8*
   - *1.5. Metodologías determinación pérdidas a nivel mundial* *11*
2. PRESIÓN 21
   - *2.1. Relación presión y fugas* *21*
   - *2.2. Gestión de la presión* *22*
3. CARACTERIZACIÓN MEDIDORES DE CAUDAL 25
   - *3.1. Equipos de Inserción* *25*
   - *3.2. De carrete* *28*
   - *3.3. Equipo tipo Clamp-on* *30*
   - *3.4. Antecedentes generadores de energía* *32*
4. SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE PRESIONES 36
   - *4.1. I2O Water* *36*
   - *4.2. Loggers* *37*
5. SITUACIÓN EN CHILE 39
   - *5.1. Planes a futuro de las Empresas Sanitarias* *40*
6. SITUACIÓN EN EL MUNDO 43

IV. DESCRIPCIÓN DE LA LOCALIDAD Y SISTEMA GRAN ALIMENTADORA **45**

1. VALPARAÍSO 45
   - *1.1. Descripción del sistema de agua potable* *46*
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA GRAN ALIMENTADORA 48
   - *2.1. Caracterización de la Gran Alimentadora* *48*
   - *2.2. Caracterización de sectores* *53*
3. AGUA NO CONTABILIZADA - SECTOR DE ANÁLISIS 60

3.1. Esval ... *60*
3.2. Subgerencia Zonal Valparaíso ... *60*
3.3. Sistema Gran Alimentadora ... *61*

V. METODOLOGÍA DE TRABAJO ... 66

1. PLANIFICACIÓN DE MEDICIONES ... 66
2. BITÁCORA DE MEDICIONES DE CAUDAL ... 68
3. CAUDAL NOCTURNO ... 69
3.1. Mediciones de caudal nocturno ... *69*
3.2. Determinación Caudal Mínimo nocturno ... *71*
3.3. Corrección Caudal Mínimo Nocturno ... *73*
4. MODELACIÓN DE LA RED EN WATERCAD ... 76
4.1. Representación de la localidad ... *76*
4.2. Distribución de la demanda ... *77*

VI. RESULTADOS ... 80

1. ANÁLISIS SISTEMA GRAN ALIMENTADORA ... 80
1.1. Metodología BABE ... *81*
1.2. Indicadores técnicos y económicos ... *82*
2. ANÁLISIS DE SECTORES DE DERIVACIÓN GRAN ALIMENTADORA ... 84
2.1. Metodología BABE ... *86*
2.2. Indicadores técnicos y económicos ... *88*
3. ESTUDIO ECONÓMICO ... 92
3.1. Antecedentes de los equipos considerados para la medición continua de caudal ... *92*
3.2. Antecedentes de Costos de Macromedición ... *92*
3.3. Antecedentes Detección de Fugas y Control de Ilícitos ... *95*
3.3.4. Antecedentes renovaciones 2016 ... *102*
3.3.5. Costos medición continua ... *103*
3.4. Equipo de medición de caudal escogido ... *108*

VII. CONCLUSIONES ... 110

REFERENCIAS ... 113

ANEXOS ... I

1. CARACTERIZACIÓN PRESIÓN DEL SISTEMA ... I
2. PÉRDIDAS EN EL SISTEMA GRAN ALIMENTADORA ... II
3. CURVAS DE MEDICIÓN DE CAUDAL ... IV
4. CAUDALES MÍNIMOS NOCTURNOS ... VIII
5. CAUDALES Y PRESIONES – MODELO WATERCAD ... X
6. RESULTADOS GRAN ALIMENTADORA ... XXV
7. RESULTADOS SECTORES DE DERIVACIÓN ... XXIX

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de fuga y métodos de solución. 6
Tabla 2: Criterio para determinar la existencia de fugas en matrices de distribución. 10
Tabla 3: Acciones para controlar las pérdidas técnicas y comerciales. 11
Tabla 4: Interpretación del ILI (Econssa, 2014) 12
Tabla 5: Meta de pérdidas físicas del Banco Mundial 13
Tabla 6: Tabla de Valores sugeridos para aplicar en la metodología BABE 14
Tabla 7: Cuadro resumen de equipos medidores de caudal y generadores de energía. 35
Tabla 8: Indicadores ANF de la SISS. 40
Tabla 9: Puntos de entrega del Acueducto Las Vegas, Localidad Valparaíso. 46
Tabla 10: Caudales de producción para la Localidad de Valparaíso, año 2016. 47
Tabla 11: ERP's conectadas directamente a la Gran Alimentadora y sus respectivos sectores de corte y presión. 50
Tabla 12: ERP's conectadas en serie a la Gran alimentadora y sus respectivos sectores de corte y presión. 51
Tabla 13: Pérdida de carga y Presión media ponderada de cada sector de derivación 52
Tabla 14: Resumen derivaciones sistema Gran Alimentadora (Fuente: SIGEC, ESVAL S.A) 54
Tabla 15: Materialidad de la red de AP. 55
Tabla 16: Materialidad de los Arranques. 55
Tabla 17: Clasificación de medidores por tipo de medidor y tipo de transmisión MAP. 56
Tabla 18: Sectores con edad promedio mayor a 13 años. 57
Tabla 19: Sectores con edad promedio mayor a 10 años. 58
Tabla 20: Sectores con edad promedio mayor a 24 años. 59
Tabla 21: Comparación Producción, Facturación y Pérdida, período 2014 – 2016. 64
Tabla 22: Bitácora de mediciones de caudal en cámaras de la Gran Alimentadora y sus derivaciones 68
Tabla 23: Datos ingresados a Panametrics en mediciones en cámaras de la GA 69
Tabla 24: Porcentaje de clientes por grupo de mediciones. 71
Tabla 25: Caudales mínimos nocturnos por derivación 72
Tabla 26: Factores de corrección de caudales mínimos nocturnos. 73
Tabla 27: Caudales mínimos nocturnos por sector corregidos 74
Tabla 28: Presiones por sector de derivación, modelo WaterCAD 78
Tabla 29: Cálculo de pérdidas Gran Alimentadora 81
Tabla 30: Parámetros medidos para el sistema completo gran alimentadora (elaboración propia) 81
Tabla 31: Resultados metodología BABE 82
Tabla 32: Resultados por tipo de pérdidas en el sistema Gran Alimentadora. 82
Tabla 33: Estado general de la red y los arranques, sistema Gran Alimentadora 82
Tabla 34: Cálculo del ILI sistema Gran Alimentadora 83
Tabla 35: Resultado de costos y beneficios de las pérdidas, sistema Gran Alimentadora. 83
Tabla 36: Cálculo de pérdidas por grupo de sectores de derivación 84
Tabla 37: Parámetros medidos por grupo de sectores 86
Tabla 38: Resultados metodología BABE por grupo 87
Tabla 39: Resultados por tipo de pérdidas en los grupos de sectores de derivación 88
Tabla 40: Estado general de la red y los arranques; grupos de sectores de derivación 88

Tabla 41: Cálculo del ILI, grupos de sectores de derivación..... 89
Tabla 42: Resultado de costos y beneficios de las pérdidas, grupos de sectores de derivación 89
Tabla 43: Grupos con Pérdida Comercial mayor a la Pérdida Técnica y la edad de sus medidores. 90
Tabla 44: Costos equipos macromedición de inserción, año 2016..... 92
Tabla 45: Costo equipo Octave. 93
Tabla 46: Costo total compra equipos 93
Tabla 47: Costo equipo Panametrics..... 94
Tabla 48: Cotización costo equipo medidor de tiempo en tránsito fijo..... 94
Tabla 49: costo inspección de fugas Contratista 1..... 95
Tabla 50: Costo inspección de fugas Contratista 2. 96
Tabla 51: Costo inspección de fugas Contratista 3. 96
Tabla 52: Detalle fugas detectadas e ilícitos. 96
Tabla 53: Distribución por actividad. 97
Tabla 54: costo medio por fuga para cada contratista. 97
Tabla 55: Detalle fugas detectadas e ilícitos. 98
Tabla 56: Distribución por actividad 98
Tabla 57: Ilícitos detectados e inspecciones realizadas por mes, SGZV..... 99
Tabla 58: Consumo estimado total de clientes con ilícitos, SGZV. 99
Tabla 59: Ingresos y Gastos de la recuperación de metros cúbicos debido a ilícitos. 100
Tabla 60: Ilícitos detectados e inspecciones realizadas por mes, Localidad de Valparaíso (Fuente: ESVAL S.A.) 100
Tabla 61: Consumo estimado total de clientes con ilícitos, Localidad Valparaíso (Fuente: ESVAL S.A.) 101
Tabla 62: Ingresos y Gastos correspondientes a los ilícitos para la localidad de Valparaíso..... 101
Tabla 63: Renovaciones Plan de Desarrollo (Fuente: ESVAL S.A.) 102
Tabla 64: Renovaciones no presentes en Plan de Desarrollo. 103
Tabla 65: Factibilidad flujómetros..... 103
Tabla 66: Puntos de instalación de flujómetros en sistema Gran Alimentadora..... 104
Tabla 67: Tabla comparación de costos Equipos de medición de caudal 106
Tabla 68: Costo total compra e instalación de equipos (Precios con IVA incluido) 107
Tabla 69: Costo total de la inversión de Equipos de Medición de Caudal. 108
Tabla 70: Sectores de presión y corte dependientes de ERPs de la Gran Alimentadora..... i
Tabla 71: Volúmenes de Producción estanque Lyon, años 2014 - 2015 - 2016 (Fuente: Datos macromedidor ESVAL)..... ii
Tabla 72: Volúmenes de facturación Gran Alimentadora años 2014 – 2015 - 2016 (fuente: datos base comercial ESVAL) ii
Tabla 73: Valores de Agua no Contabilizada Sistema Gran Alimentadora, años 2014 - 2015 - 2016.iii
Tabla 74: Caudales mínimos nocturnos por sector sin corregir.....viii
Tabla 75: Caudales mínimos nocturnos por sector corregidos.....ix
Tabla 76: Datos de entrada metodología BABE, sistema Gran alimentadora xxv
Tabla 77: Resultados de fugas metodología BABE, sistema Gran Alimentadora.....xxvi
Tabla 78: Resultados tipo de pérdida, sistema Gran Alimentadora xxvii
Tabla 79: Estado general de la Red y Arranques, sistema Gran Alimentadora.....xxvii
Tabla 80: Cálculo del ILI, sistema Gran Alimentadora.....xxvii

Tabla 81: Indicadores económicos sistema gran alimentadora xxviii
Tabla 82: Datos de entrada metodología BABE, grupos de sectores de derivación xxix
Tabla 83: Resultados de fugas metodología BABE, grupo de sectores de derivación xxxi
Tabla 84: Resultados tipo de pérdida, grupos de sectores de derivación xxxiii
Tabla 85: Estado general de la Red y Arranques, grupo de sectores de derivación xxxiv
Tabla 86: Cálculo del ILI, grupo de sectores de derivación xxxv
Tabla 87: Indicadores económicos grupo de sectores de derivación xxxvi

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Esquema del balance de agua de la IWA en [m3/año] 11
Figura 2: Cuadro resumen de los Parámetros de Fugas calculados en la Metodología BABE. 19
Figura 3: Cuadro resumen de los Indicadores Técnicos calculados en la Metodología BABE. 19
Figura 4: Cuadro resumen de los Indicadores Comerciales calculados en la Metodología BABE. ... 20
Figura 5: Medidor Electromagnético de Inserción Serie EX100/200 25
Figura 6: Distancia apropiada de instalación del medidor de inserción. 26
Figura 7: Instalación dentro de la tubería del medidor de inserción. 27
Figura 8: Flujómetro de inserción electromagnética F-3600. 27
Figura 9: Medidor de flujo ultrasónico. 28
Figura 10: Principio de funcionamiento Flujómetro Octave. 29
Figura 11: Equipo Octave instalado en cualquier posición. 29
Figura 12: Equipo Panametrics instalado. 30
Figura 13: Técnica de medición del caudal por tiempo de tránsito. 31
Figura 14: Caudalímetro ultrasónico de tiempo en tránsito fijo AguaTrans AT600. 31
Figura 15: Batería de ciclo profundo, 12V, 100AH. 32
Figura 16: Turbina Vertical Tubular modelo LH-1KW. 33
Figura 17: Microturbina con batería, modelo X143IP. 34
Figura 18: Instalación sistema i2O en la red. 36
Figura 19: Datalogger Multilog LX SMS. 38
Figura 20: Cronograma de trabajo Plan de Pérdidas 2013 – 2020. 42
Figura 21: Presupuesto Plan de Pérdidas 2013 - 2020, Esval y Aguas del Valle. 42
Figura 22: Pérdidas de agua en diferentes países. 43
Figura 23: Región de Valparaíso. 45
Figura 24: Zona de estudio sistema Gran Alimentadora. 48
Figura 25: Gráfico de la Pérdida Media Móvil en 12 meses, ESVAL y ADV 2016. 60
Figura 26:Gráfico del Índice de Pérdidas Acumulado en el año 2016. 61
Figura 27: Gráfico de Volúmenes de producción del Estanque Lyon, periodo 2014 - 2016. 62
Figura 28: Gráfico de comparación de los volúmenes de Facturación, período 2014 - 2016. 63
Figura 29:Gráfico del ANC en el sistema Gran Alimentadora. 64
Figura 30:Gráfico del Porcentaje de Pérdidas, período 2014 – 2016. 65
Figura 31: Trazado Gran Alimentadora y ubicación de sus derivaciones. 66
Figura 32: Ubicación de cámaras en la Gran Alimentadora. 67
Figura 33: Gráfico de Mediciones de caudal, día 6 de octubre del 2016. 70
Figura 34: Sector de análisis en modelo WaterCAD. 76
Figura 35: Sector de análisis en modelo WaterCAD con calles y predios. 77
Figura 36: Gráfico caudal de distribución - agosto 2016, Estanque Lyon. 80
Figura 37:Gráfico de Curvas de medición de caudal, día 26/08/2016, cámaras Israel - Alemania 4661 - Balmes con Castillo iv
Figura 38: Gráfico de Curvas de medición de caudal, día 20/09/2016, cámaras San Bernardo - Ramaditas - El Litre iv
Figura 39: Gráfico de Curvas de medición de caudal, día 05/10/2016, cámaras Alemania con Etchegaray - Israel - Alemania 4661. v

Figura 40: Gráfico de Curvas de medición de caudal, día 06/10/2016, cámaras Santos Torneros - Aguayo - Río Frio v
Figura 41: Gráfico de Curvas de medición de caudal, día 08/11/2016, cámaras Balmes con Castillo - Santos Torneros - Quebrada Verde.....vi
Figura 42: Gráfico de Curvas de medición de caudal, día 16/11/2016, cámaras El Litre - Osman Pérez Freire vi
Figura 43: Gráfico de Curvas de medición de caudal, día 21/11/2016, cámaras Osman Pérez Freire - General Mackenna – Etchegaray vii
Figura 44: Gráfico Q vs P sector Francia.....x
Figura 45: Gráfico Q vs P sector Bilbao x
Figura 46: Gráfico Q vs P sector Aristóteles xi
Figura 47: Gráfico Q vs P sector Ramaditas xi
Figura 48: Gráfico Q vs P sector Santa Teresa.....xii
Figura 49: Gráfico Q vs P sector Litre – Villagra xii
Figura 50: Gráfico Q vs P sector Zilleruelo xiii
Figura 51: Gráfico Q vs P sector Figueroa xiii
Figura 52: Gráfico Q vs P sector Ferrari.....xiv
Figura 53: Gráfico Q vs P sector Yerbas Buenas.....xiv
Figura 54: Gráfico Q vs P sector General Mackenna.....xv
Figura 55: Gráfico Q vs P sector Guillermo Rivera xv
Figura 56: Gráfico Q vs P sector Etchegaray xvi
Figura 57: Gráfico Q vs P sector Placilla xvi
Figura 58: Gráfico Q vs P sector Pasaje Jimenez xvii
Figura 59: Gráfico Q vs P sector Camila xvii
Figura 60: Gráfico Q vs P sector Cumming Armstrong.....xviii
Figura 61: Gráfico Q vs P sector Guillermo Munich xviii
Figura 62: Gráfico Q vs P sector San Luis xix
Figura 63: Gráfico Q vs P sector Tomás Ramos.....xix
Figura 64: Gráfico Q vs P sector Balmes Miranda xx
Figura 65: Gráfico Q vs P sector Blanquillo xx
Figura 66: Gráfico Q vs P sector Aduanilla xxi
Figura 67: Gráfico Q vs P sector Subida Toro xxi
Figura 68: Gráfico Q vs P sector Obispo Villareal xxii
Figura 69: Gráfico Q vs P sector Rio Frio xxii
Figura 70: Gráfico Q vs P sector Quebrada Verde.....xxiii
Figura 71: Gráfico Q vs P sector Aguayo xxiii
Figura 72: Gráfico Q vs P sector Zegers Ossandon.....xxiv
Figura 73: Gráfico Q vs P sector Los Pinos xxiv

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Volumen de Producción..... 8
Ecuación 2: Indice de Agua No Contabilizada..... 9
Ecuación 3: Caudal Mínimo Teórico..... 9
Ecuación 4: Pérdida Técnica..... 10
Ecuación 5: Pérdida Comercial..... 10
Ecuación 6: Indicador Técnico de Pérdidas Reales..... 12
Ecuación 7: Pérdidas físicas Anuales Inevitables..... 12
Ecuación 8: Indice de Fugas en la Infraestructura..... 12
Ecuación 9: Uso normal nocturno..... 14
Ecuación 10: Uso normal doméstico 14
Ecuación 11: Uso normal doméstico pequeños usuarios..... 14
Ecuación 12: Uso normal doméstico grandes usuarios..... 14
Ecuación 13: Fugas de fondo..... 15
Ecuación 14: Fugas de fondo en tuberias..... 15
Ecuación 15: Fugas de fondo en conexiones..... 15
Ecuación 16: Fugas de fondo en arranques..... 15
Ecuación 17: Fugas de fondo a presión media nocturna..... 15
Ecuación 18: Fugas Físicas..... 15
Ecuación 19: Fuga fisica nocturna..... 15
Ecuación 20: Pérdidas por distribución..... 16
Ecuación 21: Perdidas técnicas..... 16
Ecuación 22: Porcentaje pérdida tecnica..... 16
Ecuación 23: Porcentaje perdida tecnica por distribución..... 16
Ecuación 24: Perdidas comerciales..... 16
Ecuación 25: Porcentaje pérdida comercial..... 16
Ecuación 26: Porcentaje perdida comercial por distribución..... 16
Ecuación 27: Estado general de la red..... 17
Ecuación 28: Estado general de los arranques..... 17
Ecuación 29: Costos por pérdidas de distribución..... 17
Ecuación 30: Costo pérdida técnica..... 17
Ecuación 31: Costo por agua no comercializada..... 17
Ecuación 32: Beneficio neto perdido por fugas..... 18
Ecuación 33: Beneficio neto perdido por no facturación..... 18
Ecuación 34: Beneficio neto total perdido..... 18
Ecuación 35: Relación Presión - Fugas..... 21
Ecuación 36: Relación exponencial presión - fugas..... 21
Ecuación 37: Presión en el día..... 52
Ecuación 38: Presión en la noche..... 52
Ecuación 39: Presión media..... 52
Ecuación 40: Presión media ponderada..... 52
Ecuación 41: Diferencia de caudales..... 67

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural fundamental para el desarrollo económico y social. Es esencial para mantener la salud, el cultivo de alimentos, la generación de energía, la protección del medio ambiente y la creación de empleos.

En América Latina, el 45%[1] del agua se pierde antes de llegar al cliente. Esta agua no contabilizada no genera ingresos a las empresas dedicadas a este rubro y, además, significa un gran gasto energético. Respecto a esta temática, las empresas consumen alrededor de un 4% de la energía total producida en el mundo, pero el 80% de esta corresponde a las pérdidas de agua que ocurren entre la planta potabilizadora y un grifo, por ejemplo.

Actualmente, las empresas de agua y saneamiento son las encargadas del transporte y de la distribución del recurso, debidamente tratado, para el consumo de los usuarios. Es desde esta tarea en donde se generan diversos compromisos de la empresa con los clientes y viceversa. Las principales responsabilidades son la garantía de transporte y distribución, y la calidad del suministro. Esta última debe cumplir con normativas en cuanto a la calidad del agua entregada, la presión de distribución, condición de las instalaciones hidráulicas y sanitarias, entre otras.

Bajo el compromiso de entregar un servicio de calidad superior, existen una serie de normas que regulan la forma de generar y desarrollar proyectos, como también un ente oficial que se preocupa de que las empresas cumplan con los estándares de calidad. En Chile, el encargado de supervisar es la Superintendencia de Servicios Sanitarios. Es a esta entidad a quien las empresas deben responder ante eventos que ocurran en las redes de distribución de agua potable y aguas servidas, como además entregar reportes sobre su servicio.

De esta manera, la preocupación por mejorar el servicio y el cumplimiento de los estándares exige la incorporación de nuevas metodologías y tecnologías que ayuden a cumplir este objetivo.

Es así que en el caso de las pérdidas de agua en redes de distribución, se centran en la prevención y reparación de averías físicas como una forma de mejorar el servicio. Sin embargo, no es el único ámbito del que las empresas deben preocuparse. La gestión de la infraestructura y de la presión son dos aristas importantes en la nueva forma de prevenir y combatir las pérdidas de agua.

Al 2012, ESVAL poseía un 12% de los clientes de Chile (reuniendo la totalidad de los clientes de la Región de Valparaíso), y para el mismo año presentó un porcentaje de agua no facturada del 39,9%, posicionándola en el quinto lugar de las empresas con mayores pérdidas anuales.

En lo que respecta al Gran Valparaíso (definido por ESVAL como: Valparaíso, Viña del Mar, Con Con, Quilpué, Villa Alemana, Placilla – Curauma), uno de los grandes problemas es el bajo rendimiento de los sistemas de distribución de agua potable, en los cuales de la totalidad del agua producida sólo el 40% es facturado aproximadamente. Es este sector de la Región de Valparaíso el que tiene un mayor peso en el índice de pérdidas de la empresa (siendo cercano a la pérdida promedio de la empresa en su totalidad) debido al gran porcentaje de clientes que reúne, por lo que se hace necesario realizar un análisis e implementar medidas que permitan una mejora en la calidad del

[1] Fuente: Banco Mundial, año 2013.

servicio y que se reduzcan las pérdidas de agua. Esta reducción puede ser del tipo físico o de tipo comercial. El primero se aplica reduciendo la cantidad de roturas que se producen en la red, con lo que se podría reducir el agua fugada a través de ella. El segundo tipo, regularizando clientes con consumo ilegal, renovando el parque de medidores, entre otras medidas.

Estas medidas ayudarían a tener un mejor servicio y que la cantidad de agua suministrada sea la adecuada. Por lo tanto, la distribución permitirá satisfacer la demanda de más clientes, y también la empresa se vería beneficiada con un aumento en sus ingresos económicos y un ahorro en su gasto energético.

II. OBJETIVOS

1. Objetivos generales

- Determinar los componentes del Agua No Contabilizada que ocurren en el sistema Gran Alimentadora en Valparaíso.
- Determinar en qué sectores del sistema se pierde más agua, y el tipo de pérdida predominante (pérdida técnica o comercial).
- Realizar un estudio económico de la instalación de medidores de caudal de manera que se registre de forma permanente el caudal en el sistema de agua potable dependiente de la Gran Alimentadora.

2. Objetivos específicos

- Estudiar el sistema de distribución de agua potable en los sectores alimentados por la Gran Alimentadora, a la salida del Estanque Lyon.
- Caracterizar el sistema completo y cada uno de los sectores a estudiar.
- Catastro de la micromedición y macromedición, de caudal y presión.
- Análisis del funcionamiento del sector a través de indicadores.
- Aplicación de la metodología BABE y sus indicadores para determinar sectores críticos del sistema.
- Determinar el nivel de metros cúbicos que corresponden a pérdida técnica y a pérdida comercial.
- Establecer los costos de las pérdidas de agua actual.
- Realizar un catastro de los equipos medidores de caudal con los que trabaja ESVAL S.A.
- Analizar costos de renovación de redes, detección de fugas y macromedición realizados por la empresa en sectores dependientes de la Gran Alimentadora.
- Determinar los puntos en donde es más conveniente instalar equipos de medición de caudal en la Gran Alimentadora.
- Obtener costo total de la instalación de equipos de medición continua de caudal.

III. MARCO TEÓRICO

1. Pérdidas de Agua

Se entiende como pérdida en un sistema de distribución de agua potable cuando el volumen total de agua que es entregada a los consumidores no es facturada, debido a que no es registrada por los medidores domiciliarios.

Estas se pueden clasificar como físicas y comerciales. En el balance hidráulico se separan en reales y aparentes. Las reales son las pérdidas físicas, tales como fugas visibles reportadas y no reportadas, fugas no visibles o de fondo y desperdicios no controlados. Las pérdidas aparentes, también conocidas como las comerciales, se dan por la sub-medición y por conexiones no autorizadas a la red.

El Water Loss Task Force de la Asociación Internacional del Agua (IWA por sus siglas en inglés) definió los cuatro métodos principales de intervención para combatir las pérdidas: gestión de la presión, control activo de fugas, velocidad y calidad de las reparaciones, y gestión de la infraestructura.

La recuperación de 1 m^3 de pérdidas físicas permite recuperar el costo marginal de producción[2], mientras que la recuperación de 1 m^3 de pérdida comercial permite recuperar el valor de la tarifa completa y ésta ingresa a la empresa al mes siguiente de efectuada la recuperación.

Por consiguiente, si el objetivo de la empresa es recuperar el máximo volumen de agua, sus estrategias se deben centrar en mejorar las pérdidas físicas.

1.1. Causas de las pérdidas

Existen cuatro factores claves, específicos del sistema, para las pérdidas de agua: la longitud de la red, el número de conexiones, la ubicación del medidor del cliente y la presión promedio operativa de sistema.

En general, las causas pueden ser de tres tipos:

- Causas Internas: Donde la presión es clave, ya que alcanza valores muy altos, muy bajos o varía muy rápidamente.
- Causas Externas: Ambientales, meteorológicas, tránsito, etc.
- De los materiales: Mal estado, agresividad del suelo, etc.

También se tienen causas no técnicas:

- Alto costo en la detección, localización y reducción de las fugas en la red.
- Incorrecta formulación de los proyectos.
- La falta de metodologías, equipamiento y especialistas.
- Manipulación de los sistemas de medición de caudal.

[2] Costo marginal de producción: Corresponde al aumento en el costo total de un ciclo de producción para la fabricación de una unidad adicional.

1.2. Impactos

Existen cuatro impactos provocados por las pérdidas, los cuales afectan a la empresa sanitaria, a la red, al medio ambiente y a los consumidores.

a) **Impactos económicos**: Son los costos de explotar, tratar y transportar el agua en su camino al cliente y que, finalmente, se pierde. Esto hace que no se generen ingresos para la empresa de agua.
b) **Impactos técnicos**: Son las fugas que crean una mala cobertura de la demanda existente de agua, generando que el sistema no pueda actuar continua y eficientemente.
c) **Impactos sociales**: La presión baja, interrupciones del servicio y suministro desigual producen descontento en los consumidores. Además, pueden generarse riesgos para la salud por infiltraciones de aguas residuales y/o contaminantes a través de las fallas en las tuberías de distribución.
d) **Impactos ecológicos**: Debido a la presión adicional sobre los recursos hídricos e incremento del consumo energético.

1.3. Tipos de Pérdidas de Agua

1.3.1. Pérdidas técnicas

Las pérdidas técnicas corresponden a volúmenes de agua que se pierden en un determinado periodo. Estas pueden ser a través de todo tipo de fugas, estallidos y rebases. A su vez, las fallas están asociadas a la presión de funcionamiento del sistema y se clasifican por su tamaño y ubicación:

a) Tamaño: Pueden ser reportadas o visibles, no reportadas u ocultas y de fondo.
b) Ubicación: Desde los troncales de transmisión y distribución, desde conexiones de servicio y de tanques de almacenamiento

Las pérdidas producidas en la red de distribución se clasifican en físicas y operacionales, cuya magnitud se obtiene realizando balances de volumen de agua:

a) Pérdidas físicas*:* Son volúmenes de agua que se pierden debido a fallas en la infraestructura física instalada.
b) Pérdidas operacionales: Son volúmenes de agua que se pierden debido a la operación misma del sistema (rebalses en los estanques y desagües). También existen los consumos operacionales, que son volúmenes de agua utilizados con el objetivo de cumplir un fin operacional, sin embargo, constituyen una pérdida intrínseca del sistema que puede ser excluida del volumen de pérdidas totales.

Las pérdidas en la red de distribución se deben a varios factores, estos pueden ser:

a) Presiones internas de la red
b) Calidad de los materiales y procesos constructivos
c) Calidad del agua y tipo de suelo
d) Siniestros que afectan a las tuberías
e) Presiones externas

1.3.1.1 Fugas

Las fugas son aberturas en cualquier punto de la red de distribución de las que no se tiene un control. Es frecuente desconocer su ubicación e incluso la existencia de éstas. Representan aproximadamente el 95% de las pérdidas totales de agua.

1.3.1.1.1 Tipos de fugas

Se pueden clasificar como:

a) *Pérdidas reportadas o "visibles"*: Son de gran caudal y corta duración. El agua aparece rápidamente en la superficie, dependiendo de la presión del agua y del tamaño de la fuga. Las pérdidas reportadas son atendidas en un periodo corto de tiempo. Son fugas fáciles de detectar y se localizan mediante inspecciones simples a la red.

b) *Pérdidas no reportadas*: Estas fugas tienen un caudal y una duración que depende de los programas de control de fugas de la empresa sanitaria. Tienen caudales mayores a 250 l/hr a 50 mca de presión, pero no aparecen en la superficie por condiciones desfavorables.

c) *Pérdidas de fondo*: Corresponden a pérdidas menores a 250 l/hr a 50 mca. Son de bajo caudal y larga duración. Los usuarios no dejan de recibir el servicio, ya que aún con fugas la presión es suficiente para abastecer al usuario.

En la Tabla 1 se presenta un resumen de los tres tipos de fugas, sus características y los métodos de solución usualmente empleados para detectar y solucionar cada una de ellas.

Tabla 1: Tipos de fuga y métodos de solución.

Tipos de fuga			
De fondo	No Reportadas	Reportadas	
No detectables por equipos acústicos	Detectable por equipos acústicos	Reportadas por las personas	
Control de pérdidas			**Métodos de Solución**
Reparación			
Reducción del número de uniones			
	Detección proactiva	Optimizar tiempos de respuesta	

Fuente: (Elaboración propia)

En las tuberías rígidas (acero o PVC) se presentan tres tipos de fallas: fisura (longitudinales, transversales y combinadas), picadura (perforaciones en el tubo) y rotura (colapso de tubería). Mientras que en tuberías flexibles las fallas más comunes son las fisuras.

La pérdida de agua de una fuga a través de un agujero circular único con 6 mm de diámetro a una presión de 60 mca resulta en 1,8 m^3/hr. Este caudal sería suficiente para llenar una piscina olímpica en menos de dos meses. Ese caudal teóricamente sería suficiente para atender a 317 habitantes en la ciudad de Moshi, Tanzania.

1.3.1.1.2 Factores que favorecen la aparición de fugas

A continuación, se entrega una lista de factores que inciden en la aparición de las fugas en una red de distribución de agua potable. Estos incluyen características de la infraestructura, factores internos de una empresa sanitaria y actos de terceros.

a) Material y edad de la tubería.
b) Corrosión e incrustaciones en la infraestructura.
c) Detalles en proceso constructivo.
d) Disponibilidad de agua, recursos financieros y de personal de la empresa.
e) Política de control de fugas: actividad, percepción, conocimientos técnicos.
f) Condiciones de infraestructura respecto a los materiales, presión del sistema y política de renovación.
g) Discontinuidad en el suministro: provocará fatiga en las tuberías.
h) Inadecuado manejo de la presión: factor fundamental para el control de las fugas.
i) Asentamientos en el suelo.
j) Actos de vandalismo.

1.3.2. Pérdidas comerciales

Las pérdidas comerciales, también llamadas aparentes, generalmente se producen por la elección inadecuada del medidor de consumo del cliente, el que puede trabajar de forma imprecisa e insensible a los bajos consumos que existan.

Tienen su origen en alguna de estas causas:

- Sub-medición y/o ausencia de medición: el medidor no es capaz de registrar todos los consumos, especialmente los de menor caudal.
- Consumos ilícitos.
- Errores en la macromedición.
- Errores en la lectura y transcripción de datos.
- Consumo no autorizado debido al robo de agua y conexiones ilegales.

1.3.3. Reducción de Pérdidas

Los proyectos de reducción de pérdidas en los que invierten las empresas sanitarias se ejecutan principalmente en la red de distribución (disminuir los volúmenes de fugas) y en el proceso de comercialización del agua (disminuir los errores de medición y los consumos clandestinos).

El objetivo es que se pierda menos del 10% del agua.

1.3.3.1 Beneficios

Los diversos beneficios obtenidos con la reducción de pérdida de agua potable son:

- Disposición de mayores suministros de agua.
- Menos presión sobre los recursos hídricos locales.
- Mayor eficiencia operativa.
- Varios ahorros.
- Se gasta menos energía en tratar y distribuir el agua potable.
- Disminuye la contaminación del lugar al haber menos fugas.

De esta manera, perder menos agua en las redes de agua potable provoca que las fuentes de almacenamiento recuperen su capacidad. Asimismo, la disponibilidad de agua para distribuir aumenta, por lo que la sustentabilidad de las ciudades no estará comprometida.

La evaluación económica se realiza calculando el máximo VAN de los flujos diferenciales netos de la empresa, con y sin la ejecución de proyectos de distinto tamaño. Se realizan aquellos proyectos con un VAN positivo y máximo.

1.3.4. Gestión de la Infraestructura

Los sistemas de suministro de agua necesitan un buen manejo de la infraestructura para:

- Resolver problemas de infraestructura deteriorada antes de que fallen.
- Mantener activos productivos y que permitan el continuo funcionamiento del servicio.
- Tratar las diversas resoluciones como decisiones de inversión para maximizar recursos financieros.
- Determinar los costos reales de las inversiones para respaldar las decisiones financieras de la empresa a largo plazo.

1.4. Criterios para determinar el nivel de pérdidas en ESVAL S.A.

Con el objetivo de determinar el estado de la red en cuanto a su nivel de pérdidas, es necesario realizar un balance hídrico del suministro de agua potable. Para esto, se requieren los registros continuos del caudal de producción del estanque y los datos de la facturación del sistema, los cuales deben incluir al cliente y el volumen consumido por cada uno.

Con estos antecedentes, es posible tener una idea tanto de la cantidad de pérdida que existe en la red de distribución, como del tipo de pérdida predominante. Los tipos de pérdidas de agua potable se encuentran descritos en la sección 1.3 de este mismo capítulo.

El volumen de producción, que será distribuido en la red de agua potable de los sectores, es registrado por equipos instalados a la salida del estanque. El volumen de facturación de los usuarios se registra por medidores instalados en las acometidas de cada cliente, cuantificando el volumen de agua potable consumido. Teniendo estos dos valores, el volumen no facturado se obtiene como la diferencia de los dos anteriores.

$$Volumen\ de\ Producción\ - Volumen\ Facturado\ = Volumen\ no\ Facturado \qquad \text{(ec.1)}$$

En una situación ideal, el volumen facturado debiera ser igual al volumen de producción, es decir, no debería existir ningún porcentaje de volumen no facturado. Dicha situación se podría dar al inicio de la instalación de un sistema de distribución de agua potable, pero al cabo de un tiempo los elementos de este ya no funcionarán en óptimas condiciones, ya que sufren desgaste por su uso y por condiciones externas que pueden ocurrir. En consecuencia, su vida útil disminuirá y las pérdidas de agua a través de fugas aumentarán.

También existe el factor de los ilícitos, en donde los mismos clientes adulteran los medidores en sus acometidas para que éstos registren menos agua de la que consumen. Igualmente, existen casos de conexiones ilegales a la matriz de distribución, en donde el agua consumida no queda registrada, lo que significa un 100% de pérdida para la empresa.

1.4.1. Índice de Agua No Contabilizada

La Superintendencia de Servicios Sanitarios de Chile, bajo la definición de una empresa modelo, considera un índice de pérdidas aceptado del 15%, por lo que las empresas con un índice mayor al valor indicado presentan una ineficiencia en sus sistemas de agua potable.

Este índice de pérdidas se calcula a partir de los volúmenes de producción a la salida del estanque y de facturación durante un rango de tiempo determinado. Generalmente, se obtiene de forma mensual e indica el nivel general de pérdidas de la red de distribución (pérdidas técnicas y comerciales).

$$\%ANC = \frac{Volumen\ de\ Producción - Volumen\ de\ Facturación}{Volumen\ de\ Producción} \times 100 \qquad \text{(ec.2)}$$

1.4.2. Estimación de pérdidas técnicas y comerciales en ESVAL S.A. (Sotomayor, 2012)

Como se explica en la sección 1.3, el total de las pérdidas de agua tiene aporte de pérdidas físicas y pérdidas comerciales.

ESVAL S.A. ha desarrollado su propio modelo de estimación de pérdidas. Para calcular el caudal mínimo nocturno teórico se emplea como criterio que el caudal mínimo demandado por cliente corresponde a la dotación nocturna, el cual tiene un valor de 0.002 [lt/s/cliente].

Considerando el criterio anterior, la expresión[3] para el caudal mínimo teórico es:

$$Q_{mnt} = \alpha \times \#Clientes \times Dot_noct \qquad \text{(ec.3)}$$

Dónde:

$\#Clientes$: Cantidad de clientes.
Dot_noct: Dotación nocturna teórica.
α: Coeficiente del aporte de los clientes. En Esval se considera igual a 1.

[3] Expresión aprobada y validada por estudios realizados por DVWG, Dirección de Luz, Agua y Gas de Alemania, y además por DOE, Departamento del Ambiente de Inglaterra.

Como la empresa cuenta con medición continua del caudal de distribución a la salida del estanque, se conocen la producción total del mes, el caudal nocturno medido y el caudal medio medido. Con los dos últimos datos y el caudal mínimo nocturno teórico es posible estimar las pérdidas técnicas.

$$\%Pérdida_{técnica} = \frac{(Qmn_{medido} - Q_{mnt})}{Q_{mediomedido}} \quad \text{(ec.4)}$$

Dónde:

$\%Pérdida_{técnica}$: Pérdida técnica en un sistema de distribución.
Qmn_{medido}: Caudal mínimo nocturno medido.
$Qmnt$: Caudal mínimo nocturno teórico.
$Qmediomedido$: Caudal medio medido en 24 horas.

Para efectos de validez proporcional, se establece como supuesto que las fugas son constantes durante el día. Esto último no es del todo cierto, ya que se sabe que el mayor porcentaje de agua no contabilizada ocurre en la noche. Esto debido a que el consumo de agua potable es mínimo, por lo que las presiones en la red alcanzan valores máximos. El alto valor de la presión en la noche genera que el agua que escapa por las fugas de la red sea máxima, a causa de la relación entre presión y fugas explicada en el capítulo III, sección 2.1.

Cómo la pérdida total ($\%ANC$) tiene una componente técnica y una comercial, al conocerse el $\%Pérdida_{técnica}$ puede estimarse la pérdida comercial:

$$\%Pérdida_{comercial} = \%ANC - \%Pérdida_{técnica} \quad \text{(ec.5)}$$

Dónde:

$\%Pérdida_{comercial}$: Pérdida comercial en un sistema de distribución.
$\%Pérdida_{técnica}$: Pérdida técnica en un sistema de distribución.
$\%ANC$: Porcentaje de Agua No Contabilizada.

1.4.3. Existencia de fugas en matrices de distribución

Para comprobar la existencia de fugas en las matrices, se recomienda comparar el caudal nocturno con el caudal medio diario del día. Según los criterios presentados en la Tabla 2, se puede determinar la existencia de fugas.

Tabla 2: Criterio para determinar la existencia de fugas en matrices de distribución.

Razón Q_{mn}/Q_{medio_dia}	Conclusión
≤ 15%	No hay fugas
Entre 15% y 30%	Fugas probables
≥ 30%	Fugas ciertas

Fuente: (Superintendencia de Servicios Sanitarios)

1.5. Metodologías determinación pérdidas a nivel mundial

1.5.1. Modelo de gestión propuesto por la IWA y Banco Mundial

Este modelo de gestión propone cuatro acciones para controlar los dos tipos de pérdida, como se puede apreciar en la Tabla 3:

Tabla 3: Acciones para controlar las pérdidas técnicas y comerciales.

Perdidas Físicas	Pérdidas Comerciales
Gestión de presiones	Correcto dimensionamiento y selección de medidores
Control activo de fugas	Minimizar errores en la transferencia de datos
Rapidez y calidad de las reparaciones	Minimizar errores en el análisis de datos
Gestión de activos: selección, instalación, mantenimiento y reemplazo	Minimizar el fraude y robo de agua

Fuente: (Elaboración propia)

En la Figura 1 se tiene un esquema realizado por la International Water Association (IWA), organización que trabaja para crear conciencia de la importancia del agua en el mundo y desarrolla proyectos enfocados en soluciones para el manejo del agua potable y residual. El esquema mencionado representa la división que idealmente debería realizarse para determinar el agua facturada y no facturada en un sistema de distribución de agua potable.

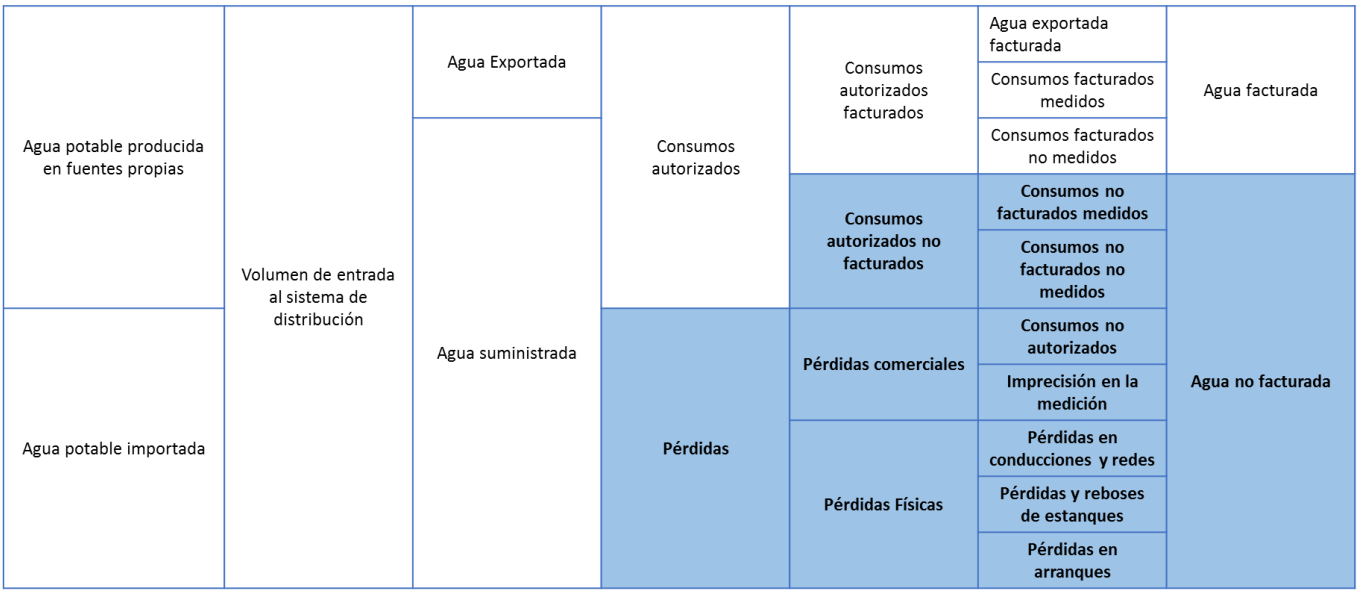

Figura 1:Esquema del balance de agua de la IWA en [m3/año]
Fuente: (International Water Association, IWA)

A través de este modelo, se observó que las pérdidas (cuadros destacados con color en la Figura 1) en los sistemas bien gestionados ocurren principalmente en los arranques más que en las redes.

Se propuso como indicador básico el Indicador Técnico de Pérdidas Reales (Current Annual Real Losses):

$$\boldsymbol{CARL} = \frac{(Vol\ in - Vol\ fact) \times 1000}{Nc \times dias}, [l/arranque\ \times día] \qquad \text{(ec.6)}$$

y las Pérdidas físicas Anuales Inevitables (Unavoidable Annual Real Losses):

$$\boldsymbol{UARL} = (18 \times Lm + 0.80 \times Nc + 25 \times Lp) \times P, [l/día] \qquad \text{(ec.7)}$$

Entonces,

$$\boldsymbol{ILI} = \frac{\boldsymbol{CARL}}{\boldsymbol{UARL}} \qquad \text{(ec.8)}$$

El ILI (Índice de fugas en la Infraestructura en español) representa cuantas veces son las pérdidas físicas de las inevitables. Su valor mínimo es 1 y corresponde a un sistema ideal donde las pérdidas físicas son las inevitables, sin espacio para disminuirlas.

Si bien el ILI es un indicador que permite realizar comparaciones entre diferentes sistemas o en el mismo sistema, pero en diferentes tiempos, su monto es indicativo del estado en que se encuentra el sistema. Un ILI anormalmente alto puede reflejar una alta disponibilidad de recursos hídricos y/o un nivel anormalmente bajo de tarifas. En la

Tabla 4 se presenta la interpretación de los valores del ILI, para un análisis desde el punto de vista financiero, operacional y de los recursos hídricos.

Tabla 4: Interpretación del ILI.

Valor del ILI	|Interpretación desde punto de vista		
	Financiero	**Operacional**	**Recursos Hídricos**
1 – 3	Fuentes de aguas muy caras y posibilidad de subir las tarifas remota.	ILI's más altos requiere expansión de la infraestructura o recursos hídricos adicionales.	Recursos hídricos disponibles limitados y difíciles de obtener.
> 3 – 5	Fuentes de agua disponibles a un costo razonable y la posibilidad de subir las tarifas es tolerable.	La infraestructura existente es adecuada para satisfacer las demandas de largo plazo con un programa de control de pérdidas activo.	Los recursos hídricos son suficientes para el largo plazo, pero se considera la intervención de la demanda en el largo plazo.
> 5 – 8	Fuente de agua barata y tarifas bajas.	Integridad, capacidad y confiabilidad de la infraestructura, inmune a escasez de agua.	Recursos hídricos abundantes y confiables y fácilmente extraíbles.
> 8	Consideraciones del tipo operacional y financiero pueden permitir ILI > 8, pero no es una efectiva utilización de recursos hídricos. A menos que sea un logro incremental, ILI > 8 no es recomendable.		
< 1	Caso teóricamente imposible. Podría deberse a un error en la cuantificación o en datos para el CARL o UARL.		

Fuente: (ECONSSA, 2014)

A partir del estado en que se encuentra un sistema, se pueden formular diferentes intervenciones. Se plantea una "ruta lógica" para evolucionar desde un estado con ILI muy alto (mala gestión de ANF) a un estado de mejor calidad en periodos de 3 a 5 años.

Si un sistema está bien gestionado, será difícil identificar mejoras adicionales al mantenimiento o a la gestión de activos, pero si se puede refinar intervenciones como gestión de presiones, entre otras.

El Banco Mundial utiliza el ILI para fijar metas de eficiencia, en países desarrollados y en vías de desarrollo. Clasifica a los países de acuerdo a los rangos de pérdidas presentados en la Tabla 5.

Tabla 5: Meta de pérdidas físicas del Banco Mundial

Categoría de desempeño técnico		ILI	Pérdidas físicas lt/arranque/día cuando el sistema está a una presión promedio de:				
			10 mca	20 mca	30 mca	40 mca	50 mca
Países desarrollados	A	1 – 2		< 50	< 75	< 100	<125
	B	2 – 4		50 – 100	75 – 150	100 – 200	125 – 250
	C	4 – 8		100 – 200	150 – 300	200 – 400	250 – 500
	D	>8		>200	>300	>400	>500
Países en vías de desarrollo	A	1 – 4	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250
	B	4 – 8	50 – 100	100 – 200	150 – 300	200 – 400	250 – 500
	C	8 – 16	100 – 200	200 – 400	300 – 600	400 – 800	500 – 1000
	D	>16	>200	>400	>600	>800	>1000

Fuente: (ECONSSA, 2014)

1.5.2. Metodología BABE

Esta metodología, desarrollada por Allan Lambert en 1997 para la UK National Leakage Control Initiative, permite modelar y estimar volúmenes correspondientes a los diferentes componentes de pérdidas técnicas por medio de los conceptos Burst and Background Estimates (BABE), los que consideran en su análisis a las fugas de fondo, las fugas comunicadas y no comunicadas.

El análisis requiere mediciones de caudal mínimo nocturno en un sector determinado (en la literatura se le puede encontrar como Distritos Hidrométricos), idealmente aislado hidráulicamente de otros sectores.

El modelo BABE ayuda a determinar el uso nocturno normal, teniendo como criterio universal que durante la noche un 6% de la población está activa, y que la tasa de consumo nocturno es de 10 [l/persona activa] [4][5]. No obstante, hay que diferenciar también los usuarios normales (domésticos), los usuarios pequeños no domésticos y los usuarios grandes no domésticos.

Además, es fundamental tener la cantidad de clientes, la longitud de tuberías, la cantidad de arranques, la población estimada, la medición del caudal mínimo nocturno y las presiones en la red (máxima, mínima y media), la producción a la salida del estanque del mes y la facturación del mes. Estos parámetros de entrada se utilizan para calcular los parámetros de la metodología y los indicadores posteriores.

[4] Dato obtenido por la Water Research Center.
[5] ESVAL acepta utilizar estos valores como criterio para el análisis de pérdidas.

Para algunos datos se utilizan los valores sugeridos por la literatura, tales como tasas promedio de fuga de fondo, consumo de inodoros y población activa durante la noche. Estos se presentan a continuación en la Tabla 6, teniendo en cuenta que serán aplicados para el análisis del sistema completo de la Gran Alimentadora y por sector.

Tabla 6: Tabla de Valores sugeridos para aplicar en la metodología BABE

Parámetro	Unidad	Valor sugerido
Fugas de fondo en tuberías	l/km/hr	40
Fugas de fondo en arranques	l/arranque/hr	3
Fugas de fondo en accesorios	l/conexión/hr	1
Población activa durante la noche	%	6%
Cantidad de agua usada en inodoros	l/persona/hr	10
Exponente de fugas de fondo		1.5
Exponente de roturas		0.5
Tasa de flujo por rotura	m^3/hr	1.6

Fuente: (Ariscaín, 2014)

Los parámetros e indicadores a calcular para tener una idea de la condición de la red en base a las pérdidas son los siguientes:

a) Parámetros de fugas

- Uso normal nocturno

$$UNN[m^3/hr] = UND + UNDPU + UNDGU \quad \text{(ec.9)}$$

$$UND\ [m^3/hr] = \frac{PE \times PADN \times CAUI}{1000} \quad \text{(ec. 10)}$$

$$UNDPU\ [m^3/hr] = \frac{PUND \times MCPUND}{días\ mes \times 24} \quad \text{(ec. 11)}$$

$$UNDGU\ [m^3/hr] = \frac{GUND \times MCGUND}{días\ mes \times 24} \quad \text{(ec. 12)}$$

Donde:

UNN: Uso normal nocturno, [m^3/hr].
UND: Uso normal doméstico, [m^3/hr].
$UNDPU$: Uso normal doméstico pequeños usuarios, [m^3/hr].
$UNDGU$: Uso normal doméstico grandes usuarios, [m^3/hr].
PE: Población estimada, [personas].
$PADN$: Población activa durante la noche, [%].
$CAUI$: Cantidad agua usada en inodoros, [l/persona/hr].
$PUND$: Cantidad pequeños usuarios no domésticos, [clientes].
$MCPUND$: Media de consumo pequeños usuarios no domésticos, [m^3/clientes] .
$GUND$: Cantidad grandes usuarios no domésticos, [clientes].
$MCPUND$: Media de consumo pequeños usuarios no domésticos, [m^3/clientes].

- Fugas de fondo

$$FF\ [m^3/hr] = FFT\ +\ FFC\ +\ FFA \qquad \text{(ec.13)}$$

$$FFT\ [m^3/hr]\ = \frac{LT \times TFFT}{1000 \times 1000} \qquad \text{(ec. 14)}$$

$$FFC\ [m^3/hr]\ = \frac{Nc \times TFFC\ ]}{1000} \qquad \text{(ec. 15)}$$

$$FFA\ [m^3/h] = \frac{Np \times TFFA\ ]}{1000} \qquad \text{(ec. 16)}$$

Donde:

FF: Fugas de fondo, [m^3/hr].
FFT: Fugas de fondo en tuberías, [m^3/hr].
FFC: Fugas de fondo en conexiones, [m^3/hr].
FFA: Fugas de fondo en arranques, [m^3/hr].
LT: Longitud de tuberías, [m].
$TFFT$: Tasa fugas de fondo en tuberías, [l/km/hr].
Nc: Número de arranques, [unidad].
Np: Número de propiedades, [unidad].
$TFFC$: Tasa fugas de fondo en conexiones, [l/arranque/hr].
$TFFA$: Tasa fugas de fondo en propiedades, [l/propiedad/hr].

- Fugas de fondo a presión media nocturna

$$FFPMN\ [m^3/hr] = FF\ \times PMN \times FCP \qquad \text{(ec. 17)}$$

Donde:

$FFPMN$: Fugas de fondo a presión media nocturna, [m^3/hr].
FF: Fugas de fondo, [m^3/hr].
PMN: Presión media nocturna, [mca].
FCP: Factor corrector de la presión.

- Fugas Físicas

$$FMN\ [m^3/hr] = FMNM \times 3.6 \qquad \text{(ec. 18)}$$

$$FFN\ [m^3/hr] = FMN\ -\ UNN \qquad \text{(ec. 19)}$$

Donde:

FMN: Flujo mínimo nocturno, [m^3/hr].
$FMNM$: Flujo mínimo nocturno medido, [l/s].
FFN: Fuga física nocturna, [m^3/hr].
FMN: Flujo mínimo nocturno, [m^3/hr].

Además, se tienen otros indicadores que ayudan a tener un panorama del estado general de la red y de las pérdidas en el sistema de distribución.

b) Indicadores técnicos

- Pérdidas por distribución

$$\%PD = \frac{ANC}{PSE} \quad \text{(ec. 20)}$$

Donde:

$\%PD$: Pérdidas por distribución.
ANC: Agua No Contabilizada.
PSE: Producción a la salida del estanque, [m^3/mes].

- Pérdidas técnicas

$$PT\ [m^3/mes] = \%Pérdida^{6}{}_{técnica} \times PSE \quad \text{(ec. 21)}$$

$$\%PT = \frac{PT}{ANC} \quad \text{(ec. 22)}$$

$$\%PTD = \frac{PT}{PSE} \quad \text{(ec.23)}$$

Donde:

PT: Pérdidas técnicas, [m^3/mes].
$\%Pérdida_{técnica}$: Pérdida técnica en un sistema de distribución.
PSE: Producción a la salida del estanque, [m^3/mes].
PT: Pérdidas técnicas, [m^3/mes].
$\%PTD$: Pérdidas técnicas por distribución.
ANC: Agua No Contabilizada.
PSE: Producción a la salida del estanque, [m^3/mes].

- Pérdidas comerciales

$$PC\ [m^3/mes] = \%Pérdida_{comercial} \times PSE \quad \text{(ec. 24)}$$

$$\%PC = \frac{PC}{ANC} \quad \text{(ec. 25)}$$

$$\%PCD = \frac{PC}{PSE} \quad \text{(ec.26)}$$

[6] Se obtiene según lo explicado en la sección 1.4 del capítulo III.

Donde:

PC: Pérdidas Comerciales, [m^3/mes].
$\%Pérdida_{comercial}$: Pérdida comercial en un sistema de distribución.
PSE: Producción a la salida del estanque, [m^3/mes].
PC: Pérdidas Comerciales, [m^3/mes].
$\%PCD$: Pérdidas comerciales por distribución.
ANC: Agua No Contabilizada.
PSE: Producción a la salida del estanque, [m^3/mes].

- Estado general de la Red

$$EGR\ [l/(s \times km)] = \frac{PT \times 10^6}{días\ mes\ \times 86400 \times LT} < 0.35 \qquad \text{(ec. 27)}$$

Donde:

EGR: Estado general de la red, [l/s/km].
PT: Pérdidas técnicas, [m^3/mes].
LT: Longitud de tuberías, [m].

- Estado general de los arranques

$$EGA\ [l/(arranque \times hr)] = \frac{PT \times 1000}{días\ mes\ \times 24 \times NC} < 15 \qquad \text{(ec. 28)}$$

Donde:

EGA: Estado general de los arranque, [l/hr/arranque].
PT: Pérdidas técnicas, [m^3/mes].
Nc: Número de arranques, [unidad].

c) Indicadores económicos

- Costos por pérdidas de distribución

$$CPPD\ [\$] = CPT + CANC \qquad \text{(ec. 29)}$$

$$CPT\ [\$] = PT \times Cw \qquad \text{(ec. 31)}$$

$$CANC\ [\$] = PC \times T \qquad \text{(ec.31)}$$

Donde:

$CPPD$: Costo por pérdidas de distribución, [$].
CPT: Costo por pérdida técnica, [$].
$CANC$: Costo por agua no comercializada, [$].

PT: Pérdidas técnicas, [m^3/mes].
Cw: Costo variable promedio de producción de agua potable, [\$/m^3].
PC: Pérdidas Comerciales, [m^3/mes].
T: Tarifa, [\$/m3].

- Beneficio neto perdido por fugas

$$BNPF\ \% = \frac{CPT}{F \times T} \qquad \text{(ec. 32)}$$

Donde:
$BNPF$: Beneficio neto perdido por fugas, [%].
CPT: Costo por pérdida técnica, [\$].
F: Facturación, [m^3]/mes].
T: Tarifa, [\$/m3].

- Beneficio neto perdido por no facturación

$$BNPNF\ \% = \frac{CANC}{F \times T} \qquad \text{(ec. 33)}$$

Donde:
$BNPNF$: Beneficio neto perdido por no facturación, [%].
$CANC$: Costo por agua no comercializada, [\$].
F: Facturación, [m^3]/mes].
T: Tarifa, [\$/m^3].

- Beneficio neto total perdido

$$BNTP\ \% = \frac{CPPD}{F \times T} \qquad \text{(ec. 34)}$$

Donde:
$BNTP$: Beneficio neto total perdido, [%].
$CPPD$: Costo por pérdidas de distribución, [\$].
F: Facturación, [m^3]/mes].
T: Tarifa, [\$/m^3].

A continuación, en la Figura 2, Figura 3 y Figura 4 se tienen cuadros resumen de las ecuaciones de la Metodología BABE presentadas en esta sección.

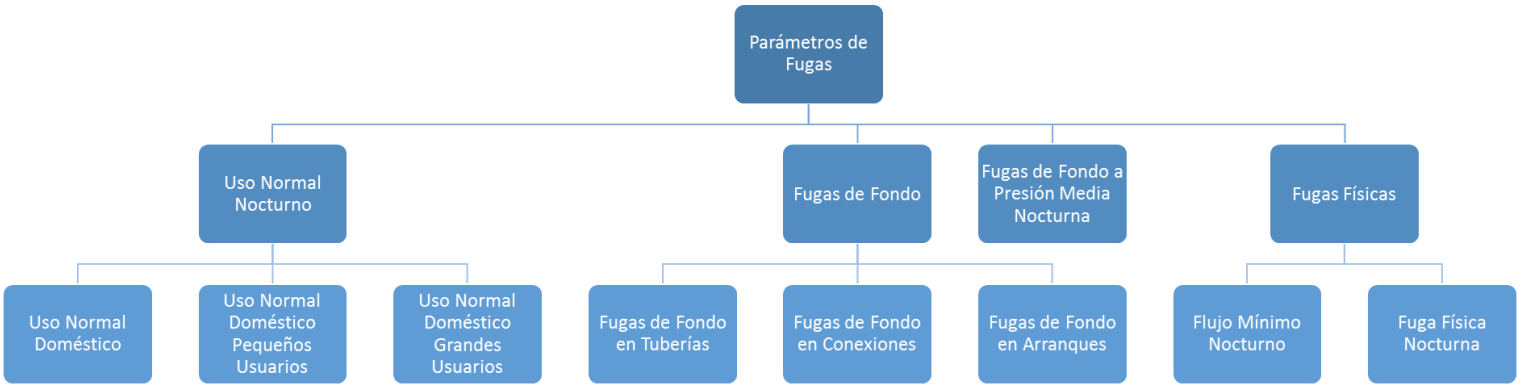

Figura 2: Cuadro resumen de los Parámetros de Fugas calculados en la Metodología BABE.
Fuente: (Elaboración propia)

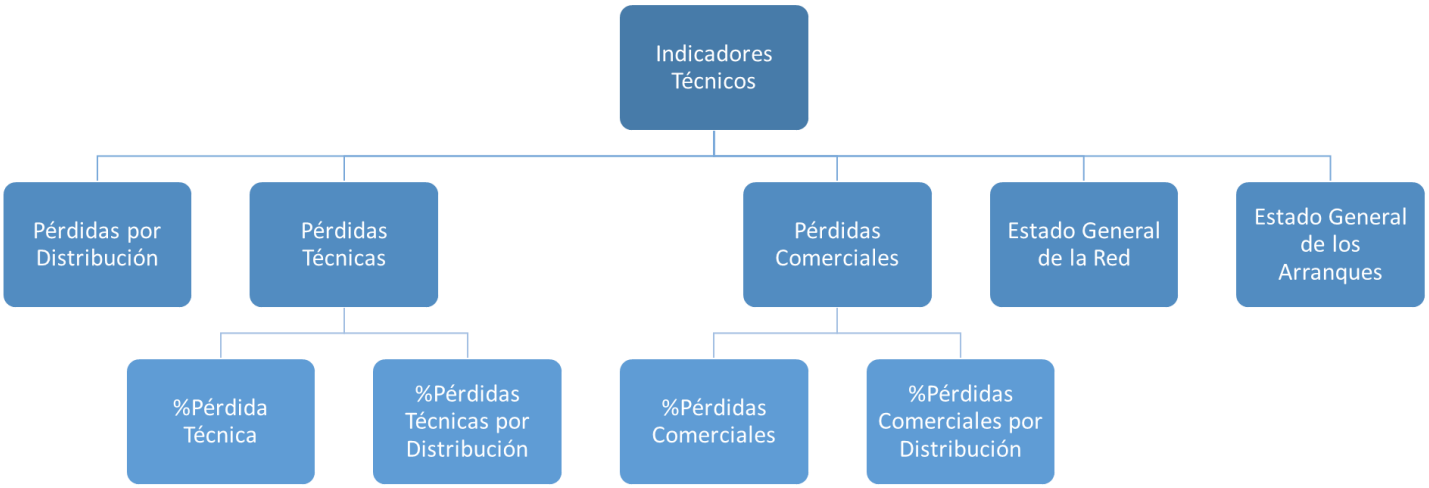

Figura 3: Cuadro resumen de los Indicadores Técnicos calculados en la Metodología BABE.
Fuente: (Elaboración propia)

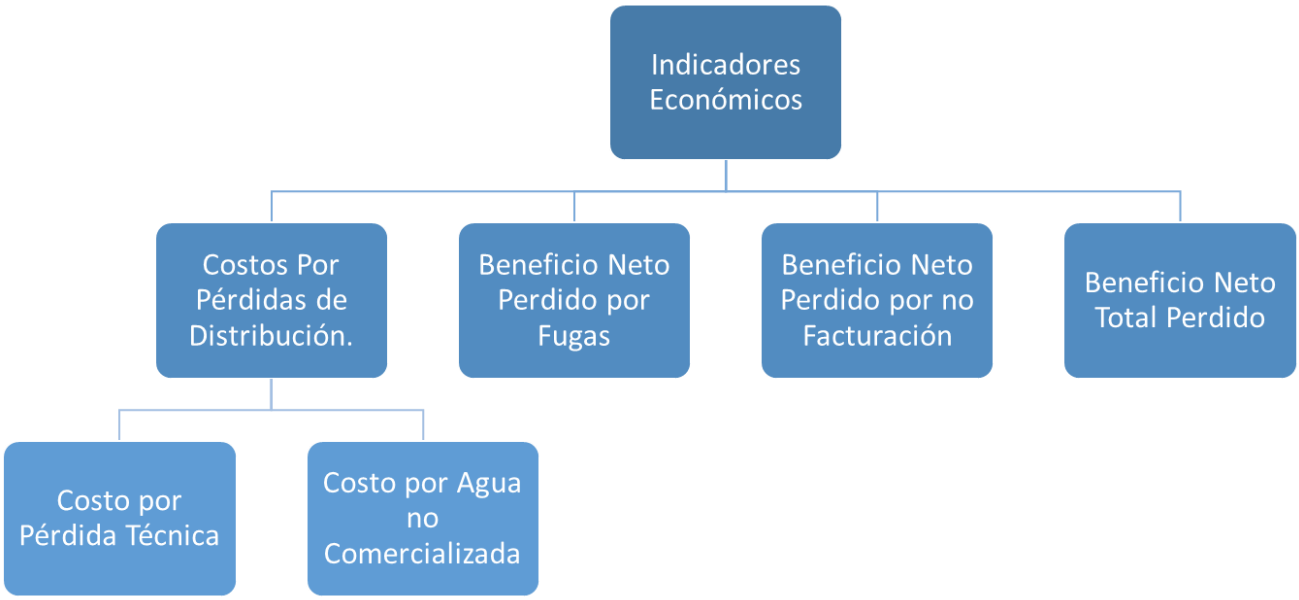

Figura 4: Cuadro resumen de los Indicadores Comerciales calculados en la Metodología BABE.
Fuente: (Elaboración propia)

2. Presión

La gestión de la presión es una actividad clave en la reducción de las pérdidas de agua y en la disminución de la frecuencia de aparición de fugas en las redes de tuberías de un sector. El objetivo es poder asegurar una presión de operación mínima durante las 24 horas del día en todos los puntos de la red.

La presión mínima se alcanza en los puntos críticos de la red que, dados por su cota y/o la distancia a los estanques de alimentación, generan restricciones hidráulicas. Esa misma presión mínima se alcanza en tiempos cortos que coinciden con la alta demanda del sistema. Se tiene como criterio de diseño que durante una gran parte del día el sistema tiene presiones excesivas de servicio.

Hace varios años, en Japón y en Reino Unido se reconoce una relación explícita entre las fugas y la presión, donde el área de algunos tipos de fugas también cambia con la presión.

2.1. Relación presión y fugas

La relación entre la presión y el caudal de fugas se puede expresar como:

$$Qf = c_d \times A_f \times \sqrt{2gh} \qquad \text{(ec. 35)}$$

Donde:

Qf: Caudal que escapa por las fugas
Cd: Coeficiente de descarga.
Af: Área de la fuga.
g: Gravedad.
h: Altura.

Las fugas pequeñas son muy sensibles a la presión debido al cambio en Cd (Cd puede variar debido al régimen del flujo). También, el área de fuga cambia con los cambios de presión.

El IWA Water Loss Task Force junto con el programa de investigación de la industria del agua del Reino Unido, recomiendan el uso de una expresión exponencial simple para representar la relación entre la presión de operación y las fugas (Deutsche Gessellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, VAG-Armaturen Gmbh, Intitute for Ecopreneurship (IEC), Institute for Water and River Basin MAnagement (IWG), 2011).

$$\frac{Q_{f1}}{Q_{f0}} = \left(\frac{P1}{P0}\right)^{N1} \qquad \text{(ec. 36)}$$

Donde:

Q_{f1}: Caudal de fuga después de reducir la presión.
Q_{f0}: Caudal de fuga antes de reducir la presión.
P_1: Presión luego de su reducción.
P_0: Presión antes de su reducción.
N_i: exponente que relaciona presión en la tubería y fugas, entre 0.5 y 1.5.

N1 se encuentra generalmente entre 0.5 y 1.5. Los japoneses emplean un valor promedio de 1.15. Se puede decir que N1 depende del material de la tubería y el nivel de fugas en la zona determinada. Para fugas de fondo, N1 es cercano a 1.5, independiente del material de la tubería.

Si se considera que las paredes de la tubería asimilan la presión del agua, al aumentarla, las fisuras pequeñas pueden abrirse y crear nuevas fugas. Algunos estudios han evidenciado que, para sistemas con servicio continuo, la frecuencia de roturas en tuberías se incrementa cuando la presión de servicio excede los 65 mca.

2.2. Gestión de la presión

Es la forma de manejar las presiones de un sistema con el objetivo de que éste trabaje a niveles óptimos, asegurando un suministro suficiente y eficiente para los consumidores. Este proceso se logra mediante la reducción de las presiones excesivas, eliminando transiciones y controles de nivel defectuosos. Si bien no toda el agua no contabilizada se debe a las fugas, se sabe que una gestión ineficaz de la presión provoca que las fugas aumenten bastante.

La gestión de la presión tiene como propósito reducir las presiones excesivas durante los períodos de baja demanda, que es cuando aumenta. Esto generaría un funcionamiento homogéneo de la red, una reducción en el caudal y en la aparición de roturas y fugas. Asimismo, su eficiencia depende del material de la red y de la condición general del sistema, ya que tiene un alto impacto en las fugas de fondo.

Actualmente, la gestión de presión es la base para un manejo óptimo de los sistemas de distribución de agua. Se utiliza para el control de fugas, la gestión de la demanda, la conservación del agua y la gestión de los activos. Por otro lado, hay que tener claro que la gestión de la presión sólo ayuda a disminuir los impactos, pero no soluciona completamente las causas de la pérdida de agua.

Al mismo tiempo, hay que tener presente que mantener los niveles de presión dentro de un rango de poca variación involucra un aumento en los costos de ejecución y operación del sistema. Además, la energía es el producto de mayor costo para una empresa.

a) Ventajas y Costos de la Gestión de la Presión (Fantozzi, 2014)

- Ventajas y Beneficios

  - Reducción de las tasas de caudal de fuga.
  - Posible reducción de la frecuencia de los reventones en redes y servicios.
  - Ampliación de la vida útil residual de los activos.
  - Menor costo de reparación y reinstalación.
  - Menos problemas en las conexiones de servicio de los clientes y sistemas de fontanería.
  - Reducción de la frecuencia de rotura.
  - Reducción de algunos componentes del consumo.
  - Presión de suministro más uniforme.
  - Reducción de costos energéticos.

- Costos de implementar una correcta gestión de la presión

- Costos de diseño: Para estudiar y definir la alternativa más adecuada de gestión de presiones en cada sector.
- Costos de construcción: De una cámara tipo para el alojamiento de los elementos de maniobra y control.
- Costos de mantenimiento y control.

b) Elementos de control

- Válvulas de control automáticas

Estas válvulas controlan el gasto y la presión en la tubería. Pueden reducir el caudal, dejarlo constante o mantener la presión en un punto determinado.

- Válvulas reductoras de presión (VRP): En zonas donde la diferencia de cotas es muy grande, conviene instalar una VRP para reducir la presión aguas arriba de la zona a una presión menos aguas abajo y así disminuir la carga que aporta la diferencia de cotas.

- Válvulas sostenedoras de presión: Mantiene la presión constante aguas arriba de la válvula en un determinado nivel para así asegurar una cierta carga y el suministro en la red, sin ser afectado por los cambios en las tasas de flujo o la presión aguas abajo.

- Sensores de presión

Miden la presión en un punto determinado de la red (generalmente trabajan en conjunto con las VRP) y almacenan la información de un periodo de tiempo y permiten detectar cualquier anomalía de forma remota. Algunos permiten ingresar un rango de presiones y que se emita una alerta cuando se registran presiones que están fuera de los límites de presión establecidos.

c) Problemas

- Componente de fuga del ANC

El componente de fuga varía entre un 50% y un 95%, dependiendo de las pérdidas por robo de agua y submediciones.

Al reducir la frecuencia de aparición y la tasa del caudal de las fugas, la gestión de la presión podría ayudar en dos aspectos. En primero lugar, a disminuir la cantidad de dinero que se invierte en producir y/o adquirir el agua. En segundo lugar, a rebajar el consumo energético en bombear y tratar el agua que se distribuirá a los consumidores.

- Eficiencia energética

Después de la mano de obra, la energía tiene el mayor costo operativo para la empresa. Los sistemas de aguas y de aguas residuales gastan alrededor de 4.000 millones de dólares al año en la energía

utilizada en la captación, tratamiento y distribución del agua. Se espera que el consumo energético de las empresas crezca más de un 20% en los próximos 15 años.

- Costos operativos y de mantenimiento

- Priorización y asignación estratégica de gastos de capital: El uso de herramientas de gestión de la presión puede lograr un ahorro entre el 10% y el 15% si la inversión se hace estratégicamente. Esto significa que al año pueden ahorrarse cerca de 2.000 millones de dólares.

- Relación entre presión y frecuencia de reventones: Se demostró que la reducción de presiones excesivas en zonas con una alta frecuencia de aparición de fugas puede tener un efecto importante en la reducción de su aparición. Se realizaron 112 estudios de casos en 11 países (mayoritariamente europeos), en donde se demostró una reducción porcentual media en la frecuencia de fugas de 1,4 veces la reducción porcentual en la presión media para la red. La relación entre la reducción de la presión y las fugas se utiliza para predecir prácticas en los cambios de frecuencia.

- Aplazamiento de las renovaciones y priorización y asignación estratégicas de gastos de capital: Aquellas empresas que renuevan sus redes basándose en la cantidad de apariciones de fugas por km de red en una cierta cantidad de años, están conservando algunas redes que deberían haberse sustituido hace años. El ahorro económico de una renovación puede representar un costo muchísimo menor que el costo en reparar las redes.

d) Oportunidades y soluciones

El primer objetivo es identificar los transientes de presión y disminuir sus efectos negativos. Lo segundo, es tener un suministro continuo con una presión menor, ya que reduce la cantidad de caudal de fuga cuando se presuriza el sistema.

Al bajar la presión excesiva en sólo un 10%, se reducen las fugas y los reventones inesperados. También, se aplaza la inversión en renovaciones, la infraestructura amplía su vida útil y se genera un ahorro energético.

3. Caracterización medidores de caudal

En esta sección se presentan los equipos de medición de caudal que utiliza ESVAL S.A. en sus redes de distribución. Dos de estos tipos de equipos son relevantes para la obtención de los datos empleados en este trabajo, con el fin de realizar el análisis de pérdidas de la empresa.

Los equipos pueden ser de dos tipos: de Inserción o tipo Clamp-On. Los equipos de inserción se instalan en el punto de la tubería donde se quiere registrar el caudal, mientras que los de tipo Clamp-On se instalan sobre la superficie de la tubería con un sistema de cadenas, sin dañarla. Para este último tipo de equipo de medición de caudal, se necesita una fuente externa de energía, la que también es descrita en este capítulo.

La elección del mecanismo a utilizar por parte de la empresa depende de las características en terreno de las redes de agua potable donde se quiere registrar el caudal y del costo del equipo y de su instalación.

3.1. Equipos de Inserción

3.1.1. Seametrics[7] - Electromagnético: Serie EX100/200

Este equipo es el macromedidor instalado a la salida del estanque Lyon, que registra todo el caudal que alimenta al sistema Gran Alimentadora. Este instrumento, mostrado en la Figura 5, es un tipo de medidor electromagnético de inserción (serie EX100/200) desarrollado por la empresa Seametrics Inc.

Figura 5: Medidor Electromagnético de Inserción Serie EX100/200
Fuente: (Catálogo Seametrics)

[7] Fuente: Catálogo Seametrics

En cuanto a sus características, este instrumento no tiene piezas removibles, es de profundidad ajustable, está disponible con una conexión directa a una salida roscada y permite flujo bi-direccional e inmersión. Respecto a su materialidad, existen modelos en bronce o acero. Por otro lado, puede ser empleado en líquidos limpios y con residuos, conductivos y de tipo industrial, municipal, entre otros.

Al ser de inserción, su sensor debe quedar insertado a una profundidad adecuada dentro de la tubería para el correcto registro de los datos. Para mejores resultados, el equipo debe ser instalado como se indica en la Figura 6, con un mínimo de 10 diámetros de tubería aguas arriba del flujo de agua y 5 aguas abajo, el punto de instalación debe estar alejado de singularidades de la red y de puntos en donde exista flujo turbulento.

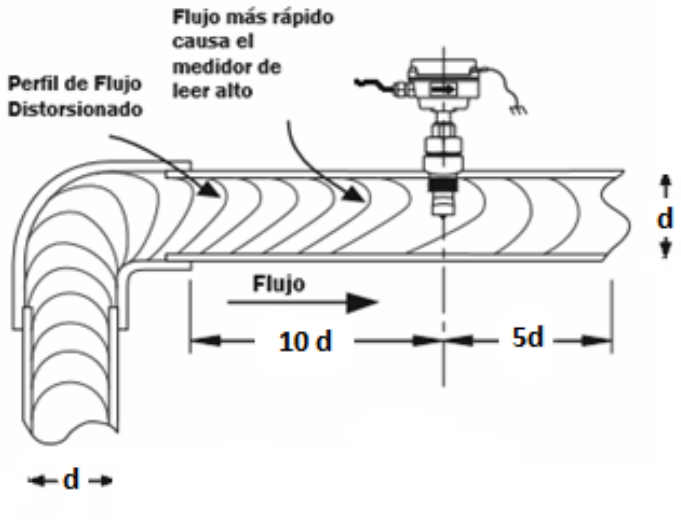

Figura 6: Distancia apropiada de instalación del medidor de inserción.
Fuente: (Catálogo Seametrics).

El medidor de inserción produce un flujo magnético en reversa que, al pasar el flujo a través de él, genera un voltaje que es medido y traducido en una señal de frecuencia proporcional a la tasa de flujo. La lectura del equipo ofrece la indicación de flujo total con una salida de 4 – 20 mA. Trabaja en un rango de flujo que va desde 0.08 m/s a 6.09 m/s.

En cuanto a la orientación de instalación, la recomendada es con un flujo vertical en una dirección hacia arriba (Figura 7), porque mejora el desempeño de bajo flujo y evita problemas con sedimentos o aire atrapado.

Respecto a la duración de la batería, se espera que sea de aproximadamente 5 años, desde que el equipo esté configurado para que envié una señal cuando registre que han pasado 10 litros por el punto de medición. En base al tiempo transcurrido y al caudal, se puede calcular el volumen de agua en un periodo determinado. Es así que, con la condición de trabajo del equipo y la larga duración de su batería, no se necesitaría una fuente de energía externa que lo alimente.

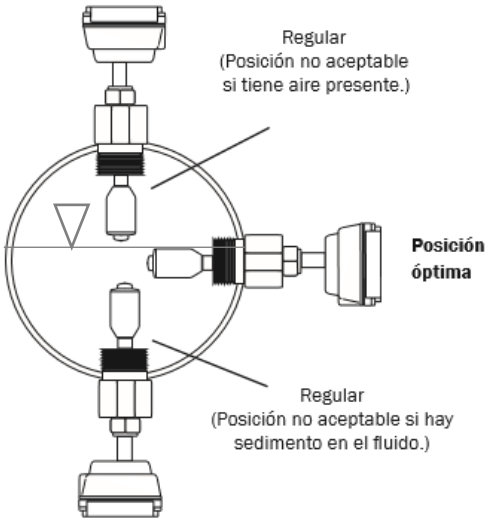

Figura 7: Instalación dentro de la tubería del medidor de inserción.
Fuente: (Catálogo Seametrics)

3.1.2. F-3600 de ONICON[8]

Es un flujómetro de inserción electromagnética (Figura 8) diseñado para medir de forma exacta el flujo de agua en instalaciones remotas, en tuberías con diámetros entre 3'' a 40" (7,6 cm a 101,6 cm aproximadamente). Ofrece ± 2% de grado de exactitud, incluye dos salidas de pulso programables de flujo totalizado y posee una alarma de indicación de flujo. Adicionalmente, incluye un datalogger interno que registra los datos de flujo con fecha y hora, el cual es capaz de almacenar el equivalente a 10 años de datos.

Figura 8: Flujómetro de inserción electromagnética F-3600.
Fuente: (Catálogo ONICON)

[8] Fuente: Catálogo ONICON's F-3600 electromagnetic

Una de las ventajas del instrumento es que puede ser instalado y/o removido de la tubería sin la necesidad de cortar el suministro de agua potable a los clientes.

Además, incluye una batería interna capaz de durar hasta 15 años con un set de 6 baterías de litio tipo D. Si se le conecta una fuente de energía externa, esta debe ser de 10 V a 30 V en corriente alterna o corriente continua.

Otras características se resumen como:

- Rango de flujo: 0.033 ft/s a 33 ft/s (0.01 m/s a 10.06 m/s)
- Mínima conductividad: 10 µS/cm
- Rango de temperatura del fluido: 32°F a 212°F (0°C a 100°C)
- Presión de operación: máximo 362 psi (254.52 mca)

3.2. De carrete

3.2.1. Octave[9]

Este instrumento, presentado en la Figura 9, puede ser utilizado en tuberías que transporten líquidos industriales, aguas con residuos y también en redes de distribución de agua en la agricultura. Está disponible en diámetros de 50 - 300 mm y con cuerpo de polímero en 40 y 50 mm.

Figura 9: Medidor de flujo ultrasónico.
Fuente: (Catálogo Octave)

El medidor de flujo ultrasónico tiene una tecnología de doble haz para una medición precisa y ultra fiable, no tiene partes movibles y su batería puede durar hasta 10 años. Además, es capaz de registrar flujos con velocidad baja, lo que permite tener un buen catastro de datos de caudal.

Su principio de funcionamiento consiste en emitir dos ondas de sonido, una en contra de la corriente (B) y otra a favor (A). La onda que está en la misma dirección del flujo se mueve más rápido que la onda contraria. El tiempo de tránsito entre A-B y B-A es directamente proporcional a la velocidad del flujo (Vm). La tasa de caudal es el resultado de multiplicar la velocidad por el área transversal de la sección del tubo.

[9] Fuente: Catálogo Octave

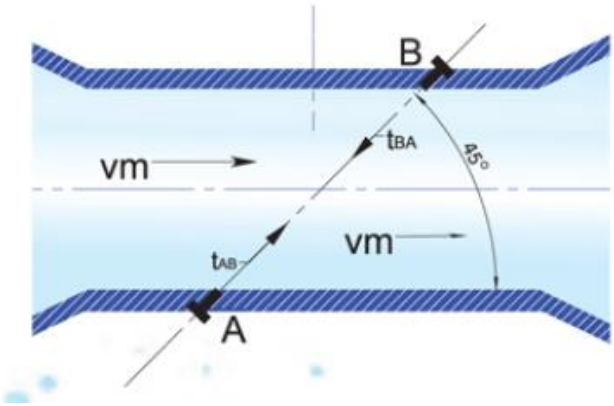

Figura 10: Principio de funcionamiento Flujómetro Octave.
Fuente: (Catálogo Octave)

Sin embargo, lo complejo de este equipo es la instalación, ya que va insertado en la tubería. Por lo tanto, se requiere detener el suministro de agua potable y cortar un segmento de la tubería para su instalación. Cómo se observa en la Figura 11, el flujómetro puede ser instalado en cualquier posición en la tubería y debe estar lleno de agua todo el tiempo.

Figura 11: Equipo Octave instalado en cualquier posición.
Fuente: (Catálogo Octave)

3.3. Equipo tipo Clamp-on

Este tipo de equipos tiene la ventaja de ser pequeño y de fácil instalación. Sin embargo, su batería interna tiene una duración máxima de 24 horas. Entonces, en la instalación del equipo medidor hay que considerar un generador de energía externo que permita cargar la batería del equipo constantemente.

3.3.1. Panametrics[10]

Este equipo es el mismo que se utilizó para medir caudal en puntos de la Gran Alimentadora, mediciones que son descritas en el capítulo VI. El instrumento de medición de caudal es el Transport PT878, un caudalímetro portátil ultrasónico para líquidos. Es fácil de usar y transportar, y mide el caudal de forma no intrusiva. Además, registra datos de velocidad, caudal volumétrico y caudal total.

Figura 12: Equipo Panametrics instalado.
Fuente: (Catálogo Panametrics)

Este caudalímetro utiliza la técnica de medición de caudal de tiempo de tránsito, en el que dos transductores sirven como generadores y receptores de señales ultrasónicas, los cuales se encuentras instalados en la tubería como aparecen en la Figura 12.

En operación, cada transductor funciona como un transmisor y receptor, generando una determinada cantidad de pulsos acústicos. El intervalo de tiempo entre la transmisión y recepción de las señales se mide en ambos sentidos. Cuando el líquido no fluye, el tiempo de tránsito aguas abajo equivale al tiempo de tránsito aguas arriba. Cuando el agua fluye, el tiempo de tránsito aguas abajo es menor que el tiempo de tránsito aguas arriba.

De esta manera, la diferencia entre los tiempos de transito aguas abajo y aguas arriba es proporcional a la velocidad del líquido que fluye y su señal indica el sentido del caudal. El rango de velocidades (bidireccional) en el que opera el equipos es [-12.2 m/s, 12.2 m/s].

Este equipo de medición posee una batería interna recargable que ofrece hasta 24 horas de funcionamiento continuo. Igualmente, tiene una entrada de cargador de batería de 100 a 200 VCA, 50/60 Hz, 0.38 A. Tiene una salida de corriente de 0.4 a 20 mA, con 55.0 Ω de carga máxima. El

[10] Fuente: Catálogo Panametrics, General Electrics.

usuario puede seleccionar un pulso de salida (estado sólido, 5V como máximo) o una frecuencia (5V de onda cuadrada, 100 a 10,000 Hz).

Por otro lado, el equipo Panametrics se instala grabando los datos en su datalogger interno con intervalos de 1 minuto. Es por esto que, si se le añada una batería externa, ésta puede llegar a durar más de 72 horas, permitiendo tener un registro de 3 días de datos de caudal.

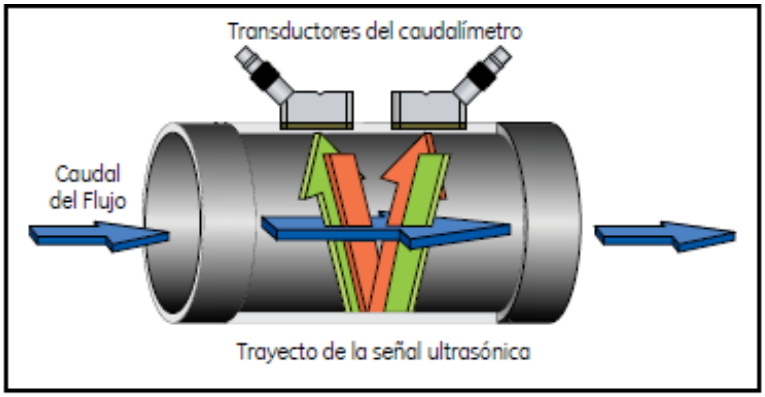

Figura 13: Técnica de medición del caudal por tiempo de tránsito.
(Fuente: catálogo General Electrics)

3.3.2. AquaTrans AT600[11]

Este equipo es un caudalímetro ultrasónico de tiempo en tránsito que mide el caudal de agua en tuberías llenas de forma económica y no intrusiva. El aparato puede registrar datos de velocidad, caudal volumétrico y caudal totalizado. Además, con una instalación adecuada, proporciona una precisión de lectura con un error menor al 1%. El rango de velocidades (bidireccional) en el que opera el equipos es [-12.19 m/s, 12.19 m/s].

Figura 14: Caudalímetro ultrasónico de tiempo en tránsito fijo AguaTrans AT600.
(Fuente: Catálogo General Electrics)

[11] Fuente: Catálogo equipo AquaTrans AT600, General Electrics

Este caudalímetro utiliza la misma técnica de medición de caudal de tiempo de tránsito del Panametrics, en el que dos transductores sirven como generadores y receptores de señales ultrasónicas. En operación, cada transductor funciona como un transmisor y receptor generando una determinada cantidad de pulsos acústicos. El intervalo de tiempo entre la transmisión y recepción de las señales se mide en ambos sentidos. La diferencia entre los tiempos de tránsito aguas abajo y aguas arriba es proporcional a la velocidad del líquido que fluye. Así, su señal indica el sentido del caudal.

Se alimenta de una batería estándar de 85 a 265 VCA, 50/60 Hz u opcional de 12 a 28 VCC. Consume 5W en funcionamiento normal y 10W en funcionamiento máximo.

3.4. Antecedentes generadores de energía

En el caso de tener un equipo tipo Clamp-on, hay que considerar la instalación de una batería externa. Debido a que estos equipos son portátiles, poseen una batería propia que dura como máximo 24 horas.

3.4.1. Batería de ciclo profundo[12]

La fuente de energía que usan los equipos tipo Clamp-On es una batería externa de ciclo profundo (de gel) de la empresa Victron Energy.

En este tipo de batería, el electrolito se moviliza en forma de gel. Gracias a la utilización de rejillas de plomo-calcio y materiales de gran pureza, éstas se pueden almacenar durante un largo tiempo sin necesidad de recarga. El índice de autodescarga es de 2% al mes a 20°C, aunque este porcentaje se duplica por cada aumento de la temperatura en 10°C.

Figura 15: Batería de ciclo profundo, 12V, 100AH.
(Fuente: Catálogo Victron Energy)

Si bien las capacidades de este batería se indican para una descarga de 20 horas, se ha demostrado en terreno con las mediciones de caudal en cámaras de la Gran Alimentadora que esta batería puede

[12] Fuente: Catálogo baterías de ciclo profundo, Victron Energy

llegar a trabajar con el equipo de medición de caudal hasta 72 horas ininterrumpidamente, dependiendo de la configuración de salida del equipo. Como ya se dijo en la descripción del Panametrics, este tipo de baterías puede durar más de 72 horas, ya que se configura para almacenar los datos en su datalogger interno a intervalos de 1 minuto.

3.4.2. Turbina vertical tubular[13] - Modelo LH-1KW

Es una microturbina vertical que se instala en la tubería requerida. Mediante el paso del agua a través de su hélice inferior, genera energía que permite cargar la batería de un equipo puesto en la misma cámara.

Algunas características eléctricas son las siguientes:

a) Voltaje de salida: 12 VDC 300 Watt máximo.
b) Velocidad del generador: 150 rpm.
c) Tipo de generador: Imanes permanentes.
d) Corriente máxima: 25 A en 12 Volt
e) Velocidad del agua en el canal: a 0,5 m/s 100 Watt de generación.

Figura 16: Turbina Vertical Tubular modelo LH-1KW.
(Fuente: Catálogo VSI)

[13] Fuente: Catálogo VSI

3.4.3. Turbina Hidráulica [14] - Modelo X143IP

Es un generador de potencia intermedio, diseñado para instalarse sobre una válvula de control automático. Esta turbina usa la caída de presión a través de la válvula para producir hasta 14 Watts de potencia. Con esta potencia puede ejecutar equipos electrónicos ubicados en el mismo lugar en donde la válvula se encuentra (misma cámara, por ejemplo). Para funcionar necesita una caída de presión mínima de 12 psi (8.44 mca).

Incluye una batería de 12 V con una salida de 12 y/o 24 VDC. De esta manera, cuando está totalmente cargada, la microturbina deja de generar energía automáticamente para maximizar la vida útil de ambos equipos.

Figura 17: Microturbina con batería, modelo X143IP.
Fuente: (Catálogo Cla-Val)

A continuación, en la Tabla 7 se presenta un cuadro resumen de la información señalada en la sección 3 del capítulo III. En él se indica el tipo de medidor, el nombre correspondiente y se señala para los medidores de caudal el tipo de instalación y como miden el caudal; para los generadores de energía se indica cómo deben ser instalados y como generan energía eléctrica.

[14] Fuente: Catálogo Cla-Val modelo X143IP

Tabla 7: Cuadro resumen de equipos medidores de caudal y generadores de energía.

Tipo de Equipo	Nombre del Equipo	Característica principal
Medidor de caudal del tipo Inserción	Seametrics - Electromagnético: Serie EX100/200	Equipo inserta en un punto de la tubería, midiendo el caudal que pasa a través del flujo magnético que genera.
	F-3600 de ONICON	
Medidor de caudal del tipo Carrete	Octave	Equipo instala en un tramo de la tubería, midiendo el caudal a partir de la velocidad de dos ondas que atraviesan el flujo de agua.
Medidor de caudal del tipo Clamp-On	Panametrics	Equipos se instalan en la superficie de la tubería, midiendo el tiempo que demora un pulso en llegar desde un punto A a un punto B, y con ese dato obteniendo el caudal.
	AquaTrans AT600	
Generador de energía	Batería de ciclo profundo	Batería en la cual el electrolito se moviliza en forma de gel, es recargable y no daña la tubería.
	Turbina tubular vertical - Modelo LH-1KW	Turbina se inserta en la tubería, utilizando la energía del flujo para generar energía eléctrica a través de una hélice.
	Turbina Hidráulica - Modelo X143IP	Turbina se instala sobre una válvula reductora de presión. Utiliza la caída de presión que ocurre en la válvula para generar energía eléctrica.

Fuente: (Elaboración propia)

4. Sistema de monitoreo y control de presiones

Para el registro de las presiones de cada tubería, sector y red de agua potable, la empresa utiliza equipos en terreno, los cuales registran los datos de presión según la configuración que se les dé. Estos datos de presión pueden ser revisados de forma remota a través de plataformas entregadas por los distribuidores de estos equipos.

A continuación, se presentan los equipos utilizados por ESVAL S.A. para monitorear y registrar en línea los datos de presiones en puntos de control específicos de la red de distribución de agua potable de Valparaíso.

4.1. I2O Water[15]

Las Válvulas Reductoras de Presión (PRV por sus siglas en inglés) para el control remoto y optimización automática permiten a los usuarios gestionar las presiones en redes de distribución de forma remota y proactivamente, sin la necesidad de visitas a terreno. Esto reduce el costo operacional, ya que no es necesario tener que ir al lugar de instalación para comprobar el estado o para cambiar las configuraciones de presión en el PRV.

I2O Water reduce el consumo de caudal diario y energía, mientras que aumenta el servicio al consumidor. En la Figura 18 se tiene un esquema representativo de la instalación del sistema I2O.

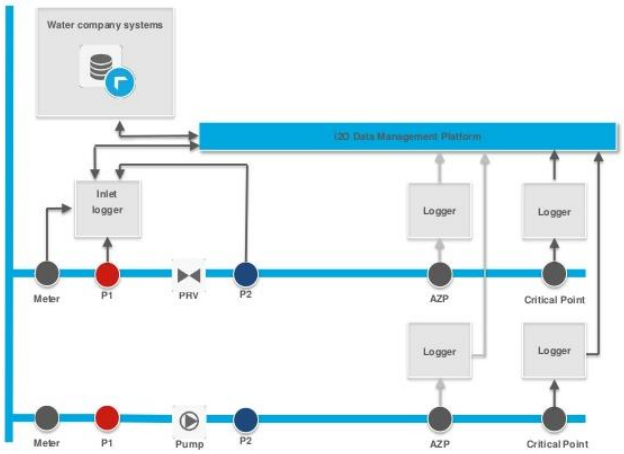

Figura 18: Instalación sistema i2O en la red.
Fuente: (Catálogo i2O Water)

Por una parte, el control remoto permite:

a) Presión de salida fija controlada con precisión.
b) Programar anticipadamente las variaciones conocidas: eventos, suministro intermitente.
c) Implementar una curva de control calculada manualmente.

[15] Fuente: Catálogo i2O online, es.i2owater.com

A su vez, la optimización automática permite:

a) Ajuste de la pérdida de carga relacionada con el flujo.
b) Se adapta a los cambios de la demanda en el tiempo: demanda de incendios, cambios estacionales, culturales y relacionados con el crecimiento.

4.2. Loggers

Los loggers capturan datos precisos desde la red, entregando apoyo de alta calidad en monitoreo. Estos equipos son fáciles de desplegar, mantener y el ingreso de datos es simple.

Además, están únicamente respaldados por una red que permite el trabajo en un software que entrega visibilidad de datos y de la red en una interface muy intuitiva para el usuario. Los gráficos, tablas, reportes y alarmas son fáciles de entender.

4.2.1. Datalogger multilog HWM – Multilog LX SMS[16]

El datalogger Multilog LX SMS tiene la capacidad para una o dos entradas digitales de caudal y una entrada análoga, que puede corresponder a presión interna, presión externa o 4-20mA (Figura 19).

Una entrada de tipo conector militar de cuatro pines, viene configurada de fábrica, ya sea para un canal bi-direccional de caudal o dos canales de una sola dirección de caudal. Con esto, es posible monitorizar el caudal en las tuberías.

Debido a las avanzadas técnicas de compresión de datos SMS, es posible el envío de sólo 1 mensaje diario para descargar los datos de dos canales, bajo una frecuencia de registros cada 15 minutos. El datalogger posee una memoria capaz de almacenar 48,720 lecturas y su batería puede durar hasta 5 años.

La telemetría por SMS puede funcionar con éxito en lugares de pobre intensidad de señal, donde la comunicación de datos por otros medios puede ser muy difícil. A causa de esto, tiene una antena externa que permite mejorar la fuerza de la señal.

Algunas de las aplicaciones típicas de este equipo son:

a) Registro de Puntos Críticos de Presión o Caudal: Puede ser instalado en donde sea necesario monitorizar puntos críticos de presión o caudal, todo hecho a distancia.
b) Monitoreo de Sectores y Cuarteles: Monitorizar caudal, presión o parámetros de calidad del agua. Permite evaluar la demanda y apoyar el monitoreo de fugas de agua.
c) Investigaciones de análisis de la red: Utilizado para realizar análisis dinámicos de caudal y presión.

[16] Fuente: Catálogo dataloggers HWM (www.DNKWater.com).

Figura 19: Datalogger Multilog LX SMS.
Fuente: (Catálogo HWM)

5. Situación en Chile

La SISS se refiere a las pérdidas como Agua No Facturada y lo expresa como porcentaje del volumen producido de agua potable.

La norma NCh 691.Of98 "Agua Potable. Conducción, regulación y distribución", utiliza el término *Agua no contabilizada* y la define como,

"Estas incluyen las pérdidas de agua en las instalaciones, las imprecisiones en la medición, los consumos operacionales y de incendio.

El valor de las aguas no contabilizadas se obtiene de la diferencia entre el volumen de agua producido y el volumen de agua facturado, expresado en porcentaje con respecto al volumen de agua producido." (Nch691.Of98)

En Chile, las pérdidas en promedio se acercan al 35%, con una variabilidad del 10% y 45%. Según la SISS, en el 2014 el porcentaje de agua no facturada de las 27 empresas principales fue de 33.65%, con un valor máximo del 46.30%. Un 74% del agua no facturada corresponde a pérdidas físicas. Además, se estima que el 2014 en Chile se perdieron aproximadamente 270,250,000 m^3 de agua.

Por otro lado, la cobertura de agua potable alcanza a 99,9%, mientras que la de alcantarillado un 96.58% de la población urbana.[17]

Para controlar y fiscalizar el suministro de agua potable, las sanitarias deben entregar a la SISS la siguiente información:

- Continuidad de los servicios de agua potable y aguas servidas.
- El monitoreo de presiones.
- Control de calidad del agua en el suministro de agua potable.

A continuación, se presentan diversos factores que permiten el deterioro de la red de agua potable y, por ende, afectan la calidad y continuidad del servicio que reciben los consumidores.

a) Factores que inciden en la calidad y continuidad del servicio:

- Estabilidad de la operación.
- Buenas prácticas operacionales.
- Calidad y estado de la infraestructura.
- Mantenimiento preventivo y correctivo.
- Aire en las redes, considerado como el mayor enemigo.
- Gestión de riesgos.

[17] Fuente: SISS, Cobertura histórica del sector sanitario nacional. Datos al 2014.

b) Factores que influyen en el deterioro en la red de distribución de agua potable:

- Material y antigüedad de las tuberías.
- Presión interna del agua.
- Fugas.
- Prácticas de operación y mantenimiento.
- Actividad sísmica: Según el material de la red, hay tuberías con una mayor y otros con una menor vulnerabilidad a este factor (el PVC y el Asbesto Cemento son los materiales más vulnerables, y también los más usados en Chile).

c) Costos Relevantes:

- Inversión en infraestructura.
- Costos de personal.
- Costos operacionales.
- Costos administrativos y de gestión de los sistemas.

La Superintendencia de Servicios Sanitarios en sus Informes de Gestión Anuales (desde 1996 a 2011), reporta los indicadores de Agua No Facturada. Esta es calculada como la diferencia entre los volúmenes producidos y los facturados. Además, informa de la cantidad de clientes y longitud de redes, con lo cual es posible calcular una serie de indicadores.

Según los indicadores de la SISS presentados en la Tabla 8, las empresas chilenas se clasifican en grandes, medianas y pequeñas. En el caso de ESVAL, ésta se encuentra clasificada como una empresa mediana.

Tabla 8: Indicadores ANF de la SISS

Indicador ANF SISS	Empresas pequeñas	Empresas medianas a grandes
%	10 – 45	30 – 45
m^3/km/día	10 – 50	20 – 40
lt/cliente/día	100 – 500	200 - 400
clientes/km de red	80 - 120	100 - 400

Fuente: (SISS)

5.1. Planes a futuro de las Empresas Sanitarias

5.1.1. Essbio

Según una noticia[18] publicada el día 15 de julio del 2015, Essbio busca reducir en un 20% las pérdidas al 2010 mediante innovación.

Claudio Santelices, gerente y RSE de Essbio, explica que el proyecto 20/20 busca reducir en un 20% las pérdidas de agua al año 2020, mediante el uso de tecnologías. Estas son los geófonos y correladores acústicos para detectar fugas no visibles y georradares para identificar conexiones clandestinas sin excavar.

[18] Sofofa – "Essbio busca reducir en un 20% las pérdidas de agua a 2020 mediante innovación".

Un segundo proyecto implica la utilización de Smart Water, medidores inteligentes, que representa una inversión de $90,000 millones para instalar 960 mil aparatos en 3 años.

Ya se han instalado sistemas inteligentes para controlar la presión de agua potable según el comportamiento de los clientes. Asimismo, están trabajando en la optimización de los sistemas de control en estanques.

5.1.2. Zona norte de Chile

La Superintendencia de Servicios Sanitarios junto con las empresas del rubro están diseñando un "Plan de Desalinización", con el que buscan construir 5 nuevas plantas desalinizadoras entre Arica y Coquimbo, además de ampliar la ya existente en Antofagasta (debe tenerse en cuenta su sustentabilidad ambiental y financiera).

El porcentaje de agua no facturada de las principales empresas que operan en el norte de Chile supera el 26.5%, alcanzando un máximo del 33%.

El plan de desalinización considera una capacidad de 1,000 l/s = 31,536,000 m^3/año. El volumen de agua perdida en Chile es 8.5 veces el volumen de agua que las futuras plantas desalinizadoras generarán.

5.1.3. Plan de Desarrollo ESVAL *(S.A., ESVAL, 2016)*

5.1.3.1. Plan de pérdidas 2013 – 2020 (Pérdidas, 2016)

Históricamente, Esval se ha ubicado sobre el promedio de las empresas sanitarias en cuanto a índices de pérdidas se refiere.

Luego del terremoto del 2010, la compañía se situó en el nivel histórico más alto de pérdidas y sobre el óptimo económico. A partir de ahí, se generaron pilotos para la reducción de este problema. Desde el 2013, se consolida un plan integral de pérdidas que prioriza sus acciones en localidades de altas pérdidas y costos debido a la sequía.

<u>Plan de trabajo</u>

El plan de trabajo está enfocado a tener un índice de pérdidas del 30% el año 2020. Para esto, se planifican las siguientes actividades, aplicables tanto a ESVAL como a Aguas del Valle (ambas empresas pertenecientes a la misma compañía). El cronograma de acciones a implementar en el periodo 2013 – 2020 se indica en la Figura 20.

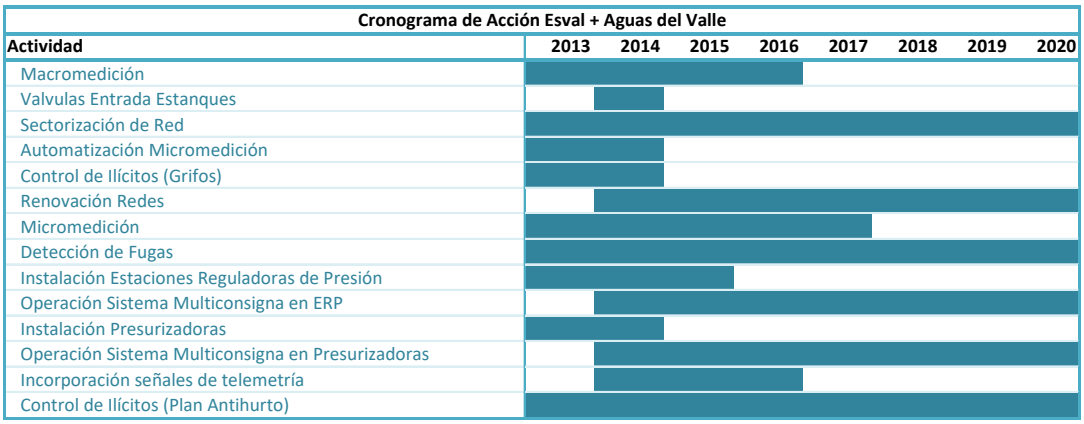

Figura 20: Cronograma de trabajo Plan de Pérdidas 2013 – 2020.
Fuente: (Departamento de Pérdidas de ESVAL)

Para el 2016, se instalaron 153 macromedidores del plan, lo que genera una cobertura del 92% en distribuciones de estanques y 100% en ERP. Para la gestión de presiones, se instalaron 57 equipos, lo que genera una cobertura del 22% y un avance del plan del 81%. Asimismo, se alcanzó una revisión del 85% de arranques.

Además, se renovaron 12,200 medidores por el plan de pérdidas para la micromedición de clientes, como también se instalaron 800 medidores para la medición de grandes clientes.

Se espera tener una inversión máxima de 6.677 millones de pesos al año 2016 y llegar al 2020 con una inversión de 4,973 millones de pesos y un índice de pérdidas a nivel de la compañía del 30%. En la Figura 21 se presenta la inversión y el porcentaje de pérdidas esperado por año, en el periodo 2013 – 2020.

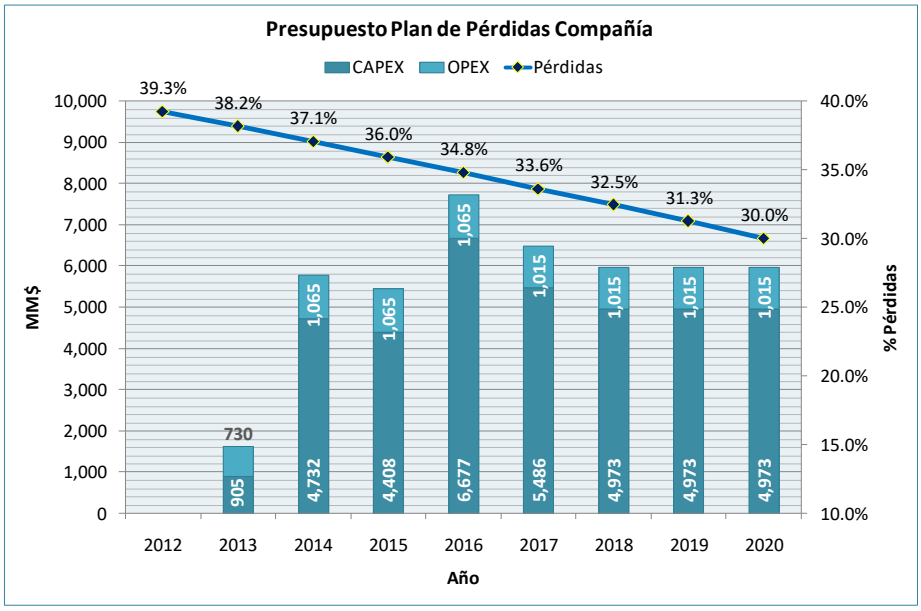

Figura 21: Presupuesto Plan de Pérdidas 2013 - 2020, Esval y Aguas del Valle.
Fuente: (Departamento de Pérdidas de ESVAL)

6. Situación en el mundo

De acuerdo a lo informado por la Agencia Internacional de Energía Una, se estima que el 34% de toda el agua mundial es agua no contabilizada. Alrededor del mundo, el agua no contabilizada varía entre un 25% y un 50% del total del agua suministrada y en países en vías de desarrollo incluso llega hasta el 75%.

El problema de abastecimiento de agua potable en diversas regiones de la tierra es cada vez más grave. La disponibilidad per cápita de agua disminuye sin que se pueda evitar. En Europa es de 4,500 m^3/año; en Estados Unidos, 9,847 m^3/año; en Canadá, 87,255 m^3/año; en África, 1,007 m^3/año y en México, 4,623 m^3/año (datos al 2010).

En el mundo se invierte en promedio entre el 2% y el 3% del PIB de cada país en infraestructura hidráulica, pero las pérdidas de aguas debido a las fugas están entre un 15% y un 50% a pesar de las inversiones que se realizan. Se estima que en Asia y en Latinoamérica (zonas en vías de desarrollo) las pérdidas en promedio llevan al 42%, en África son el 39% y en Norteamérica el 15%.

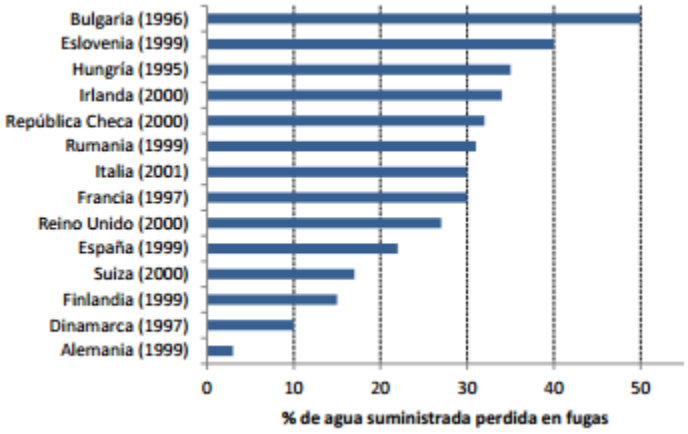

Figura 22: Pérdidas de agua en diferentes países.
Fuente: (European Envorimental Agency)

El Banco Mundial estima que el volumen anual de pérdidas en los países en vías de desarrollo es cercano a los 26.7 mil millones de metros cúbicos, lo cual equivale a 5.9 mil millones de dólares que pierden las empresas cada año. La reducción de esta cifra a la mitad generaría grandes ganancias económicas y la recuperación de agua suficiente para suministrar a 90 millones de personas más.

El problema de las pérdidas de agua varía según la región:

a) En el 2013, Taiwán tuvo un 27% de tasa de pérdida. Eso representó 76,000 dólares perdidos por día.

b) En el 2005, en Delhi, las pérdidas fueron del 50%. Principalmente, se deben a consumos no autorizados y fugas en las redes.

c) Durante el 2008, Malasia tuvo un porcentaje de pérdida del 30.1%. Debido al reconocimiento del problema, en el 2015 lograron tener una pérdida del 19.3%. Esto significa que redujeron sus pérdidas en casi un 11% en 7 años.

d) En Estados Unidos, la pérdida se estima entre un 10% y un 30%. El gobierno federal valora las pérdidas por fugas en un 16%. Alrededor de 240,000 fugas ocurren en Estados Unidos al año, según la Asociación Americana de Ingeniería Civil.

¿Qué han hecho algunos países para disminuir sus niveles de pérdidas? (PAULSON, RWL Water LLC, 2013)

a) Dinamarca

En Dinamarca, la pérdida se pudo reducir al 9% e incluso algunas ciudades han logrado hacerlo hasta el 5%. En Copenhague, la empresa sanitaria HOFOR tiene un índice de pérdidas del 6.5%.

Este proceso de reducción de pérdidas se inició en 1989 con la creación de un impuesto al agua producida. Con esto las empresas se incentivaron para reducir las pérdidas de agua y mejorar sus sistemas de distribución. Como resultado, el consumo de agua disminuyó de un 171 lt/per cápita/día a 104 lt/per cápita/día.

Con el éxito de los planes implementados, un grupo de especialistas y empresas públicas en Dinamarca han colaborado con otros países como China, Taiwán, Abu Dabi, Malí y Sudáfrica.

b) Reino Unido

En el Reino Unido han usado la idea del “óptimo económico” durante los últimos 16 años. Tiene en cuenta el costo total y el costo del control de fugas. Aquí el planteamiento es que un aumento del 1% del presupuesto destinado al control de fugas equivale a una reducción del 10% de los costos totales de producción de agua.

IV. DESCRIPCIÓN DE LA LOCALIDAD Y SISTEMA GRAN ALIMENTADORA

1. VALPARAÍSO

La Región de Valparaíso cuenta con una superficie total de 16,396 km^2, lo cual representa el 0.8% del territorio nacional. Tiene una transición en relieve y clima, que pasa de un semiárido a templado. Su vegetación es variada, ya que tiene una mayor presencia de humedad y de un relieve que permite el desarrollo de sistemas hidrográficos de tipo andino y costero.

Figura 23: Región de Valparaíso.
Fuente: (Biblioteca del Congreso Nacional)

La comuna de Valparaíso posee una población cercana a las 300 mil personas, de las cuales el 94% (casi 280 mil) viven en los cerros de la ciudad. Esto último es un antecedente importante a considerar, ya que la topografía influye de manera significativa en el desarrollo de proyectos de agua potable.

1.1. Descripción del sistema de agua potable

La localidad de Valparaíso es abastecida de agua potable por el Acueducto Las Vegas, que alimenta a 270,000 clientes aproximadamente.

Existen 26 estanques que distribuyen el agua potable a los distintos sectores de la ciudad (ver Tabla 9) y a distintas cotas, siendo el Estanque Lyon el que interesa para el presente estudio.

Tabla 9: Puntos de entrega del Acueducto Las Vegas, Localidad Valparaíso.

Nombre Estanque	Capacidad volumétrica	Tipo de estanque
Estanque Joaquín E. Bello	300 [m^3]	Elevado
Estanque Simón Bolívar	500 [m^3]	Semienterrado
Estanque Montedónico	200 [m^3]	Semienterrado
Estanque Vigía n.°1	10,000 [m^3]	Semienterrado
Estanque Vigía n.°2	10,000 [m^3]	Semienterrado
Estanque Puertas Negras n.°1	200 [m^3]	Semienterrado
Estanque Puertas Negras n.°2	200 [m^3]	Semienterrado
Estanque Puertas Negras n.°3	300 [m^3]	Semienterrado
Estanque Corvi	450 [m^3]	Semienterrado
Estanque Rodríguez n.°1	2,500 [m^3]	Semienterrado
Estanque Rodríguez n.°2	2,500 [m^3]	Semienterrado
Estanque Rodríguez n.°3	10,000 [m^3]	Semienterrado
Estanque Lyon n.°1	**10,000 [m^3]**	**Semienterrado**
Estanque Lyon n.°2	**10,000 [m^3]**	**Semienterrado**
Estanque San Guillermo n.°1	5,000 [m^3]	Semienterrado
Estanque San Guillermo n.°2	5,000 [m^3]	Semienterrado
Estanque Rebeca Matte n.°1	2,500 [m^3]	Semienterrado
Estanque Rebeca Matte n.°2	2,500 [m^3]	Semienterrado
Estanque San Roque	500 [m^3]	Semienterrado
Estanque La Isla	300 [m^3]	Semienterrado
Estanque Rodelillo n.°1	300 [m^3]	Semienterrado
Estanque Rodelillo n.°1	200 [m^3]	Elevado
Estanque Rodelillo n.°2	350 [m^3]	Elevado
Estanque Matta 200	600 [m^3]	Semienterrado
Estanque Andorra	300 [m^3]	Semienterrado
Estanque Zeal	150 [m^3]	Semienterrado

Fuente: (ESVAL S.A., año 2016)

Nota: Todos los estanque indicados en la Tabla 9 son de hormigón Armado.

Para el 2016, la compañía presentó los valores de caudales de producción (Tabla 10) para la localidad de Valparaíso. Además, agregaron valores proyectados para 10 y 20 años más, respectivamente.

Tabla 10: Caudales de producción para la Localidad de Valparaíso, año 2016.

Caudal l/s	2016	2020	2030
Medio anual	817,1	822,4	846,1
Máximo diario	1.007,5	1.014,0	1.043,2

Fuente: (ESVAL S.A.)

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA GRAN ALIMENTADORA

La zona en estudio abarca 31 sectores de derivación en la ciudad de Valparaíso. En la Figura 24 se observa el área de extensión de cada uno de las zonas en estudio de color rojo. Horizontalmente, el sistema se inicia en el Cerro Ramaditas y termina en el Cerro Playa Ancha. Verticalmente, se inicia en la Avenida Alemania y termina en el centro de Valparaíso, bordeando la Avenida Colón.

Figura 24: Zona de estudio sistema Gran Alimentadora.
Fuente: (Elaboración propia en plataforma Google Earth)

2.1. Caracterización de la Gran Alimentadora

El sistema de distribución de agua potable para la zona antes mencionada depende principalmente del Estanque Lyon, ubicado a 170 msnm. De este, se deriva agua por medio de la Gran Alimentadora, que corresponde a una tubería de acero de 700 mm de diámetro y de casi 11 km de longitud, cuya tarea es distribuir el agua potable a los respectivos consumidores. La cantidad de clientes es de 13,551, correspondiente a una población aproximada de 37,800 habitantes (considerando una densidad poblacional de 2.79, valor utilizado en los cálculos de proyección en el Plan de Desarrollo de la empresa).

Durante el trayecto desde el Estanque Lyon, la Gran Alimentadora (GA), a través de distintos ramales, distribuye el agua demandada a los clientes en cada sector de derivación. Estas áreas están conformadas por distintos sectores de corte, los cuales corresponden a zonas de la red de agua potable aislados unos de otros mediante el cierre de válvulas. Este aislamiento de clientes por sector se realiza para que ante la eventualidad de la emergencia en la red de agua potable en la que se

deba cortar el suministro, este corte se realice sólo en el sector donde ocurrió la emergencia y así no resulten afectados tantos clientes.

2.1.1. Caracterización de la presión del sistema

2.1.1.1. Fuentes de presión[19]

Existen 12 Estaciones Reductoras de Presión (ERP) conectadas directamente a la Gran Alimentadora. Del total de ERPs, 6 tienen sistemas de monitoreo y control (i2O, indicado en la sección 4.1 del capítulo III) y las otras 6 tienen sólo sistema de monitoreo (datalogger). Estas 12 ERPs alimentan a 12 sectores de presión, los cuales se pueden dividir en 33 sectores de corte, los cuales reúnen aproximadamente a 2,290 clientes, un 16.8% de los clientes totales del sistema.

Además, hay 9 ERPs conectadas en serie con las 12 existentes en la Gran Alimentadra. De éstas, 5 tienen sistema de monitoreo y control (i2O) y 4 tienen sistema de monitoreo (datalogger). Estas ERPs alimentan a 9 sectores de presión y estos, a su vez, se dividen en 22 sectores de corte. La cantidad de clientes en estos sectores de corte es de 1660 aproximadamente, un 12.3% de los clientes totales.

También, se tiene un sector de presión que se alimenta directamente del Estanque Lyon (por gravedad). Este sector de presión, denominado 380152, se puede dividir en 67 sectores de corte, que abarca un 49.6% del total, lo cual significa 6,720 clientes.

El resto de los clientes que no se alimentan de ERPs conectadas a la Gran Alimentadora reciben su suministro directo del Estanque Lyon o de otras fuentes de presión que se encuentren en el sistema (estanque, bombas u otras ERPs). Estos clientes llegan a 2,884, un 21% aproximadamente.

En la Tabla 11 y Tabla 12 se presenta un resumen de la información descrita anteriormente (la información completa, con el detalle de los clientes, se encuentra en el anexo 1).

[19] Caracterización de sistema i2O y datalogger en capítulo III sección 4.

Tabla 11: ERP's conectadas directamente a la Gran Alimentadora y sus respectivos sectores de corte y presión.

ERP conectadas a Gran Alimentadora			
N° ERP	**SP**	**SC**	**sector**
194	380154	38005147	Placilla
		38004972	
		38005195	
		38005196	
		38005146	
		38005142	
		38005145	
587	380333	38005095	Zilleruelo - Riquelme
196	380134	38004504	
197	380172	38004521	Plaza San Luis
554	380320	38005103	
549	380304	38004872	
		38004873	
184	380236	38004888	Balmes Miranda
		38004889	
201	380194	38005170	Quebrada Verde
		38004900	
		38004948	
		38004435	
		38005213	
		38005212	
		38004434	
		38005172	
		38004817	
		38004433	
		38004436	
		38004891	
273	380193	38004530	Obispo Villarreal
297	380306	38004528	Subida Toro
114	380057	38005113	Zegers - Ossandon
		38005114	
250	380051	38005149	Ramaditas - Cantú
		38005148	

Fuente: (Elaboración propia)

Nota Tabla 11: SP= Sector de Presión; SC= Sector de Corte

Tabla 12: ERP's conectadas en serie a la Gran alimentadora y sus respectivos sectores de corte y presión

ERP conectadas en serie			
N° ERP	**SP**	**SC**	**sector**
588	380334	38005096	Ferrari
		38005099	
589	380335	38005094	
123	380153	38004517	
203	380235	38004988	Balmes Miranda
		38004987	
186	380196	38004964	Quebrada Verde
		38004965	
		38004469	
181	380192	38004430	
		38004431	
185	380190	38004442	
		38004443	
		38004445	
		38004444	
		38004439	
190	380188	38004459	Aguayo
		38004461	
		38004460	
		38004463	
		38004465	
192	380187	38004464	

Fuente: (Elaboración propia)

Nota Tabla 12: SP= Sector de Presión; SC= Sector de Corte

2.1.1.2. Presión media ponderada

Esta es la presión con que cada cliente recibe el suministro de agua potable en su domicilio.

Para poder obtener la presión media ponderada por cliente de cada sector de derivación, se deben tener datos relevantes de cada uno. La información necesaria corresponde a: cantidad de clientes, sector de presión que conforman al sector de derivación, cotas del sector de presión (máx., min., media), fuente de presión, presión de entrada y de salida de la fuente de presión. Todos estos datos se pueden obtener del catastro de fuentes de ESVAL S.A.

Para el cálculo de la presión media ponderada, primero se debe obtener la presión media (Pmedia) del sector de presión. Esta Pmedia se consigue teniendo los valores de presión al que las fuentes de presión están programadas para trabajar, tanto en el día como en la noche.

En segundo lugar, hay que considerar la pérdida de carga que ocurre en el sector. Para esto, se toma el catastro de las fuentes de presión que dependen directamente de la Gran Alimentadora y, además, se recolectan los datos en línea de las presiones registradas históricamente.

Con esta información, se puede realizar un perfilamiento de pérdidas de carga en la conducción. Esto gracias a que se tiene conocimiento de la ubicación de cada fuente de presión (ERP), como también los datos de presiones históricas. Con ambos datos, se puede obtener la presión que ocurre

en cada lugar en específico y así conseguir la pérdida de carga por sector, la cual ocurre en el día, que es cuando hay consumo.

Así, la presión en el día y la presión en la noche se obtiene como:

$$Pdía = Psalida + Diferencia\ cotas - Pérdida\ de\ carga \quad \text{(ec. 37)}$$

$$Pnoche = Psalida + Diferencia\ cotas \quad \text{(ec. 38)}$$

Con estos dos valores, se asume que la presión del día se mantiene por 16 horas (67%) y la presión de la noche se mantiene por 8 horas (33%).

La Pmedia que aporta cada sector de presión al sector de derivación que pertenece, se obtiene como:

$$Pmedia = 0.67\ \times Pdía + 0.33\ \times Pnoche \quad \text{(ec. 39)}$$

Luego, la presión ponderada se obtiene al multiplicar la presión media calculada por la cantidad de clientes del sector de presión. Si un sector de derivación está compuesto por más de un sector de presión, la presión media ponderada se obtiene como:

$$Pmediapond = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Pmedia_i \times \#clientes_i)}{\#clientes\ sector\ de\ derivación} \quad \text{(ec. 40)}$$

En la Tabla 13 se presentan los resultados para los cálculos de pérdida de carga y presión ponderada por sector.

Tabla 13: Pérdida de carga y Presión media ponderada de cada sector de derivación

Sector	Fuente de presión	Pérdida de carga [mca]	Pmedia pond. [mca]
Los Pinos	ESTANQUE LYON	2	57.32
Zegers Ossandon	ERP	2	39.77
Ramaditas	ERP/ESTANQUE LYON	2	76.08
Aristóteles	ESTANQUE LYON	2.5	90.98
Santa Teresa	ESTANQUE LYON	2.5	97.98
Villagra El Litre	ERP/ESTANQUE LYON	2.5	66.01
Bilbao	ESTANQUE LYON	2.5	90.98
Francia	ERP	2.5	55.32
Zilleruelo Riquelme	ERP/ESTANQUE LYON	3	73.96
Figueroa	ESTANQUE LYON	3	103.65
Ferrari	ERP/ESTANQUE LYON	3	55.44
Yerbas Buenas	ESTANQUE LYON	3	65.65
General Mackenna	ESTANQUE LYON	3	83.65
Guillermo Rivera	ERP/ESTANQUE LYON	3	56.71
Basilio Rojas	ESTANQUE LYON	3	38.65
Etchegaray	ESTANQUE LYON	3	38.65
Placilla	ERP/ESTANQUE LYON	3	46.25

Continuación Tabla 13: Pérdida de carga y Presión media ponderada de cada sector de derivación

Sector	Sector	Sector	Sector
Pasaje Jiménez	ESTANQUE LYON	3	25.65
Camila	ESTANQUE LYON	3	65.65
Cumming	ERP/ESTANQUE LYON	3	74.94
Múnich	ESTANQUE LYON	3	81.65
Plaza San Luis	ERP/ESTANQUE LYON	4	78.37
Balmes Miranda	ERP/ESTANQUE	4	70.69
José Tomas Ramos	ESTANQUE LYON	4	87.98
Blanquillo	ERP	4	53.32
Aduanilla	ERP/ESTANQUE	4	74.93
Subida Toro	ERP/ESTANQUE LYON	4	101.45
Obispo Villareal	ERP/ESTANQUE LYON	4	75.06
Quebrada Verde	ERP/ESTANQUE LYON	4	56.82
Rio Frio	ERP/ESTANQUE LYON	4	76.09
Aguayo	ERP/ESTANQUE LYON	4	56.94

Fuente: (Elaboración propia)

2.2. Caracterización de sectores

Las derivaciones de la GA, conformados por sectores de corte, corresponden a 31 sectores abastecidos. Estas derivaciones agrupan los clientes de 157 sectores de corte en los que se divide el área de estudio, correspondiendo a 44 sectores de presión. La fuente de presión de la mayoría de los sectores es una ERP dependiente del estanque Lyon o conectada en serie con otra ERP del sistema. Además, existe un sector de presión cuya fuente de presión es el mismo Estanque Lyon.

Estos sectores de derivación no tienen una distribución homogénea de los clientes ni de los kilómetros de red de agua potable. Sin embargo, sí existe una relación directa entre la cantidad de clientes y la cantidad de kilómetros por sector. Esto quiere decir que, mientras mayor sea la cantidad de clientes, mayor será la cantidad de kilómetros de red dentro de ese sector.

A continuación, en la Tabla 14 se tiene un resumen de los sectores ordenados de acuerdo a la ubicación de la derivación en la GA. Aquí la derivación del sector Los Pinos es la más cercana al Estanque Lyon y la derivación del sector de Río Frío, la más lejana.

Tabla 14: Resumen derivaciones sistema Gran Alimentadora (Fuente: SIGEC, ESVAL S.A)

Sector	Clientes [N°]	Long. Red [km]	Habitantes [N°]	%clientes	%long red
Los Pinos	152	1.668	424.08	1.122%	2.26%
Zegers - Ossandon	191	0.9	532.89	1.409%	1.22%
Ramaditas - Cantú	409	3.284	1,141.11	3.018%	4.45%
Aristóteles	20	0.231	55.8	0.148%	0.31%
Santa Teresa - Casanova	62	0.381	172.98	0.458%	0.52%
Villagra - El Litre	158	1.028	440.82	1.166%	1.39%
Bilbao	15	0.2	41.85	0.111%	0.27%
Francia	33	0.45	92.07	0.244%	0.61%
Zilleruelo - Riquelme	530	3.185	1,478.7	3.911%	4.32%
Figueroa	364	1.71	1,015.56	2.686%	2.32%
Ferrari	1324	6.853	3,693.96	9.770%	9.30%
Yerbas Buenas	196	0.581	546.84	1.446%	0.79%
General Mackenna	740	2.427	2,064.6	5.461%	3.29%
Guillermo Rivera	269	1.2	750.51	1.985%	1.63%
Basilio Rojas	21	0.06	58.59	0.155%	0.08%
Etchegaray	37	0.236	103.23	0.273%	0.32%
Placilla	538	3.136	1,501.02	3.970%	4.25%
Pasaje Jiménez	189	0.554	527.31	1.395%	0.75%
Camila	206	0.951	574.74	1.520%	1.29%
Cumming - Armstrong	626	3.75	1,746.54	4.620%	5.09%
Plazuela San Luis	1517	4.633	4,232.43	11.195%	6.28%
Múnich	166	1.733	463.14	1.225%	2.35%
Balmes Miranda	354	3.824	987.66	2.612%	5.19%
José Tomás Ramos	93	0.4	259.47	0.686%	0.54%
Blanquillo	20	0.27	55.8	0.148%	0.37%
Aduanilla	183	0.698	510.57	1.350%	0.95%
Subida Toro	409	3.058	1,141.11	3.018%	4.15%
Obispo Villareal	1135	5.809	3,166.65	8.376%	7.88%
Q. Verde - Pacífico	2023	11.839	5,644.17	14.929%	16.06%
Aguayo	1208	6.448	3,370.32	8.914%	8.75%
Rio Frio	363	2.222	1,012.77	2.679%	3.01%
Total	**13,551**	**73.719**	**37,807.29**	**100.00%**	**100.00%**

Fuente: (Elaboración propia)

2.2.1. Materialidad de la Red de agua potable

En la Tabla 15 se presenta la distribución de materialidad de la red de distribución de agua potable existente en el sistema de interés

Tabla 15: Materialidad de la red de AP.

Materialidad	Porcentaje del total
Acero	4.74%
Asbesto cemento	**63.37%**
Fierro fundido	**1.67%**
HDPE	26.59%
PVC	3.62%

Fuente: (Elaboración propia)

Como se observa, el asbesto cemento es el material predominante en la red de agua potable, correspondiendo a tuberías antiguas que no han sido renovadas. El sector de Quebrada Verde es el que posee la mayor cantidad de tuberías de este material con un 61% aproximadamente, correspondiendo igual al sector con la mayor cantidad de clientes.

2.2.2. Materialidad de los Arranques

En la Tabla 16 se presenta la distribución de materialidad de los arranques domiciliarios existentes en el sistema de interés

Como se indica, el material predominante en los arranques es el Cobre. Nuevamente, Quebrada verde es el sector con la mayor cantidad de arranques de este material, mientras que Ferrari es el sector con la mayor cantidad de distintos materiales en sus arranques.

Tabla 16: Materialidad de los Arranques.

Materialidad	Cantidad de arranques por material	Porcentaje del total
Cobre	9,729	71.795%
Fierro galvanizado	1	0.007%
HDPE	4	0.030%
Polipropileno	1	0.007%
PVC	1	0.007%
Otro	3,815	28.153%

Fuente: (SIGEC, ESVAL S.A)

2.2.3. Caracterización de los medidores

Se hace necesario realizar una caracterización del catastro de medidores que poseen los clientes del sistema Gran Alimentadora, ya que la pérdida total de un sistema se divide en técnica y comercial. Como se indica en el apartado 1.3.2, una de las causas de las pérdidas comerciales es la submedición de los medidores instalados en las acometidas de los clientes y los ilícitos en que los mismos usuarios incurren.

2.2.3.1 Tipo medidor y de transmisión

Se tiene que los 13,551 medidores se dividen por tipo de medidor y tipo de transmisión MAP, como se presenta en la tabla Tabla 17. Los tipos de medidores se clasifican según su conexión a la red de agua potable: son de tipo normal si se conectan directamente a la red; son remarcadores si están conectados a otro medidor que registra el caudal total de un sector (generalmente se dan edificios, donde cada departamento tiene un remarcador que registra su consumo y este está conectado a un medidor matriz que registra el caudal total consumido por el edificio).

Tabla 17: Clasificación de medidores por tipo de medidor y tipo de transmisión MAP.

Tipo de Medidor	Cantidad	%
Normal	10,539	77.77%
Remarcador	2,827	20.86%
Matriz	185	1.37%
Tipo de Transmisión MAP		
Magnética	10,784	79.58%
Mecánica	2,767	20.42%

Fuente: (Elaboración propia)

Del tipo de medidor, el 77.77% están instalados en viviendas particulares. Por otra parte, el 20.86% corresponde a remarcadores, es decir, están instalados en los departamentos de edificios que tiene un medidor que registra el consumo total del edificio (matriz).

Por el tipo de transmisión, los medidores más antiguos registrados datan de 1986 (31 años de antiguedad). Estos son todos de transmisión mecánica y, al ser renovados, cambian a transmisión magnética debido a la mejor exactitud en el registro de los datos.

Los sectores con un mayor porcentaje de medidores de transmisión mecánica respecto del total de sus clientes, son: Aristóteles (39%), Santa Teresa (29%), Basilio rojas (29%), Balmes – Miranda (31%) y Subida Toro (29%). Mientras que los sectores con mayor porcentaje de medidores de transmisión magnética respecto del total de sus clientes, son: Múnich (92%), Bilbao (89%), Pasaje Jiménez (88%) y Aguayo (88%).

2.2.3.2 Edad de los medidores

En esta sección se presenta la edad de los medidores, estableciendo los sectores con los medidores más antiguos y también el rango de edades por el tipo de transmisión.

Del parque total de medidores existentes en la red del sistema, se tiene que los más antiguos tienen una edad de 31 años, los más nuevos tienen una antigüedad menor a 1 año y la edad promedio es de 13 años. En la Tabla 18 se indican los sectores de derivación con edad mayor a 13 años, de la totalidad del parque de medidores.

Además, se tiene como antecedente que durante el 2015 se instalaron/renovaron 512 medidores, de los cuales 511 corresponden a medidores con transmisión magnética y 1 a medidor con transmisión mecánica. Durante el 2016 la cantidad de medidores instalados/renovados asciende a 528, siendo todos medidores con transmisión magnética.

Tabla 18: Sectores con edad promedio mayor a 13 años.

Total Parque de medidores	
Sector	**Edad Promedio**
Los Pinos	14
Ferrari	13
Obispo Villarreal	14
San Luis	13
Quebrada Verde	14
General Mackenna	14
Cumming - Armstrong	14
Placilla	13
Zilleruelo - Riquelme	14
Ramaditas - Cantú	14
Subida Toro	15
Figueroa	14
Rio Frio	13
Villagra - El Litre	13
Camila	15
Guillermo Rivera	13
Balmes - Miranda	15
Yerbas Buenas	14
Zegers - Ossandón	13
Aduanilla	14
Santa Teresa	14
José Tomás Ramos	15
Francia	13
Etchegaray	15
Aristóteles	16
Basilio Rojas	16
Blanquillo	14

Fuente: (Elaboración propia)

Para aquellos medidores con transmisión magnética, los con mayor antigüedad tienen 31 años, los medidores recientemente instalados tienen menos de 1 año y la edad promedio es de 11 años. Para los medidores con transmisión mecánica se tiene que los más antiguos tienen 31 años, los más nuevos tienen 2 años y la edad promedio de este tipo de medidores es de 24 años. En la Tabla 19 y Tabla 20 se indican los sectores con edad promedio mayor a la respectiva para cada tipo de transmisión.

Tabla 19: Sectores con edad promedio mayor a 10 años.

Transmisión Magnética	
Sector	**Edad Promedio**
Obispo Villarreal	11
San Luis	10
Quebrada Verde	11
General Mackenna	12
Cumming - Armstrong	12
Placilla	11
Múnich	11
Zilleruelo - Riquelme	11
Ramaditas - Cantú	11
Subida Toro	11
Figueroa	11
Rio Frio	12
Villagra - El Litre	11
Camila	13
Guillermo Rivera	11
Balmes - Miranda	11
Yerbas Buenas	12
Aduanilla	11
Santa Teres	11
José Tomás Ramos	14
Francia	11
Etchegaray	12
Basilio Rojas	12
Blanquillo	11

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 20: Sectores con edad promedio mayor a 24 años.

Transmisión Mecánica	
Sector	**Edad Promedio**
Ferrari	24
Obispo Villarreal	24
San Luis	24
Aguayo	24
Quebrada Verde	24
General Mackenna	24
Cumming - Armstrong	24
Zilleruelo - Riquelme	24
Subida Toro	24
Figueroa	24
Camila	24
Balmes - Miranda	24
Aduanilla	25
Etchegaray	24
Aristóteles	24
Basilio Rojas	25

Fuente: (Elaboración propia)

2.2.4. Control de Ilícitos

Los planes de ilícitos tienen como objeto reducir y controlar el consumo realizado de forma irregular o ilícita.

Esta actividad posee beneficios directos por el cobro de la presunción de consumo a los clientes con ilícitos, como también beneficios asociados a un aumento en la facturación por regularización del ilícito.

Las mejoras de consumo para clientes residenciales y grandes consumidores son del 56% anual ($80.000/cliente) que representa una mejora de facturación del orden de 256$MM anuales (para el total de ESVAL).

En el caso de los ilícitos, se han encontrado y legalizado 1,041 casos, según este dato se han recuperado $83,280,000. El 2001 es el año más antiguo en donde se haya registrado una legalización del servicio de algún cliente, mientras que el 2016 es el año más reciente en donde se haya hecho una regularización del servicio. Hay que tener en cuenta que sólo se registra la última fecha de normalización del servicio, por lo que no se sabe si el cliente en cuestión ya había cometido un delito anteriormente.

Los sectores con más ilícitos por el total de sus clientes son: Los Pinos (13%), Villagra – El Litre (13%), Francia (24%) y Blanquillo (25%).

3. Agua No Contabilizada - Sector De Análisis

En esta sección se presenta el porcentaje de pérdidas para la empresa ESVAL S.A, para la Subgerencia Zonal Valparaíso (la cual reúne sólo 6 comunas de la Región de Valparaíso a las cuales ESVAL entrega servicios) y un análisis de pérdidas para el Sistema Gran Alimentadora.

3.1. Esval

Para finales del año 2016 la empresa ESVAL tenía como meta tener una pérdida promedio correspondiente al 35.8% del agua producida. Sin embargo, como se observa en la Figura 25, la pérdida presenta una tendencia a la baja, pero a partir del mes de abril del año 2016 comienza a aumentar paulatinamente y finalmente se tiene una pérdida a diciembre de ese año fue de un 37.2% (mayor a la meta esperada por la empresa). Esto corresponde a una pérdida acumulada de 65,622,278 m^3, sumando las pérdidas de todas las localidades de la región a las cuales la empresa suministra el agua potable.

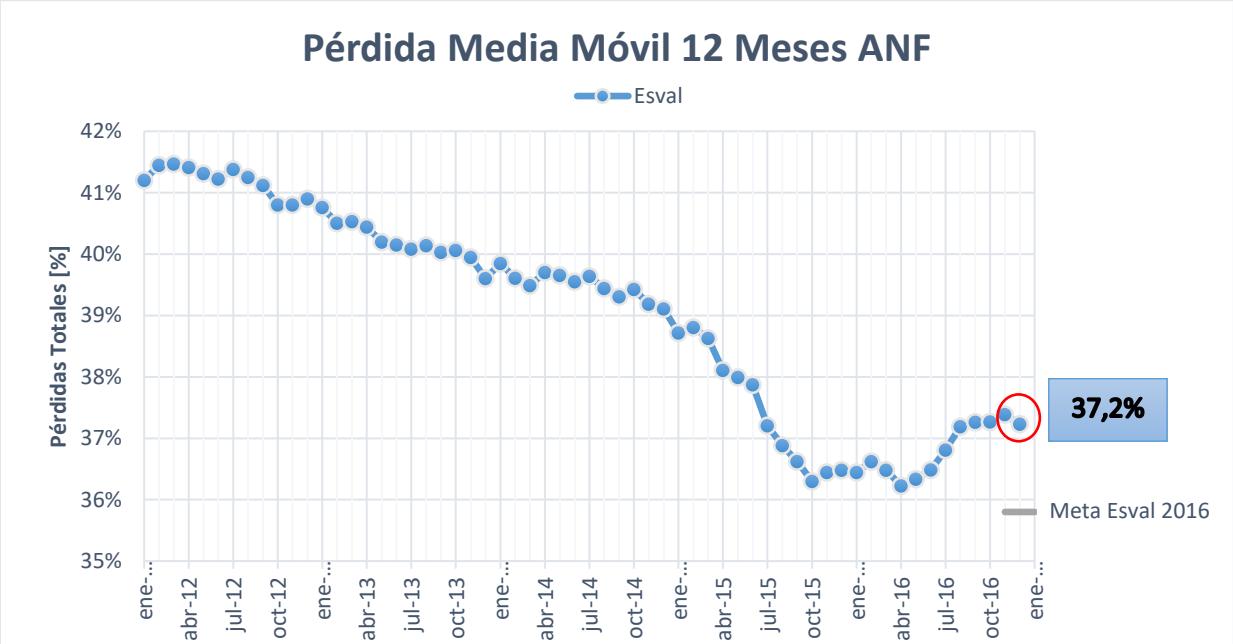

Figura 25: Gráfico de la Pérdida Media Móvil en 12 meses, ESVAL y ADV 2016.
Fuente: (Departamento de Pérdidas ESVAL S.A.)

3.2. Subgerencia Zonal Valparaíso

Para la Subgerencia Zonal Valparaíso (SGZV), conformada por las localidades de Valparaíso, Viña del Mar, Con Con, Quilpué y Villa Alemana, las pérdidas a diciembre del 2016 llegan a un 38.4%. Este porcentaje es 1.4 puntos más que el mismo mes del año anterior. Esto significa que el agua no facturada en la SGZV aumentó, lo que representa una pérdida económica para la empresa y una pérdida del recurso agua para la población.

En la Figura 26 se aprecia la tendencia que ha tenido la pérdida acumulada de agua potables desde enero del 2015 a diciembre del 2016. Se observa una disminución en el porcentaje de pérdidas, pero tal como en la Figura 25 este comienza a aumentar a partir de abril del 2016.

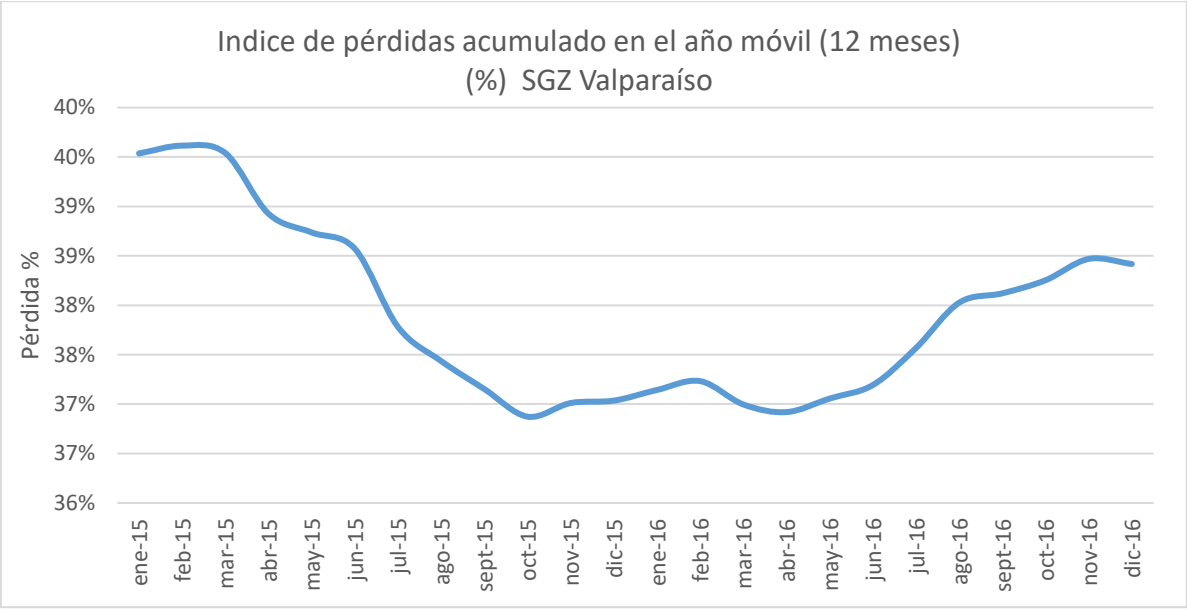

Figura 26:Gráfico del Índice de Pérdidas Acumulado en el año 2016.
Fuente: (Departamento de Pérdidas ESVAL)

3.3. Sistema Gran Alimentadora

El sistema en análisis se alimenta directamente del Estanque Lyon, el cual posee un macromedidor instalado en la conexión del estanque con la tubería. Esta registra durante las 24 horas del día el caudal de salida desde el estanque. De esta forma, a partir de este caudal de salida se podrá calcular el volumen de producción del sistema.

En cuanto a la facturación, ésta se obtiene del agua registrada en los medidores instalados en las viviendas de cada uno de los clientes que se alimentan de la Gran Alimentadora.

A continuación, se analizan los resultados de producción, facturación y de agua no contabilizada para el periodo 2014 – 2016, dado que a partir del año 2013 se implementa el nuevo Plan de Reducción de Pérdidas de la empresa (indicado en la sección 5.1.3 del capítulo III), por lo que el presente estudio se realiza luego de que se comiencen a implementar las acciones de reducción de pérdidas definidas por la empresa.

3.3.1. Producción

En la Figura 27, se presentan los datos de volúmenes de producción del Estanque Lyon desde enero del 2014 a diciembre del 2016. La tabla de datos se encuentra en el anexo 2.

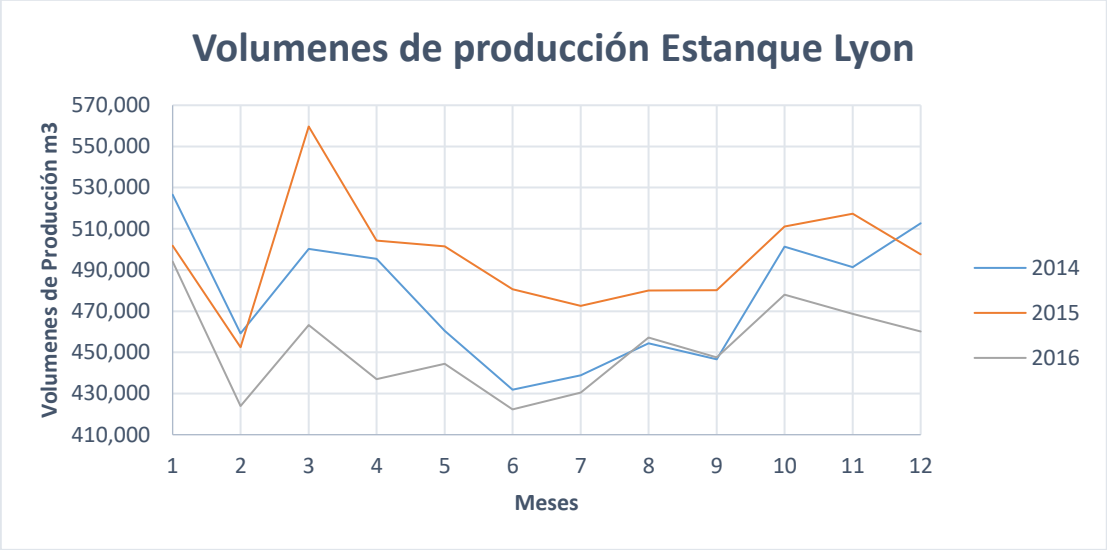

Figura 27: Gráfico de Volúmenes de producción del Estanque Lyon, periodo 2014 - 2016.
Fuente: (Elaboración propia)

La tendencia a lo largo de los meses concuerda con la teoría, es decir, la producción aumenta en los meses de verano y disminuye en los meses de invierno.

Como se puede observar, en los 36 meses presentados, la producción del estanque ha tenido un alza y una disminución respecto al año 2014. La producción del año 2015 aumentó un 4.2% con respecto a la producción del año 2014, mientras que la producción del año 2016 disminuyó un 26.31% con respecto a la producción total del año 2015.

3.3.1. Facturación

En la Figura 28, se presentan los volúmenes de facturación del sistema Gran Alimentadora, desde marzo del 2014 hasta marzo del 2016. La tabla de datos se encuentra en el anexo 2.

Como se observa en el gráfico, no hay una tendencia fija en la facturación. La facturación total del 2015 aumentó en un 34.03% respecto a la facturación total del 2014, mientras que la del 2016 disminuyó un 14,8% en base a la facturación del año anterior.

La reducción en la facturación va de la mano con la disminución en la producción del 2016, coincidiendo la facturación con lo que la teoría dice sobre los consumos de los clientes según las estaciones del año: el mayor consumo de agua se produce en los meses de verano, mientras que en los meses de invierno se reduce.

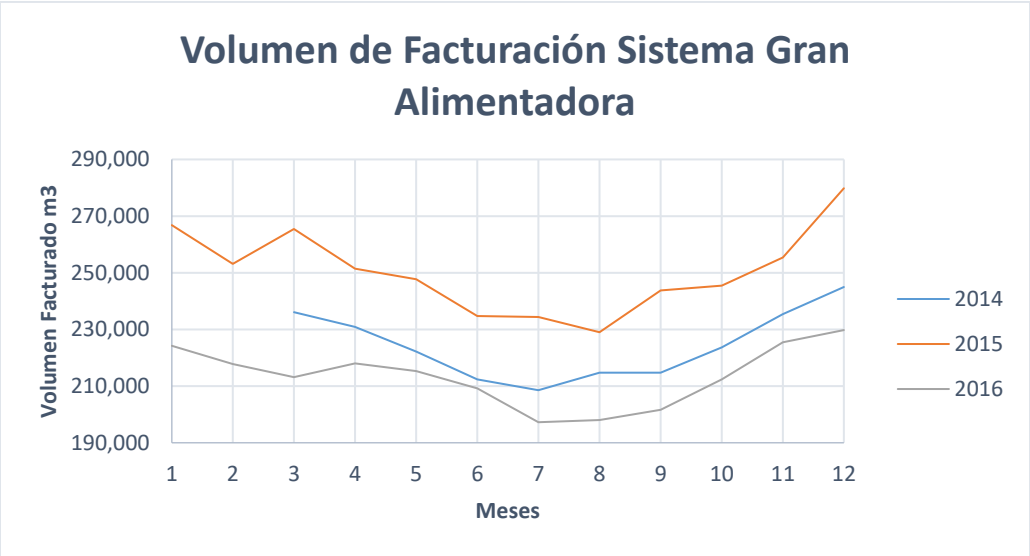

Figura 28: Gráfico de comparación de los volúmenes de Facturación, período 2014 - 2016.
Fuente: (Elaboración propia)

Esta disminución en la facturación se podría explicar cómo que los clientes consumieron menos agua ese año o que las fugas de agua aumentaron. De esta manera, los medidores de los domicilios de los clientes registraron un volumen menor de agua, con lo que la facturación de la empresa disminuyó. Sin embargo, es necesario considerar también los consumos ilícitos existentes, correspondientes a aquellas conexiones ilegales en la red de distribución. Estos consumen agua, pero que al no tener un medidor domiciliario que lo registre, ese volumen de agua es una pérdida para la empresa.

En resumen, son 4 las razones que podrían explicar la disminución de la facturación en la red: una disminución en el volumen de producción, un menor consumo de agua por parte de los clientes, aumento en la cantidad de fugas de agua en la red y el consumo ilegal de agua potable.

3.3.2. Agua no Contabilizada (ANC)

A continuación en la Figura 29, se muestra la variación del agua no contabilizada comparando los datos de los años 2014, 2015 y 2016. La tabla de datos se encuentra en el anexo 2.

Se puede deducir de la Figura 29 que el ANC del sistema en análisis bajó en unidades de volumen. Si bien existe un aumento en el 2016 con respecto al 2015, el ANC del 2014 es muy superior al del año recién pasado. Sólo en julio, agosto y septiembre del 2016 se tiene un ANC superior al de los mismos meses del 2014.

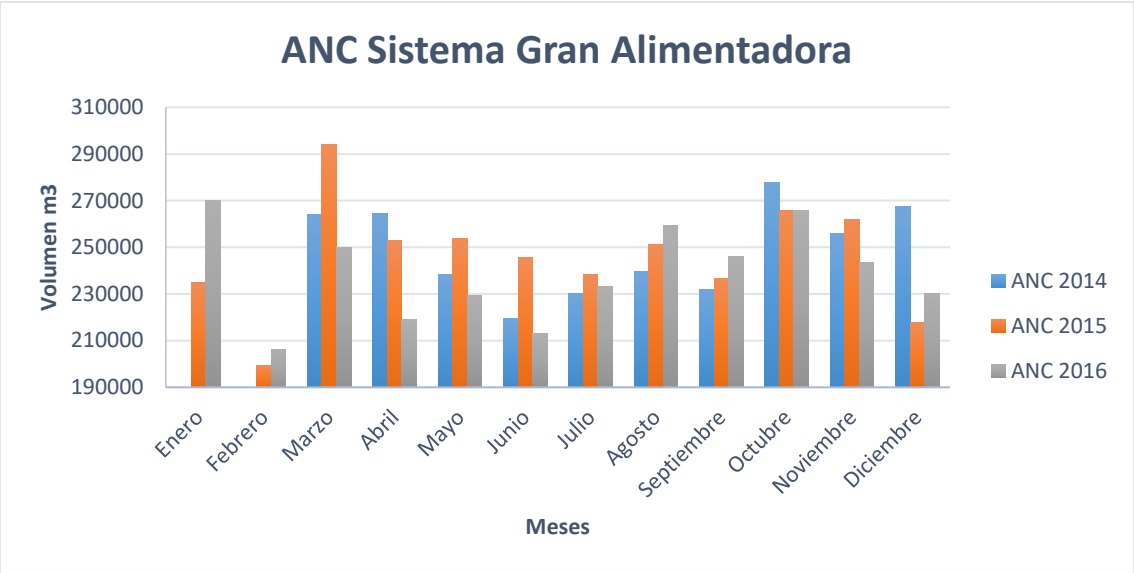

Figura 29:Gráfico del ANC en el sistema Gran Alimentadora.
Fuente: (Elaboración Propia)

Sin embargo, si se analizan los datos de pérdidas desde la perspectiva del indicador de agua no contabilizada (IANC) los resultados no son tan favorables comparando el año 2016 con el año 2015.

Los resultados numéricos están indicados en la Tabla 21 y en la Figura 30 de manera gráfica.

En promedio, se tiene para cada año un índice de agua no contabilizada de 50% (±2%). Esto significa que del total del volumen de agua que sale del estanque Lyon para satisfacer la demanda de los clientes de los sectores nombrados, hay una cantidad significativa que se pierde a través de fugas existentes en la red de distribución, por ilícitos o por submedición.

En términos de porcentaje, si bien la producción y facturación disminuyeron para el 2016, la facturación disminuyó en un porcentaje mayor. Esto quiere decir que la pérdida de agua potable para el año recién pasado aumentó, aunque en unidades de volumen la pérdida sea menor que el año 2015. Esto significa que el sistema fue menos eficiente que el año anterior.

Tabla 21: Comparación Producción, Facturación y Pérdida, período 2014 – 2016.

	2014	2015	2016	diferencia 2015 - 2016	%(2016 - 2015)/2015
Producción [m^3]	5,719,078	5,959,252	5,426,900	-532,351	-8.93%
Facturación [m^3]	2,243,501	3,007,055	2,561,901	-445,154	-14.80%
Perdida [m^3]	3,475,577	2,952,197	2,865,000	-87,196	-2.95%
%Fact/prod	39.23%	50.46%	47.21%		
IANC	60.77%	49.54%	52.79%		

Fuente: (Elaboración propia)

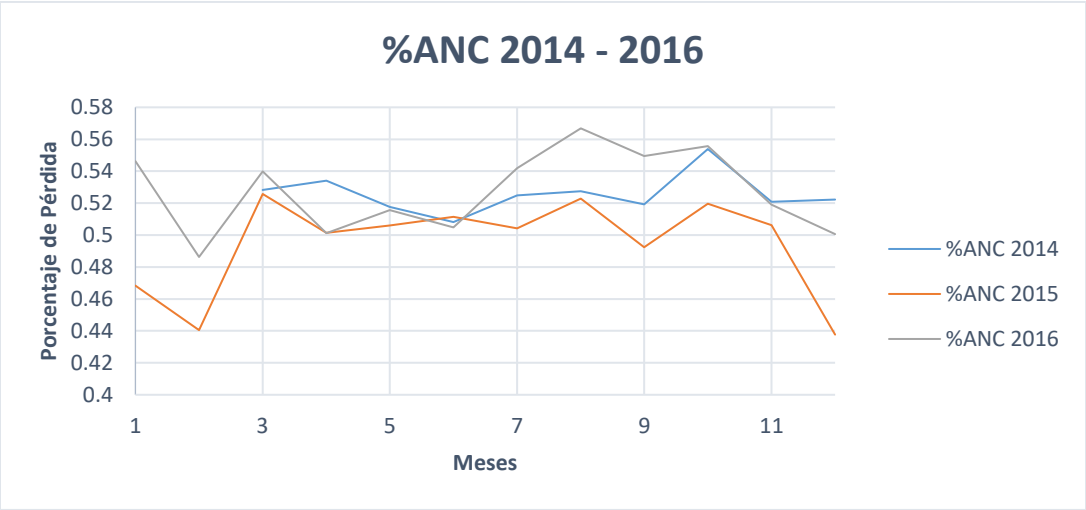

Figura 30:Gráfico del Porcentaje de Pérdidas, período 2014 – 2016.
Fuente: (Elaboración propia)

Para finalizar, hay que destacar que la localidad de Valparaíso completa (no sólo este sistema de distribución de agua potable) controla el índice de agua contabilizada en la SGZV. Entonces, se necesita especial atención a estos altos índices de pérdidas, puesto que puede influir de manera negativa en el índice de pérdidas global de la subgerencia y de la compañía.

V. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En este capítulo se presenta una descripción del trabajo realizado en el análisis de las pérdidas del sector de interés, profundizado en el capítulo IV. Se describe la planificación de las mediciones, los puntos de medición y las metodologías de corrección aplicadas a los datos obtenidos en terreno y a los datos entregados por el software utilizado para la modelación de la red de distribución, WaterCAD.

1. PLANIFICACIÓN DE MEDICIONES

El primer paso para realizar las mediciones de caudal en cada una de las derivaciones del sistema Gran Alimentadora es determinar la ubicación de las cámaras correspondientes a la conexión entre la tubería de 700 mm y la tubería de derivación. En la Figura 31 se muestra la ubicación de cada bifurcación indicando el nombre de cada una, el cual fue dado de acuerdo a la intersección de las calles en la que se ubica cada ramal.

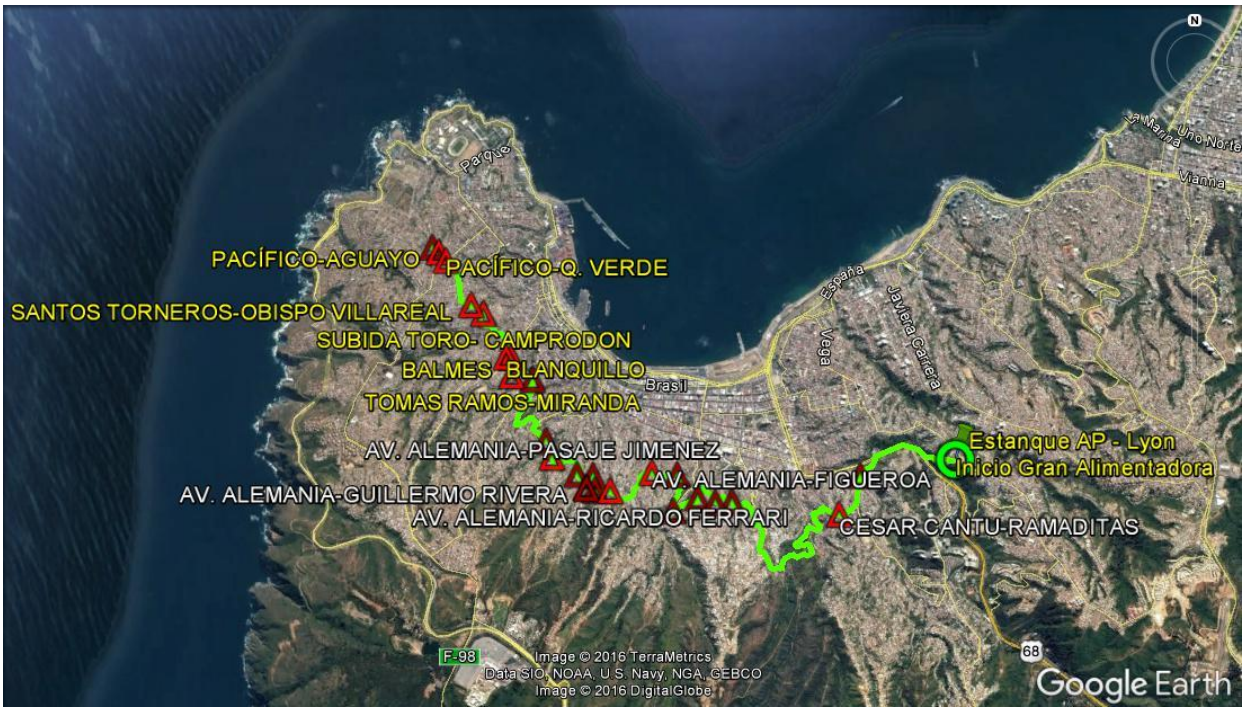

Figura 31: Trazado Gran Alimentadora y ubicación de sus derivaciones.
Fuente: (elaboración propia en plataforma Google Earth)

Una vez ubicadas las cámaras respectivas, se procede a la inspección en terreno de cada una de ellas. Aquí se verifica si las condiciones del sector, de la cámara y de la tubería propiamente tal permiten la instalación del equipo de medición de caudal.

Durante un día se pudo revisar en terreno todas las cámaras correspondientes, comprobando que no todas estaban en las condiciones necesarias para un correcto trabajo de medición de caudal. Algunas cámaras estaban inundadas, otras tenían un espacio muy pequeño para la instalación del instrumento y también había tuberías en malas condiciones.

En la Figura 32 se indica la ubicación de las cámaras escogidas para ser utilizadas en las mediciones de caudal en la tubería. El nombre asignado es correlativo, y la primera cámara es la más cercana al Estanque Lyon, que es el lugar de inicio de la Gran Alimentadora.

Figura 32: Ubicación de cámaras en la Gran Alimentadora.
Fuente: (Elaboración propia en plataforma Google Earth)

Para poder mejorar el estado de dichas cámaras habría que gestionar proyectos de limpieza, de remoción de escombros y de construcción o reconstrucción de cámaras. Justamente esto no corresponde al objetivo del proyecto, por lo cual se opta por considerar que el caudal que circula por la gran alimentadora luego de una derivación corresponde a:

$$Q_b = Q_a - Q_d \qquad \text{(ec. 41)}$$

Donde, Qa corresponde al caudal que pasa por una cámara ubicada antes de una derivación y Qb corresponde al caudal que circula por una cámara ubicada después de una derivación; con estos valores se puede determinar Qd, el cual es el caudal que se deriva al sector correspondiente. Para determinar este último valor, se escogen dos cámaras en la Gran Alimentadora (éstas pueden corresponder a cámaras de ventosa, de válvulas, ERP, etc.), una antes de la cámara de derivación de un sector y otra cámara después de ésta. Aplicando Bernoulli.

2. Bitácora de Mediciones de caudal

En la Tabla 22, se presenta el orden de las mediciones realizadas, indicando el día, la intersección más cercana y el tipo de cámara donde se instalará el instrumento de medición.

Tabla 22: Bitácora de mediciones de caudal en cámaras de la Gran Alimentadora y sus derivaciones

Semana	Fecha	Cámara	Dirección	Lugar
1	26 de agosto	Cámara 7	Israel con Av. Alemania	Cámara de ventosa
		Cámara 8	Av. Alemania, entre C. Armstrong y San Luis	Cámara de ventosa
		Cámara 9	Balmes, entre Eyzaguirre y castillo	Cámara de válvula
2	20 de septiembre	Cámara 1	San Bernardo con Galvani	Cámara de ventosa
		Cámara 2	Ramaditas con cantú	Cámara de ventosa
		Cámara 3	Av. Alemania, entre Paulsen y EL Litre	Cámara de ventosa
3	5 de octubre	Cámara 6	Etchegaray 6402	Cámara de válvula
		Cámara 7	Israel con Av. Alemania	Cámara de ventosa
		Cámara 8	Av. Alemania, entre C. Armstrong y San Luis	Cámara de ventosa
3	6 de octubre	Cámara 10	Santos Torneros 59	Cámara de válvula
		Cámara 12	Aguayo con Av. Pacífico	Cámara de derivación
		Cámara 13	Rio Frio con Av. Pacifico	Cámara de derivación
4	8 de noviembre	Cámara 9	Balmes, entre Eyzaguirre y castillo	Cámara de válvula
		Cámara 10	Santos torneros 59	Cámara de válvula
		Cámara 11	Quebrada verde con Pacifico	Cámara de derivación
5	16 de noviembre	Cámara 3	Av. Alemania, entre Paulsen y EL Litre	Cámara de ventosa
		Cámara 4	Av. Alemania con Osman Pérez Freire	Cámara de ventosa
6	21 de noviembre	Cámara 4	Av. Alemania con Osman Pérez Freire	Cámara de ventosa
		Cámara 5	Av. Alemania con General Mackenna	Cámara de ventosa
		Cámara 6	Etchegaray 6402	Cámara de válvula
7	25 de noviembre	Inicio GA	salida a gran alimentadora, en estanque Lyon	Tubería GA

Fuente: (Elaboración propia)

3. CAUDAL NOCTURNO

Para determinar el caudal de fuga de una red de distribución de agua potable, se hace necesario tener un análisis del caudal nocturno en la misma.

En la noche, la población activa que utiliza el recurso de agua potable es baja, cercana al 6%, por lo que el consumo de agua es mínimo. En consecuencia, si se mide un caudal nocturno en un sector de la red se debe suponer que ese caudal corresponde, en su mayoría, a agua que se escapa a través de fugas y/o fallas en la red de distribución.

Se estima que el consumo mínimo nocturno se da entre las 2 y las 4 am. Hay que tener en cuenta que este horario varía por localidad y por día de la semana. Por ejemplo, es de conocimiento público que en Valparaíso de jueves a sábado el consumo nocturno aumenta, sobre todo en cercanías de las derivaciones de Figueroa y Guillermo Múnich.

3.1. Mediciones de caudal nocturno

Las mediciones de caudal nocturno se realizaron con el apoyo del personal del Departamento de Macromediciones. En cada día de medición, se instalaban los equipos en tres cámaras distintas, organizadas de acuerdo a lo expuesto en la Tabla 22.

Los equipos se dejaron instalados durante aproximadamente 24 horas, donde los datos importantes eran los caudales registrados desde las 22 horas hasta las 9 horas.

Debido a que se contaba con sólo tres equipos para realizar las mediciones de caudal, éstas se realizaron en distintos días y en distintos meses, dependiendo de la disponibilidad de los equipos. Por esta razón, hay mediciones realizadas un lunes y otras un viernes, en donde los equipos se retiraban luego de finalizado el fin de semana correspondiente.

El equipo Panametrics entrega una tabla de datos de medición cada 1 minuto, indicando el caudal en [l/s], la velocidad medida en [m/s], el volumen total en [m^3] y un porcentaje de error. Más detalles del equipo se pueden encontrar en la sección 3.3 del capítulo III.

Para las mediciones realizadas en cámaras de ventosas o válvulas de la Gran Alimentadora, los datos a ingresar al equipo fueron los siguientes:

Tabla 23: Datos ingresados a Panametrics en mediciones en cámaras de la GA

Perímetro	2,250 mm
Material	Acero
Espesor	8 mm

Fuente: (Elaboración propia)

Por otro lado, para las mediciones realizadas en tuberías de derivación, se debió medir en terreno los parámetros antes mencionados. Éstos variaban dependiendo de la materialidad, de la ubicación y del espesor de la tubería.

A modo de ejemplo, en el Gráfico 7 se presentan los datos entregados por los equipos el 6 de octubre, día en el cual se midió el caudal en tres cámaras distintas: Santos Torneros (cámara de ventosa), Aguayo y Río Frío (ambas cámaras de derivación). Los gráficos para el resto de las mediciones se presentan en el anexo 3.

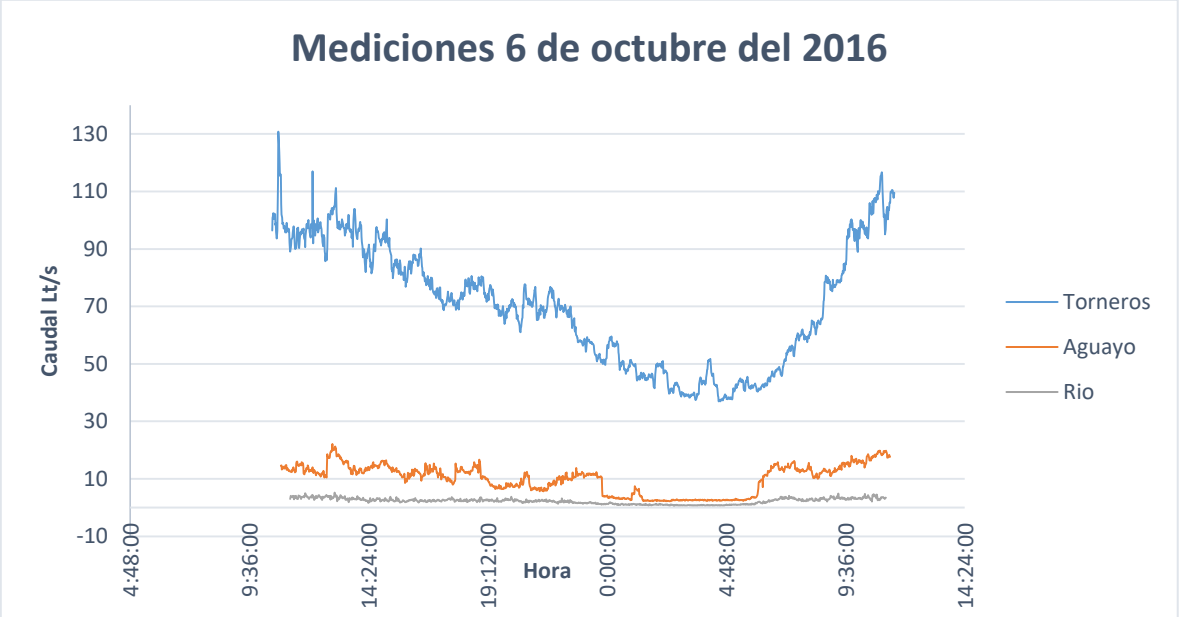

Figura 33: Gráfico de Mediciones de caudal, día 6 de octubre del 2016.
Fuente: (Elaboración propia)

Debido a las características del lugar de medición, se observa la diferencia en el valor del caudal cuando se mide en una cámara perteneciente a la Gran Alimentadora y el valor del caudal cuando se mide en una cámara de derivación.

Por un lado, la medición de Santos Torneros, al realizarse en una cámara de ventosa donde la tubería corresponde a la Gran Alimentadora, registra un caudal mucho mayor. Esto se debe a que por ese punto de medición transita toda el agua que sale del estanque y luego se reparte a las derivaciones.

Por otra parte, las mediciones de Aguayo y Río Frio se realizaron en cámaras de derivación, por lo que el caudal que pasa por ese punto de medición corresponde al total que consumen los clientes que dependen de esa derivación. Es por esto que el caudal nocturno registrado es mucho menor en una derivación que en un punto de la Gran Alimentadora.

3.2. Determinación Caudal Mínimo nocturno

Para determinar el caudal mínimo nocturno, se revisan los datos de las mediciones entre las 00 horas y las 8 am, teniendo en cuenta que el consumo mínimo se genera entre las 2 am y las 4 am. De esta manera, de cada medición se selecciona el mínimo caudal registrado.

Para las mediciones de caudal que se hicieron en las tuberías de derivación, el caudal mínimo registrado corresponde al caudal mínimo nocturno del sector. En aquellas mediciones en que el caudalímetro se instaló en cámaras de la Gran Alimentadora, es necesario aplicar el principio de Bernoulli para determinar el caudal que se deriva. Para esto, se registra el mínimo caudal en el punto antes de la derivación y el caudal mínimo en el punto después de la derivación. Restando ambos caudales se obtiene el caudal que alimenta al sector entre mediciones.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que, debido a la disponibilidad de caudalímetros, se organizaron las mediciones agrupando algunos sectores. El criterio para hacer esta agrupación es respecto a aquellos sectores con poca cantidad de clientes (por lo general menos de 200 clientes por derivación) ya que ellos no representarían un gran consumo. Es así que el caudal de cada sector entre mediciones se puede conseguir ponderando el caudal mínimo nocturno obtenido por el porcentaje de clientes del sector en el grupo de sectores.

A modo de ejemplo: Los sectores Aristóteles, Santa Teresa – Casanova, Villagra – El Litre y Bilbao tienen poca cantidad de clientes, menos de 200 cada uno. Estos sectores se agrupan y se mide en un punto antes del sector Aristóteles y en un punto después de Bilbao (mediciones en Ramaditas con Cantú y en Av. Alemania, entre Paulsen y el Litre). Agrupados estos sectores, suman 257 clientes en total.

El peso de cada sector en este grupo (Grupo 3) se logra dividiendo la cantidad de clientes de cada sector por el total de los clientes, estos pesos se ven reflejados en la Tabla 24.

Tabla 24: Porcentaje de clientes por grupo de mediciones.

Sector	Clientes	Total Clientes	%clientes del total
Aristóteles	22	257	0.085
Santa Teresa-Casanova	62		0.241
Villagra- El litre	158		0.615
Bilbao	15		0.0584

Fuente: (Elaboración propia)

A continuación, en la Tabla 25 se muestran los caudales mínimos nocturnos obtenidos por cada medición, divididos por grupos. En el anexo 4.1 se presentan en detalle la cantidad de clientes por sector, por grupo y los caudales de cada medición.

Tabla 25: Caudales mínimos nocturnos por derivación

Grupo	Cámara	Sector	Caudal medición	Q por grupo
	LYON		67	
Grupo 1		Los Pinos		17
		Zegers – Ossandón		
	Cámara 1		50	
Grupo 2		Ramaditas - Cantú		1
	Cámara 2		**49**	
Grupo 3		Aristóteles		6
		Santa Teresa -Casanova		
		Villagra- El litre		
		Bilbao		
	Cámara 3		**55/55/56**	
Grupo 4		Francia		5
		Zilleruelo-Riquelme		
	Cámara 4		50/50	
Grupo 5		Figueroa		18
		Ferrari		
		Yerbas buenas		
	Cámara 5		32	
Grupo 6		Gral. Mackenna		5
		Basilio Rojas		
		Guillermo Rivera		
		Etchegaray		
	Cámara 6		37/36	
Grupo 7		Placilla		3
	Cámara 7		34/37	
Grupo 8		Pasaje Jiménez		10
		Camila		
		Cumming - Armstrong		
	Cámara 8		**34/27**	
Grupo 9		Múnich		3
		Plaza San Luis		
		Balmes-Miranda		
	Cámara 9		**31/37**	
Grupo 10		José Tomas Ramos		8
		Blanquillo		
		Aduanilla		
		Subida Toro		
	Cámara 10		35/23	
Grupo 11		Obispo Villareal		13
Grupo 12	Cámara 11	Q. Verde - Pacifico	10	10
Grupo 13	Cámara 12	Aguayo	2.5	2.5
Grupo 14	Cámara 13	Rio Frio	0.8	0.8

Fuente: (Elaboración propia)

3.3. Corrección Caudal Mínimo Nocturno

Como se indica en la Tabla 22, las mediciones no se realizaron el mismo día debido a la disponibilidad de los equipos de medición. Por esta razón, fue necesario hacer una corrección de los caudales medidos y así poder compararlos entre ellos. De esta manera, se supone que todas las mediciones fueron realizadas el mismo día y así se puede saber el caudal mínimo nocturno que cada derivación posee. Con este valor de CMN, se espera determinar el nivel de fugas y más adelante establecer el tipo de pérdida predominante en cada sector de derivación.

El día escogido como el representativo fue el 26 de agosto del 2016, cuando se realizaron las tres primeras mediciones.

Teniendo la medición a la salida del estanque Lyon gracias al macromedidor instalado en ese punto, se obtienen dos datos importantes. En primer lugar, se posee el valor de caudal total por minuto que se "entregó" el día representativo (B). Por otra parte, se tiene el valor del caudal total por minuto del estanque Lyon correspondiente al día en que se realizó la medición (A) de caudal con el macromedidor (fechas indicadas en la Tabla 21). Los valores de A y B corresponden al promedio de los caudales registrados por el macromedidor entre las 00 horas y las 8 am, para cada uno de los días de medición. Con estos datos se puede conseguir un factor de corrección sólo para los caudales nocturnos.

Se divide **A** por **B**, obteniéndose un factor **α.** Con este se multiplica el dato de las mediciones hechas por el caudalímetro, logrando tener el valor del caudal corregido. Este factor se aplica para corregir los valores del caudal nocturno medidos en terreno entre las 00 horas y las 8 am y no de los caudales medidos entre las 9 am y las 23 horas. Esto, ya que los valores de caudales del día incluyen el consumo de los clientes. En la Tabla 26, se tienen los factores de corrección calculados para corregir los caudales de los sectores de derivación indicados en la Tabla 20.

Tabla 26: Factores de corrección de caudales mínimos nocturnos.

Día Medición	Lugar	Lyon día medición (A)	Lyon día representativo (B)	Factor
26 de agosto	Israel	97.608	97.608	1
	Alemania 4661			
	Balmes con Castillo			
20 de septiembre	San Bernardo	90.091	97.608	0.922
	Ramaditas			
	El litre			
5 de octubre	Etchegaray	98.263	97.608	1.006
	Israel			
	San Luis			
6 de octubre	Santos Torneros	91.482	97.608	0.937
	Aguayo			
	Rio Frio			
8 de noviembre	Balmes con Castillo	101.988	97.608	1.044
	Santos torneros			
	Quebrada verde			
16 de noviembre	El litre	97.654	97.608	1
	Osman Pérez Freire			

Continuación Tabla 26: Factores de corrección de caudales mínimos nocturnos.

Día Medición	Lugar	Lyon día medición (A)	Lyon día representativo (B)	Factor
21 de noviembre	Osman Pérez Freire	99.558	97.608	1.019
	Gral. Mackenna			
	Etchegaray			

Fuente: (Elaboración propia)

Luego, aplicando los factores para cada medición, se obtienen los caudales mínimos nocturnos corregidos, como se indican en la Tabla 27. También, se debe destacar que el caudal que se corrige es el caudal de la medición con el caudalímetro, no el caudal por sector calculado de la diferencia de las mediciones que se muestra en la Tabla 27. En el anexo 4.2, se muestra en detalle la cantidad de clientes por sector, por grupo y los caudales de cada medición corregidos.

Tabla 27: Caudales mínimos nocturnos por sector corregidos

Grupo	Cámara	Sector	Caudal medición	Q por grupo
	LYON		67	67
Grupo 1		Los Pinos		22.66
		Zegers – Ossandón		
	Cámara 1		44.7	44.7
Grupo 2		Ramaditas - Cantú		0.7
	Cámara 2		**44.05**	44
Grupo 3		Aristóteles		**4.378**
		Santa Teresa - Casanova		
		Villagra- El litre		
		Bilbao		
	Cámara 3		**49.036/55.72**	52.3
Grupo 4		Francia		1.3
		Zilleruelo-Riquelme		
	Cámara 4		50.31/51	51
Grupo 5		Figueroa		18
		Ferrari		
		Yerbas buenas		
	Cámara 5		**32.78**	33
Grupo 6		Gral. Mackenna		3.8
		Basilio Rojas		
		Guillermo Rivera		
		Etchegaray		
	Cámara 6		**36.24/37.36**	36.8
Grupo 7		Placilla		1.37
	Cámara 7		34.12/**36.735**	35.43
Grupo 8		Pasaje Jiménez		2.43
		Camila		
		Cumming - Armstrong		
	Cámara 8		32.28/25.98	33
Grupo 9		Múnich		**1.5**
		Plaza San Luis		
		Balmes-Miranda		

Continuación Tabla 27: Caudales mínimos nocturnos por sector corregidos

Grupo	Cámara	Sector	Caudal medición	Q por grupo
	Cámara 9		31.34/33.73	31.5
Grupo 10		José Tomas Romas		10.5
		Blanquillo		
		Aduanilla		
		Subida Toro		
	Cámara 10		34.65/20.86	21
Grupo 11		Obispo Villareal		10.5
Grupo 12	Cámara 11	Q. Verde - Pacifico	10.5	10.5
Grupo 13	Cámara 12	Aguayo	2.055	2.055
Grupo 14	Cámara 13	Rio Frio	0.65	0.65

Fuente: (Elaboración propia)

Por otro lado, hay mediciones que se hicieron más de una vez. Entonces, al tenerse dos caudales nocturnos, se opta por el promedio de ambos para considerarlo en el cálculo del caudal mínimo nocturno por sector.

Como se observa en la Tabla 27, hay dos grupos de sectores en los que el caudal nocturno en vez de disminuir, como se espera, aumenta. Esto ocurre en el grupo 3 y el grupo 6, en donde entran 4 l/s y 1 l/s, respectivamente. A esta situación se le conoce como traspaso de agua entre conducciones, principalmente entre el sistema Gran Alimentadora y el sistema Vigía (que alimenta a la parte alta de Valparaíso). Esta situación era desconocida por la empresa y no se conoce la ubicación exacta en donde ocurre el traspaso de agua, por lo que el análisis para los sectores que componen al Grupo 3 (Aristóteles, Santa Teresa – Casanova, Villagra – El Litre, Bilbao) y al Grupo 6 (General Mackenna, Basilio Rojas, Guillermo Rivera y Etchegaray) no será considerado.

Para determinar el lugar exacto del traspaso en la red de agua potable, la cantidad de agua que ingresa al sistema y la cantidad de agua que efectivamente consume cada sector se requiere un trabajo en terreno más profundo, lo cual no es el objetivo de esta memoria, y se deja como recomendación a la empresa poner énfasis en encontrar los lugares de la red en que ocurren estos traspasos y así tener resultados confiables para estos dos grupos de sectores de derivación (Grupo 3 y Grupo 6).

4. MODELACIÓN DE LA RED EN WATERCAD

WaterCAD es un software de modelación hidráulica que permite modelar sistemas de redes de agua potable, posibilitando el análisis de la red en distintos escenarios. Este software deja incluir distintas alternativas físicas, operacionales, entre otras. Además, es posible modelar tuberías, nodos de demanda, grifos, válvulas de control, estanques, bombas, y distintas operaciones de un mismo sistema (modelo de período extendido o estacionario).

Los datos de entrada corresponden a datos que asemejan la realidad, permitiendo la modelación con información real y llevándola al escenario deseado. Estos datos de entrada son:

- Topografía: cotas de nodos de demanda.
- Topología: conexiones entre elementos del modelo.
- Características físicas de las tuberías y elementos del sistema.
- Demandas de agua potable, distribuida en cada uno de los nodos de demanda.

4.1. Representación de la localidad

Para todas las comunas a las cuales ESVAL entrega servicios existen modelos de la red de agua potable, realizados en el software WaterCAD, los cuales presentan distintas configuraciones hidráulicas. Estas configuraciones, llamadas “escenarios”, representan a la red en un determinado año en el cual se desarrollarán obras en la infraestructura (renovaciones, nuevas conexiones, resectorizaciones, entre otros) y el objetivo es conocer el comportamiento que tendrá la red de agua potable, por lo que existen escenarios estacionarios y dinámicos.

El escenario escogido para el análisis del sistema caracterizado en el presente proyecto corresponde al QMH PROY 2015. Este representa las condiciones de la red de distribución de Valparaíso, tomando como base los proyectos realizados desde fines del 2015 hacia atrás. La red modelada se presenta en la Figura 34. La red de color verde en la imagen corresponde al sistema alimentado por la Gran Alimentadora, el resto de las redes representadas pertenecen a sectores alimentados por los otros estanques presentes en Valparaíso (red alimentada por el Estanque Rodríguez y la Cañería de Alta).

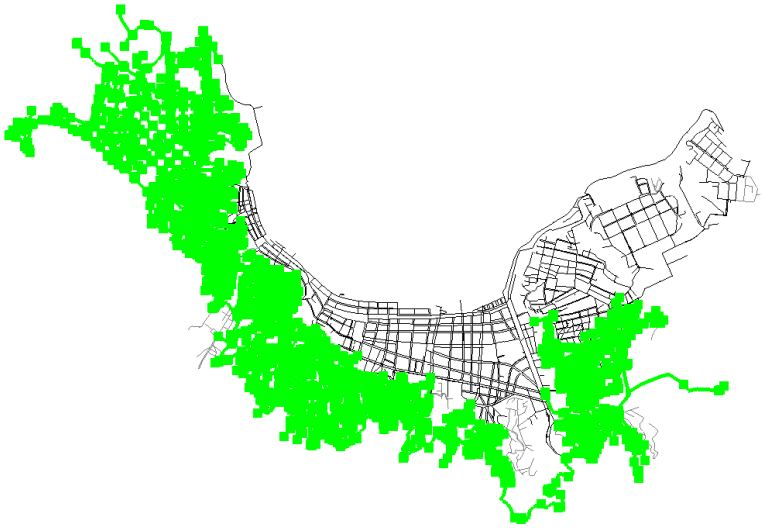

Figura 34: Sector de análisis en modelo WaterCAD.
Fuente: (Modelo WaterCAD Valparaíso ESVAL)

A continuación, en la Figura 35 se presenta el modelo del sector de análisis con las calles y predios que representan a Valparaíso. En dicha figura, se observa que el sector bajo análisis corresponde a una pequeña parte de lo que es la ciudad completa. Hay que considerar que la parte alta de Valparaíso se alimenta del Estanque Vigía – Vizcachas, por lo que la red de distribución de la ciudad completa es mucho más compleja de lo que se muestra.

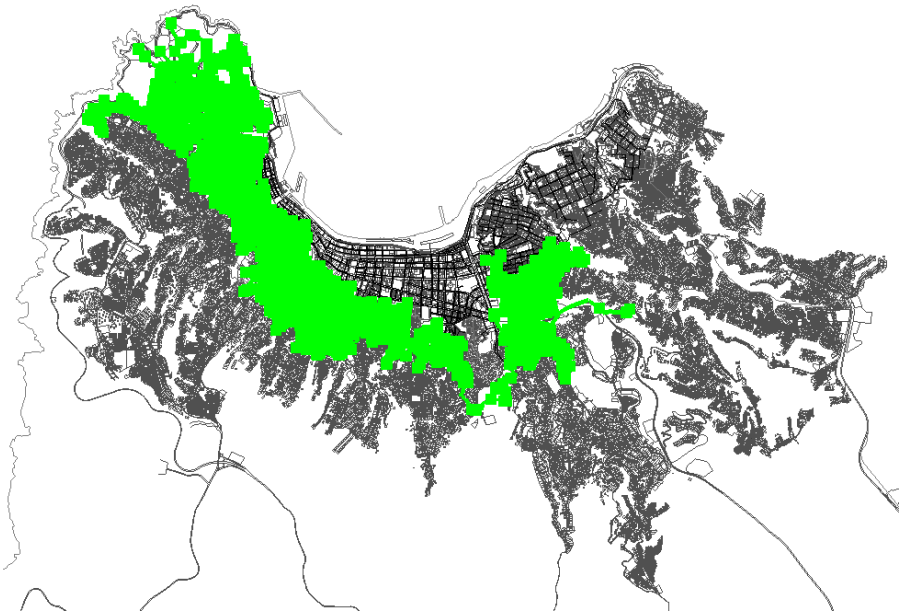

Figura 35: Sector de análisis en modelo WaterCAD con calles y predios.
Fuente: (Modelo WaterCAD Valparaíso ESVAL)

4.2. Distribución de la demanda

Para distribuir la demanda en los distintos nodos que forman el modelo, se utilizó la información de los caudales mínimos nocturnos medidos en la Gran Alimentadora durante las mediciones realizadas entre agosto y noviembre del 2016 (mediciones definidas en el apartado 3.1 del capítulo V).

De esta manera, se crearon los sectores de derivación, basados en el modelo de la red que se encuentra configurada en el sistema de gestión de la infraestructura que posee la empresa. A cada sector de derivación se le asignaron los nodos de demanda, tuberías, ERP, válvulas de sectorización y conexiones correspondientes.

Luego, teniendo los nodos de demanda asignados a cada sector de derivación al que corresponden por su ubicación en la red de distribución, se obtiene el caudal por nodo en l/s que el escenario cargado (QMH PROY 2015, nombre del escenario dado por criterio de la empresa) da como resultado. Este caudal se debe corregir, relacionando el caudal nocturno medido en terreno y el caudal que arroja el software. Los caudales se corrigen por nodo de demanda y luego se cargan al modelo nuevamente para obtener la presión en el sistema generada por el caudal mínimo nocturno modificado.

Los datos que se desean tener son de caudal y presión, por sector y del sistema completo. Estos resultados se obtienen por nodo de demanda. En el modelo hay 997 nodos representados.

Las presiones obtenidas por sector se indican en la Tabla 28.

Tabla 28: Presiones por sector de derivación, modelo WaterCAD

Sector	Pmax [mca]	Pmin [mca]	Pmedia [mca]
Estanque Lyon	**99**	**7**	**43.65**
Francia	51	22	37.80
Bilbao	-	-	-
Aristóteles	-	-	-
Ramaditas	68	21	41.85
Sta. teresa	-	-	-
Litre Villagra	-	-	-
Zilleruelo	67	20	41.49
Figueroa	67	21	39.36
Ferrari	69	18	43.61
Yerbas buenas	63	42	53.38
General Mackenna	-	-	-
Basilio rojas	-	-	-
Guillermo rivera	-	-	-
Etchegaray	-	-	-
Placilla	66	24	44.26
Pasaje Jiménez	85	21	49.50
Camila	56	20	41.23
Cumming Armstrong	95	7	46.80
Guillermo Múnich	95	43	68.93
Plaza san Luis	74	20	38.98
José tomas ramos	97	74	86.33
Miranda	70	18	42.22
Blanquillo	82	44	61.33
Aduanilla	56	26	40.71
Subida toro	71	20	48.64
Obispo Villarreal	69	19	44.94
Rio frio	70	26	46.22
Quebrada verde	79	20	43.71
Aguayo	70	18	43.15
Zegers Ossandón	94	22	37.58
Los pinos	75	22	46.08

Fuente: (Elaboración propia)

Las presiones obtenidas son utilizadas para aplicar la metodología BABE y así, determinar el estado de la red de distribución del sector Gran Alimentadora y de los grupos de sectores de derivación. Las curvas de caudal versus la presión obtenida por el software están detalladas en el anexo 5.

Por último, se puede observar que las presiones logradas por el modelo de la red de agua potable desarrollado en WaterCAD es del mismo orden que las presiones ponderadas por sector, caracterizadas en el capítulo IV sección 2.1.1.

VI. RESULTADOS

Teniendo las mediciones del macromedidor a la salida del estanque Lyon y las mediciones de caudal en las cámaras de la Gran Alimentadora (caudal mínimo nocturno, medio diario y cálculo del teórico), es posible calcular el porcentaje de pérdida total y por sector. La metodología para determinar las pérdidas se explica en la sección 1.4 del capítulo III.

Todos los valores están referidos al mes del día representativo, es decir agosto del 2016.

1. ANÁLISIS SISTEMA GRAN ALIMENTADORA

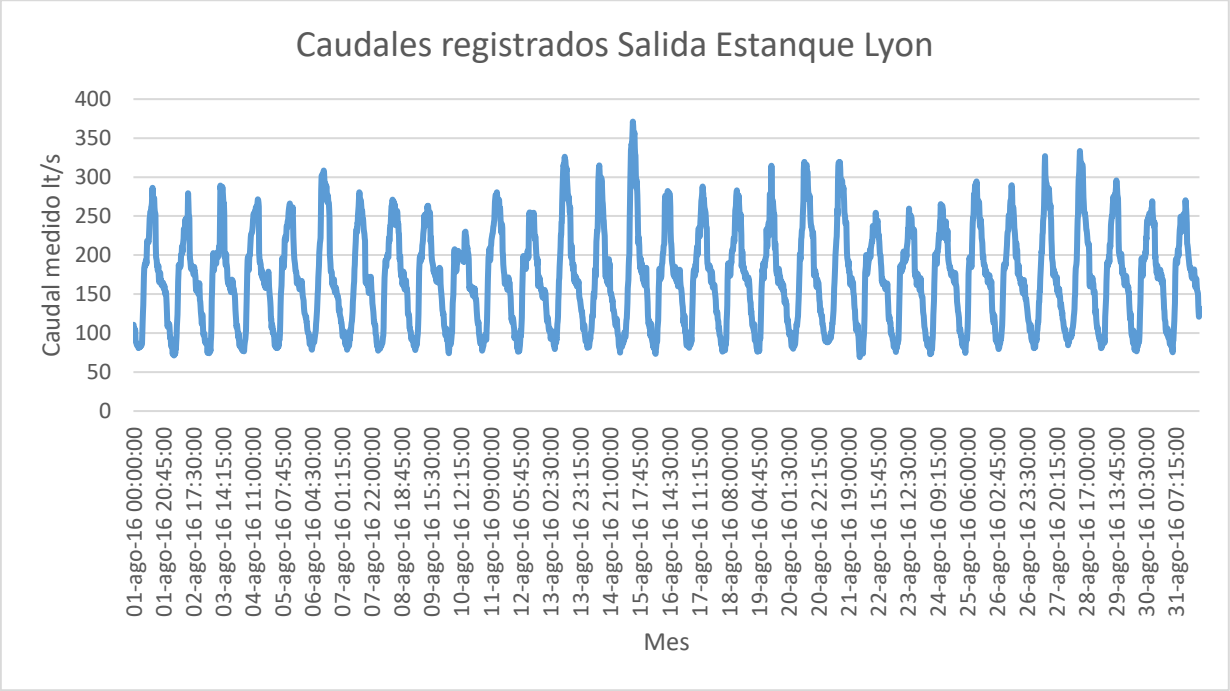

Figura 36: Gráfico caudal de distribución - agosto 2016, Estanque Lyon.
(Fuente: Depto. de Pérdidas ESVAL S.A.)

El caudal mínimo nocturno registrado es de 69.138 l/s, mientras que el caudal medio es de 170.557 l/s. Ambos parámetros son necesarios para el cálculo de los porcentajes de pérdidas.

A continuación, en la Tabla 29 se presentan los resultados de la aplicación de los criterios utilizados por ESVAL S.A. para determinar el nivel de pérdidas.

Tabla 29: Cálculo de pérdidas Gran Alimentadora

Variable	Unidad	Resultado
Caudal mínimo nocturno medido	l/s	69.138
Caudal medio medido	l/s	170.557
Caudal mínimo nocturno estimado	l/s	27.102
Caudal filtrado	l/s	42.036
%Pérdida total		**55.81%**
%Pérdida técnica		**24.65%**
%Pérdida comercial		**31.16%**

Fuente: (Elaboración propia)

Tal como se indica en la Tabla 2, se puede determinar la existencia de fugas en las matrices de distribución dividiendo el caudal mínimo medido por el caudal medio medido. Con esto se obtiene un valor de 40.54%, mayor al máximo indicado en la tabla ya nombrada, por lo que se confirma que existen fugas en la red.

1.1. Metodología BABE

Según lo explicado en la sección 1.5.2 del capítulo III, la siguiente tabla muestra los valores utilizados para la aplicación de la metodología BABE en el sistema completo de la Gran Alimentadora (considerando los 31 sectores de derivación cómo un conjunto). En la Tabla 6 se indican los valores sugeridos por la literatura para los parámetros con valores promedio necesarios para el análisis.

Tabla 30: Parámetros medidos para el sistema completo gran alimentadora (elaboración propia)

BABE	Unidad	Valor a agosto del 2016
Longitud de tuberías	km	74
Long total de los arranques	km	0.006
Número de arranques	u	13,551
Número de propiedades	u	13,551
Población estimada	personas	37,807
Flujo mínimo nocturno medido	l/s	69
Número de pequeños usuarios no domésticos	u	750
Media de consumo de pequeños consumidores no domésticos	m^3/usuarios	33.3
Número de grandes usuarios no domésticos	u	129
Media de consumo de grandes usuarios no domésticos	m^3/usuarios	383
Días del mes	días/mes	31
Presión más alta en la zona	mca	99
Presión más baja en la zona	mca	7
Facturación por distribución del mes	m^3/mes	201,612
Producción a la salida del estanque del mes	m^3/mes	456,206

Fuente: (Elaboración propia)

A continuación en la Tabla 31, se presentan los resultados de las variables calculadas que se explican en el apartado 1.5.2 del capítulo III:

Tabla 31: Resultados metodología BABE

Variable	Valor
Uso Normal Nocturno m^3/hr	**123**
Uso Nocturno Doméstico	23
Uso No Doméstico Pequeños Usuarios	33
Uso No Doméstico Grandes Usuarios	66
Fugas de Fondo m^3/hr	**57**
Fugas de Fondo Tuberías m^3/hr	3
Fugas de Fondo Conexiones	41
Fugas de Fondo Accesorios	13,551
Fugas de Fondo Presión Media Nocturna m^3/hr	**2,793**
Presión Media Nocturna mca	44
Factor Corrector de la Presión	1
Flujo Mínimo Nocturno m^3/hr	**249**
Flujo Mínimo Nocturno Medido l/s	69
Fuga Física Nocturna m^3/hr	**126**
Pérdidas Caudal Mínimo Nocturno	**0.5**

Fuente: (Elaboración propia)

1.2. Indicadores técnicos y económicos

1.2.1. Indicadores Técnicos

A continuación en la Tabla 32, Tabla 33 y Tabla 34, se presentan los resultados de los indicadores técnicos que se explican en el apartado 1.5.2 del capítulo III:

Tabla 32: Resultados por tipo de pérdidas en el sistema Gran Alimentadora

Pérdidas por distribución		Pérdida Técnica		Pérdida Comercial	
%Pérd. Distribución	0.56	Pérd, Técnica m^3/mes	112,439	Pérd. Comercial m^3/mes	142,155
ANC m^3/mes	254,594	%PT	44%	%PC	55.8%
PSE m^3/mes	456,206	%PTD	24.6%	%PCD	31.2%

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 33: Estado general de la red y los arranques, sistema Gran Alimentadora

Estado General de la Red [l/s/km] < 0.35	**0.57**
Estado General de los Arranques [l/hr/arranque] < 15	11.15

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 34: Cálculo del ILI sistema Gran Alimentadora

CARL [l/arranque/día]	606.06
UARL [l/arranque/día]	39.2
ILI	**15.5**

Fuente: (Elaboración propia)

Se puede apreciar de la Tabla 32 que las pérdidas comerciales son mayores que las pérdidas técnicas. Es decir, las pérdidas por fugas son menores que las pérdidas debido a ilícitos y otros factores de las pérdidas comerciales. Esto podría deberse a una cantidad de conexiones irregulares que no han sido identificadas o a que los medidores están fallando en su función. Igualmente, las pérdidas técnicas alcanzan casi un 50% del total del agua que no se contabiliza, por lo que el material de las tuberías (la mayoría de asbesto cemento) influye en que la pérdida técnica corresponda a ese valor.

Otro factor que puede contribuir en la pérdida comercial es la existencia de traspasos entre la Gran Alimentadora y la Cañería de Alta (sistema que alimenta al centro de Valparaíso). Por lo tanto, hay un porcentaje de agua potable que sale del estanque hacia el sistema de distribución, sin embargo, no se registra por los medidores de los clientes de la Gran Alimentadora. Estos traspasos se deben a una válvula que separa dos sectores de presión, pero que no funciona de la forma en que se espera. Otra razón puede ser una ERP que tiene una diferencia de presión muy grande entre dos sectores de presión, por lo que deja que pase más agua de la esperada entre ellos.

El valor del ILI es de 15 lo que, según la clasificación de la Tabla 5, el sistema de la Gran Alimentadora tiene una clasificación de tipo C para países en vías de desarrollo. Esto hace notar que el aprovechamiento de los recursos económicos e hidráulicos no son adecuados.

1.2.2. Indicadores económicos

A continuación en la Tabla 35, se presentan los resultados de los costos de las pérdidas y el beneficio no percibido debido a éstas.

Tabla 35: Resultado de costos y beneficios de las pérdidas, sistema Gran Alimentadora.

Costos		Beneficios	
Costo Pérdidas Distribución [$]	96,147,530	Beneficio Neto Pérdidas Técnicas [%]	86.1%
Costo Pérdida Técnica [$]	1,159,248	Beneficio Neto Perdido No Facturación [%]	70.51%
Costo Agua No Comercializada [$]	94,988,283	Beneficio Neto Total Perdido [%]	71.37%

Fuente: (Elaboración propia)

Las pérdidas en el período de tiempo analizado le costaron 96 millones de pesos a ESVAL, la mayoría por no facturación de 140 mil metros cúbicos. Si esta tendencia de pérdida se mantiene en el tiempo, ayudaría a explicar la baja en la facturación que tuvo la empresa durante el 2016.

2. ANÁLISIS DE SECTORES DE DERIVACIÓN GRAN ALIMENTADORA

Para el análisis de los sectores de la Gran Alimentadora, se decidió agruparlos según el grupo de medición asignado en la Metodología de Trabajo. La razón de esta elección es debido a la gran cantidad de sectores existentes y a la gran dispersión de datos que se genera. Agrupando los sectores de esta forma, se tienen datos más acotados y cercanos a la realidad. Esto debido a que el caudal nocturno por grupo es el caudal nocturno medido en terreno, por lo que no corresponde a una distribución de caudal en base a cantidad de clientes por sector (como debería hacerse si se analiza cada uno de los sectores por separado; esto generaría un mayor error en el cálculo).

Para considerar la producción a la salida del estanque para cada grupo de sectores de derivación, se tomó en consideración el porcentaje de clientes que tiene cada grupo. En base al porcentaje de clientes del total, se repartió el caudal total que sale del estanque Lyon en cada uno de los 14 grupos existentes. Este es un dato necesario para la metodología BABE y el cálculo de indicadores. Los resultados se presentan en la Tabla 36.

Tabla 36: Cálculo de pérdidas por grupo de sectores de derivación

Grupo	Sector	Clientes Corregidos	Qmn medido l/s	Q medio medido l/s	Qmn teórico l/s	Criterio Tabla 2	%PTotal	%PTéc	%PCom
1	Los Pinos	152	22.66	54	0.686	42%	57,19%	40,69	16,49%
	Zegers Ossandón	191							
2	Ramaditas Cantú	409	0.7	3.12	0.818	22.44%	65.55%	3.78%	61.77%
3	Aristóteles	22	-	-	-	-	-	-	-
	Sta.-teresa-Casanova	62							
	Villagra- El litre	158							
	Bilbao	15							
4	Francia	33	1.3	11.39	1.126	11.41%	60.54%	1.53%	59.01%
	Zilleruelo-Riquelme	530							
5	Figueroa	364	18	38.6	3.768	46.63%	66.46%	36.87%	29.59%
	Ferrari	1,324							
	Yerbas buenas	196							
6	Gral.. Mackenna	740	-	-	-	-	-	-	-
	Basilio Rojas	21							
	Guillermo Rivera	269							
	Etchegaray	37							
7	Placilla	538	1.37	3.12	1.076	43.91%	66.76%	9.42%	57.34%
8	Pasaje Jiménez	189	2.43	7.5	2.042	32.40%	60.41%	5.17%	55.24%
	Camila	206							
	Cumming-Armstrong	626							
9	Múnich	166	1.5	14.315	4.074	10.48%	56.70%	17.98%	38.72%
	Plaza San Luis	1,517							
	Balmes-Miranda	354							
10	José Tomas Romas	93	10.5	17.66	1.41	59.46%	69.36%	51.47%	17.89%
	Blanquillo	20							
	Aduanilla	183							
	Subida Toro	409							
11	Obispo Villareal	1,135	10.5	32.01	2.27	32.80%	61.45%	25.71%	35.73%
12	Q. Verde - Pacifico	2,023	10.5	31.9	4.046	32.92%	51.06%	20.23%	30.82%
13	Aguayo	1,208	2.055	9.4	2.416	21.86%	14.92%	3.84%	11.08%
14	Rio Frio	363	0.65	2.12	0.726	30.66%	44.00%	3.58%	40.41%

Fuente: (Elaboración propia)

Tal como se indica en la Tabla 2 en la sección 1.4 del capítulo III, se puede determinar la existencia de fugas en las matrices de distribución dividiendo el caudal mínimo medido por el caudal medio medido.

Realizando esto, se obtiene que hay dos grupos de sectores con un índice bajo el 15%, por lo que no deberían existir fugas en ese grupo. Tres grupos están entre el 15% y el 30%, lo que indica que en esos puntos es probable que existan fugas. Para el resto de los 9 grupos, hay certeza de que existen fugas, debido a que su índice está muy por sobre el 30% (valor máximo de la Tabla 2). Según este criterio, los sectores con una mayor probabilidad de fugas son José Tomás Ramos, Blanquillo, Aduanilla y Subida Toro (Grupo 10). En estos lugares, la materialidad dominante en sus tuberías es el Asbesto Cemento, el cual es bastante antiguo. Esto significa que podría existir una gran cantidad de fugas debido a que la vida útil de las tuberías está en su límite.

2.1. Metodología BABE

A continuación, en la Tabla 37 y la Tabla 38 se presentan los parámetros medidos en terreno que se aplicarán utilizando la metodología BABE, para luego realizar un análisis de las pérdidas en la red de distribución.

Tabla 37: Parámetros medidos por grupo de sectores

BABE	Unidad	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8	Grupo 9	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 12	Grupo 13	Grupo 14
Longitud de tuberías	km	2.57	3.28	-	3.64	9.14	-	3.136	5.255	10.19	4.426	5.809	11.839	6.448	2.222
Long total de los arranques	km	0.006	0.006	-	0.006	0.006	-	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
Número de arranques	u	343	409	-	563	1,884	-	538	1,021	2,037	705	1,135	2,023	1,208	363
Número de propiedades	u	343	409	-	563	1,884	-	538	1,021	2,037	705	1,135	2,023	1,208	363
Población estimada	Pers.	957	1141	-	1571	5256	-	1501	2849	5684	1967	3167	5644	3371	1013
Flujo mínimo nocturno medido	l/s	22.66	0.7	-	1.3	18	-	1.37	2.43	1.5	10.5	10.5	10.5	2.055	0.65
N°pequeños usuarios no domésticos	u	2	3	-	24	64	-	12	26	330	21	33	106	71	18
Media de consumo de pequeños consumidores no domésticos	m^3/usu	0.077	0	-	0.024	0.029	-	0	0.0354	0.069	0.0156	0	0	0	0
N°grandes usuarios no domésticos	u	1	0	-	0	6	-	4	10	22	2	5	38	29	2
Media de consumo grandes usuarios no domésticos	m^3/usu	0.768	0	-	0	0.392	-	0.1044	0.234	1.305	0.076	0.056	0	0	0.027
Días del mes	días/mes	31	31	-	31	31	-	31	31	31	31	31	31	31	31
Presión más alta	mca	94	68	-	67	69	-	66	95	74	97	69	79	70	70
Presión más baja	mca	22	21	-	20	18	-	24	7	18	20	19	20	18	26
Facturación	m^3/mes	4,944	4,743	-	7,479	21,274	-	6,020	13,607	29,694	7,273	14,732	33,334	34,599	6,844
Prod. salida estanque	m^3/mes	11,547	13,769	-	18,954	63,427	-	18,112	34,373	68,577	23,735	38,211	68,106	40,668	12,221

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 38: Resultados metodología BABE por grupo

Variable	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8	Grupo 9	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 12	Grupo 13	Grupo 14
Uso Normal Nocturno m^3/hr	0.58	0.685	-	0.943	3.159	-	0.901	1.714	3.479	1.181	1.9	3.387	2.02	0.608
Uso Nocturno Doméstico	0.57	0.685	-	0.942	3.154	-	0.901	1.709	3.410	1.180	1.9	3.387	2.02	0.608
Uso No Doméstico Pequeños Usuarios	0	0	-	0.001	0.002	-	0	0..001	0.031	0	0	0	0	0
Uso No Doméstico Grandes Usuarios	0	0	-	0	0.003	-	0.001	0.003	0.039	0	0	0	0	0
Fugas de Fondo m^3/hr	1.47	1.767	-	2.397	7.902	-	2.277	4.294	8.556	2.997	4.77	8.57	5.08	1.541
Fugas de Fondo Tuberías m^3/hr	0.10	0.131	-	0.145	0.366	-	0.125	0.21	0.408	0.177	0.23	0.47	0.26	0.088
Fugas de Fondo Conexiones	1.03	1.227	-	1.689	5.652	-	1.614	3.063	6.111	2.115	3.405	6.069	3.624	1.089
Fugas de Fondo Accesorios	0.34	0.409	-	0.563	1.884	-	0.538	1.021	2.037	0.705	1.135	2.023	1.208	0.363
Fugas de Fondo Presión Media Nocturna m^3/hr	65.40	78.46	-	93.84	423.3	-	114.7	234.53	354.169	222.1	249.2	419.93	242.35	85.752
Presión Media Nocturna mca	41.83	41.854	-	39.64	45.45	-	44.258	45.84	40.6	59.253	44.942	43.71	43.154	46.22
Factor Corrector de la Presión	1.06	1.061	-	0.987	1.179	-	1.14	1.191	1.02	1.251	1.162	1.122	1.103	1.204
Flujo Mínimo Nocturno m^3/hr	81.58	2.520	-	4.68	64.8	-	4.932	8.748	5.4	37.8	37.8	37.8	7.398	2.34
Flujo Mínimo Nocturno Medido l/s	22.66	0.700	-	1.3	18	-	1.37	2.43	1.5	10.5	10.5	10.5	2.055	0.65
Fuga Física Nocturna m^3/hr	81	1.835	-	3.737	61.641	-	4.031	70.345	1.921	36.62	35.9	34.41	5.376	1.732
Pérdidas Caudal Mínimo Nocturno	0.993	0.728	-	0.798	0.951	-	0.817	0.804	0.356	0.969	0.95	0.91	0.727	0.74

Fuente: (Elaboración propia)

2.2. Indicadores técnicos y económicos

A continuación en la Tabla 39, Tabla 40, Tabla 41 y Tabla 42 se presentan los resultados de los indicadores técnicos y económicos que se obtienen de la aplicación de la metodología BABE para el análisis de las pérdidas en la red de distribución.

2.2.1. Indicadores técnicos

Tabla 39: Resultados por tipo de pérdidas en los grupos de sectores de derivación

Pérdidas por distribución	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14
%Pérd, Dist,	57%	66%	-	61%	67%	-	67%	60.4%	57%	69%	61.4%	51%	15%	44%
ANC m^3/mes	6,603	9,026	-	11,475	42,153	-	12,092	20,766	38,884	16,462	23,479	34,772	6,069	5,377
PSE m^3/mes	11,547	13,769	-	18,954	63,427	-	18,112	34,373	68,577	23,734	38,211	68,106	40,668	12,221
Pérdida Técnica														
Pérd, Técnica m^3/mes	4,698	521	-	290	23,386	-	1,735	1,778	12,331	12,217	9,824	13,010	2,643	438
%PT	71.16%	5.77%	-	2.52%	56%	-	14%	8.6%	31%	74%	42%	37%	44%	8%
%PTD	40.69%	4%	-	1.5%	37%	-	10%	5%	18%	51%	26%	19%	7%	4%
Pérdida Comercial														
Pérd. Comercial m^3/mes	1904.17	8,506	-	11,185	18,767	-	10,357	18,988	26,553	4,245	13,655	21,762	3,426	4,939
%PC	28.84%	94%	-	98%	45%	-	86%	91%	68%	26%	58%	63%	56%	92%
%PCD	16.49%	62%	-	59%	30%	-	57%	55%	39%	18%	36%	32%	8%	40%

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 40: Estado general de la red y los arranques; grupos de sectores de derivación

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14
Estado General de la Red [l/s/km] <0,35	0.68	0.06	-	0.03	0.96	-	0.21	0.13	0.45	1.03	0.63	0.41	0.15	0.074
Estado General de los Arranques [l/hr/arranque] <15	18.41	1.71	-	0.69	16.68	-	4.33	2.34	8.14	23.3	11.63	8.644	2.94	1.62

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 41: Cálculo del ILI, grupos de sectores de derivación

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14
CARL [l/arranque/día]	621.03	711.91	-	657.47	721.74	-	725.04	656.1	615.76	753.22	667.29	554.46	162.07	477.8
UARL [l/arranque/día]	39.12	39.54	-	36.33	40.33	-	40.06	40.93	36.14	54.11	40.09	39.57	38.67	42.09
ILI	15.87	18	-	18.09	17.89	-	18.09	16.03	17.04	13.92	16.64	14	4.19	11.35

Fuente: (Elaboración propia

2.2.2. Indicadores económicos

Tabla 42: Resultado de costos y beneficios de las pérdidas, grupos de sectores de derivación

Costos	**G1**	**G2**	**G3**	**G4**	**G5**	**G6**	**G7**	**G8**	**G9**	**G10**	**G11**	**G12**	**G13**	**G14**
Costo Pérdidas Distribución [M$]	1.32	5.68	-	7.48	12.78	-	6.94	12.71	17.87	2.96	9.23	14.67	2.32	3.3
Costo Pérdida Técnica [M$]	0.048	0.0054	-	0.003	0.24	-	0.018	0.018	0.13	0.125	0.1	0.134	0.027	0.0045
Costo Agua No Comercializada [M$]	1.272	5.68	-	7.47	12.54	-	6.92	12.68	17.74	2.84	9.12	14.54	2.28	3.29
Beneficios	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14
Beneficio Neto Pérdidas Técnicas [%]	0.015	0.0017	-	0.0006	0.017	-	0.0015	0.0008	0.0027	0.0079	0.004	0.003	0.002	0.0006
Beneficio Neto Perdido No Facturación [%]	0.3851	1.79	-	1.5	0.88	-	0.572	0.55	0.387	0.178	0.36	0.32	0.084	0.404
Beneficio Neto Total Perdido [%]	0.3998	1.79	-	1.5	0.89	-	0.573	0.55	0.389	0.187	0.36	0.32	0.085	0.404

Fuente: (Elaboración propia

Del uso normal nocturno que aparece en la Tabla 38, hay 3 grupos de sectores que tienen un caudal mayor a 3 m^3/hr (0.83 l/s), es decir, se consume casi 1 l/s durante la noche. Este valor es alto, considerando que el consumo nocturno debe ser bajo y el mayor componente del caudal en la noche se debe a fugas. Esto ocurre en:

- Grupo 5: Figueroa, Ferrari, Yerbas Buenas.
- Grupo 9: Munich, Plaza San Luis, Balmes - Miranda
- Grupo 12: Quebrada Verde.

De la Tabla 39, se pude observar que hay 8 grupos que tienen pérdidas en su distribución sobre el 60% de la producción que cada grupo de sectores debería tener. De estos 7 grupos, en 5 de ellos las pérdidas comerciales son mayores que las pérdidas técnicas.

De esos 5 grupos con pérdidas comerciales mayores a las pérdidas técnicas, todos ellos tienen su parque de medidores con una edad promedio sobre 13 años, como se indica en la Tabla 43. Coincidentemente, los grupos con mayor pérdida comercial son el Grupo 2, Grupo 4 y Grupo 8, los cuales tienen los medidores con una edad promedio mayor al resto. Por lo tanto, se podría concluir que es en estos grupos en los que la pérdida comercial por concepto de submedición es mayor que el resto de los medidores del sistema, debido a una mayor probabilidad de falla por vida útil del medidor.

Tabla 43: Grupos con Pérdida Comercial mayor a la Pérdida Técnica y la edad de sus medidores.

Grupo	Sector	Edad promedio total de medidores	Edad promedio Transmisión magnética	Edad promedio Transmisión mecánica
2	Ramaditas – Cantú	14	11	-
4	Francia	13	11	-
	Zilleruelo – Riquelme	14	11	24
7	Placilla	13	11	-
8	Pasaje Jiménez	-	-	-
	Camila	15	13	24
	Cumming - Armstrong	14	12	24
11	Obispo Villarreal	14	11	24

Fuente: (Elaboración propia)

El Departamento de Redes de ESVAL tiene conocimiento sobre la existencia de traspasos presentes en los sectores que conforman el grupo 5 y el grupo 9, lo que puede ser un motivo del alto nivel de consumo nocturno que se registra en esos grupos. Además, se debe considerar que en esos sectores de Valparaíso existe un alto porcentaje de habitantes despiertos durante la noche, ya que hay bares nocturnos y restaurantes. Por otro lado, el grupo 12 es aquel que posee la mayor cantidad de clientes, más de 2000, por lo que tiene sentido que tenga un gran consumo.

Respecto al estado general de la red y los arranques indicados en la Tabla 40, la mayoría de los grupos de sectores están justo en el límite permitido. Sin embargo, los que sobrepasan el límite máximo son los grupos 1, 5, 9, 10, 11 y 12. Los grupos 5 y 10 son los que tienen un índice cercano a 1 y, por ende, una mayor probabilidad de existencia de fugas (Tabla 2).

Para el ILI, todos los grupos están entre 8 y 20, por lo que su clasificación sería de tipo C (entre 8 – 16) y D (>16). Sólo un sector (Grupo 13: Aguayo) posee un indicador bajo 5, que lo posiciona en la categoría B. Siendo este un valor puntual, no influye en el resultado del sistema completo.

En cuanto al mayor costo económico asociado a las pérdidas, el mayor valor lo registra el grupo 9, el cual es uno de los sectores en donde los costos por pérdida técnica y comercial están en primer lugar por separado.

En relación a la pérdida de beneficio económico, el mayor porcentaje de pérdida por no facturación lo concentran los grupos 2 y 4, los cuales también tienen un alto porcentaje de pérdida comercial. Si se aplicaran obras que ayuden a disminuir las pérdidas comerciales, y por ende, aumente la facturación, este indicador podría disminuir. El grupo 5 también presenta un alto índice de pérdidas de beneficio económico (cercano al 1%), esto se puede deber al traspaso de agua en las redes de distribución existentes en el sector Ferrari. Es por esto que si la ubicación de ese traspaso es identificada el indicador para el grupo 5 podría disminuir en el futuro.

Del análisis de estos resultados se puede concluir que resultaría útil tener instrumentos de medición continua, ya que facilita la identificación de los sectores en donde la pérdida técnica y/o comercial es mayor.

3. ESTUDIO ECONÓMICO

3.1. Antecedentes de los equipos considerados para la medición continua de caudal

ESVAL posee varios tipos de flujómetros para satisfacer distintas necesidades de datos y condiciones de instalación. Dependiendo del lugar en dónde se requiera instalar uno de estos equipos, se selecciona el tipo de acuerdo a los costos asociados y a las condiciones de la red existentes.

En el capítulo III apartado 3, se presentan los tipos de medidores con los que usualmente trabaja la empresa y por los cuales tienen preferencia a la hora de invertir. De acuerdo a esta información, se escogerán aquellos que cumplan con las características de la Gran Alimentadora y cuyo costo sea conveniente.

3.2. Antecedentes de Costos de Macromedición

3.2.1. Equipo de Inserción

En el 2016 se realizaron los proyectos de instalación de medidores de inserción electromagnética tipo F-3600 de ONICON, indicados en la Tabla 44, en algunas ERP pertenecientes a los sectores que dependen de la Gran Alimentadora.

Tabla 44: Costos equipos macromedición de inserción, año 2016.

Descripción	Fecha	Monto Goor UF	Monto Goor $	Monto llave de Bola $	Cantidad Equipos	Costo Equipo $	Gabinete	Costo Total Instalación $
ERP 181 Artillería con Orompello, Pya. Ancha.	oct-16	18.74	493,905	44,000	1	1,761,858	0	2,299,762
ERP 186 Alcalde Barrios con Frontera, Pya. Ancha.	oct-16	18.74	493,905	44,000	1	1,761,858	0	2,299,762
ERP 549 Plaza San Luis con MonteAlegre, C° Alegre	oct-16	18.74	493,905	44,000	1	1,761,858	0	2,299,762
ERP 554 Templeman con Almirante Montt	oct-16	2.43	64,044	0	1	1,761,858	0	1,825,902
ERP. 192 Hontaneda Punta Norte Estadio.	oct-16	16.41	432,496	44,000	1	1,761,858	0	2,238,354
Erp. 585 Ferrari, La Sebastiana	nov-16	16.82	443,302	44,000	1	1,761,858	0	2,249,159
Erp. 588, Ferrari Alt. 406.	nov-16	16.82	443,302	44,000	1	1,761,858	0	2,249,159

Fuente: (ESVAL S.A.)

El "Monto Goor" se refiere a los trabajos que debe realizar la empresa encargada de la instalación del equipo. Mientras más arreglos y actividades se deban hacer en el lugar, el monto de la empresa aumenta. Por otro lado, el costo del equipo de inserción electromagnética F-3600 de ONICON es $1,761,858.

El costo máximo de un proyecto de instalación de este tipo de medidores es $2,299,000. Esto, sin considerar la instalación de un gabinete necesario para proteger los conversores y partes eléctricas del macromedidor. Si se llegara a colocar uno, el costo llega como máximo a los $90,000, por lo que un proyecto completo de instalación tendría un valor de aproximadamente de $2,390,000.

Además, de acuerdo a cotizaciones de los proyectos de instalación de medidores indicados en la Tabla 44, se tiene el costo unitario del equipo de inserción electromagnética Seametrics - Serie EX100/200, el cual asciende a la suma de $985,255. Considerando las mismas condiciones de instalación que el equipo F-3600 de ONICON, el costo total de instalación para el medidor de caudal Seametrics llega a la cifra de $1,523,160.

3.2.2. Equipo de carrete

Durante el 2016 no se instalaron medidores de carrete en algún punto de la Gran Alimentadora, pero de acuerdo a las cotizaciones de otros medidores instalados se tiene que:

Tabla 45: Costo equipo Octave.

Equipo	Cantidad	Precio Neto	Precio en moneda nacional
Medidor de Flujo Octave 150 mm (6”)	1	USD 2,890	$1,859,686
Medidor de Flujo octave 200 mm (8”)	1	USD 3,900	$2,509,611
Adaptador señal (4-20 mA o Pulso) Opcional. Incluye 2 salidas	1	USD 130	$83,653

Fuente: (Cotización ESVAL S.A.)

El adaptador de señal debe instalarse con cada uno de los medidores de flujo, por lo que el costo de los equipos en total sería:

Tabla 46: Costo total compra equipos

Equipo	Cantidad	Precio neto	Precio en moneda nacional
Medidor de Flujo Octave 150 mm (6”) + Adaptador de señal	1	USD 2,890 + 130	$1,943,340
Medidor de Flujo octave 200 mm (8”) + Adaptador de señal	1	USD 3,900 + 130	$2,593,264

Fuente: (ESVAL S.A.)

Este costo total de los equipos no considera el precio de la instalación.

Además, debe considerarse que este medidor de flujo es para diámetros máximos de 300 mm, por lo que no es posible su instalación en la Gran Alimentadora (tubería de 700 mm de diámetro). Sin embargo, se pueden utilizar en las derivaciones de la gran tubería. No obstante, al tener que cortar el suministro de agua potable a los clientes y poseer un proceso de instalación intrusivo, no es muy conveniente poner uno de estos medidores de flujo, además de generar una molestia en los consumidores al tener que realizar cortes del suministro.

3.2.3. Equipo tipo Clamp-On

a) Panametrics

Tabla 47: Costo equipo Panametrics.

Equipo	Cantidad	Valor unitario $	Total $
PT 878SYS – unidad electrónica base, incluye: -batería y cargador -calibre de espesor -maletín standard -cable 704-671-25	1	$4,702,336	$4,702,336
Transductores, aplicaciones de -40°C a 150°C, tubos de 2” a 24”	1	$1,239,039	$1,239,039
IRDA cable de comunicación USB conector para PC	1	$151,465	$151,465
Cable de alimentación, 3 cables 220 VAC	1	$110,215	$110,215
Total			**$6,203,055**

Fuente: (ESVAL S.A.)

Al ser un equipo portátil utilizable en mediciones puntuales de corto periodo de tiempo, es necesario considerar una fuente de energía externa, de esta forma, la medición puede ser continua. Por lo tanto, al costo total de la compra del equipo se le debe sumar el costo de un banco de baterías externo o el costo de una microturbina.

b) AT600

Tabla 48: Cotización costo equipo medidor de tiempo en tránsito fijo.

Equipo	Cantidad	Costo
Sistema medidor AT600	1	$2,651,000
-Par de transductores 1.0 MHz -Abrazaderas, sistema de abrazaderas monocanal -Alimentación 13 a 28 VDC -Salida analógica 4-20 mA -Salidas discretas, dos salidas del totalizador (pulso) -Cable coaxial sumergible (15 mt) -Pendrive -Silicona -Cable Estándar (Demo)		
Neto		$2,651,000
19% IVA		$503,690
Total		$3,154,690

Fuente: (ESVAL S.A.)

Para este equipo, también hay que considerar una fuente de energía externa, de tal forma que pueda medir de forma continua y por más tiempo del que le permite su batería interna. Por lo que al costo total de la compra del equipo hay que agregarle el costo de la batería a instalar con él.

c) Costos Microturbina

A partir de las cotizaciones que ha realizado la empresa para otros proyectos, el valor de la microturbina tubular vertical y el modelo LH-1KW puede llegar a los $950,000 + IVA aproximadamente.

Por otro lado, se encuentra el antecedente de un proyecto que se hizo en la ERP instalada en una cámara de 19 norte en Viña del Mar. Allí se instaló una microturbina hidráulica modelo X143IP y el costo de este equipo es de USD5540 (instalado). Considerando el precio del dólar como $643 (febrero de 2017), el costo de este generador de energía en pesos chilenos llega a los $3,562,220.

Adicionalmente, hay que tener en cuenta que en los puntos donde se elija instalar los medidores de caudal en la Gran Alimentadora, no existen válvulas reguladoras. Por lo tanto, no existe una caída de presión, por lo que la instalación de un generador como el segundo modelo indicado no es conveniente.

3.3. Antecedentes Detección de Fugas y Control de Ilícitos

3.3.1. Costos por contratista

Son tres las empresas contratistas que realizan trabajos para ESVAL. Una de ellas realiza proyectos masivos desde el año 2014 a la fecha, las otras dos hace trabajos específicos y programados con anticipación.

En esta sección se presentan los costos por actividad que realiza cada contratista[20].

a) Contratista 1

Tabla 49: costo inspección de fugas Contratista 1.

Ítem	Designación	Unid.	Precio Unitario ($)
1	Revisión de arranques	**UN**	1,040
2	Fuga visible en arranque	**UN**	2,080
3	Fuga semivisible en arranque	**UN**	20,800
4	Fuga no visible en arranque	**UN**	41,600
5	Fuga visible en matriz	**UN**	10,400
6	Fuga semivisible en matriz	**UN**	156,000
7	Fuga no visible en matriz	**UN**	353,600
8	Ilícito	**UN**	5,200
9	Trabajo no programado	**UN**	208,000

Fuente: (ESVAL S.A.)

[20] Los nombres de los contratistas permanecen en reserva a pedido del Departamento de Pérdidas de ESVAL S.A.

b) Contratista 2

Tabla 50: Costo inspección de fugas Contratista 2.

Ítem	Designación	Unid.	Precio Unitario ($)
1	Revisión de arranques	**UN**	906
2	Revisión de matrices	**KM**	52,678
3	Fuga visible en arranque	**UN**	181
Ítem	**Designación**	**Unid.**	**Precio Unitario ($)**
4	Fuga semivisible en arranque	**UN**	7,612
5	Fuga no visible en arranque	**UN**	54,372
6	Fuga visible en matriz	**UN**	23,108
7	Fuga semivisible en matriz	**UN**	76,393
8	Fuga no visible en matriz	**UN**	420,477

Fuente: (ESVAL S.A.)

c) Contratista 3

Tabla 51: Costo inspección de fugas Contratista 3.

Ítem	Designación	Unid.	Precio Unitario ($)
1	Revisión de arranques	**UN**	1,368
2	Fuga visible en arranque	**UN**	2,736
3	Fuga semivisible en arranque	**UN**	27,250
4	Fuga no visible en arranque	**UN**	46,346
5	Fuga visible en matriz	**UN**	27,355
6	Fuga semivisible en matriz	**UN**	205,820
7	Fuga no visible en matriz	**UN**	456,619
8	Ilícito	**UN**	6,812

Fuente: (ESVAL S.A.)

3.3.2. Costos Detección de fugas

a) Subgerencia Zonal Valparaíso

La Subgerencia Zonal Valparaíso, que reúne a las localidades de Valparaíso, Viña del Mar, Con Con, Quilpué y Villa Alemana, se realizó 42,644 inspecciones de fugas el año 2015 y 49,474 inspecciones el 2016, encontrándose en total 292 fugas para el periodo 2015 – 2016. La distribución de las fugas detectadas se presenta en la Tabla 52.

Tabla 52: Detalle fugas detectadas e ilícitos.

2015	Fugas	2016	Fugas
Enero	3	Enero	26
Febrero	-	Febrero	8
Marzo	-	Marzo	-
Abril	18	Abril	4
Mayo	9	Mayo	14
Junio	-	Junio	-

Continuación Tabla 52: Detalle fugas detectadas e ilícitos.

2015	Fugas	2016	Fugas
Julio	-	Julio	-
Agosto	6	Agosto	16
Septiembre	9	Septiembre	15
Octubre	40	Octubre	30
Noviembre	2	Noviembre	29
Diciembre	-	Diciembre	63
Total	**87**		**205**

Fuente: (ESVAL S.A.)

En detalle, del total de fugas detectadas en el periodo 2015 – 2016, 253 corresponden a fugas en arranques y 38 a fugas de matriz. Por el tipo de fugas, se encontraron 104 fugas no visibles, 92 fugas semi-visibles y 95 fugas visibles.

El costo asociado a cada actividad de detección de fugas se indica en la tabla siguiente:

Tabla 53: Distribución por actividad.

Cantidad	Monto	Actividad	Año
13	$ 524,160	Fuga No Visible Arranque	2015
3	$ 990,080	Fuga No Visible Matriz	2015
35	$ 723,840	Fuga Semi Visible Arranque	2015
3	$ 436,800	Fuga Semi Visible Matriz	2015
27	$ 56,160	Fuga Visible Arranque	2015
7	$ 70,720	Fuga Visible Matriz	2015
82	$ 3,831,065	Fuga No Visible Arranque	2016
7	$ 2,912,788	Fuga No Visible Matriz	2016
46	$ 949,372	Fuga Semi Visible Arranque	2016
8	$ 1,168,393	Fuga Semi Visible Matriz	2016
51	$ 96,485	Fuga Visible Arranque	2016
11	$ 127,108	Fuga Visible Matriz	2016
Cantidad Total	**Costo Total**	**Actividad**	**Periodo**
291	$11,886,971	Fugas	2015 – 2016

Fuente: (ESVAL S.A.)

Para cada contratista, el costo medio por fuga para el período corresponde a:

Tabla 54: costo medio por fuga para cada contratista.

Contratista	Costo x fuga
Contratista 1	$ 408,550
Contratista 2	$ 186,250
Contratista 3	$ 472,486

Fuente: (ESVAL S.A.)

b) Localidad Valparaíso

En el caso de Valparaíso, localidad a la que pertenece el sistema Gran Alimentadora, no se realizaron actividades de inspección ni reparación de fugas en el 2016, por lo que se presentan las actividades realizadas en el 2015 (Tabla 55). Los trabajos que se realizaron en el 2016 presentadas en la Tabla 53 pertenecen a las otras localidades que conforman la Subgerencia Zonal Valparaíso.

Se efectuaron 26,352 inspecciones de fugas el 2015, encontrándose en total 50 fugas.

Tabla 55: Detalle fugas detectadas e ilícitos.

Fecha	Fugas
mayo de 2015	3
Junio de 2015	-
julio de 2015	18
agosto de 2015	9
septiembre de 2015	6
octubre de 2015	9
noviembre de 2015	5
Total	**50**

Fuente: (ESVAL S.A.)

Del total de fugas detectadas, 37 fueron en arranques y 12 en matrices, siendo 7 fugas no visibles, 26 fugas semi-visibles y 17 fugas visibles.

El costo asociado a cada actividad de detección de fugas se indica en la tabla siguiente:

Tabla 56: Distribución por actividad

Cantidad	Costo	Actividad	Año
5	$ 191,360	Fuga No Visible Arranque	2015
3	$ 990,080	Fuga No Visible Matriz	2015
23	$ 474,240	Fuga Semi Visible Arranque	2015
3	$ 436,800	Fuga Semi Visible Matriz	2015
10	$ 20,800	Fuga Visible Arranque	2015
7	$ 70,720	Fuga Visible Matriz	2015
Cantidad Total	**Costo total**	**Actividad**	**Año**
50	$2,184,000	Fugas	2015

Fuente: (ESVAL S.A.)

Para el contratista que realizó las actividades (Contratista 1) el costo medio por fuga para el período corresponde a $597,102.

3.3.3. Costos Control de Ilícitos

a) Subgerencia Zonal Valparaíso

- Ilícitos detectados e inspecciones realizadas: De un total de 5,288 inspecciones que se realizaron el 2016, se identificaron 1,148 ilícitos. En la Tabla 52 se muestra el detalle por mes.

Tabla 57: Ilícitos detectados e inspecciones realizadas por mes, SGZV.

Mes	Inspecciones	Ilícitos
enero	438	104
febrero	487	100
marzo	493	115
abril	440	80
mayo	407	99
junio	387	92
julio	427	102
agosto	437	117
septiembre	360	79
octubre	441	69
noviembre	501	108
diciembre	470	83
Total	**5,288**	**1,148**

Fuente: (ESVAL S.A.)

- Presunto: Corresponde a la cantidad de metros cúbicos de agua potable se presume que consumieron los clientes que cometieron ilícitos hasta antes de ser regularizada su situación. Se le hace un cobro a cada cliente por este valor de consumo calculado. Se estima que durante el 2016 la empresa recuperó, en pesos, el equivalente a 110,211 m^3 de agua potable.

Tabla 58: Consumo estimado total de clientes con ilícitos, SGZV.

Mes	Cantidad m^3
enero	6,715
febrero	11,170
marzo	12,495
abril	6,245
mayo	10,037
junio	7,173
julio	7,985
agosto	16,060
septiembre	9,365
octubre	6,600
noviembre	6,010
diciembre	10,356
Total	**110,211**

Fuente: (ESVAL S.A.)

- Ingresos y gastos: Los ingresos corresponden a la recuperación por los metros cúbicos calculados como presunto y a la venta de medidores, como también los gastos de realizar inspecciones a ilícitos (Tabla 59).

Tabla 59: Ingresos y Gastos de la recuperación de metros cúbicos debido a ilícitos.

Mes	Ingreso	Gasto
enero	$ 8,609,564	$ 7,399,260
febrero	$ 13,326,200	$ 10,339,410
marzo	$ 13,588,928	$ 10,667,910
abril	$ 8,049,797	$ 7,055,388
mayo	$ 12,269,283	$ 9,572,106
junio	$ 8,435,130	$ 7,021,523
julio	$ 9,619,755	$ 8,300,031
agosto	$ 18,665,932	$ 13,263,011
septiembre	$ 11,154,118	$ 8,455,616
octubre	$ 7,120,743	$ 6,580,639
noviembre	$ 8,229,287	$ 7,555,321
diciembre	$ 11,573,566	$ 9,264,266
Total	**$ 130,642,303**	**$ 105,474,481**

Fuente: (ESVAL S.A.)

En el 2016, la Subgerencia Zonal Valparaíso recuperó $25,167,822 gracias al control de ilícitos.

b) Localidad Valparaíso

- Ilícitos detectados e inspecciones realizadas: De un total de 1071 inspecciones que se realizaron en la localidad de Valparaíso (20% del total de la SGZV) el 2016, se identificaron 192 ilícitos (Tabla 60).

Tabla 60: Ilícitos detectados e inspecciones realizadas por mes, Localidad de Valparaíso (Fuente: ESVAL S.A.)

Fecha	Ilícitos	Inspecciones
marzo	30	152
abril	13	126
mayo	20	104
junio	17	87
julio	19	97
agosto	27	120
septiembre	11	89
octubre	11	101
noviembre	19	91
diciembre	25	104
Total	**192**	**1,071**

Fuente: (ESVAL S.A.)

- Presunto: Durante el 2016, sólo en la localidad de Valparaíso, ESVAL debió haber recuperado en pesos el equivalente a 25,737 m^3. Este valor corresponde al 23.35% del total de m^3 estimados para todas las localidades que constituyen la Subgerencia Zonal Valparaíso (Tabla 61).

Tabla 61: Consumo estimado total de clientes con ilícitos, Localidad Valparaíso (Fuente: ESVAL S.A.)

Mes	Cantidad m^3
enero	1,815
febrero	2,250
marzo	2,250
abril	600
mayo	2,387
junio	1,005
julio	1,460
agosto	7,380
septiembre	730
octubre	3,180
noviembre	690
diciembre	1,990
Total	**25,737**

Fuente: (ESVAL S.A.)

- Ingresos y gastos: Para la localidad de Valparaíso, se tiene el siguiente flujo de dinero para el 2016, en cuanto a los ilícitos:

Tabla 62: Ingresos y Gastos correspondientes a los ilícitos para la localidad de Valparaíso.

Mes	Ingresos	Gastos
marzo	$2,915,602	$2,485,581
abril	$946,338	$1,215,486
mayo	$2,722,044	$2,199,124
junio	$1,391,118	$1,266,357
julio	$1,938,879	$1,627,122
agosto	$8,129,410	$5,351,801
septiembre	$844,661	$972,791
octubre	$2,439,624	$1,910,618
noviembre	$1,142,554	$1,097,312
diciembre	$2,480,605	$2,000,110
Total	**$24,950,834**	**$20,126,300**

Fuente: (ESVAL S.A.)

En el 2016, la localidad de Valparaíso recuperó $4,824,534 gracias al control de ilícitos, monto que corresponde al 20% del total recuperado durante 2016 por la subgerencia Zonal Valparaíso.

3.3.4. Antecedentes renovaciones 2016

El Departamento de Gestión de Redes es el encargado de determinar cuáles renovaciones son necesarias de realizar debido a diversas razones. Desde la gran cantidad de roturas que presentan en un periodo determinado de tiempo, la cantidad de reclamos, las solicitudes directas de la SISS hasta por emergencias. La importancia de cada uno de los factores mencionados se priorizan según las actividades a realizar en el Plan de Desarrollo. Además, los otros departamentos de la empresa también sugieren sectores a renovar.

Las renovaciones tienen un costo promedio de $200,000 por metro lineal. Este valor es estimado, ya que dependerá de los precios de cada contratista asociado al proyecto y de las actividades adicionales requeridas para la renovación de las redes (pavimentación, mano de obra, etc). Aun así, ESVAL usa el valor antes mencionado como un estándar para el costo de sus inversiones, ya que reúne el total de todas las acciones requeridas en un proyecto.

A continuación, en la Tabla 63 se presentan las renovaciones realizadas durante el 2016 en calles pertenecientes a los sectores de derivación de la Gran Alimentadora. Estas renovaciones están divididas bajos dos criterios. El primero es si están incluidas en el Plan de Desarrollo de la empresa para el año respectivo, es decir, proyectos programados (Tabla 63), mientras que el segundo criterio es si son renovaciones de emergencia (Tabla 64).

Plan de Desarrollo

El costo total de las renovaciones del plan de desarrollo para el año 2016 es de $ 174,000,000 (Tabla 63).

Tabla 63: Renovaciones Plan de Desarrollo (Fuente: ESVAL S.A.)

Localidad	Clientes del cuartel	Calle a renovar	Material existente	Material propuesto	Diámetro existente	Diámetro propuesto	Metros a renovar	Año ejecución
Valparaíso	218	Harrington	Asbesto cemento	HDPE	75	110	140	2016
Valparaíso	218	Errázuriz	Asbesto cemento	HDPE	75	110	140	2016
Valparaíso	237	Jauregui	Fierro fundido	HDPE	50	160	150	2016
Valparaíso	237	Gral. Sucre	Fierro fundido	HDPE	50	160	240	2016
Valparaíso	237	Zapiola	Fierro fundido	HDPE	50	110	50	2016
Valparaíso	237	Rubén Darío	Fierro fundido	HDPE	50	110	50	2016
Valparaíso	237	Salvador Puga	PVC	HDPE	75	110	100	2016

Fuente: (ESVAL S.A.)

Renovaciones de emergencia (no incluidas en el plan de desarrollo 2016)

El costo total de las renovaciones no incluidas en el plan de desarrollo para el año 2016 es de $13,000,000 (Tabla 64).

Tabla 64: Renovaciones no presentes en Plan de Desarrollo.

Localidad	Clientes del cuartel	Calle a renovar	Material existente	Material propuesto	Diámetro existente	Diámetro propuesto	Metros a renovar [m]	Observación
Valparaíso	228	Calle El Cóndor	Asbesto Cemento	HDPE	75 mm	110	65	Pavimentación

Fuente: (ESVAL S.A.)

Con esto, para el 2016, el total de las renovaciones realizadas en calles de los sectores de derivación de la Gran Alimentadora es de aproximadamente $187,000,000.

3.3.5. Costos medición continua

a) Puntos de instalación para medición continua de caudal

Los puntos en los que se van a instalar los equipos son los mismos lugares en que se midió el caudal en cámaras de la Gran Alimentadora en las campañas de medición realizadas entre agosto y noviembre del 2016 (explicadas en la sección 2 del capítulo V).

Se tienen 13 puntos de medición de caudal en total: 10 puntos en cámaras pertenecientes a la Gran Alimentadora (donde el diámetro de la tubería es de 700 mm) y 3 cámaras de derivación hacia sectores (donde el diámetro es menos de 200 mm).

Según estos diámetros, se seleccionan los tipos de medidores de caudal de acuerdo a la factibilidad de la instalación. De la Tabla 65, se tiene que los equipos ideales a instalar son medidores de caudal de tipo inserción electromagnética y tipo Clamp-On.

Tabla 65: Factibilidad flujómetros

Equipo	Factibilidad
Inserción Electromagnética	
F-3600 de ONICON	√
Seametrics – Serie EX100/200	√
Carrete	
Octave	X
Clamp-On	
Panametrics	√
AT600	√
Batería de ciclo profundo	√

Fuente: (Elaboración propia)

Las variables a considerar, para determinar los puntos en dónde se instalarán los equipos, son 3: Los grupos de sectores con traspasos entre la Gran Alimentadora y la Cañería de Alta, los grupos de

sectores con mayor pérdida técnica que pérdida comercial y los puntos en los que se registra un ingreso de agua al sistema debido a válvulas que se dejaron abiertas para suplir la demanda en emergencias.

A continuación (Tabla 66), se presentan los grupos de sectores de derivación separados por los puntos de medición. Además, se indican las características de cada grupo en cuanto a su caudal nocturno, su tipo de pérdida, puntos en donde instalar el equipo y el tipo de equipo ideal a instalar.

Tabla 66: Puntos de instalación de flujómetros en sistema Gran Alimentadora

Punto	Derivación	Clientes	Longitud Red [km]	Caudal nocturno	Pérdida dominante	Tipo Cámara	Equipo
Lyon				67			Instalado Seametrics
	Los Pinos Zegers	343	2.568				
Cámara 1				44.7		Ventosa	
	Ramaditas Cantú	409	3.284		Comercial		
Cámara 2				44		Ventosa	E1 - Inserción
	Aristóteles Sta. Teresa-Casanova Villagra- El Litre Bilbao	257	1.84	Entra Caudal	-		
Cámara 3				52.3		Ventosa	E2 - Inserción
	Francia Zilleruelo-Riquelme	563	3.635		Comercial		
Cámara 4				51		Ventosa	
	Figueroa Ferrari Yerbas Buenas	1,884	9.144	Traspaso	Técnica		
Cámara 5				33		Ventosa	E3 - Inserción
	Gral. Mackenna Basilio Rojas Guillermo Rivera Etchegaray	1,067	3.923	Entra Caudal	-		
Cámara 6				36.8		Ventosa	E4 - Inserción
	Placilla	538	3.136		Comercial		
Cámara 7				35.43		Ventosa	
	Pasaje Jiménez Camila Cumming-Amstrong	1,021	5.255	Traspaso	Comercial		
Cámara 8				33		Ventosa	E5 - Inserción
	Múnich Plaza San Luis Balmes-Miranda	2,037	10.19	Traspaso	Comercial		

Continuación Tabla 66: Puntos de instalación de flujómetros en sistema Gran Alimentadora

Punto	Derivación	Clientes	Longitud Red [km]	Caudal nocturno	Pérdida dominante	Tipo Cámara	Equipo
Cámara 9				31.5		Ventosa	E6 - Inserción
	José Tomas Ramos Blanquillo Aduanilla Subida Toro	705	4.426		Técnica		
Cámara 10				21		Ventosa	E7 - Inserción
	Obispo Villareal	1,135	5.809		Comercial		
Cámara 11	Q. Verde - Pacifico	2,023	11.839	10.5	Comercial	Sin Espacio	
Cámara 12	Aguayo	1,208	6.448	2.055	Comercial	Sin Espacio	
Cámara 13	Rio Frio	363	2.222	0.65	Comercial	Sin Espacio	

Fuente: (ESVAL S.A.)

De esta manera, se deben instalar 7 equipos de inserción electromagnética autónoma en cámaras de la Gran Alimentadora, y de reserva se debe tener un equipo portátil tipo Clamp-On, el cual será utilizado en puntos donde no es necesario tener una medición continua de caudal, pero que permitirá conocer en detalle el consumo de un sector de derivación cuando se requiera acotar el área de análisis.

El equipo Clamp-On pertenecerá exclusivamente al Departamento de Pérdidas de ESVAL, el cual será complementario a los equipos de medición que posee el Departamento de Macromedición.

b) Comparación de costos de equipos de medición de caudal

En la Tabla 67 se comparan los costos de los tipos de medidores de caudal presentados en el capítulo III sección 3.

La columna de factibilidad tiene que ver con la posibilidad de instalar el equipo en cámaras de la Gran Alimentadora, considerando características del instrumento de medición y de la tubería en la cual se quiere medir el caudal.

En los antecedentes de los equipos de inserción electromagnética se presentaron dos modelos, pero la tecnología es la misma. Entonces, el precio no debería cambiar en un porcentaje muy alto. Es por esto que se considera el costo mayor que se tuvo en las instalaciones de este tipo de equipos durante el 2016.

Tabla 67: Tabla comparación de costos Equipos de medición de caudal

Equipo	Factibilidad	Costo equipo + instalación	Total
Inserción Electromagnética			
F-3600 de ONICON	√	$ 2,390,000	$ 2,390,000
Seametrics – Serie EX100/200	√	$ 1,523,160	$ 1,523,160
Carrete		-	-
Octave	X	-	-
Clamp-On			
Panametrics	√	$ 6,203,055	$ 6,414,875
AT600	√	$ 3,154,690	$ 3,366,510
Batería de ciclo profundo	√	$ 211,820	

Fuente: (cotizaciones ESVAL S.A.)

Nota Tabla 67: Costo incluye el costo del equipo y de instalación.

De la tabla anterior, se concluye que los equipos más económicos son los de tipo inserción electromagnética y el tipo Clamp-On modelo AT600 (precios con IVA incluido). Además, debido a la factibilidad de instalación del equipo en la tubería de diámetro 700 mm, se descarta el equipo de Carrete, ya que este puede ser utilizado en tuberías con diámetros hasta 300 mm.

Al ser equipos diferentes en su funcionamiento e instalación, pueden instalarse en distintos puntos de la Gran Alimentadora y en sus derivaciones, considerando las características del instrumento y del lugar de instalación.

Por otro lado, una desventaja del equipo AT600 es que no incluye un datalogger que permita ir viendo los datos medidos inmediatamente instalado el equipo. Por lo tanto, este debe ser comprado de forma externa. Además, el traslado del equipo requiere más esfuerzo que su equipo hermano Panametrics. Si bien la diferencia en su precio es bastante grande, el manejo y el trabajo (y también los elementos que incluyen la compra) hace que ambos tengan pros y contras.

El aspecto principal a considerar para la instalación del equipo es el espacio que debe existir en la tubería y en la cámara. Este debe ser suficiente para que el posicionamiento del equipo cumpla con las condiciones de instalación indicadas en cada catálogo y para que la medición sea lo más exacta posible. En caso de colocar una batería externa o un equipo generador de energía, el espacio en la cámara debe permitir la instalación de este también.

c) Costo total por la cantidad de equipos a instalar

En la Tabla 68 se detalla la cantidad y el tipo de equipos a instalar. El costo total del proyecto variará dependiendo del equipo de medición de caudal escogido.

Tabla 68: Costo total compra e instalación de equipos (Precios con IVA incluido)

Tipo Equipo	Valor Unitario	Cantidad equipos	Total
Equipo Inserción			
F-3600 de ONICON	$ 2,390,000	7	$ 16,730,000
Seametrics – Serie EX100/200	$ 1,523,160	7	$ 10,662,120
Equipo Clamp-On			
AT600	$ 3,154,690	1	$ 3,154,690
Panametrics	$ 6,203,055	1	$ 6,203,055
Batería de ciclo profundo	$ 211.820	1	$ 211,820

Fuente: (Elaboración propia)

Nota tabla 64: Costo incluye el costo del equipo y de instalación.

Para escoger los equipos a instalar hay que tener en cuenta los antecedentes presentados en la sección 3 del capítulo III. En la descripción de cada equipo de medición de caudal se indica el rango de velocidades de flujo en los que trabaja cada uno (recordar que el medidor de carrete fue descartado debido a que las características físicas del equipo no eran compatibles con la tubería de 700 mm).

Para los equipos de inserción electromagnética el rango de velocidades es de [0.08 m/s – 6.09 m/s] para el Seametrics – Serie EX100/200 y de [0,01 m/s – 10,06 m/s] para el F-3600 de ONICON. Para los equipos tipo Clamp-On el rango de velocidades es de [-12.2 m/s – 12.2 m/s] para el Panametrics y de [-12.19 m/s – 12.19 m/s] para el AT600.

Del total de mediciones de caudal nocturno realizadas según lo indicado en la sección 3.1 del capítulo IV, las velocidad mínima registrada fue de 0.084 m/s y la velocidad máxima fue de 1.07 m/s, por lo que las velocidades del caudal en la Gran alimentadora estarán entre [0.08 m/s – 1.1 m/s], rango que cumple con los límites de velocidad de operación de los equipos de medición de caudal indicados en la Tabla 68.

3.4. Equipo de medición de caudal escogido

La inversión en la compra de los equipos de medición de caudal es de un nivel menor en comparación a otros proyectos en los que la empresa invierte sus recursos (proyectos de mejoramiento, renovación de redes y/o medidores, etc.). Por ejemplo, la renovación de redes de agua potable correspondiente a una longitud de 400 metros, puede llegar a costar 3,024 UF (casi 80 millones de pesos), y el metro lineal adicional tiene un costo promedio de 200 mil pesos, como se indicó en el apartado 3.3.4.

Los equipos escogidos para realizar una medición continua de caudal son: 7 equipos de inserción electromagnética, 1 equipo Clamp-On portátil y una batería de ciclo profundo adicional para este último equipo. Con los antecedentes de velocidad del flujo en la tubería de 700 mm, se procede a escoger los equipos que serán instalados en cámaras de la Gran Alimentadora para tener una medición continua de caudal.

El objetivo de instalar estos equipos es tener un buen registro del caudal mínimo nocturno que transita por la Gran Alimentadora y el caudal que deriva. Para esto es necesario tener equipos que sean capaces de registrar las velocidades más bajas del flujo que se registre en la noche.

Para los equipos de inserción electromagnética, el Seametrics – Serie EX100/200 es el ideal, debido a que la velocidades registradas en terreno están dentro del rango de este equipo y además tienen el mismo orden de magnitud. Si bien el equipo F-3600 de ONICON tiene una tolerancia a velocidades más altas, el límite para las velocidades mínimas está por sobre lo registrado en terreno, por lo que podría darse en ciertos casos que los datos de caudal obtenidos con este equipo no sean confiables.

Para los equipos tipo Clamp-On, el Panametrics es el escogido debido a que su rango de velocidades es mayor que el del AT600, considerando los mismos criterios que se usaron para escoger al equipo de inserción electromagnética. Del punto de vista económico, el AT600 tiene un valor menor pero éste equipo necesita, además de una batería adicional, un equipo datalogger que vaya registrando los datos a medida que el equipo está midiendo, lo cual hace aumentar el costo del equipo (Panametrics tiene un datalogger integrado). También hay que considerar que, al ser un equipo fijo, su instalación es más compleja que la de un equipo portátil como Panametrics. Este es un equipo liviano, fácil de manipular y con un datalogger incluido, a diferencia del equipo Clamp-On fijo. Todas estas características hacen al Panametrics una mejor opción que el equipo AT600, aunque el costo de uno sea mayor que el otro.

Es así como el costo total de esta inversión sería entonces de $17,076,995, como se indica en la Tabla 69.

Tabla 69: Costo total de la inversión de Equipos de Medición de Caudal.

Tipo Equipo	Valor Unitario	Cantidad equipos	Total
Seametrics – Serie EX100/200	$ 1,523,160	7	$ 10,662,120
Panametrics	$ 6,203,055	1	$ 6,203,055
Batería de ciclo profundo	$ 211.820	1	$ 211,820
		Costo total de la inversión	**$ 17,076,995**

Fuente: (Elaboración propia)

Como se ha indicado en las secciones 3.1, 3.2 y 3.3 de este capítulo, los costos de realizar inspecciones, mantenciones, renovaciones y otros proyectos para mantener la red de distribución de agua potable en un estado óptimo de funcionamiento, son muy altos.

Principalmente, los costos de inspección de fugas podrían verse disminuidos en un futuro al implementar este proyecto de medición continua de caudal, debido a que permitiría tener un área de inspección de fugas acotada en cuanto a superficie y a tiempo, ya que no sería necesario mantener una cuadrilla revisando la red indefinidamente buscando posibles fugas existentes en la red de agua potable.

Los costos por renovaciones de redes también podrían verse disminuidos en el largo plazo. Actualmente estas renovaciones se planifican de acuerdo a la cantidad eventos de roturas que ocurren en la red, lo cual la SISS controla indicando un mínimo de fallas que debe presentar la infraestructura para que se postule un proyecto de renovación. Al tener un mayor control de las fugas y sus reparaciones, una buena calidad de la red se mantiene en el tiempo, por lo que las roturas por fatiga y/o vida útil podrían disminuir y con ellos los costos por renovaciones de redes se reducirían.

VII. CONCLUSIONES

La temática de esta memoria se enfoca en las pérdidas de agua en volumen que se producen en la ciudad de Valparaíso y como eso se traduce en pérdida económica para ESVAL S.A. Esta pérdida económica influye en el servicio que puede entregar la empresa a sus clientes, ya que con menos recursos económicos no es posible invertir en proyectos para mejorar la calidad de sus instalaciones.

A partir del análisis realizado, se puede concluir que, en el sistema de agua potable estudiado, las pérdidas comerciales son mayores que las pérdidas técnicas, aunque ambas son cercanas al 50% de la producción total de agua para ese sistema específico. Esto significa, que las pérdidas por robo de agua, por el deterioro de los medidores instalados en los arranques de los clientes o por errores de lectura de consumo de agua son mayores a las pérdidas por daños en la infraestructura., como se indica en la sección 2.2.2 del capítulo VI.

Considerando lo anterior, se recomienda preparar un Plan de Reducción de Pérdidas enfocado en las pérdidas comerciales, regularizando clientes ilegales y renovando medidores antiguos por tecnología nueva y más precisa. Este proceso generará una ganancia económica inmediata, ya que se comenzará a facturar agua que antes era una pérdida para la empresa.

El Plan de Reducción de Pérdidas también debe estar enfocado en la reducción de las pérdidas técnicas, lo que significa un proyecto a largo plazo para la empresa. Este último punto es importante, ya que elaborar planes que mejoren la calidad del servicio involucra una gran inversión económica y de tiempo por los diversos estudios que deben realizarse previamente. Además, en general, estos proyectos de mejoramiento de la infraestructura son los que mayor molestia generan en los clientes, porque hay constantes cortes de suministro a los que deben someterse para que la renovación de redes de agua potable sea llevada a cabo.

De acuerdo a los resultados obtenidos gracias a la metodología BABE y a los indicadores técnicos y económicos, es aconsejable centrar la atención en la infraestructura de los grupos de sectores número 1, 5 y 10 ya que estos poseen un porcentaje de pérdida técnica sobre el 50%. En cuanto a la pérdida comercial, la atención debe ser puesta en los grupos número 2, 4, 7, 8 y 14, ya que poseen un porcentaje de pérdida sobre el 70%, concentrando los planes de inspecciones de ilícitos y/o de renovación del parque de medidores (los sectores que componen a los grupos mencionados están detallados en el capítulo V).

Se hace necesario recalcar los sectores en los que ingresa agua al sistema (Grupo 3 y Grupo 6) y la importancia de tener un trabajo en terreno más extenso y profundo para encontrar los lugares de la red de agua potable en la que ocurren estos traspasos y poder tener así resultados confiables para los dos grupos de sectores en los que ocurre el traspaso de agua. Estas labores podrían incluir actividades de inspección de la red, intervenciones operativas, entre otras situaciones que requieren una mayor planificación y que no son el objetivo de esta memoria.

Es importante registrar el caudal mínimo nocturno que tienen los sectores de agua potable, ya que en la noche el consumo de agua por parte de los clientes es mínimo, y por esto último el caudal registrado representaría el agua que se escapa por fugas en las tuberías de distribución. También,

se debe considerar que, al tener caudales bajos, la presión en la red es mayor. Por lo tanto, la cantidad de agua que se fuga es mayor y existe la posibilidad de que el tamaño de las roturas aumente. Debido a esto es beneficioso tener un proyecto de instalación de equipos de medición continua de caudal en el sistema alimentado por la Gran Alimentadora.

De esta manera, con equipos que registren el caudal constantemente, se tienen áreas más acotadas para el análisis de pérdidas. Con esto, cualquier aumento o disminución en el caudal mínimo nocturno en algún punto genera alerta en los especialistas encargados de analizar caudales y presión, como de cuidar las redes de agua potable.

Entonces, al tener áreas de estudio definidas, será más fácil la inspección y posterior comprobación de la existencia de fugas en la red. Todo esto porque habrá información de caudales registrados por estos medidores instalados en la Gran Alimentadora. Así, se podrán disminuir los costos de inspección y el tiempo que toma detectar una fuga.

Por consiguiente, al especificar el sector con mayor pérdida, hay muchos beneficios. Para ilustrar, se pueden generar planes de renovaciones de redes y/o medidores de clientes, como también se puede acotar el sector de corte a renovar y tener una mejor programación de corte del suministro. Así, se evitan las molestias a los clientes debido a cortes inesperados y de larga duración. Esto es beneficioso para la empresa, ya que la visión de los consumidores cambia y mejora la evaluación de ESVAL S.A.

La renovación de las redes de distribución, genera un beneficio económico para la empresa, ya que se factura agua que antes se perdía y se reduce el volumen de agua desperdiciado. Además, se mejora la vida útil de la red, permitiendo una mejor distribución del suministro y retrasando proyectos de renovación de redes. Es así que pueden enfocarse en tener una mejor distribución de los recursos económicos actuales, preocupándose de esta área más a futuro.

Respecto a los puntos de instalación de los equipos de medición de caudal, es recomendable hacerlo en las cámaras existentes indicadas en la Tabla 66, debido a que son cámaras en las cuales ya se han realizado mediciones de caudal y se ha comprobado que los resultados obtenidos son confiables.

Además, se recomienda aplicar el proyecto de instalación de medidores a otras conducciones existentes, para así acotar el tiempo de obtención de resultados en futuros trabajos para la determinación de pérdidas en redes.

Lo anterior se evidenció en el desarrollo de este trabajo, ya que no tener una mayor cantidad de equipos de medición de caudal significó un retraso del proceso de análisis de caudales varios meses. Además, generó que las mediciones no se realizaran el mismo día, teniendo que corregir caudales mediante la aplicación de métodos de escalamiento. Si se hubiera contado con un parque de medidores en la Gran Alimentadora que registraran a la vez el caudal en varios puntos de ésta, el trabajo de la determinación de pérdidas en el sistema de Valparaíso hubiera sido más rápido y preciso.

Como trabajo futuro, se podría repetir el proceso en las demás conducciones que distribuyen el agua potable en todas las localidades dependientes de ESVAL S.A. Con esto se puede mejorar el servicio entregado y la calidad de vida de las personas de la Quinta Región.

REFERENCIAS

ABARCA, D. (2012). *Técnicas de detección y localización de fugas de agua en redes de distribución.* Loja, Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.

AHUMADA THEODULOZ, G. (octubre de 2013). Continuidad, calidad y agua no contabilizada en distribución. *AIDIS Chile*, pág. 4.

Ahumada, G. (2013). Continuidad, Calidad y Agua no Contabilizada en distribución. *AIDIS*, 20-23.

ARISCAIN, J. (2014). *Determinación del estado general de la red de agua potable y punto óptimo de pérdidas físicas y comerciaes, mediante la aplicación de las metodologías BABE, FAVAD y ELL para una empresa sanitaria.* Valparaíso: UTFSM, Departamento de Industrias.

Ariscaín, J. (2014). *DETERMINACIÓN DEL ESTADO GENERAL DE LA RED DE AGUA POTABLE Y PUNTO OPTIMO DE PERDIDAS FÍSICAS Y COMERCIALES, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS BABE, FAVAD Y ELL PARA UNA EMPRESA SANITARIA.* Valparaíso.

BANCO MUNDIAL. (3 de septiembre de 2013). *Grupo Banco Mundial*. Obtenido de Banco Mundial Web Site: <www.bancomundial.org/es/news/feature/2013/09/03/latin-america-water-loss-energy-efficiency>

Caballero, R. E., & Forno, A. M. (s.f.). *El Agua no contabilizada en sistemas de producción de agua potable.*

CONTRERAS, F. G. (2006). *Influencia de la presión en sistemas de distribución.*

Contreras, F. G., & Thornton, J. (2006). *Influencia de la presión en las pérdidas de agua en sistemas de distribución.*

Deutsche Gessellschaft für Internationale Zusam-menarbeit (GIZ) GmbH, VAG-Armaturen Gmbh, Intitute for Ecopreneurship (IEC), Institute for Water and River Basin MAnagement (IWG). (2011). *Guía para la reducción de Pérdidas de Agua.* Alemania: Ministerio federal de cooperación económica y desarrollo.

Econssa. (2014). *Agua no facturada en sistemas de agua potable.*

ECONSSA. (2014). *Agua no Facturada en sistemas de agua potable.* Chile: Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A.

ESTAY CABALLERO, R. M. (s.f.). *El agua no contabilizada en sistemas de producción de agua potable.* Santiago, Chile: EMOS S.A.

Fantozzi, M. (2014). *Gestión de la presión.*

GARZON CONTRERAS, F. T. (2006). Influencia de la presión en las pérdidas de agua en sistemas de distribución. *XXX Congreso Interamericano de ingeniería Sanitaria y Ambiental* (pág. 8). Punta del Este Uruguay: Asociación Intermaericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - AIDIS.

HVILSHOJ, s. (20 de mayo de 2015). *International Water Association.* Obtenido de International Water Association Web Site: <www.iwa-network.org/reduction-of-non-revenue-water-around-the-world>

IWA. (s.f.). *Reduction of Non-Revenue Water around the world.*

LAHLOU, Z. P. (2009). *Detección de fugas y control de pérdida de agua.* West Virginia: National Environmental Services Center.

Lambert, A. (2000). *Que sabemos acerca de la presión: relaciones de fuga en sistemas de distribución.*

María, E. M. (2011). *Análisis de la rentabilidad económica de un sistema de gestión de presiones.*

MIDEPLAN. (1997). *Proyecto "Reducción de pérdidas en sistemas de agua potable".*

MOLINOS, M. (7 de junio de 2016). *Plataforma Urbana.* Obtenido de Plataforma Urbana Web Site: <www.plataformaurbana.cl/archive/2016/05/07/reducir-las-perdidas-de-agua-potable-una-oportunidad-para-la-sustentabilidad>

Nch691.Of98. (s.f.). Agua Potable. conducción, regulación y distribución.

OJEDA, M. (2012). *Metodología para la reducción de pérdidas en redes de agua potable y su puesta en práctica en la red universitaria de la UNAM.* México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.

PATIENCE, M. (15 de mayo de 2014). *Four steps to reducing non-revenue water.* Obtenido de Water and Wastes Digest Web Site: <www.wwdmag.com/how/four-steps-reducing-non-revenue-water>

Patience, M. (s.f.). *Four Steps to reducing Non-Revenue Water.*

PAULSON, L. (19 de abril de 2013). *RWL Water LLC.* Obtenido de RWL Water Web Site: <www.rwlwater.com/informe-la-infraestructura-de-agua-de-los-estados-unidos-esta-en-malas-condiciones>

PAULSON, L. (19 de Febrero de 2016). *RWL Water LLC.* Obtenido de RWL Water Web site: <www.rwlwater.com/que-es-el-agua-no.contabilizada>

Paulson, L. D. (febrero, 2016). *¿Qué es el Agua no Contabilizada?*

Pérdidas, D. d. (2016). *Avance del Plan de reducción de pérdidas de agua potable en la compañía.* Viña del Mar: ESVAL S.A.

Ramírez, M. O. (2012). *Metodología para la reducción de pérdidas en redes de agua potable y su puesta en práctica en la red de ciudad universitaria de la UNAM.*

S.A., E. (2016). *Plan de Desarrollo.* Valparaíso.

SOFOFA. (15 de julio de 2015). *Sofofa.* Obtenido de Sofofa Web Site: <www.sofofa.cl/noticia/essbio-busca-reducir-en-un-20-las-perdidas-de-agua-a-2020-mediante-innovacion>

Sotomayor, G. (2012). *Optimización de los sistemas de producción, transferencia y distribución de agua potable en la localidad de La Calera.* Valparaíso.

SOTOMAYOR, G. (2012). *Optimización de los sistemas de producción, transferencia y distribución de agua potable en la localidad de La Calera.* Valparaíso: UTFSM, Departamento de Obras Civiles.

Tecnomarketing News. (2 de agosto de 2014). *Tecnomarketing News*. Obtenido de Tecnoarketing News Web Site: <www.tecnomarketingnews.com/un-sistema-inteligente-para-gestionar-el-agua-no-contabilizada>

THORNTON, J. S. (2008). *Water Loss Control. 2° edición.* Estados Unidos: Mc Graw Hill.

UNIVERSIDAD Católica de Chile, MIDEPLAN. (1997). *Reducción de pérdidas en sistemas de agua potable.* Santiago: Universidad Católica de Chile.

VELA, A. M.-S. (1994). *Estrategias óptimas para la reducción de perdidas de agua en sistemas de abastecimiento.* Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.

WALSH, C. (14 de abril de 2016). *Grupo Banco Mundial* . Obtenido de Banco Mundial Web Site: <www.bancomundial.org/es/topic/water/overview#3>

WYATT, A. S. (2010). *Non-revenue water: Financial model for optimal management n developing Countries.* Estados Unidos: RTI International.

ANEXOS

1. CARACTERIZACIÓN PRESIÓN DEL SISTEMA

1.1 Estaciones de presión

Tabla 70: Sectores de presión y corte dependientes de ERPs de la Gran Alimentadora

ERP conectadas a la GA					ERP conectadas en serie				
N° ERP	SP	SC	Clientes	Sector	N° ERP	SP	SC	Clientes	Sector
194	380154	38005147	23	Placilla	588	380334	38005096	113	Ferrari
		38004972	33				38005099	117	
		38005195	69		589	380335	38005094	61	
		38005196	32		123	380153	38004517	53	
		38005146	13		203	380235	38004988	21	Balmes Miranda
		38005142	73				38004987	72	
		38005145	18		186	380196	38004964	299	Quebrada Verde
587	380333	38005095	198	Zilleruelo - Riquelme			38004965	64	
196	380134	38004504	105				38004469	45	
197	380172	38004521	107	Plaza San Luis	181	380192	38004430	19	
554	380320	38005103	48				38004431	125	
549	380304	38004872	259		185	380190	38004442	24	
		38004873	11				38004443	211	
184	380236	38004888	51	Balmes Miranda			38004445	31	
		38004889	22				38004444	21	
201	380194	38005170	195	Quebrada Verde			38004439	7	
		38004900	42		190	380188	38004459	308	Aguayo
		38004948	241				38004461	5	
		38004435	14				38004460	37	
		38005213	10				38004463	3	
		38005212	56				38004465	3	
		38004434	59		192	380187	38004464	24	
		38005172	8						
		38004817	69						
		38004433	55						
		38004436	24						
		38004891	24						
273	380193	38004530	152	Obispo Villarreal					
297	380306	38004528	32	Subida Toro					
114	380057	38005113	76	Zegers - Ossandón					
		38005114	26						
250	380051	38005149	40	Ramaditas - Cantú					
		38005148	99						

Fuente: (Elaboración propia)

2. PÉRDIDAS EN EL SISTEMA GRAN ALIMENTADORA

2.1 Volúmenes de Producción Estanque Lyon

Tabla 71: Volúmenes de Producción estanque Lyon, años 2014 - 2015 - 2016 (Fuente: Datos macromedidor ESVAL)

	2014	2015	2016
Mes	**volumen m3**	**Volumen m3**	**Volumen m3**
Enero	526,563.60	501,745.83	494,095.69
Febrero	459,144.09	452,480.78	423,866.01
Marzo	500,298.19	559,683.32	463,196.46
Abril	495,472.81	504,289.78	436,980.79
Mayo	460,463.95	501,499.13	444,440.68
Junio	431,861.98	480,583.95	422,285.71
Julio	438,849.37	472,621.93	430,501.23
Agosto	454,384.07	480,042.88	457,167.41
Septiembre	446,650.50	480,221.56	447,558.42
Octubre	501,392.22	511,108.19	477,972.81
Noviembre	491,354.08	517,375.66	468,742.48
Diciembre	512,643.30	497,599.09	460,093.24
TOTAL	**5,719,078.16**	**5,959,252.10**	**5,426,900.93**

Fuente: (Elaboración propia)

2.2 Volúmenes de Facturación Gran Alimentadora

Tabla 72: Volúmenes de facturación Gran Alimentadora años 2014 – 2015 - 2016 (fuente: datos base comercial ESVAL)

	2014	2015	2016
Mes	**volumen m3**	**Volumen m3**	**Volumen m3**
Enero		266,801.97	224,172.33
Febrero		253,124.45	217,742.61
Marzo	236,048	265,434.71	213,138.78
Abril	230,874	251,395.39	217,982.36
Mayo	222,149	247,684.97	215,250.12
Junio	212,411	234,777.38	209,150.21
Julio	208,559	234,348.7	197,251.27
Agosto	214,735	229,015.25	198,022.58
Septiembre	214,697	243,737.187	201,611.75
Octubre	223,680	245,493.87	212,381.85
Noviembre	235,384	255,435.21	225,432.18
Diciembre	244,964	279,806.445	229,765.14
TOTAL	**2,243,501**	**3,007,055.532**	**2,561,901.18**

Fuente: (Elaboración propia)

2.3 Agua no contabilizada

Tabla 73: Valores de Agua no Contabilizada Sistema Gran Alimentadora, años 2014 - 2015 - 2016

Mes/Año	Producción	Facturación	ANC	%ANC
mar-14	500,298.189	236,048	264,250.189	52.82%
abr-14	495,472.813	230,874	264,598.813	53.40%
may-14	460,463.953	222,149	238,314.953	51.76%
jun-14	431,861.984	212,411	219,450.984	50.82%
jul-14	438,849.375	208,559	230,290.375	52.48%
ago-14	454,384.069	214,735	239,649.069	52.74%
sep-14	446,650.502	214,697	231,953.502	51.93%
oct-14	501,392.216	223,680	277,712.216	55.39%
nov-14	491,354.082	235,384	255,970.082	52.09%
dic-14	512,643.295	244,964	267,679.295	52.22%
ene-15	501,745.83	266,801.97	234,943.86	46.83%
feb-15	452,480.775	253,124.45	199,356.325	44.06%
mar-15	559,683.322	265,434.71	294,248.612	52.57%
abr-15	504,289.78	251,395.39	252,894.39	50.15%
may-15	501,499.133	247,684.97	253,814.163	50.61%
jun-15	480,583.951	234,777.38	245,806.571	51.15%
jul-15	472,621.93	234,348.7	238,273.23	50.42%
ago-15	480,042.88	229,015.25	251,027.63	52.29%
sep-15	480,221.556	243,737.187	236,484.369	49.24%
oct-15	511,108.192	245,493.87	265,614.322	51.97%
nov-15	517,375.664	255,435.21	261,940.454	50.63%
dic-15	497,599.086	279,806.445	217,792.641	43.77%
ene-16	494,095.689	224,172.33	269,923.359	54.63%
feb-16	423,866.008	217,742.61	206,123.398	48.63%
mar-16	463,196.458	213,138.78	250,057.678	53.99%
abr-16	436,980.795	217,982.36	218,998.435	50.12%
may-16	444,440.679	215,250.12	229,190.559	51.57%
jun-16	422,285.715	209,150.21	213,135.505	50.47%
jul-16	430,501.228	197,251.27	233,249.958	54.18%
ago-16	457,167.407	198,022.58	259,144.827	56.68%
sep-16	447,558.421	201,611.75	245,946.671	54.95%
oct-16	477,972.807	212,381.85	265,590.957	55.57%
nov-16	468,742.483	225,432.18	243,310.303	51.91%
dic-16	460,093.238	229,765.14	230,328.098	50.06%

Fuente: (Elaboración propia)

3. CURVAS DE MEDICIÓN DE CAUDAL

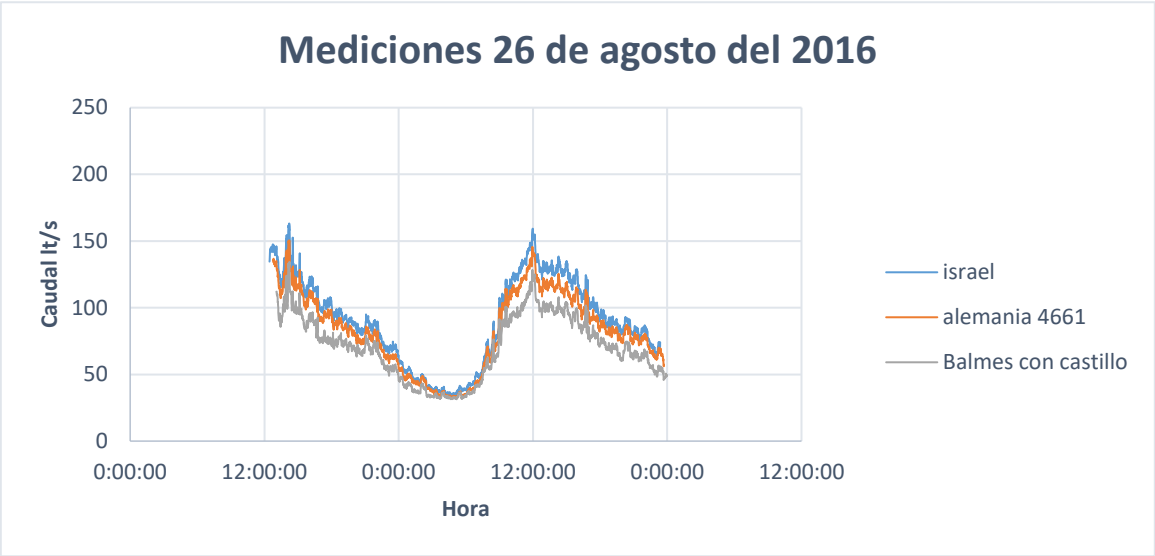

Figura 37:Gráfico de Curvas de medición de caudal, día 26/08/2016, cámaras Israel - Alemania 4661 - Balmes con Castillo
Fuente: (Elaboración propia)

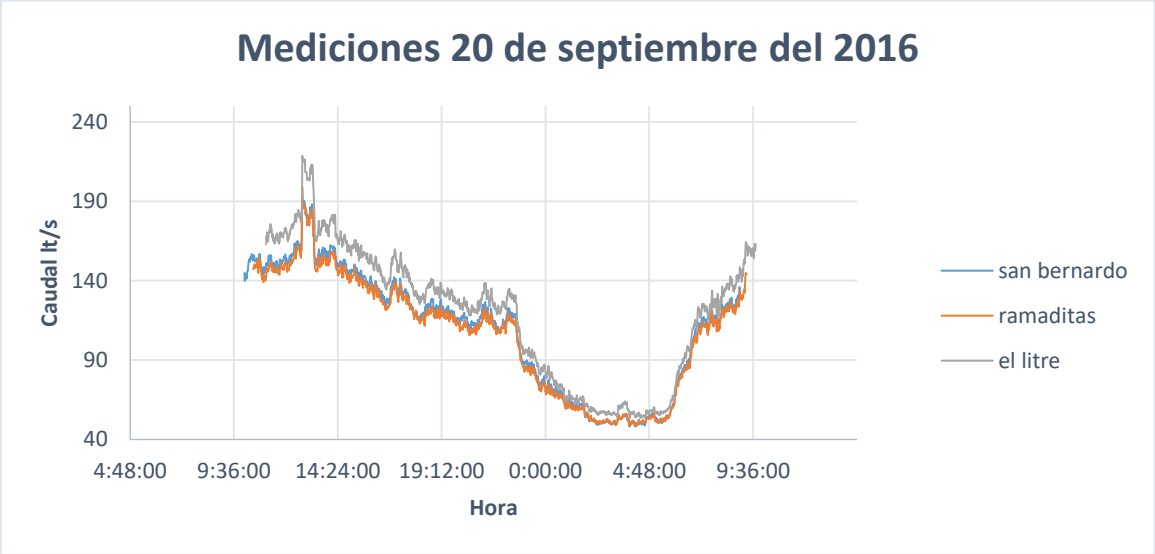

Figura 38: Gráfico de Curvas de medición de caudal, día 20/09/2016, cámaras San Bernardo - Ramaditas - El Litre

Fuente: (Elaboración propia)

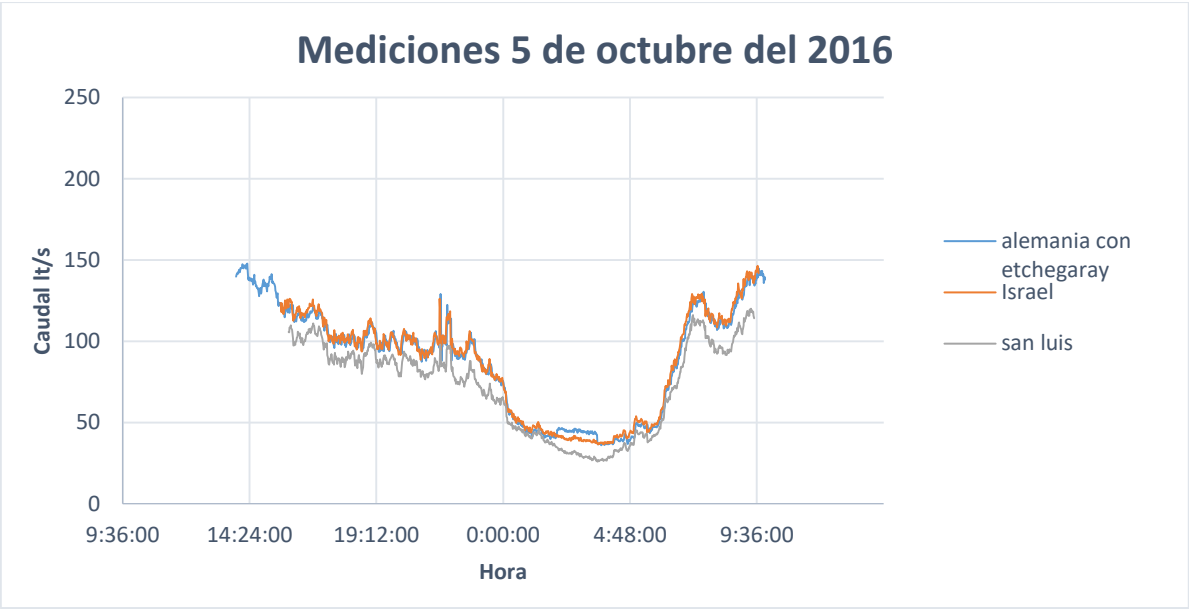

Figura 39: Gráfico de Curvas de medición de caudal, día 05/10/2016, cámaras Alemania con Etchegaray - Israel - Alemania 4661.
Fuente: (Elaboración propia)

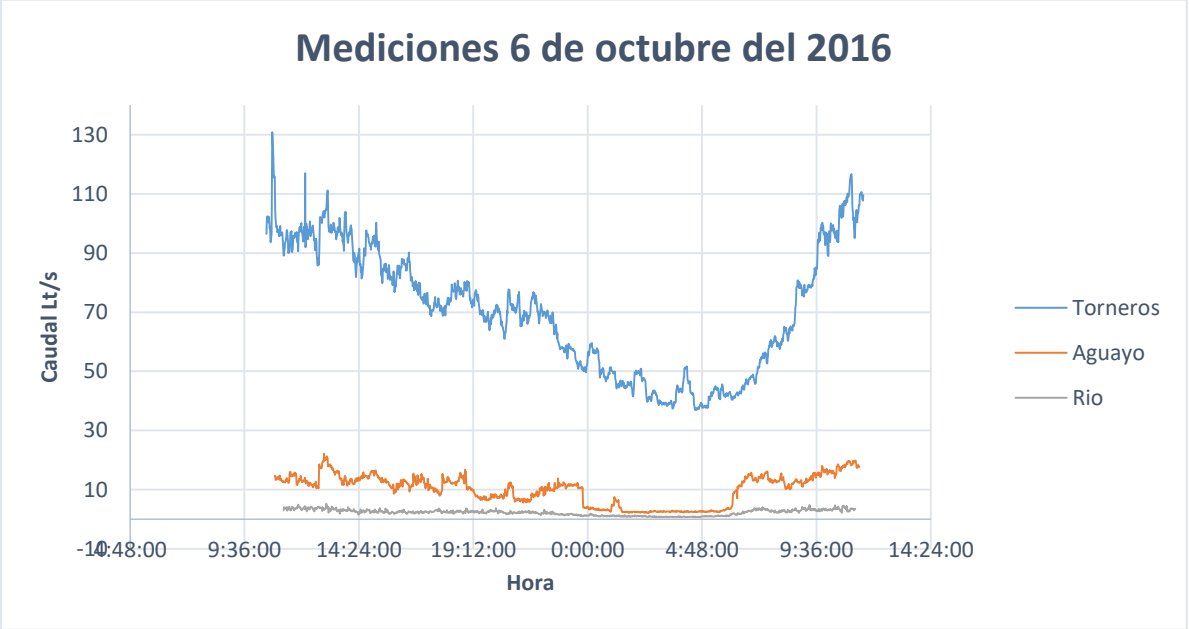

Figura 40: Gráfico de Curvas de medición de caudal, día 06/10/2016, cámaras Santos Torneros - Aguayo - Río Frio
Fuente: (Elaboración propia)

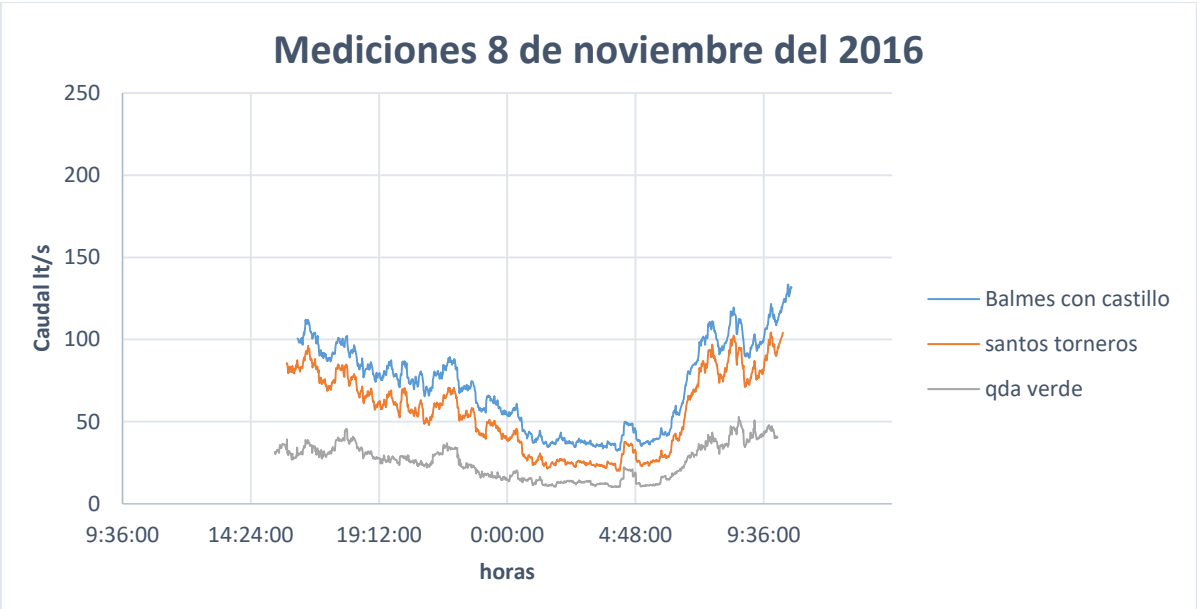

Figura 41: Gráfico de Curvas de medición de caudal, día 08/11/2016, cámaras Balmes con Castillo - Santos Torneros - Quebrada Verde
Fuente: (Elaboración propia)

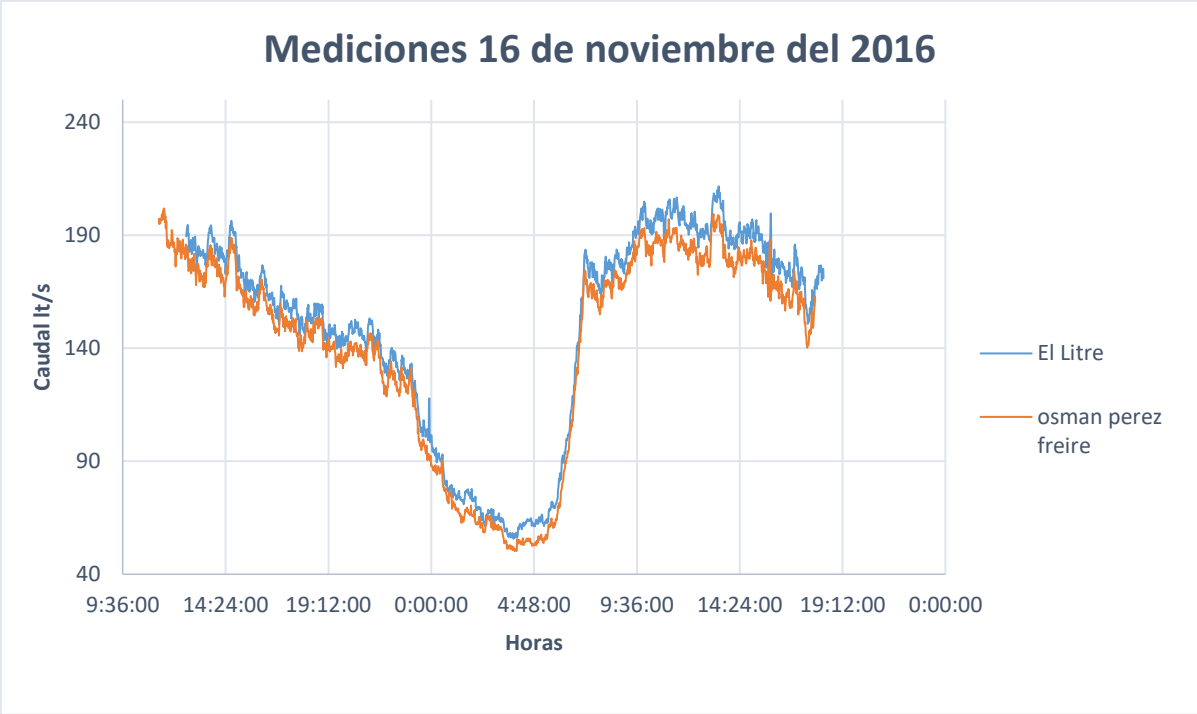

Figura 42: Gráfico de Curvas de medición de caudal, día 16/11/2016, cámaras El Litre - Osman Pérez Freire
Fuente: (Elaboración propia)

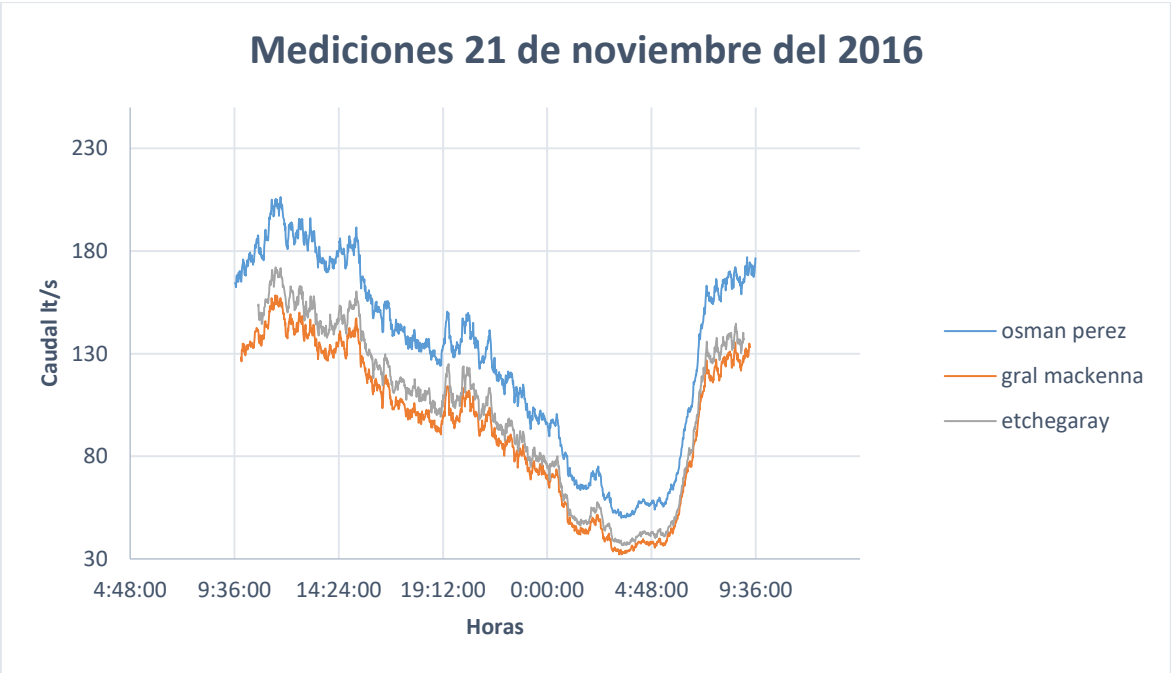

Figura 43: Gráfico de Curvas de medición de caudal, día 21/11/2016, cámaras Osman Pérez Freire - General Mackenna – Etchegaray
Fuente: (Elaboración propia)

4. CAUDALES MÍNIMOS NOCTURNOS

4.1 Caudales nocturnos No corregidos

Tabla 74: Caudales mínimos nocturnos por sector sin corregir

Grupo	Mediciones	Sector	clientes por sector	clientes por grupo	%clientes del total	Caudal	Diferencia Q
	LYON					67	
Grupo 1		Los Pinos	152	343	0.443		17
		Zegers – Ossandon	191		0.556		
	Cámara 1					50	
Grupo 2		Ramaditas - Cantú					1
	Cámara 2					49	
Grupo 3		Aristóteles	22	257	0.085		6
		Santa Teresa - Casanova	62		0.241		
		Villagra- El litre	158		0.614		
		Bilbao	15		0.058		
	Cámara 3					55/55/56	
Grupo 4		Francia	33	563	0.058		5
		Zilleruelo-Riquelme	530		0.941		
	Cámara 4					50/50	
Grupo 5		Figueroa	364	1884	0.193		18
		Ferrari	1324		0.702		
		Yerbas buenas	196		0.104		
	Cámara 5					32	
Grupo 6		Gral. Mackenna	740	1067	0.693		5
		Basilio Rojas	21		0.019		
		Guillermo Rivera	269		0.252		
		Etchegaray	37		0.034		
	Cámara 6					37/36	
Grupo 7		Placilla	538	1759	0.305		3
	Cámara 7					34/37	
Grupo 8		Pasaje Jiménez	189	1221	0.154		10
		Camila	206		0.168		
		Cumming-Armstrong	626		0.512		
	Cámara 8					34/27	
Grupo 9		Múnich	166	2037	0.081		3
		Plaza San Luis	1517		0.744		
		Balmes-Miranda	354		0.173		
	Cámara 9					31/37	
Grupo 10		José Tomas Romas	93	705	0.131		8
		Blanquillo	20		0.028		
		Aduanilla	183		0.259		
		Subida Toro	409		0.580		
	Cámara 10					35/23	
Grupo 11		Obispo Villareal	1135	1135	1		13
Grupo 12	Cámara 11	Q. Verde - Pacifico	2023	2023	1	10	10
Grupo 13	Cámara 12	Aguayo	1208	1208	1	2.5	2.5
Grupo 14	Cámara 13	Rio Frio	363	363	1	0.8	0.8

Fuente: (Elaboración propia)

4.2 Caudales nocturnos Corregidos

Tabla 75: Caudales mínimos nocturnos por sector corregidos

Grupo	Mediciones	Sector	clientes por sector	clientes por grupo	%clientes del total	Caudal por medición	Diferencia Q
	LYON					67	
Grupo 1		Los Pinos	152	343	0.443		22.66
		Zegers – Ossandon	191		0.556		
	Cámara 1					44.7	
Grupo 2		Ramaditas - Cantú					0.7
	Cámara 2					44	
Grupo 3		Aristóteles	22	257	0.085		4.378
		Santa Teresa - Casanova	62		0.241		
		Villagra- El litre	158		0.614		
		Bilbao	15		0.058		
	Cámara 3					49.036/52.3	
Grupo 4		Francia	33	563	0.058		1.3
		Zilleruelo-Riquelme	530		0.941		
	Cámara 4					51	
Grupo 5		Figueroa	364	1884	0.193		18
		Ferrari	1324		0.702		
		Yerbas buenas	196		0.104		
	Cámara 5					33	
Grupo 6		Gral. Mackenna	740	1067	0.693		3.8
		Basilio Rojas	21		0.019		
		Guillermo Rivera	269		0.252		
		Etchegaray	37		0.034		
	Cámara 6					36.8	
Grupo 7		Placilla	538	1759	0.305		1.37
	Cámara 7					35.43	
Grupo 8		Pasaje Jiménez	189	1221	0.154		2.43
		Camila	206		0.168		
		Cumming-Armstrong	626		0.512		
	Cámara 8					33	
Grupo 9		Múnich	166	2037	0.081		1.5
		Plaza San Luis	1517		0.744		
		Balmes-Miranda	354		0.173		
	Cámara 9					31.5	
Grupo 10		José Tomas Romas	93	705	0.131		10.5
		Blanquillo	20		0.028		
		Aduanilla	183		0.259		
		Subida Toro	409		0.580		
	Cámara 10					21	
Grupo 11		Obispo Villareal	1135	1135	1		10.5
Grupo 12	Cámara 11	Q. Verde - Pacifico	2023	2023	1	10	10.5
Grupo 13	Cámara 12	Aguayo	1208	1208	1	2.5	2.055
Grupo 14	Cámara 13	Rio Frio	363	363	1	0.8	0.65

Fuente: (Elaboración propia)

5. CAUDALES Y PRESIONES – MODELO WATERCAD

A continuación, se presentan las curvas de caudal versus presión que se obtuvieron del modelo WaterCAD del sistema de la Gran Alimentadora. Los resultados están dados por nodo de demanda, por lo que mientras más nodos tenga un sector de derivación la curva tendrá más datos.

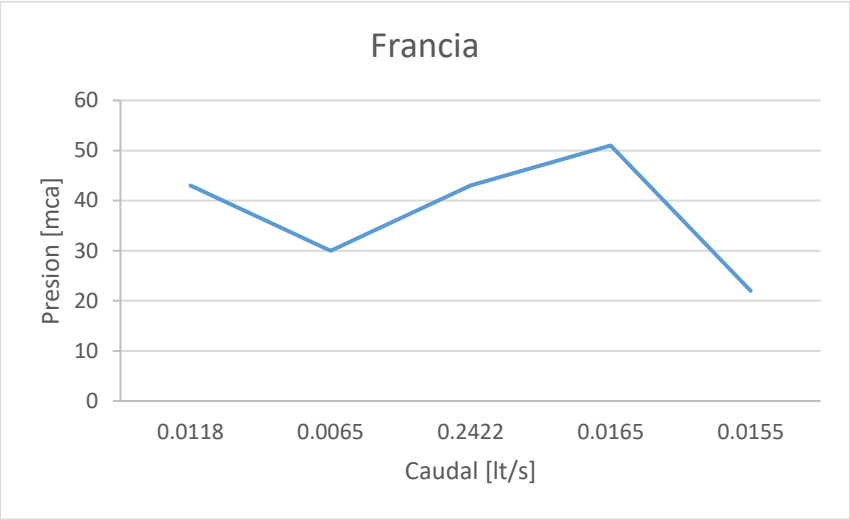

Figura 44: Gráfico Q vs P sector Francia
Fuente: (Elaboración propia)

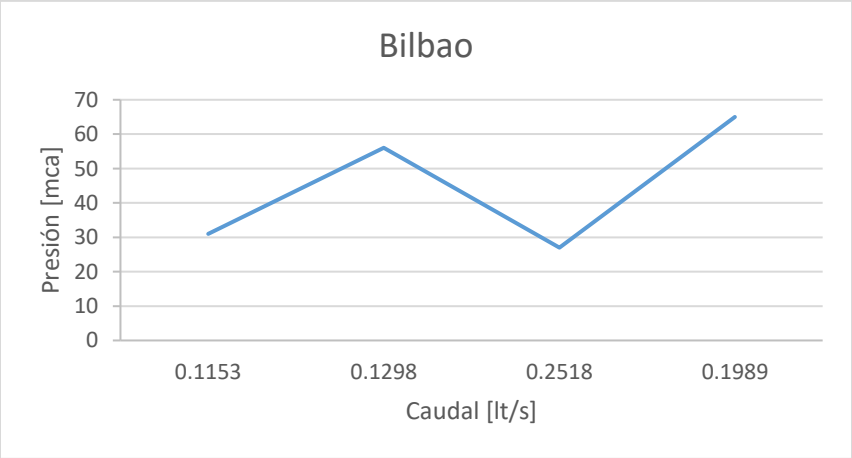

Figura 45: Gráfico Q vs P sector Bilbao
Fuente: (Elaboración propia)

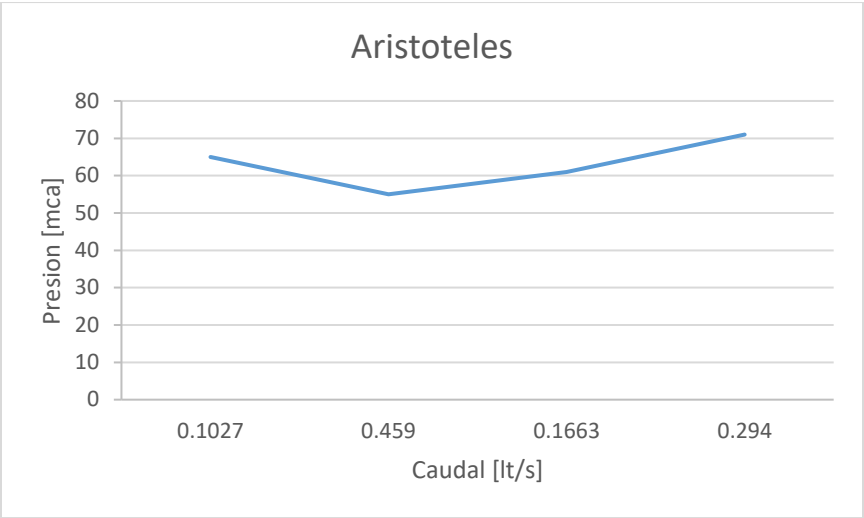

Figura 46: Gráfico Q vs P sector Aristóteles
Fuente: (Elaboración propia)

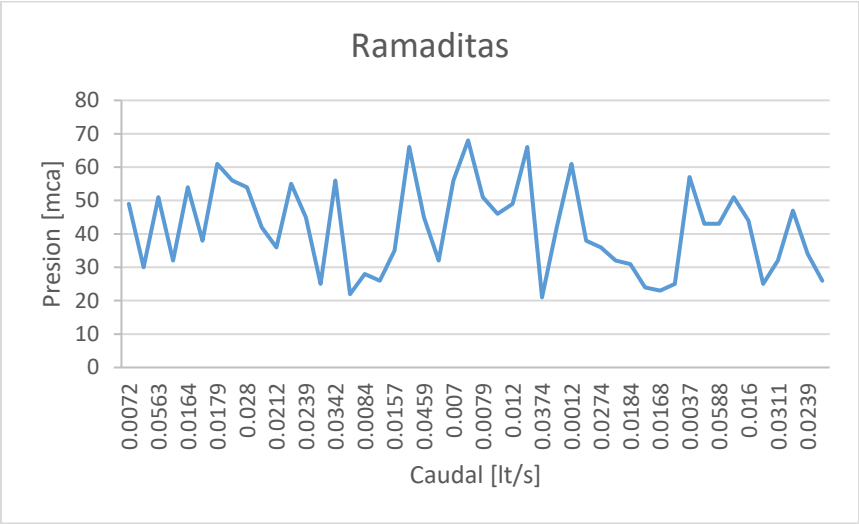

Figura 47: Gráfico Q vs P sector Ramaditas
Fuente: (Elaboración propia)

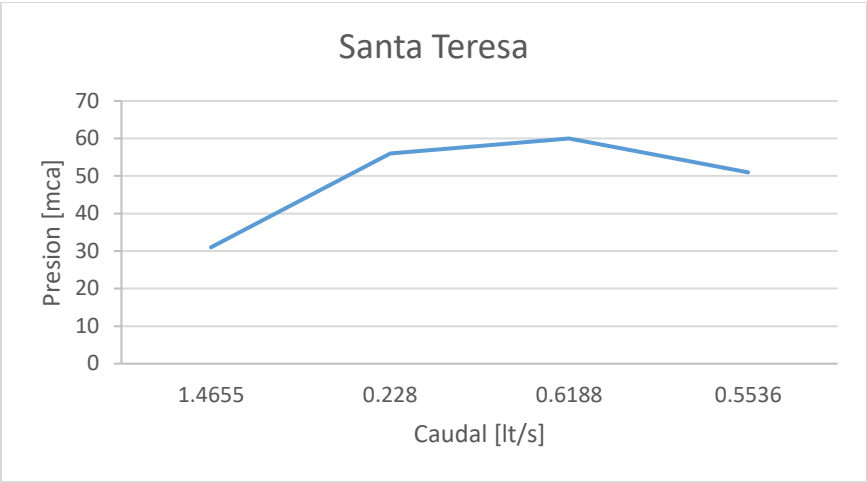

Figura 48: Gráfico Q vs P sector Santa Teresa
Fuente: (Elaboración propia)

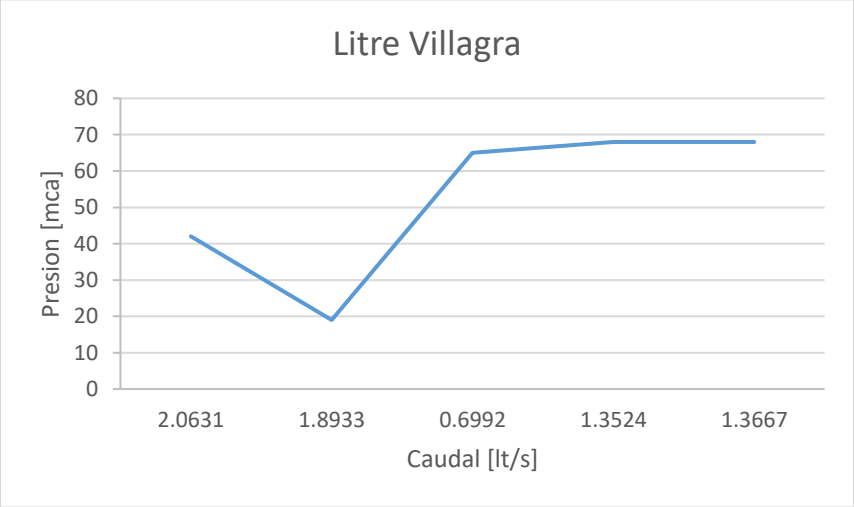

Figura 49: Gráfico Q vs P sector Litre – Villagra
Fuente: (Elaboración propia)

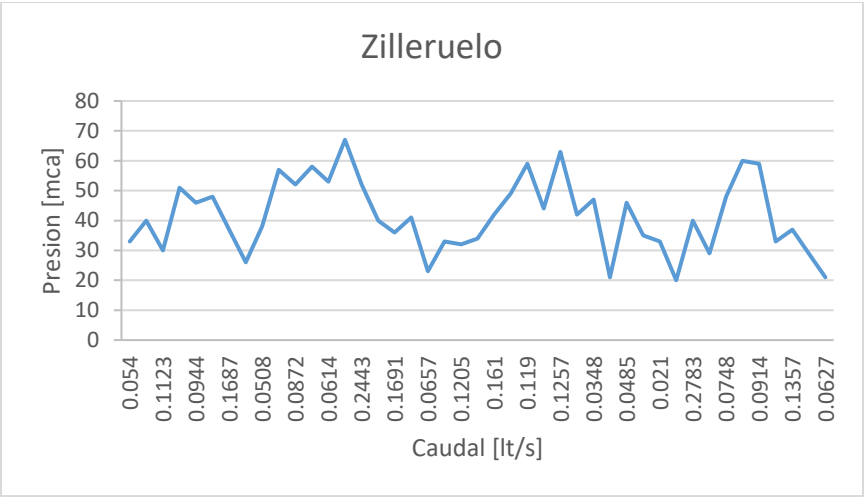

Figura 50: Gráfico Q vs P sector Zilleruelo
Fuente: (Elaboración propia)

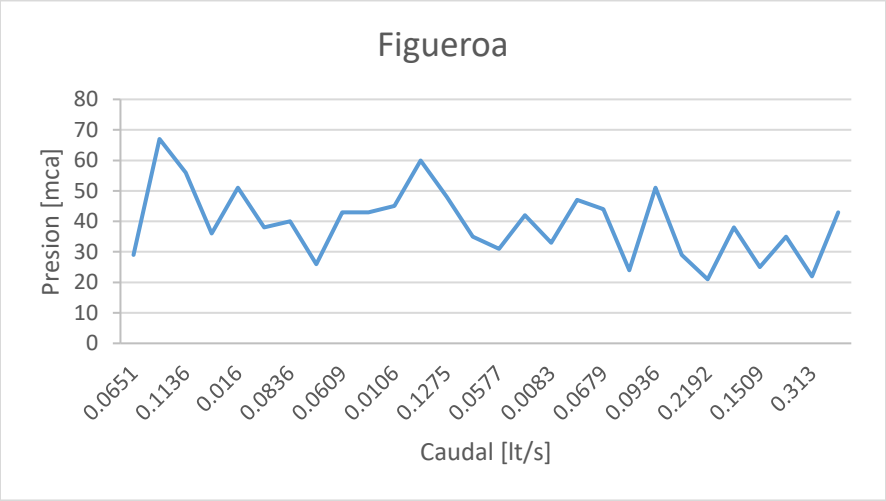

Figura 51: Gráfico Q vs P sector Figueroa
Fuente: (Elaboración propia)

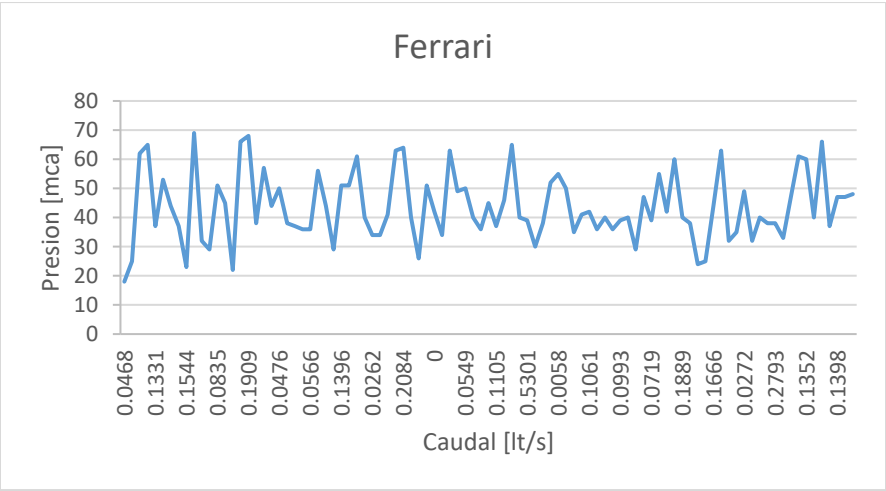

Figura 52: Gráfico Q vs P sector Ferrari
Fuente: (Elaboración propia)

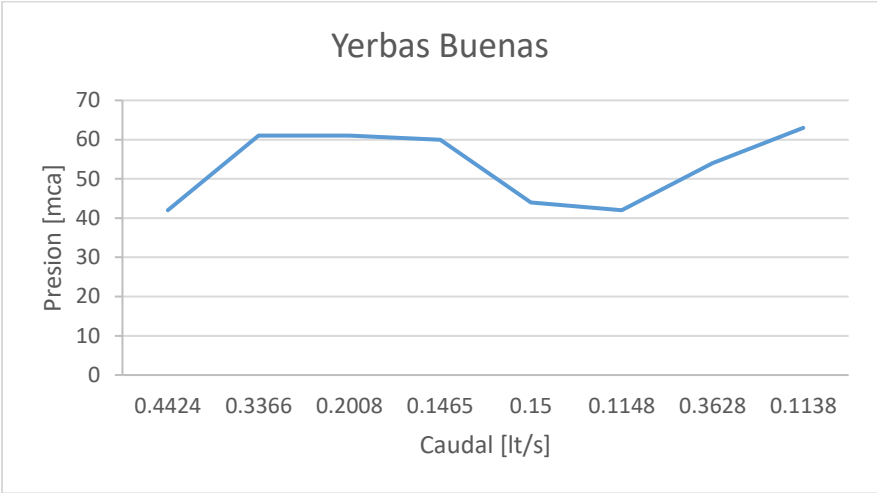

Figura 53: Gráfico Q vs P sector Yerbas Buenas
Fuente: (Elaboración propia)

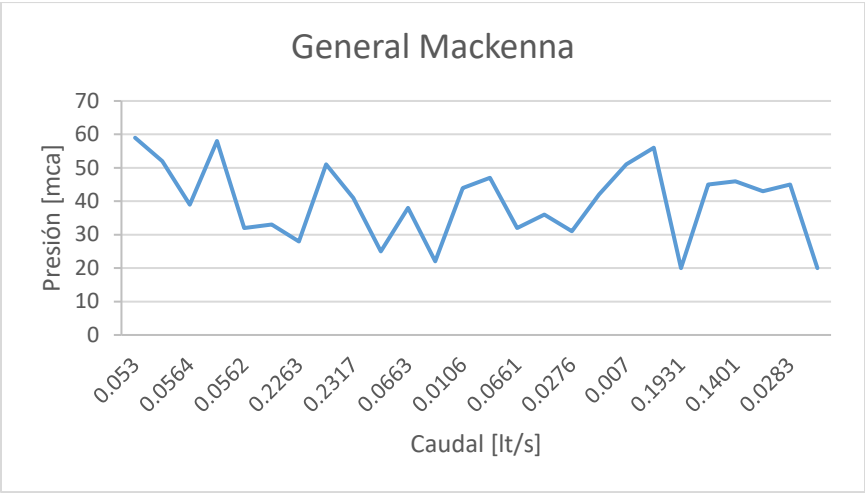

Figura 54: Gráfico Q vs P sector General Mackenna
Fuente: (Elaboración propia)

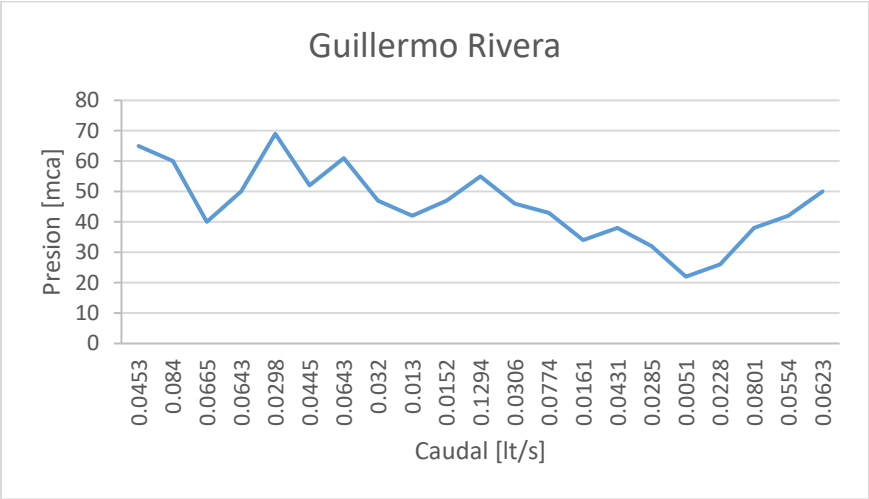

Figura 55: Gráfico Q vs P sector Guillermo Rivera
Fuente: (Elaboración propia)

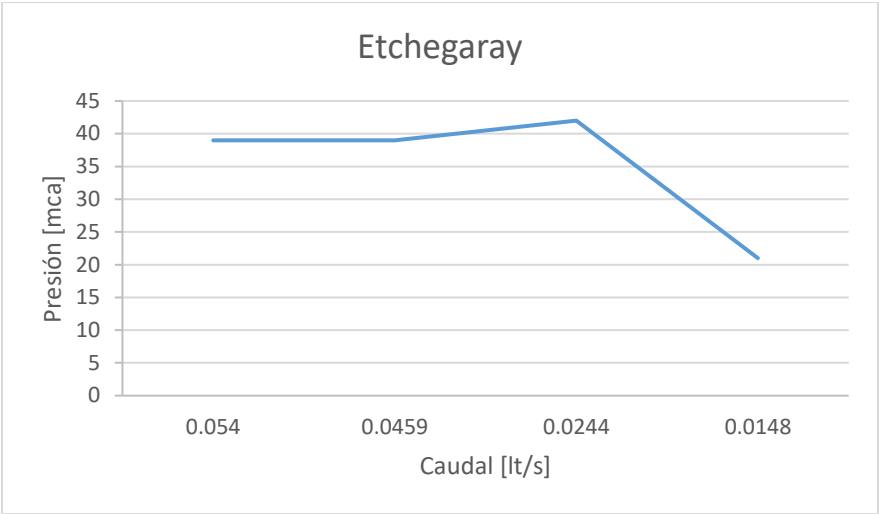

Figura 56: Gráfico Q vs P sector Etchegaray
Fuente: (Elaboración propia)

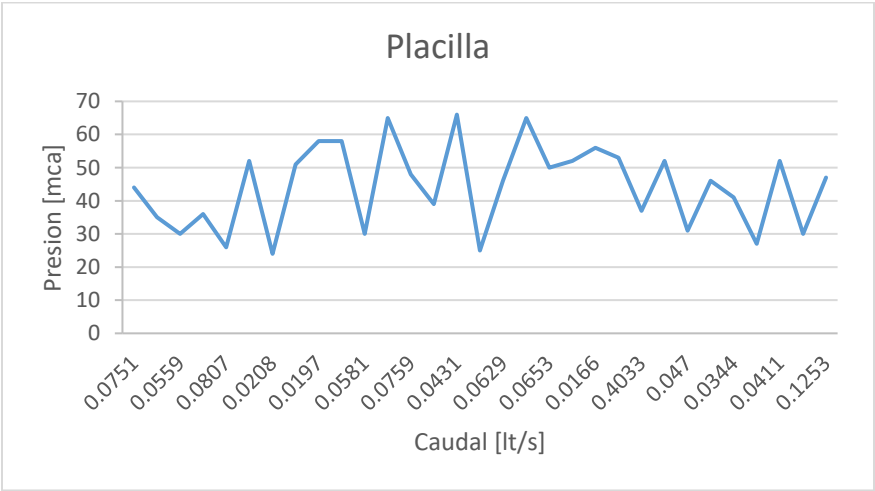

Figura 57: Gráfico Q vs P sector Placilla
Fuente: (Elaboración propia)

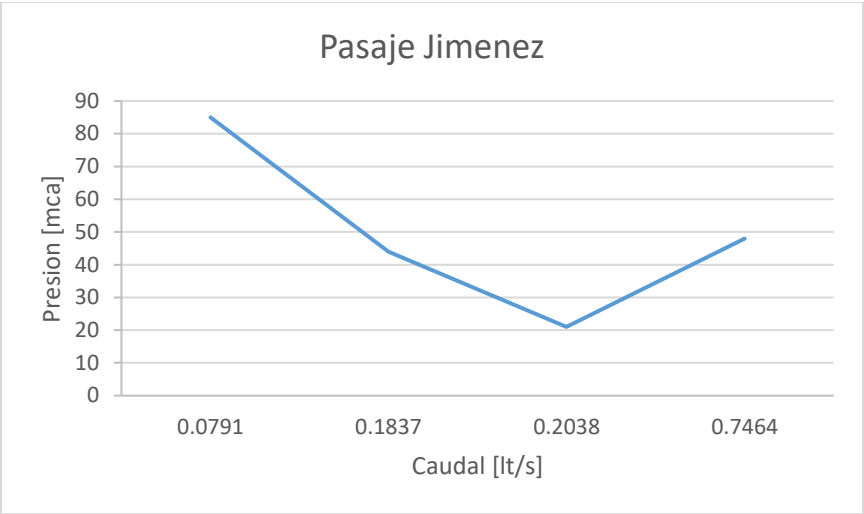

Figura 58: Gráfico Q vs P sector Pasaje Jimenez
Fuente: (Elaboración propia)

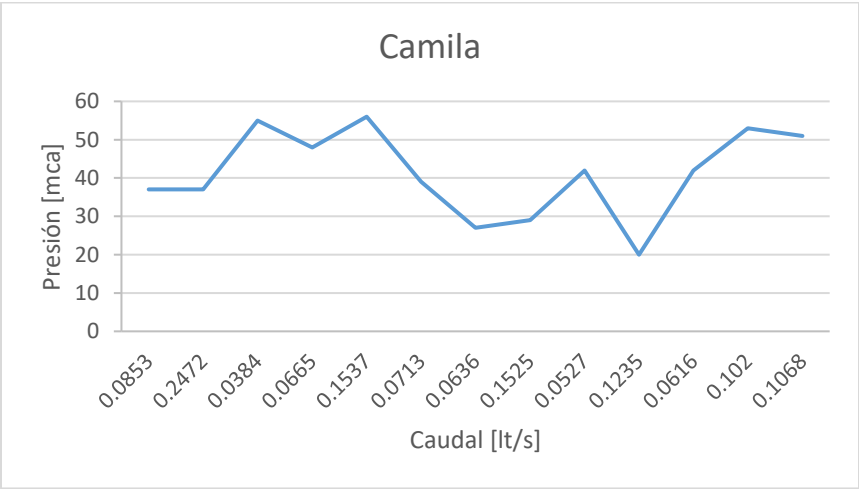

Figura 59: Gráfico Q vs P sector Camila
Fuente: (Elaboración propia)

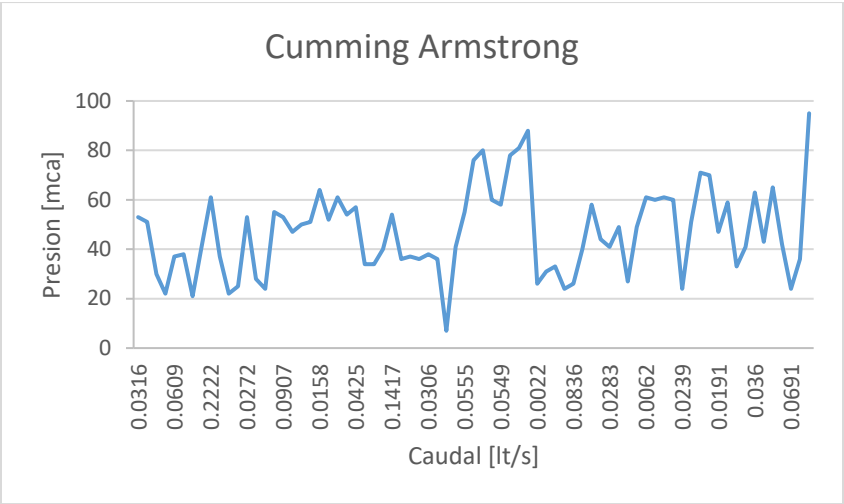

Figura 60: Gráfico Q vs P sector Cumming Armstrong
Fuente: (Elaboración propia)

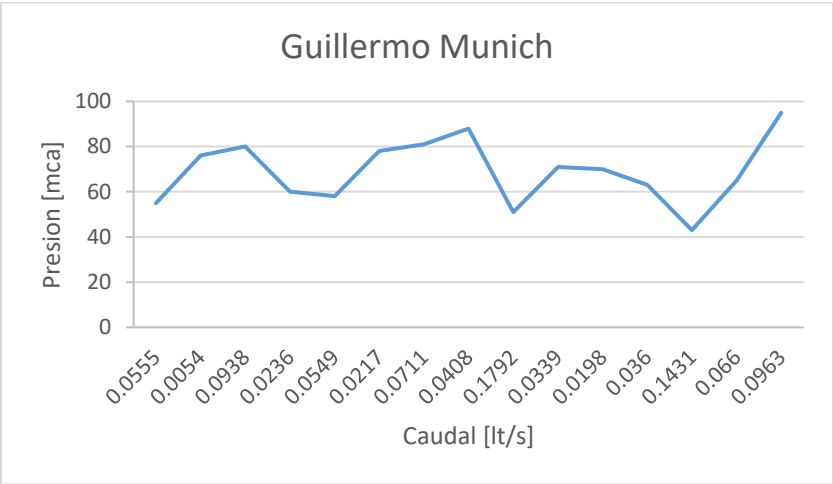

Figura 61: Gráfico Q vs P sector Guillermo Munich
Fuente: (Elaboración propia)

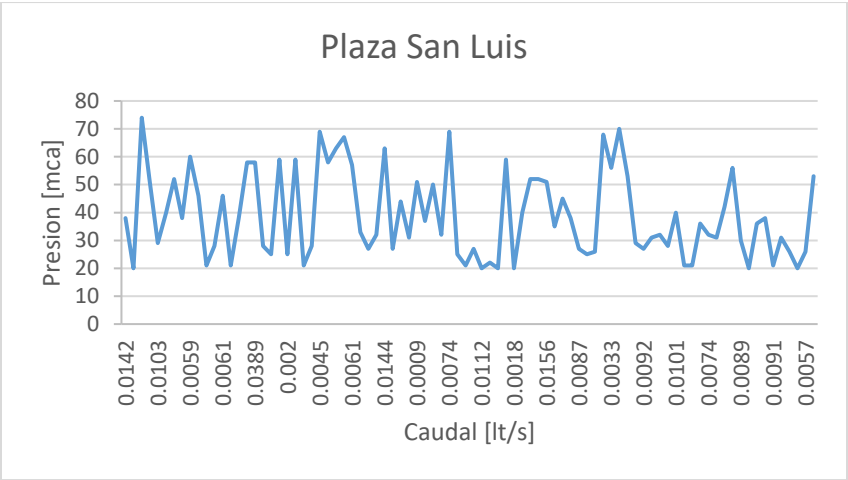

Figura 62: Gráfico Q vs P sector San Luis
Fuente: (Elaboración propia)

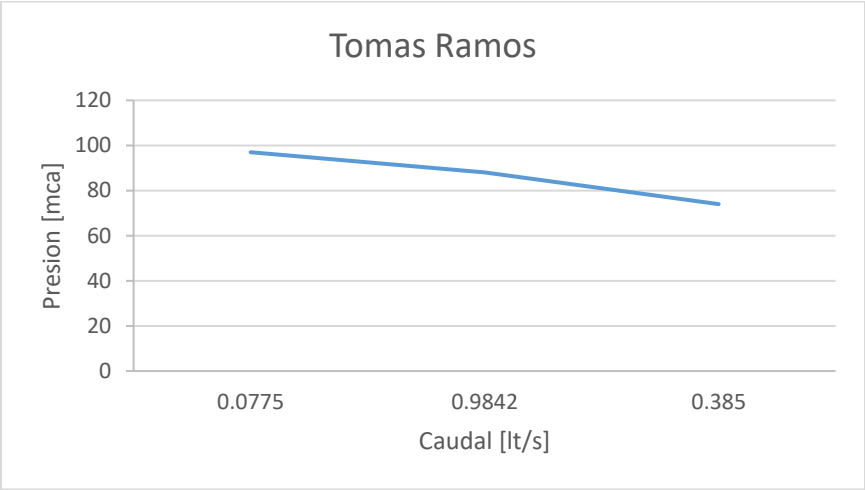

Figura 63: Gráfico Q vs P sector Tomás Ramos
Fuente: (Elaboración propia)

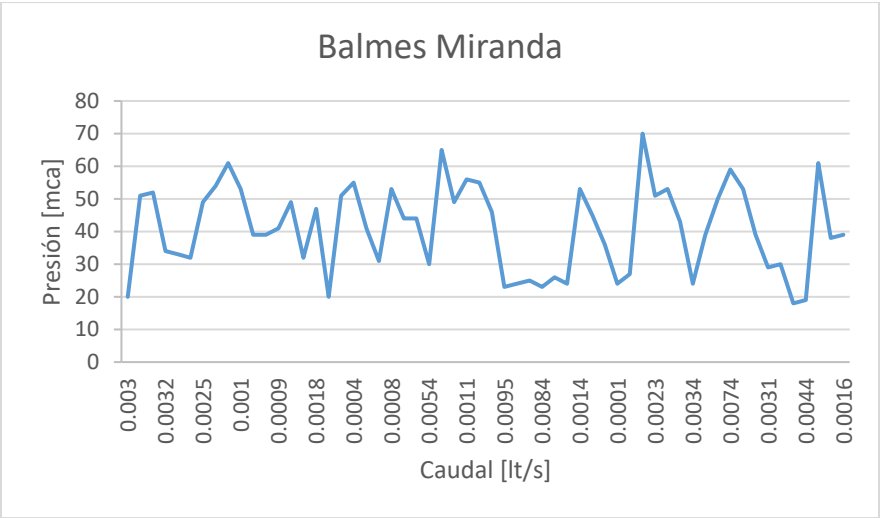

Figura 64: Gráfico Q vs P sector Balmes Miranda
Fuente: (Elaboración propia)

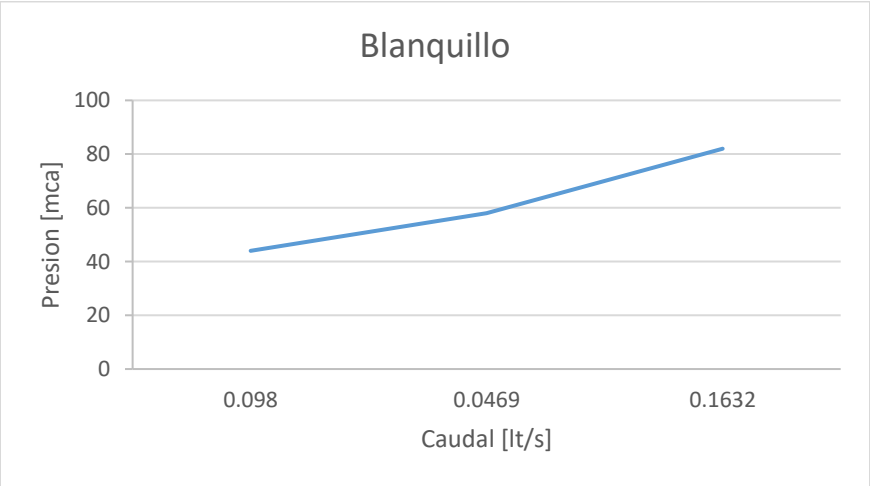

Figura 65: Gráfico Q vs P sector Blanquillo
Fuente: (Elaboración propia)

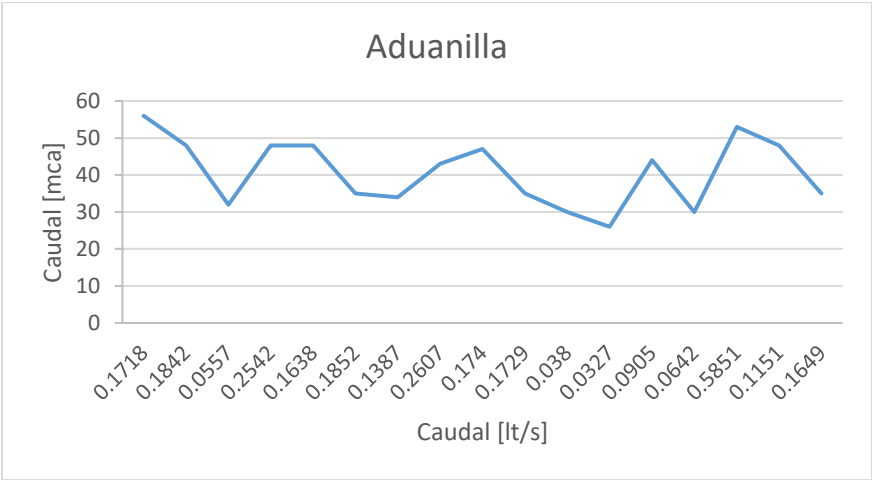

Figura 66: Gráfico Q vs P sector Aduanilla
Fuente: (Elaboración propia)

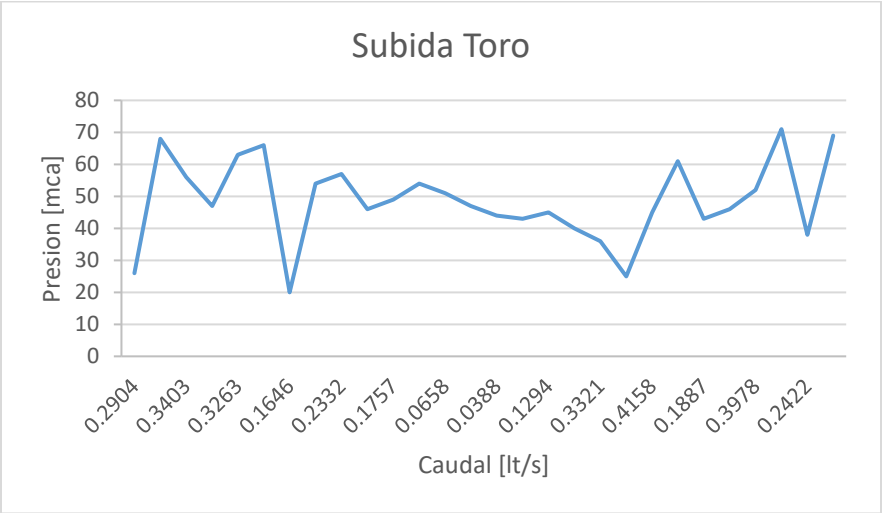

Figura 67: Gráfico Q vs P sector Subida Toro
Fuente: (Elaboración propia)

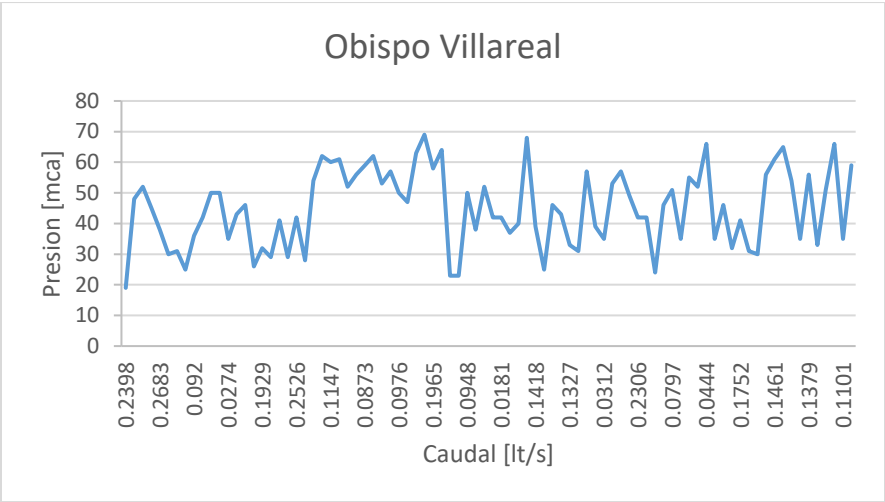

Figura 68: Gráfico Q vs P sector Obispo Villareal
Fuente: (Elaboración propia)

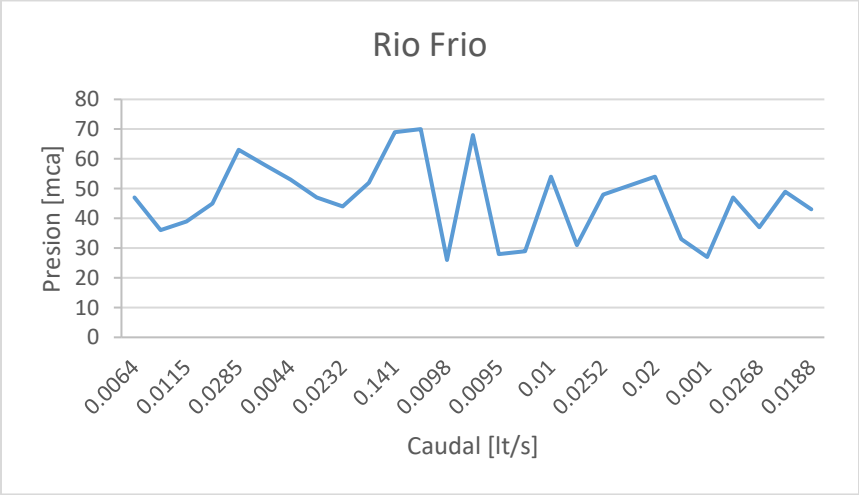

Figura 69: Gráfico Q vs P sector Rio Frio
Fuente: (Elaboración propia)

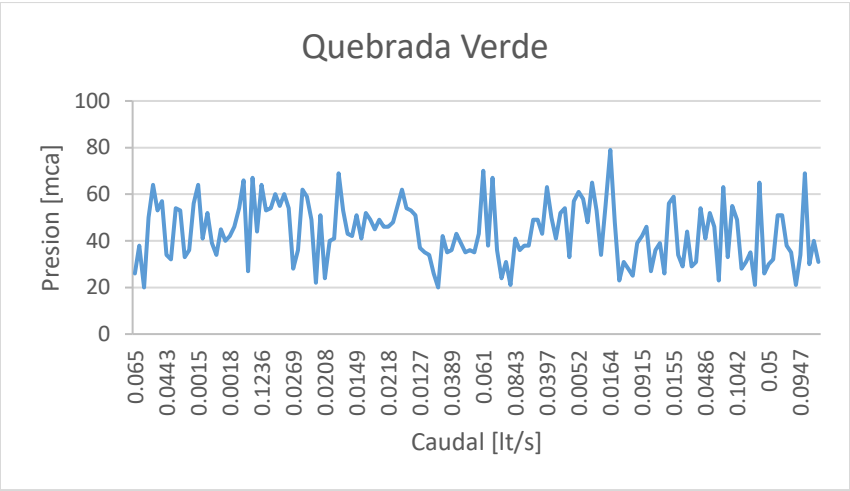

Figura 70: Gráfico Q vs P sector Quebrada Verde
Fuente: (Elaboración propia)

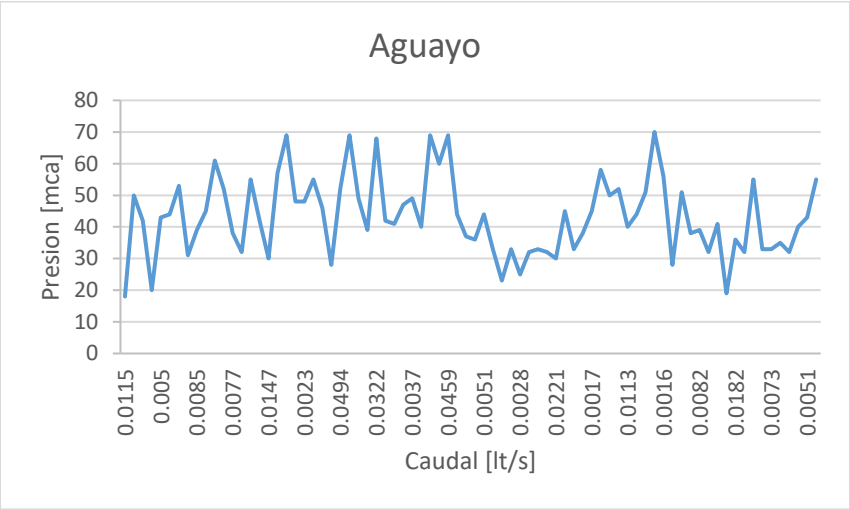

Figura 71: Gráfico Q vs P sector Aguayo
Fuente: (Elaboración propia)

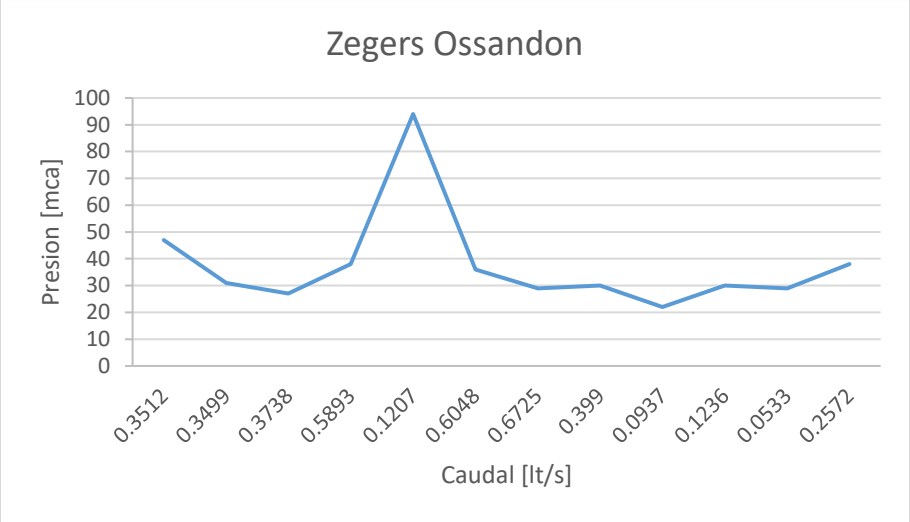

Figura 72: Gráfico Q vs P sector Zegers Ossandon
Fuente: (Elaboración propia)

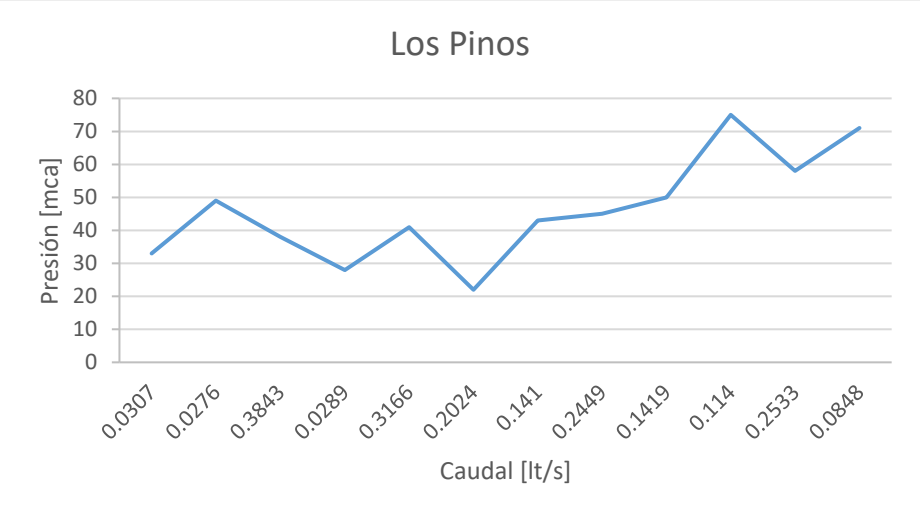

Figura 73: Gráfico Q vs P sector Los Pinos
Fuente: (Elaboración propia)

6. RESULTADOS GRAN ALIMENTADORA

6.1 Metodología BABE

Tabla 76: Datos de entrada metodología BABE, sistema Gran alimentadora

Babe	Unidad	Datos
Longitud de tuberías	km	73.719
Long total de los arranques	km	0.006
Número de arranques	u	13,551
Número de propiedades	u	13,551
Población estimada	personas	37,807.29
Flujo mínimo nocturno medido	l/s	69.13847
Fugas de fondo en tuberías	l/km/hr	40
Fugas de fondo en arranques	l/arranque/hr	3
Fugas de fondo en accesorios	l/conexión/hr	1
Población activa durante la noche	%	6%
Cantidad de agua usada en inodoros	l/persona/hr	10
Número de pequeños usuarios no domésticos	u	750
Media de consumo de pequeños consumidores no domésticos	m^3/usuarios	33.28731
Número de grandes usuarios no domésticos	u	129
Media de consumo de granes usuarios no domésticos	m^3/usuarios	382.7222
Días del mes	días/mes	31
Exponente de fugas de fondo		1.5
Exponente de roturas		0.5
Presión más alta en la zona	mca	99
Presión más baja en la zona	mca	7
Tasa de flujo por rotura [3]	m^3/hr	1.6
Facturación por distribución del mes	m^3/mes	201,611.8
Consumo propio del mes	m^3/mes	-
Producción a la salida del estanque del mes	m^3/mes	456,206.4

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 77: Resultados de fugas metodología BABE, sistema Gran Alimentadora

Variable	Resultado
UNN m^3/hr	**122.5992**
UND	22.68437
UNDPU	33.55576
UNDGU	66.3591
UND m^3/hr	**22.68437**
PE personas	37,807.29
PADN %	6%
CAUI l/persona/hr	10
Variable	**Resultado**
UNDPU m^3/hr	**33.55576**
PUND usuarios	750
MCPUND m3/usuarios	33.28731
UNDGU m^3/hr	**66.3591**
GUND usuarios	129
MCGUND m3/usuarios	382.7222
FF m^3/hr	**57.15276**
FFT m^3/hr	2.94876
FFC	40.653
FFA	13.551
FFT m^3/hr	**2.94876**
LT m	73,719
TFFT l/km/hr	40
FFC m^3/hr	**40.653**
NC arranques	13,551
TFFC l/arranque/hr	3
FFA m^3/hr	**13.551**
NP propiedades	13,551
TFFA l/prop/hr	1
FFPMN m^3/hr	**2793.48**
FF m^3/hr	57.15276
PMN mca	43.65236
FCP	1.119697
FMN m^3/hr	**248.8985**
FMNM l/s	69.13847
FFN m^3/hr	**126.2993**
FMN m^3/hr	248.8985
UNN m^3/hr	122.5992
PCMN	**0.507433**
FFN m^3/hr	126.2993
FMN m^3/hr	248.8985

Fuente: (Elaboración propia)

6.2 Indicadores

Tabla 78: Resultados tipo de pérdida, sistema Gran Alimentadora

Pérdida por Distribución		Pérdida Técnica		Pérdida comercial	
%PD %	**0.558068968**	**PT m3/mes**	**112439.1486**	**PC m3/mes**	**142155.4668**
ANC m3/mes	254594.6154	**%PT**	**44.16399%**	**%PC**	**55.836%**
PSE m3/mes	456206.3654	PT	112439.1486	PC	142155.4668
		ANC	254594.6154	ANC	254594.6154
		%PTD	**24.64655%**	**%PCD**	**31.1603%**
		PT	112439.1486	PC	142155.4668
		PSE	456206.3654	PSE	456206.3654

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 79: Estado general de la Red y Arranques, sistema Gran Alimentadora

Estado general de la Red		Estado general de los Arranques	
EGR l/s/km <0,35	**0.569**	**EGA l/hr/arranque <15**	**11.152**
PR	112,439.1486	PR	112439.1486
LT	73,719	NC	13,551
Días mes	31		

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 80: Cálculo del ILI, sistema Gran Alimentadora

CARL l/arr/día	**606.061**	**UARL l/arr/día**	**39.197**
ANC m3/mes	254,594.62	LT km	73.719
NC unidades	13,551	NC	13,551
días	31	LTC km	0.006
		AZP mca	43.65
ILI		**15.462**	

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 81: Indicadores económicos sistema gran alimentadora

Variable económica	Resultado
CPPD	**96,147,530.57**
CPT	1,159,247.622
CANC	94,988,282.94
CPT $	**1,159,247.622**
PT m^3/mes	112,439.1486
Cw $/$m^3$	10.31
CANC $	**94,988,282.94**
PC m^3/mes	142,155.47
T $/$m^3$	668.2
BNPF %	**0.861%**
Variable	**Resultado**
CPT $	1,159,247.622
F m^3/mes	201,611.75
T $/$m^3$	66.,2
BNPNF %	**70.51%**
CANC $	94,988,282.94
F m^3/mes	201,611.75
T $/$m^3$	668.2
BNTP %	**71%**
CPPD $	96,147,530.57
F m^3/mes	201,611.75
T $/$m^3$	668.2

Fuente: (Elaboración propia)

7. Resultados Sectores de Derivación

7.1 Metodología BABE

Tabla 82: Datos de entrada metodología BABE, grupos de sectores de derivación

Babe	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14
Longitud de tuberías, **km**	2.57	3.284	1.840	3.635	9.144	3.923	3.136	5.255	10.190	4.426	5.809	11.839	6.448	2.222
Long total de los arranques, **km**	0.01	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
Número de arranques, **u**	343	409	255	563	1884	1067	538	1021	2037	705	1135	2023	1208	363
Número de propiedades, **u**	343	409	255	563	1884	1067	538	1021	2037	705	1135	2023	1208	363
Población estimada, **personas**	957	1141	719.82	1570.8	5256.36	2976.93	1501.02	2848.59	5683.23	1966.95	3166.65	5644.17	3370.32	1012.77
Flujo mínimo nocturno medido, **l/s**	22.66	0.70	4.378	1.3	18	3.8	1.37	2.43	1.5	10.5	10.5	10.5	2.055	0.65
Fugas de fondo en tuberías, **l/km/hr**	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Fugas de fondo en arranques, **l/arranque/hr**	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Fugas de fondo en accesorios, **l/conexión/hr**	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Población activa durante la noche, **%**	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
Cantidad de agua usada en inodoros, **l/persona/hr**	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Número de pequeños usuarios no domésticos, **u**	2	3	6	24	64	34	12	26	330	21	33	106	71	18
Media de consumo de pequeños consumidores no domésticos, **m^3/usuarios**	0.08	0.012	0.027	0.024	0.029	0.030	0.044	0.035	0.069	0.016	0.03	0.04	0.065	0.045
Número de grandes usuarios no domésticos, **u**	1	0	6	0	6	4	4	10	22	2	5	38	29	2

Continuación Tabla 82: Datos de entrada metodología BABE, grupos de sectores de derivación

Babe	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14
Media de consumo de granes usuarios no domésticos, **m^3/usuarios**	0.77	0	0.463	0	0.392	0.1	0.104	0.234	1.305	0.076	0.056	0.026	0.065	0.027
Días del mes, **días/mes**	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Exponente de fugas de fondo	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Exponente de roturas	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Presión más alta en la zona, **mca**	94	68	68	67	69	69	66	95	74	97	69	79	70	70
Presión más baja en la zona, **mca**	22	21	19	20	18	20	24	7	18	20	19	20	18	26
Tasa de flujo por rotura, **m^3/hr**	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Facturación por distribución del mes, **m^3/mes**	4944	4743	4480	7479	21274	12590	6020	13607	29693.75	7272.75	14732.02	33334	34599	6844
Producción a la salida del estanque del mes, **m^3/mes**	11547.4	13769	8686	18954	63427	35922	18112.2	34373	68577.4	23734.4	38,210.8	68,106.08	40,668.4	12,220.7

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 83: Resultados de fugas metodología BABE, grupo de sectores de derivación

Variable	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14
UNN m^3/hr	0.58	0.685	0.436	0.9	3	2	1	2	3	1	2	3	2	0.6
UND	0.57	0.685	0.432	0.9	3	2	1	2	3	1	2	3	2	0.6
UNDPU	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
UNDGU	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
UND m^3/hr	0.57	0.685	0.432	0.9	3	2	1	2	3	1	2	3	2	0.6
PE personas	957	1141.1	719.82	1571	5256	2977	1501	2849	5683	1967	3,167	5644	3370	1,013
PADN %	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
CAUI l/persona/hr	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
UNDPU m^3/hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
PUND usuarios	2	3	6	24	64	34	12	26	330	21	33	106	71	18.0
MCPUND m^3/usuarios	0.08	0.012	0.027	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0	0.0
UNDGU m^3/hr	0	0	0.004	0	0	0	0	0.003	0	0	0	0	0	0.0
GUND usuarios	1.00	0	6	0	6	4	4	10	22	2	5	38	29	2.0
MCGUND m^3/usuarios	0.77	0	0.463	0	0	0	0	0.234	1	0	0	0	1	0.0
FF m^3/hr	1.47	1.767	1.094	2.4	8	4	2	4.294	9	3	5	9	5	1.5
FFT m^3/hr	0.10	0.131	0.074	0.1	0	0	0	0.21	0	0	0	0	0	0.1
FFC	1.03	1.227	0.765	1.7	6	3	2	3.063	6	2	3	6	4	1.1
FFA	0.34	0.409	0.255	0.6	2	1	1	1.021	2	1	1	2	1	0.4
FFT m^3/hr	0.10	0.131	0.074	0.1	0	0	0	0.2102	0	0	0	0	0	0.1
LT m	2568	3284	1840	3635	9144	3923	3136	5255	10190	4426	5,809	11839	6448	2,222
TFFT l/km/hr	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
FFC m^3/hr	1.03	1.227	0.765	1.7	6	3	2	3.063	6	2	3	6	4	1.1
NC arranques	343	409	255	563	1884	1067	538	1021	2037	705	1,135	2023	1208	363
TFFC l/arranque/hr	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Continuación Tabla 83: Resultados de fugas metodología BABE, grupo de sectores de derivación

Variable	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14
FFA m^3/hr	0.34	0.409	0.255	0.6	2	1	1	1.021	2	1	1	2	1	0.4
NP propiedades	343	409	255	563	1884	1067	538	1021	2037	705	1,135	2023	1208	363
TFFA l/prop/hr	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
FFPMN m^3/hr	65.40	78.463	66.621	93.8	423	164	115	235	354	222	190	420	242	85.8
FF m^3/hr	1.47	1.767	1.094	2.4	8	4	2	4.3	9	3	4	9	5	1.5
PMN mca	41.83	41.854	54.413	39.6	45	39	44	45.84	41	59	45	44	43	46.2
FCP	1.06	1.061	1.12	1.0	1	1	1	1.2	1	1	1	1	1	1.2
FMN m^3/hr	81.58	2.52	15.761	4.7	65	14	5	8.748	5	38	38	38	7	2.3
FMNM l/s	22.66	0.7	4.378	1.3	18	4	1	2.43	2	11	11	11	2	0.7
FFN m^3/hr	81	1.835	15.325	2.3	62	12	4	7.03	2	37	36	34	5	1.7
FMN m^3/hr	81.58	2.52	15.761	4.7	65	14	5	8.748	5	38	38	38	7	2.3
UNN m^3/hr	0.58	1	0.436	2.4	3	2	1	1.71	3	1	2	3	2	0.6
PCMN	**0.993**	1	1	0.5	1	1	1	0.80	0	1	1	1	1	0.7
FFN m^3/hr	81	2	15	2.3	62	12	4	7.03	2	37	36	34	5	1.7
FMN m^3/hr	81.58	2.52	16	4.7	65	14	5	8.75	5	38	38	38	7	2.3

Fuente: (Elaboración propia)

7.2 Indicadores

Tabla 84: Resultados tipo de pérdida, grupos de sectores de derivación

Pérdida por Distribución	**G1**	**G2**	**G3**	**G4**	**G5**	**G6**	**G7**	**G8**	**G9**	**G10**	**G11**	**G12**	**G13**	**G14**
%PD %	57%	66%	48%	61%	66%	65%	67%	60%	57%	69%	61%	51%	15%	44%
ANC m3/mes	6603.4	9026.3	4205.8	11475	42152	23332	12092.2	20766.2	38884	16462	23479	34772	6069.3	537724
PSE m3/mes	11547.4	13769.3	8685.8	18954	63427	3592.5	18112.2	34373	68577.3	23734	38211	68106	40668.3	12221
Pérdida Técnica	**G1**	**G2**	**G3**	**G4**	**G5**	**G6**	**G7**	**G8**	**G9**	**G10**	**G11**	**G12**	**G13**	**G14**
PT m^3/mes	4698.64	520.8	2187.9	289.5	23386	5777	1735.1	1778.2	12331	12217	9824.3	13011	2643.4	438
%PT	71.15%	5.8%	52%	3%	55.4%	24.7%	14.35%	8.56%	31.7%	74.2%	41.8%	37.4%	43.5%	8.15%
PT	4698.64	520.8	2187.9	289.5	23386	5777	1735.1	1778.2	12331	12217	9824.2	13011	2643.4	438.1
ANC	6603.4	9026.3	4205.8	11475	42153	23332	12092.2	20766.2	38884	16462	23479	34772	6069.3	5377
%PTD	40.69%	3.8%	25.2%	2%	37%	16.1%	9.57%	5.17%	18%	51.5%	25.7%	19.1%	6.5%	3.6%
PT	4698.64	520.8	2187.7	289.5	23386	5777	1735.1	1778.2	12331	12217	9824.2	13011	2643.4	438.1
PSE	11547.4	13769.3	8685.8	18954	63427	35922.5	18112.2	34373	68577	23734	38211	68106	40668.4	12221
Pérdida comercial	**G1**	**G2**	**G3**	**G4**	**G5**	**G6**	**G7**	**G8**	**G9**	**G10**	**G11**	**G12**	**G13**	**G14**
PC m^3/mes	1904.17	8505.6	2017.9	11185	18767.2	17555	10357.2	18988	26552.6	4245	13654	21761.5	3426	4939
%PC	28.84%	94.2%	48%	97%	44.5%	75.2%	85.65%	91.4%	68.3%	25.8%	58.1%	62.6%	56.446%	91.8%
PC	1904.17	8505.6	2018	11185	18767.2	17555	10357	18988	26552.6	4245	13654.5	21761	3426	4937
ANC	6603.4	9026.3	4206	11475	42153	23332	12092.2	20766.2	38884	16462	23479	34772	6069.3	5377
%PCD	16.49%	61.7%	23.2%	59%	30%	48.8%	57.2%	55.24%	38.7%	17.8%	35.7%	31.9%	8.4%	40.4%
PC	1904.17	8505.6	2018	11185	18767.2	17555	10357.1	18988	26553	4245	13655	21761	3426	4937
PSE	11547.4	13769.3	8686	18954	63427	35921.5	18112.2	34373	68577	23734	38211	68106	40668.3	12221

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 85: Estado general de la Red y Arranques, grupo de sectores de derivación

Estado general de la Red	**G1**	**G2**	**G3**	**G4**	**G5**	**G6**	**G7**	**G8**	**G9**	**G10**	**G11**	**G12**	**G13**	**G14**
EGR l/s/km <0,35	0.68	0.059	0.4	0.03	0.95	0.55	0.2	0.13	0.45	1.03	0.63	0.410	0.153	0.074
PR	4698.64	520.8	2188	289.5	23386	5776.5	1735.1	1778	12331	12217	9824	13011	2643.4	438.1
LT	2568	3284	1840	3635	9144	3923	3136.0	5255	10190	4426	5809	11839	6448	2222
Días mes	31	31	31	31	31	31	31.0	31	31	31	31	31	31	31
Estado general de los Arranques	**G1**	**G2**	**G3**	**G4**	**G5**	**G6**	**G7**	**G8**	**G9**	**G10**	**G11**	**G12**	**G13**	**G14**
EGA l/hr/arranque <15	18.41	1.7	11.5	0.69	16.7	7.27	4.33	2.34	8.14	23.3	11.6	8.64	2.94	1.62
PR	4698.64	520.8	2188	289.5	23386	5776.5	1735.1	1778.2	12331	12217	9824	13011	2643.4	438.1
NC	343	409	255	563	1884	1067	538	1021	2037	705	1135	2023	1208	363

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 86: Cálculo del ILI, grupo de sectores de derivación

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14
CARL l/arr/día	621	711.9	532	657.5	721.7	705.4	725.0	656	615.7	753.2	667.3	554.5	162.1	477.8
ANC m^3/mes	6603.4	9026.3	4205.8	11475	42153	23331.5	12092.2	20766.2	38883.6	16462	23479	34772	6069.4	5376.7
NC unidades	343	409	255	563	1884	1067	538.0	1021	2037	705	1135	2023	1208	363
días	31	31	31	31	31	31	31.0	31	31	31	31	31	31	31
UARL lt/arr/día	39	39.5	50.6	36.33	40.3	33.53	40.1	4	36.14	54.1	40	39.6	38.7	42.1
LT km	2.6	3.3	1.84	3.64	9.144	3.923	3.136	5.255	10.19	4.426	5.8	11.8	6.448	2.222
NC	343	409	255	563	1884	1067	538	1021	2037	705	1135	2023	1208	363
LTC km	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
AZP mca	41.8	41.9	54.4	39.64	45.45	38.7	44.3	45.84	40.6	59.253	44.9	43.7	43.15	46.2
ILI	**15.9**	**18**	**10.5**	**18.1**	**17.9**	**21.04**	**18.1**	**16**	**17.03**	**13.92**	**16.6**	**14**	**4.2**	**11.4**

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 87: Indicadores económicos grupo de sectores de derivación

Variable económica	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14
CPPD [M$]	1.32	5.69	1.37	7.48	12.78	11.79	6.94	12.71	17.87	2.96	9.23	14.68	2.32	3.30
CPT **[M$]**	0.048	0.0054	0.023	0.003	0.24	0.06	0.018	0.018	0.127	0.13	0.101	0.134	0.027	0.0045
CANC **[M$]**	1.272	5.68	1.35	7.47	12.54	11.73	6.92	1.27	17.74	2.84	9.12	14.54	2.29	3.29
CPT [M$]	0.048	0.0054	0.23	0.003	0.24	0.059	0.018	0.018	0.127	0.13	0.101	14.67	0.027	0.0045
PT Mm^3/mes	0.0047	0.0005	0.0022	0.0003	0.0234	0.0058	0.0017	0.0018	0.012	0.012	0.0098	0.134	0.0026	0.0004
Cw $/$m^3$	10.31	10.3	10.3	10.3	10.31	10.31	10.3	10.31	10.31	10.3	10.31	10.31	10.31	10.31
CANC M$	1.272	5.68	1.35	7.47	12.54	11.73	6.92	12.67	17.74	2.84	9.124	14.54	2.28	3.3
PC Mm^3/mes	0.0019	0.0085	0.0020	0.0112	0.018	0.018	0.0104	0.019	0.027	0.0042	0.0014	0.022	0.0034	0.0049
T $/$m^3$	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2
BNPF %	0.015	0,0017	0.008	0.0006	0.017	0.003	0.0015	0,0008	0.0027	0.0079	0.004	0.003	0.002	0.0006
CPT M$	0.048	0.0054	0.023	0.003	0.24	0.06	0.018	0.018	0.127	0.13	0.101	0.134	0.027	0.0045
F Mm^3/mes	0.00494	0.0047	0.0045	0.0075	0.0213	0.0126	0.006	0.014	0.03	0.0072	0.0152	0.033	0.034	0.0068
T $/$m^3$	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2
BNPNF %	0.3851	1.79	0.45	1.5	0.88	0.489	0.572	0.55	0.387	0.178	0.36	0.32	0.084	0.404
CANC M$	1,272	5.68	1.35	7.47	12.54	11.73	6.92	1.27	17.74	2.84	9.12	14.54	2.29	3.29
F m^3/mes	0.00494	0.0047	0.0045	0.0075	0.0213	0.0126	0.006	0.014	0.03	0.0072	0.0152	0.033	0.034	0.0068
T $/$m^3$	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2
BNTP %	0.3998	1.79	0.45	1.5	0.89	0.49	0.573	0.55	0.389	0.187	0.36	0.32	0.085	0.404
CPPD M$	7.84	5.69	1.37	7.48	12.78	11.79	6.94	12.71	17.87	2.96	9.23	14.68	2.32	3.30
F m^3/mes	0.00494	0.0047	0.0045	0.0075	0.0213	0.0126	0.006	0.014	0.03	0.0072	0.0152	0.033	0.034	0.0068
T $/$m^3$	668.20	668.2	668.2	668.20	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2	668.2

Fuente: (Elaboración propia)