

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO-CHILE



DISEÑO, APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE DETECCIÓN ACTIVA DE PÉRDIDAS
EN REDES DE AGUA POTABLE

FELIPE GONZÁLEZ DELGADO

Memoria de titulación para optar al título de
Ingeniero Civil

Profesor Guía
Carlos Barboza Zepeda

Profesor Co-referente
Patricio Catalán Mondaca

Octubre de 2017

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO-CHILE



DISEÑO, APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE DETECCIÓN ACTIVA DE PÉRDIDAS
EN REDES DE AGUA POTABLE

FELIPE GONZÁLEZ DELGADO

Memoria de titulación para optar al título de
Ingeniero Civil

Profesor Guía
Carlos Barboza Zepeda

Profesor Co-referente
Patricio Catalán Mondaca

Octubre de 2017

RESUMEN

Uno de los problemas a nivel mundial y específicamente en países que están en vías de desarrollo, es la gran cantidad de agua no facturada que se pierde. En Chile el porcentaje de agua perdida es muy elevada, donde según datos proporcionados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), se determinó que la pérdida acumulada en el 2014 fue de un 33,65%, mientras que para Aguas del Altiplano, es de un 35,1%, lo cual según guía práctica creada por International Water Association (IWA), la cual toda empresa debe basarse para combatir los altos niveles de pérdidas, indica que sobre un 30% de pérdidas, el estado de la red es malo.

Dado que las empresas sanitarias del país y en particular en Aguas del Altiplano tienen un alto porcentaje de pérdidas, es necesaria la implementación de nuevos métodos para reducir las pérdidas. Es por esto que la empresa Sanitaria Portuguesa AGS, la cual cuenta con tecnología aplicada orientada a reducir las pérdidas de agua potable, propuso una nueva tecnología para controlar y reducir el agua no facturada, teniendo presente las recomendaciones de IWA.

Mediante la presente memoria, se busca diseñar, aplicar y evaluar esta nueva tecnología en Chile, para abordar la problemática del agua no facturada, específicamente las pérdidas físicas. Esta tecnología se implementó en la empresa Aguas del Altiplano, específicamente en la ciudad de Alto Hospicio como proyecto piloto de análisis.

A partir de los datos de caudal monitoreados por Aguas del Altiplano, se analizarán estadísticamente y tendrán un control de la red de distribución de forma completa a través del programa llamado Monitor, el cual consiste en un sistema de monitoreo continuo de los datos de caudal, que tiene por objetivo optimizar la gestión activa de detección de fugas, vale decir, detectar oportunamente los aumentos de caudal en el sector, realizar las desviaciones en la operación de redes, para identificar rápidamente las fugas y disminuir el tiempo que éstas permanecen sin reparación, reduciendo las pérdidas asociadas a este concepto.

Para implementar esta nueva tecnología, es necesario garantizar que cada sector sea hermético, cuente con medición de caudal y se mantenga el sector inamovible. Además, se requiere de un análisis profundo al momento de generar una alarma, siendo necesario un conocimiento completo de la red de distribución, comportamiento de clientes, patrones de demanda, tipo de suelo, posibles conexiones ilegales, etc.

Finalmente, se realizará un análisis de los resultados obtenidos utilizando Monitor, el cual será la base para escoger la cantidad de sectores necesarios a ser monitoreados dentro de la ciudad de Alto Hospicio, es decir, largo ideal de la red de distribución y número de clientes a abastecer, para reducir las pérdidas de la manera más eficaz y eficiente.

ABSTRACT

One of the worldwide problems and specifically in developing countries is the large amount of unbilled water that is wasted. In Chile the percentage of water loss is very high; where, according to data provided by the Superintendence of Sanitary Services (SISS), it was determined that the cumulative loss in 2014 was 33.65%. For Aguas del Altiplano, it is 35.1%, a very high percentage according to the International Water Association's (IWA) practical guide, which should be the base of every company to deal with high levels of losses. This guide indicates the network status is bad if losses range above a 30%.

Given that the water companies in the country and particularly Aguas del Altiplano have a high percentage of losses, implementation of new methods to reduce losses is required. That is why the Portuguese Health Authority AGS, which has sustainable technology aimed at reducing water losses, proposed a new technology to control and reduce unbilled water, bearing in mind the IWA recommendations.

This paper seeks to design, implement and evaluate this new technology in Chile, to address the problem of unbilled water, specifically the physical losses. This technology was implemented as a pilot analysis project by the company Aguas del Altiplano, specifically in the city of Alto Hospicio.

From the flow rate data monitored by Aguas del Altiplano, they will statistically analyze and completely control the distribution network through the program called "Monitor", which consists of a continuous flow rate data monitoring system, aimed to optimize the active management of leak detection, i.e., early detection of flow rate increases in the sector, carry out deviations in the network operation to quickly identify leaks and reduce the time they remain unrepaired, decreasing the losses associated with this concept.

To implement this new technology, it is necessary to ensure that each sector is airtight, that is has a flow rate measurement system and the area remains fixed. In addition, it requires a profound analysis when the "Monitor" software generates an alarm, a complete knowledge of the distribution network, customer behavior, demand patterns, soil type, possible illegal connections, etc.

Finally, an analysis of the results obtained by the "Monitor" software will be performed, which will be the basis for choosing the number of sectors that require monitoring within the city of Alto Hospicio, i.e. ideal extension of the distribution network and the number of customers to supply and to reduce losses in the most effective and efficient way.

GLOSARIO

ADA	= Aguas Del Altiplano
SISS	= Súper Intendencia de Servicios Sanitarios
AP	=Agua Potable
ANF	= Agua No Facturada
IWA	= International Water Association
CAF	=Control Activo de Fugas
q	=Caudal de fuga [m^3/s]
c	=Constante de proporcionalidad [m^2]
h	=Presión de fuga [m]
α	=Exponente de fuga, factor adimensional que relaciona el caudal de fuga con la presión
P	=Presión [m]
P_0	=Presión promedio inicial en la zona [m]
P_1	=Presión promedio ajustada en la zona [m]
L_0	=Caudal de fuga inicial a presión P_0 [m^3/s]
L_1	=Caudal de fuga a presión ajustada P_1 [m^3/s]
L_m	=Longitud de red [m]
L_p	=Longitud total de arranques [m]
N_c	=Nº de conexiones de servicio
SGP	=Sector de Gestión de Presión
VRP	=Válvula Reductora de Presión
AGS	= Administração e Gestão de Sistemas de Salubridade (Empresa Sanitaria Portuguesa)
DMA	= Sector de medición de caudal, que se encuentra completamente cerrado, donde hay una o más entradas de caudal con medición bien definida y también puede existir una o más salidas de caudal bien definidas
OT	= Orden de Trabajo
GIS	= Geographical Information System

SI = Sistema de Información

SCADA = Supervisory Control and Data Acquisition

ÍNDICE DE CONTENIDOS

GLOSARIO.....	II
GLOSARIO	3
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. GENERAL.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. Objetivos generales	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. ALCANCES.....	2
CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE DE LOS MÉTODOS APLICADOS PARA REDUCIR PÉRDIDAS DE AGUA POTABLE	4
2.1. METODOLOGÍA PARA GESTIONAR LAS PÉRDIDAS	4
2.1.1. Determinación del nivel actual de pérdidas	4
2.2. ESTRATEGIAS PARA GESTIONAR LAS PÉRDIDAS	9
2.2.1. Gestión de presión	9
2.2.1.1. Tecnología y modo de operación de presiones	11
2.2.2. Control activo de fugas	12
2.2.2.1. Planificación Zonal	12
2.2.2.2. Instalación del DMA y Pruebas	14
2.2.2.3. Monitoreo de Caudal	18
2.2.2.4. Detección Activa de Fugas	20
2.2.3. Rapidez y calidad de reparaciones	28
2.2.4. Gestión de infraestructura	28

CAPÍTULO III: ELECCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL DE GESTIÓN DE REDES Y NIVELES DE PÉRDIDAS DEL SITIO DE ESTUDIO 30

3.1. GENERAL..... 30

3.2. ELECCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO 31

3.3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE ALTO HOSPICIO..... 32

3.3.1.	Fuentes de abastecimiento	32
3.3.2.	Sistema de Captación	32
3.3.3.	Calidad del Agua	33
3.3.4.	Plantas Elevadoras	34
3.3.5.	Estanques de Regulación	34
3.3.6.	Red de Distribución	35

3.4. GESTIÓN DE REDES EN ALTO HOSPICIO 36

3.4.1.	Situación Actual del Recurso Hídrico en Alto Hospicio	36
3.4.2.	Determinación del Nivel de Pérdidas en Alto Hospicio	37
3.4.3.	Estrategias para Gestionar las Pérdidas Físicas en Alto Hospicio	37
3.4.3.1.	Gestión de Presión	37
3.4.3.2.	Control Activo de Fugas	38
3.4.3.2.1.	Planificación zonal	38
3.4.3.2.2.	Monitoreo de Caudal	39
3.4.3.2.3.	Detección Activa de fugas	41
3.4.3.3.	Rapidez y Calidad de Reparación	45
3.4.3.4.	Gestión de Infraestructura	46

3.5. DIAGNÓSTICO DE ALTO HOSPICIO 47

3.5.1.	Pérdidas Físicas	47
3.5.1.1.	Gestión de Presión	47
3.5.1.2.	Control activo de fugas	47
3.5.1.3.	Rapidez y Calidad de Reparación	48
3.5.1.4.	Gestión de Infraestructura	48

CAPÍTULO IV: SOLUCIÓN A TRAVÉS DE NUEVA TECNOLOGÍA PARA REDUCIR PÉRDIDAS..... 49

4.1. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN A TRAVÉS DE NUEVA TECNOLOGÍA PARA REDUCIR PÉRDIDAS..... 49

4.2. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE MONITOR..... 49

4.2.1.	Opciones de datos	50
--------	-------------------	----

4.2.1.1.	Caudal Instantáneo	50
4.2.1.2.	Caudal Horario	51
4.2.1.3.	Caudal Medio Diario	51
4.2.1.4.	Caudal Mínimo Diario	52
4.2.1.5.	Estadísticas del Comportamiento de Caudal	52
4.2.1.6.	Comparación de patrones entre DMAs	53
4.2.2.	Generación de eventos	53
4.2.3.	Monitoreo de Caudal	54
4.2.3.1.	Análisis del comportamiento diario	54
4.2.3.2.	Perfil de demanda	56
4.2.3.3.	Análisis de eventos	57
4.2.4.	Procedimiento por seguir para evaluación de eventos	62
4.3.	DISEÑO DE METODOLOGÍA PARA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA	63
4.3.1.	General	63
4.3.2.	Datos e información	63
4.3.3.	Sectorización de la red	64
CAPÍTULO V:	APLICACIÓN DE METODOLOGÍA PARA NUEVA TECNOLOGÍA EN ALTO HOSPICIO	65
5.1.	DMA HIDRÁULICO	65
5.1.1.	Sectorización La Pampa	66
5.1.2.	Sectorización Alto Hospicio	70
5.2.	MEDICIÓN DE DMA	75
5.2.1.	Estanqueidad Autoconstrucción	76
5.2.2.	Estanqueidad El Boro 2	77
5.2.3.	Estanqueidad La Tortuga	80
5.3.	TELELECTURA ACTUAL Y FUTURA	81
5.4.	INTEGRACIÓN A MONITOR	81
5.5.	RESUMEN	82
5.6.	SEGUIMIENTO Y CONTROL	83
VI:	RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA PROPUESTA POR AGS EN ALTO HOSPICIO	84

6.1. GENERAL.....	84
6.2. REPORTE DE ALARMAS MONITOR.....	84
6.2.1. La Pampa	84
6.2.2. Autoconstrucción	85
6.2.3. La Negra	86
6.2.4. La Tortuga	87
6.2.5. Alto Hospicio	87
6.2.6. EL Boro 1	88
6.2.7. EL Boro 2	89
6.2.8. Santa Teresa	90
6.3. PÉRDIDAS APARENTES.....	91
6.4. DETECCIÓN ACTIVA DE FUGAS	91
6.4.1. Prioridad Qmín/Qmed	91
6.4.2. Eventos generados por Monitor	92
6.4.3. Registro de Campaña de Trabajo	92
6.4.4. Tasa de hallazgos y distancia recorrida por cuadrilla	95
6.5. BALANCE HÍDRICO LUEGO DE IMPLEMENTAR MONITOR.....	98
CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIÓN Y DESARROLLOS FUTUROS.....	100
7.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	100
7.1.1. DMA La Pampa	100
7.1.2. DMA Autoconstrucción	100
7.1.3. DMA Alto Hospicio	101
7.1.4. DMA El Boro 1	101
7.1.5. DMA El Boro 2	102
7.1.6. Alto Hospicio	102
7.2. CONCLUSIÓN Y DESARROLLOS FUTUROS	103
CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS.....	105

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2. 1 BALANCE HÍDRICO (IWA COMMITTE, 2000; MODIFICACIÓN PROPIA)	4
TABLA 3. 1 COBERTURA DE MEDICIÓN EN ALTO HOSPICIO, ARICA E IQUIQUE (ELABORACIÓN PROPIA)	31
TABLA 3. 2 SONDajes SISTEMAS CANCHONES (ADA)	33
TABLA 3. 3 CALIDAD DEL AGUA EN SONDajes CANCHONES Y CUMIÑALLA (ADA)	33
TABLA 3. 4 CARACTERÍSTICAS DE ESTANQUES DE REGULACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE ALTO HOSPICIO (ADA)	34
TABLA 3. 5 BALANCE HÍDRICO ALTO HOSPICIO EN DICIEMBRE DEL 2014 (ELABORACIÓN PROPIA)	37
TABLA 3. 6 CLIENTES POR DMA EN LA LOCALIDAD ALTO HOSPICIO (ADA)	39
TABLA 3. 7 CONSUMO PROMEDIO NOCTURNO LOCALIDAD ALTO HOSPICIO (ELABORACIÓN PROPIA)	40
TABLA 3. 8 CAMPAÑA DE TRABAJO POR DMAS CRÍTICOS (ELABORACIÓN PROPIA)	41
TABLA 3. 9 INFORME DE GESTIÓN DE FUGAS ALTO HOSPICIO (ELABORACIÓN PROPIA)	46
TABLA 5. 1 RESUMEN DMA ALTO HOSPICIO (ELABORACIÓN PROPIA)	65
TABLA 5. 2 RESUMEN DE PÉRDIDA ACUMULADA POR DMA (ELABORACIÓN PROPIA)	65
TABLA 5. 3 DMAS CON PÉRDIDAS APARENTES (ELABORACIÓN PROPIA)	66
TABLA 5. 4 PORCENTAJE DE PÉRDIDAS APARENTES DE LOS DMAS AUTOCONSTRUCCIÓN Y EL BORO 2 (ELABORACIÓN PROPIA)	66
TABLA 5. 5 SITUACIÓN OPERATIVA DE VÁLVULAS DE SECTORIZACIÓN LA PAMPA (ADA)	68
TABLA 5. 6 SITUACIÓN OPERATIVA DE VÁLVULAS DE SECTORIZACIÓN ALTO HOSPICIO (ADA)	72
TABLA 5. 7 RESUMEN DMA IDEAL ALTO HOSPICIO (ADA)	74
TABLA 5. 8 RESULTADOS DE PRUEBA DE PRESIÓN 0 EN DMA AUTOCONSTRUCCIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	76
TABLA 5. 9 RESULTADOS DE PRUEBA DE PRESIÓN 0 EN DMA EL BORO 2 (ELABORACIÓN PROPIA)	77
TABLA 5. 10 RESULTADOS DE PRUEBA DE PRESIÓN 0 EN DMA EL BORO 2 (ELABORACIÓN PROPIA)	80
TABLA 5. 11 INTEGRACIÓN A MONITOR ANTES DE REDUCIR LOS DMAS (ELABORACIÓN PROPIA)	81
TABLA 5. 12 RESUMEN 1 DMAS IDEALES ALTO HOSPICIO (ELABORACIÓN PROPIA)	82

TABLA 5. 13 RESUMEN 2 DMAS IDEAL ALTO HOSPICIO (ELABORACIÓN PROPIA)	82
TABLA 5. 14 CUADRILLAS NECESARIAS (ADA)	83
TABLA 6. 1 EVENTOS DE MONITOR EN EL DMA LA PAMPA ENTRE ABRIL- OCTUBRE DEL 2015 (ELABORACIÓN PROPIA)	84
TABLA 6. 2 EVENTOS DE MONITOR EN EL DMA AUTOCONSTRUCCIÓN ENTRE ABRIL- OCTUBRE DEL 2015 (ELABORACIÓN PROPIA)	85
TABLA 6. 3 EVENTOS DE MONITOR EN EL DMA AUTOCONSTRUCCIÓN ENTRE ABRIL- OCTUBRE DEL 2015 QUE NO REGULARON VRP (ELABORACIÓN PROPIA)	85
TABLA 6. 4 CAUDAL, VOLUMEN Y DINERO PERDIDO AL NO REGULAR VRP VALOR (ELABORACIÓN PROPIA)	86
TABLA 6. 5 ESTADÍSTICAS DEL DMA AUTOCONSTRUCCIÓN DURANTE SEPTIEMBRE DEL 2015 (MONITOR)	86
TABLA 6. 6 EVENTOS DE MONITOR EN EL DMA LA NEGRA ENTRE ABRIL- OCTUBRE DEL 2015 (ELABORACIÓN PROPIA)	86
TABLA 6. 7 EVENTOS DE MONITOR EN EL DMA LA TORTUGA ENTRE ABRIL- OCTUBRE DEL 2015 (ELABORACIÓN PROPIA)	87
TABLA 6. 8 EVENTOS DE MONITOR EN EL DMA ALTO HOSPICIO ENTRE ABRIL- OCTUBRE DEL 2015 (ELABORACIÓN PROPIA)	87
TABLA 6. 9 VOLUMEN POR REBOSE DE ESTANQUE EL BORO (ELABORACIÓN PROPIA)	88
TABLA 6. 10 EVENTOS DE MONITOR EN EL DMA EL BORO 1 ENTRE ABRIL- OCTUBRE DEL 2015 (ELABORACIÓN PROPIA)	88
TABLA 6. 11 EVENTOS DE MONITOR EN EL DMA EL BORO 2 ENTRE ABRIL- OCTUBRE DEL 2015 (ELABORACIÓN PROPIA)	89
TABLA 6. 12 EVENTOS DE MONITOR EN EL DMA EL BORO 2 ENTRE ABRIL- OCTUBRE DEL 2015 QUE NO REGULARON VRP (ELABORACIÓN PROPIA)	89
TABLA 6. 13 CAUDAL, VOLUMEN Y DINERO PERDIDO AL NO REGULAR VRP (ELABORACIÓN PROPIA)	90
TABLA 6. 14 ESTADÍSTICAS DEL DMA EL BORO 2 EN SEPTIEMBRE DEL 2015 (MONITOR)	90
TABLA 6. 15 DMA CON PÉRDIDAS APARENTES (ELABORACIÓN PROPIA)	91
TABLA 6. 16 PLAN DE TRABAJO DE DETECCIÓN ACTIVA DE FUGAS (ELABORACIÓN PROPIA)	92
	X

TABLA 6. 17 EVENTOS DE MONITOR QUE REQUIRIERON DE DETECCIÓN ACTIVA DE FUGAS (ELABORACIÓN PROPIA)	92
TABLA 6. 18 VOLUMEN Y DINERO PERDIDO DE EVENTOS EN MONITOR QUE REQUIRIERON DE DETECCIÓN ACTIVA DE FUGAS (ELABORACIÓN PROPIA)	92
TABLA 6. 19 REGISTRO DE CAMPAÑA DE DETECCIÓN ACTIVA DE FUGAS SIN MONITOR (ELABORACIÓN PROPIA)	93
TABLA 6. 20 VOLUMEN RECUPERADO SIN MONITOR (ELABORACIÓN PROPIA)	94
TABLA 6. 21 REGISTRO DE CAMPAÑA DE DETECCIÓN ACTIVA DE FUGAS CON MONITOR (ELABORACIÓN PROPIA)	94
TABLA 6. 22 VOLUMEN RECUPERADO CON MONITOR (ELABORACIÓN PROPIA)	95
TABLA 6. 23 PROMEDIO SEMANAL DE HALLAZGOS ALTO HOSPICIO ABRIL-OCTUBRE 2015 (ELABORACIÓN PROPIA)	96
TABLA 6. 24 PROMEDIO SEMANAL DE DISTANCIA RECORRIDA ALTO HOSPICIO ABRIL-OCTUBRE 2015 (ELABORACIÓN PROPIA)	97
TABLA 6. 25 PROMEDIO SEMANAL DE DISTANCIA RECORRIDA ALTO HOSPICIO ABRIL-OCTUBRE 2015 (ELABORACIÓN PROPIA)	97
TABLA 6. 26 PROMEDIO SEMANAL DE DISTANCIA RECORRIDA ALTO HOSPICIO SEPTIEMBRE-OCTUBRE 2015 (ELABORACIÓN PROPIA)	97
TABLA 6. 27 HALLAZGOS SEMANALES ALTO HOSPICIO SEPTIEMBRE-OCTUBRE 2015 (ELABORACIÓN PROPIA)	97
TABLA 6. 28 BALANCE HÍDRICO ALTO HOSPICIO EN DICIEMBRE DEL 2014 (ELABORACIÓN PROPIA)	98
TABLA 6. 29 BALANCE HÍDRICO ALTO HOSPICIO EN OCTUBRE DEL 2015 (ELABORACIÓN PROPIA)	98
TABLA 6. 30 BALANCE HÍDRICO ALTO HOSPICIO EN DICIEMBRE DEL 2014 (ELABORACIÓN PROPIA)	99
TABLA 6. 31 BALANCE HÍDRICO ALTO HOSPICIO EN OCTUBRE DEL 2015 (ELABORACIÓN PROPIA)	99
TABLA 7. 1 IRR DMA LA PAMPA (ELABORACIÓN PROPIA)	100
TABLA 7. 2 PRECIO DE INSTALACIÓN DE MACROMEDIDOR DE CAUDAL (ELABORACIÓN PROPIA)	101
TABLA 7. 3 BALANCE HÍDRICO ADA EN DICIEMBRE DEL 2016 (ADA)	102

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2. 1 TERMINOLOGÍA PROPUESTA DE SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA (IWA COMMITE, 2000; MODIFICACIÓN PROPIA)	8
FIGURA 2. 2 PRINCIPALES ACTIVIDADES DE LA GESTIÓN DE PÉRDIDAS REALES (IWA COMMITE, 2000; MODIFICACIÓN PROPIA)	9
FIGURA 2. 3 RELACIÓN ENTRE PRESIÓN Y FUGA PARA DIFERENTES VALORES A (FALLIS, 2011)	11
FIGURA 2. 4 TÍPICO ESQUEMA DE DMA (FALLIS, 2011)	13
FIGURA 2. 5 ETAPAS EN EL DISEÑO E INSTALACIÓN DEL DMA (ELABORACIÓN PROPIA)	14
FIGURA 2. 6 DETECCIÓN ACÚSTICA MEDIANTE GEÓFONO (LOCALIZADOR FUGAS DE AGUA, 2014)	21
FIGURA 2. 7 DETECCIÓN DE FUGA MEDIANTE CORRELADOR (PERTA, 2017)	21
FIGURA 2. 8 DETECCIÓN ACÚSTICA MEDIANTE PERMALOGS (DNK WATER, 2007)	22
FIGURA 2. 9 EJEMPLO DE RESULTADOS DE DETECCIÓN ACÚSTICA MEDIANTE PERMALOGS (DNK WATER, 2007)	22
FIGURA 2. 10 DETECCIÓN DE FUGAS MEDIANTE INYECCIÓN DE GAS (LOCALIZADOR FUGAS DE AGUA, 2014)	23
FIGURA 2. 11 INSPECCIÓN POR VIDEO (PURE TECHNOLOGIES, 2017)	23
FIGURA 2. 12 INSPECCIÓN CON GEORADAR (DIRECT INDUSTRY, 2017)	24
FIGURA 2. 13 INSPECCIÓN CON CÁMARA TÉRMICA (FLUKE, 2017)	25
FIGURA 2. 14 STEP TESTING (THORNTON, STURN, & KUNKEL, 2008)	26
FIGURA 3. 1 VOLUMEN Y PORCENTAJE DE ANF EN CHILE DURANTE 2013-2014 (SISS, 2014; MODIFICACIÓN PROPIA)	30
FIGURA 3. 2 SISTEMA DE AGUA POTABLE ALTO HOSPICIO (ADA)	32
FIGURA 3. 3 TORRE DE AIREACIÓN CANCHONES PARA REDUCIR MN (ADA)	34
FIGURA 3. 4 ESTANQUES DE ALTO HOSPICIO (ADA)	35
FIGURA 3. 5 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE ALTO HOSPICIO (ADA; MODIFICACIÓN PROPIA)	36
FIGURA 3. 6 EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE ANF EN ALTO HOSPICIO 2013-2014 (ELABORACIÓN PROPIA)	36
FIGURA 3. 7 SISTEMA DNK DE MEDICIÓN PARA SISTEMA BI-CONSIGNA (ADA; MODIFICACIÓN PROPIA)	38
FIGURA 3. 8 DISTRIBUCIÓN DE DMA EN LA LOCALIDAD ALTO HOSPICIO (ADA)	38

FIGURA 3. 9 GRÁFICO DE CAUDALES DE UN DMA DE LA LOCALIDAD DE ALTO HOSPICIO (ELABORACIÓN PROPIA)	40
FIGURA 3. 10 INSPECTOR DE FUGAS DE ADA UTILIZANDO EL GEÓFONO (ELABORACIÓN PROPIA)	42
FIGURA 3. 11 EJEMPLO DE INSTALACIÓN DE PERMALOGS (ELABORACIÓN PROPIA)	42
FIGURA 3. 12 PLANO DE PRUEBA NOCTURNA REALIZADA EN SECTOR LA PAMPA (ADA)	44
FIGURA 4. 1 PERFIL DE DEMANDA (AGS)	49
FIGURA 4. 2 PERFIL DE DEMANDA INSTANTÁNEO DEL DMA AUTOCONSTRUCCIÓN (MONITOR)	50
FIGURA 4. 3 PERFIL DE DEMANDA HORARIO DEL DMA AUTOCONSTRUCCIÓN (MONITOR)	51
FIGURA 4. 4 PERFIL DE DEMANDA MEDIA DIARIO DEL DMA AUTOCONSTRUCCIÓN (MONITOR)	51
FIGURA 4. 5 PERFIL DE DEMANDA MÍNIMA DIARIO DEL DMA AUTOCONSTRUCCIÓN (MONITOR)	52
FIGURA 4. 6 ESTADÍSTICAS DEL DMA AUTOCONSTRUCCIÓN (MONITOR)	52
FIGURA 4. 7 PERFIL DE DEMANDA DEL DMA AUTOCONSTRUCCIÓN COMPARADO CON LA PAMPA (MONITOR)	53
FIGURA 4. 8 PATRÓN DE DEMANDA IRREGULAR (MONITOR)	56
FIGURA 4. 9 PATRÓN DE DEMANDA REGULAR (MONITOR)	56
FIGURA 4. 10 ROTURA REPORTADA (MONITOR)	57
FIGURA 4. 11 ROTURA NO REPORTADA Y DETECTADA POR PERSONAL DE FUGAS (MONITOR)	58
FIGURA 4. 12 CONSUMO ILEGAL DEBIDO A APERTURAS DE GRIFO (MONITOR)	59
FIGURA 4. 13 DESAJUSTE DE VRP DURANTE EL PERIODO NOCTURNO EN SECTOR AUTOCONSTRUCCIÓN (MONITOR; MODIFICACIÓN PROPIA)	59
FIGURA 4. 14 CAMBIO DE ZONA ENTRE DMA LA PAMPA Y DMA AUTOCONSTRUCCIÓN (MONITOR; MODIFICACIÓN PROPIA)	60
FIGURA 4. 15 TRABAJO DE MANTENIMIENTO GENERADO POR REPOSICIÓN DE CAUDAL (MONITOR)	61
FIGURA 4. 16 FALLA DE MEDIDOR GPRS POR PROBLEMAS CON EL SERVIDOR DE CONSULTA (MONITOR; MODIFICACIÓN PROPIA)	61
FIGURA 4. 17 REBOSE EN ESTANQUE PROVOCADO POR EL CONTINUO TRABAJO DE LA BOMBA IMPULSORA (MONITOR)	62
FIGURA 4. 18 DIAGRAMA DE FLUJO DE GESTIÓN DE EVENTOS GENERADOS POR MONITOR (ELABORACIÓN PROPIA)	63

FIGURA 5. 1 SECTORIZACIÓN DMA LA PAMPA (ADA)	66
FIGURA 5. 2 ESQUEMA DE VÁLVULAS SECTORIZACIÓN DMA LA PAMPA (ADA)	67
FIGURA 5. 3 VÁLVULAS A REVISAR EN CUARTEL 6040 (ADA)	69
FIGURA 5. 4 NUEVA SECTORIZACIÓN ALTO HOSPICIO (ADA)	70
FIGURA 5. 5 UBICACIÓN DE VÁLVULAS DE SECTORIZACIÓN (ADA)	71
FIGURA 5. 6 VÁLVULAS A REVISAR EN CUARTEL 1080 (ADA; MODIFICACIÓN PROPIA)	73
FIGURA 5. 7 SECTORIZACIÓN DEFINITIVA DMA ALTO HOSPICIO (ADA)	75
FIGURA 5. 8 PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN DMA AUTOCONSTRUCCIÓN (ADA; MODIFICACIÓN PROPIA)	77
FIGURA 5. 9 PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN DMA EL BORO 2 (ADA; MODIFICACIÓN PROPIA)	78
FIGURA 5. 10 PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN DMA EL BORO 2 (ADA; MODIFICACIÓN PROPIA)	79
FIGURA 5. 11 PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN DMA LA TORTUGA (ADA; MODIFICACIÓN PROPIA)	80
FIGURA 6. 1 REPORTE DE REBOSES DE ESTANQUE EN EL DMA ALTO HOSPICIO (MONITOR; MODIFICACIÓN PROPIA)	88
FIGURA 6. 2 FALLA DE MEDIDOR EN DMA EL BORO 2 (MONITOR; MODIFICACIÓN PROPIA)	90
FIGURA 6. 3 CAUDAL RECUPERADO DURANTE CAMPAÑA DE TRABAJO 2014 (ELABORACIÓN PROPIA)	93
FIGURA 6. 4 CAUDAL RECUPERADO DURANTE CAMPAÑA DE TRABAJO 2015 (ELABORACIÓN PROPIA)	94
FIGURA 6. 5 HALLAZGOS SEMANALES ALTO HOSPICIO MAYO-DICIEMBRE 2014 (ELABORACIÓN PROPIA)	95
FIGURA 6. 6 HALLAZGOS SEMANALES ALTO HOSPICIO ABRIL-OCTUBRE 2015 (ELABORACIÓN PROPIA)	96
FIGURA 6. 7 DISTANCIA RECORRIDA POR CUADRILLA EN ALTO HOSPICIO MAYO-DICIEMBRE 2014 (ELABORACIÓN PROPIA)	96
FIGURA 6. 8 DISTANCIA RECORRIDA POR CUADRILLA EN ALTO HOSPICIO ABRIL-OCTUBRE 2015 (ELABORACIÓN PROPIA)	97

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. GENERAL

Los sistemas de abastecimiento de agua potable (AP), pueden definirse como los encargados de garantizar el transporte y distribución de agua desde los puntos de captación y producción hasta los diferentes puntos de consumo, con una calidad de suministro definido por la normativa de cada país.

Uno de los problemas más frecuentes en las empresas de AP son las fugas en las redes de abastecimiento, que provocan grandes pérdidas. Además, para su manejo, se invierte una considerable cantidad de recursos.

En Chile las empresas sanitarias tienen un alto nivel de agua no facturada (ANF), no siendo la excepción Aguas Del Altiplano (ADA). Hasta fines del 2014, el porcentaje de pérdida de agua promedio fue equivalente al 33,65% a nivel país, mientras que en ADA correspondió a un 35,1%, según datos proporcionados por la SISS.

Dado que la evolución de ANF en estos últimos años en ADA ha ido decreciendo, pero cada vez de manera más desacelerada, donde en 2013 hubo una disminución de 0,83% y en 2014 de un 0,38%, es necesario implementar nuevas acciones para disminuir el nivel de pérdidas en las localidades de Iquique, Arica y Parinacota. Además, la preocupación creciente por la mejora continua de la eficacia y eficiencia de los sistemas de AP, exige cada vez más la introducción de metodologías y tecnologías apropiadas que ayuden al personal responsable a lograr la disminución del ANF.

Es por esto que el presente estudio se centra en la implementación de un sistema tecnológico moderno para controlar las pérdidas de AP, específicamente en la detección activa de fugas, a través de un monitoreo en línea, el cual permite tener un mayor control de las variaciones de caudal y tener la herramienta necesaria para tomar las decisiones adecuadas al momento de realizar un plan de trabajo en control activo de fugas. Esto, se puede lograr puesto que al monitorear la red de agua potable de manera completa y teniendo registros históricos del comportamiento de los clientes en los sectores de medición, permitirá ser más eficiente en los recursos necesarios para detectar fugas en terreno.

Para poder trabajar con esta nueva tecnología es necesario realizar el diseño, aplicación y evaluación de ella, teniendo como meta que toda empresa sanitaria pueda implementar esta tecnología. Para ello se escogió Alto Hospicio como área piloto, esto debido a que los DMAs (sector de medición de caudal, el cual se encuentra completamente cerrado, donde hay una o más entradas de caudal con medición bien definida y también puede existir una o más salidas de caudal bien definidas), tienen el 100% de cobertura en Alto Hospicio y permitirá un análisis completo de las pérdidas de ANF.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivos generales

El objetivo general del presente trabajo consiste en definir procedimientos para la planificación general del diseño, aplicación y evaluación de Monitor, el cual es un sistema tecnológico moderno diseñado para reducir las pérdidas físicas o reales, a través de un sistema estadístico de monitoreo de caudal en línea, que reduzca los tiempos de detección de roturas y/o fugas, que son provocadas por fallos en las tuberías, accesorios o estanques de almacenamiento en sistemas de AP. Lo anterior orientado al control y reducción de pérdidas, que sirva como base para el desarrollo dentro de las Empresas Sanitarias en Chile a futuro.

1.2.2. Objetivos específicos

- Profundizar el conocimiento acerca de las pérdidas reales en un sistema de agua potable e identificar las variables que inciden en ellas.
- Diseñar, aplicar y evaluar la implementación práctica a nivel piloto para reducir las pérdidas de AP de ADA.
- Identificar los sectores con medición de caudal que tengan la más alta relación entre el mínimo y medio.
- Definir campañas de trabajo con equipo acústico en todos los sectores que tengan mediciones de caudal.
- Analizar los resultados de monitoreo de caudal.
- Definir largo ideal de la red de distribución y número de clientes a abastecer.
- Establecer cantidad ideal de sectores a monitorear a futuro.

1.3. ALCANCES

En el capítulo 2 se abordan los métodos existentes para reducir las pérdidas físicas de agua potable. Se hace una descripción general de cómo se debe realizar un balance hídrico para determinar el Agua No Facturada, para prevenir y controlar las pérdidas.

En el capítulo 3 se realiza una descripción general del sistema de agua potable de la Empresa Aguas del Altiplano, identificando fuentes de abastecimiento, sistema de captación, calidad del agua, plantas elevadoras, estanques de regulación y red de distribución. Se identifican los aspectos relevantes de ADA sobre las prácticas para controlar y reducir el ANF, para finalmente presentar un diagnóstico del desempeño y rendimiento del sistema de suministro de agua.

En el capítulo 4 se plantea una nueva tecnología para controlar y reducir las pérdidas, cuyo objetivo es implementar una estrategia adecuada a través de una herramienta de monitoreo de caudal de la red, para reducir las pérdidas físicas a través del control activo de fugas. Además, se establece el diseño para poder desarrollar esta nueva tecnología en ADA, es decir, los pasos previos para que este software se pueda ocupar de manera certera para combatir las pérdidas de agua.

En el capítulo 5 se aplica la nueva tecnología en un sector piloto dentro de ADA.

En el capítulo 6 se muestran los resultados obtenidos al gestionar las pérdidas físicas con esta nueva tecnología.

En el capítulo 7 se realizará un análisis de los resultados obtenidos utilizando Monitor, el cual será la base para escoger la cantidad de sectores necesarios a ser monitoreados dentro de la ciudad de Alto Hospicio. Además, se realizan las conclusiones finales de este trabajo y posibles desarrollos futuros.

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE DE LOS MÉTODOS APLICADOS PARA REDUCIR PÉRDIDAS DE AGUA POTABLE

2.1. Metodología para gestionar las pérdidas

Las pérdidas reales y aparentes constituyen la cantidad de ANF en un sistema de suministro, es por esto que es necesario tener un control del volumen de ANF y para ello es necesario establecer un balance hídrico a intervalos regulares que sirva como base para eliminar las pérdidas de agua potable.

2.1.1. Determinación del nivel actual de pérdidas

International Water Association (IWA) formó un grupo de trabajo sobre indicadores de desempeño y pérdidas de agua para lograr cifras internacionalmente comparables. En el año 2000 se publicó un documento “Blues Pages: Losses from Water Supply Systems – Standard Terminology and Recommended Performance Measures” sobre las mejores prácticas internacionales para calcular los balances hídricos.

Como parte esencial de la metodología, IWA propone una forma estandarizada para contabilizar el ANF. Esto se define a través de la Tabla 2. 1 donde se realiza un balance ordenado del volumen de entrada al sistema de conducciones y de distribución.

Tabla 2. 1 Balance Hídrico (IWA commite, 2000; Modificación propia)

1 Volumen de entrada al sistema	2 Consumo Autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido	3 Agua facturada
			Consumo facturado no medido	
	4 Pérdida de Agua	Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido	3 Agua no facturada
			Consumo no facturado no medido	
		5 Pérdida aparente	Consumo no autorizado	
		6 Pérdida real	Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
			Fugas en las tuberías de aducción y distribución	
			Fugas y reboses en estanques de almacenamiento	
			Fugas en las conexiones de servicio	

Las definiciones de los componentes principales del balance hídrico según IWA (Tabla 2. 1) son los siguientes:

1. **Volumen de Entrada al Sistema:** es la entrada anual a un determinado sistema de suministro de agua potable. Incluye: el agua extraída, agua conducida (sin tratar), facturado o no por terceros.
2. **Consumo Autorizado:** es el volumen anual de agua medido y/o no medido por los clientes, proveedor de agua y otro, de manera implícita o explícitamente autorizado para hacerlo. Incluye: fugas y desbordes después del medidor del cliente.
3. **Agua No Facturada (ANF):** la diferencia entre el volumen de entrada al sistema y el agua facturada. ANF consta de Consumo Autorizado pendiente de facturación y pérdidas de agua.
4. **Pérdida de agua:** la diferencia entre el volumen de entrada al sistema y el Consumo autorizado da como resultado pérdidas aparentes y pérdidas reales
5. **Pérdida Aparente:** consiste en el consumo no autorizado, inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos.
6. **Pérdida Real:** volúmenes anuales que se pierden por fugas, roturas y derrames en la red, estanques y conexiones de servicio, hasta el punto de medición del cliente.

Los componentes del balance hídrico siempre se deben calcular y expresar sobre un determinado período (usualmente por año).

Componentes específicos del Balance Hídrico son:

Consumo autorizado facturado

Consumo facturado medido

- Consumo residencial, consumo comercial y de servicios, consumo industrial, consumo público.

Consumo Facturado no medido

- Estimación de agua pérdida por una rotura causada por terceras personas.
- Pérdida de agua estimada causada por el robo detectado.

Volumen de entrada al sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido	Agua facturada
			Consumo facturado no medido	
	Pérdida de Agua	Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido	Agua no facturada
			Consumo no facturado no medido	
		Pérdida aparente	Consumo no autorizado	
			Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
	Pérdida real		Fugas en las tuberías de aducción y distribución	
			Fugas y reboses en estanques de almacenamiento	
			Fugas en las conexiones de servicio	

Consumo autorizado no facturado

El consumo autorizado no facturado incluye una gran cantidad de ítems que pueden ser medidos o no medidos, de acuerdo con las prácticas locales.

Consumo no facturado medido

- Consumos públicos medidos (colegios, jardines, edificios públicos, fuentes públicas).
- Consumo Contra Incendios

Consumo no facturado no medido¹

- Consumos públicos medidos (colegios, jardines, edificios públicos, fuentes públicas).
- Consumo contra incendios.
- Lavado de tuberías y alcantarillados.
- Limpieza de estanques.
- Otros

Volumen de entrada al sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido	Agua facturada
			Consumo facturado no medido	
	Pérdida de Agua	Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido	Agua no facturada
			Consumo no facturado no medido	
		Pérdida aparente	Consumo no autorizado	
			Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
		Pérdida real	Fugas en las tuberías de aducción y distribución	
			Fugas y reboses en estanques de almacenamiento	
			Fugas en las conexiones de servicio	

Pérdidas aparentes

Las pérdidas aparentes corresponden al consumo no autorizado (robo o uso ilegal) y todo tipo de inexactitudes asociadas con la medición de la producción y la medición de los clientes.

Consumo no autorizado

- Estimación del robo y consumo ilegal.

Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos

- Estimación de errores de medición. Incluye errores aleatorios debido a procedimientos de contabilidad y errores sistemáticos debido al subregistro o sobre-registro.

Volumen de entrada al sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido	Agua facturada
			Consumo facturado no medido	
	Pérdida de Agua	Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido	Agua no facturada
			Consumo no facturado no medido	
		Pérdida aparente	Consumo no autorizado	
			Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
		Pérdida real	Fugas en las tuberías de aducción y distribución	
			Fugas y reboses en estanques de almacenamiento	
			Fugas en las conexiones de servicio	

¹ Los dos ítems iniciales son iguales que en consumo no facturado medido, esto se debe a que las empresas sanitarias pueden o no tener medidores en sectores públicos y/o grifos.

Es preferible que estos errores se estimen basándose en muestras probadas de precisiones de medidores de clientes.

Pérdidas reales

Las pérdidas reales son las pérdidas físicas de agua desde el sistema presurizado hasta el punto de medición del cliente. El volumen que se pierde de todo tipo de fugas, roturas y reboses depende de la frecuencia, velocidades de caudales y duraciones medias de cada fuga. Estas pérdidas de preferencia deben ser evaluadas por otros métodos, a saber, el análisis de componentes de pérdidas y análisis de caudal mínimo real, de lo contrario errores acumulados de otros componentes estarán asociados con la estimación de las pérdidas reales.

Fugas en las tuberías de aducción y distribución

- Fugas en tuberías.
- Fugas en los Componentes.

Fugas y reboses en estanques de almacenamiento

- Estimación de errores de medición. Incluye errores aleatorios debido a procedimientos de contabilidad y errores sistemáticos debido al subregistro o sobre-registro.

Volumen de entrada al sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido	Agua facturada
			Consumo facturado no medido	
		Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido	Agua no facturada
			Consumo no facturado no medido	
	Pérdida aparente		Consumo no autorizado	
			Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
Pérdida de Agua	Pérdida real		Fugas en las tuberías de aducción y distribución	
			Fugas y reboses en estanques de almacenamiento	
			Fugas en las conexiones de servicio	

Fugas en las conexiones de servicio

- Fugas en conexiones de servicio
- Fugas antes del punto de medición del cliente

En el ANEXO A se define el método de cálculo para determinar de manera estándar los indicadores de ANF según IWA.

Con el fin de tener una comprensión clara de las entradas y salidas de la cadena de agua, la Figura 2. 1 ilustra un sistema de suministro típico y sus principales contribuciones de la toma de agua cruda a los puntos de consumo.

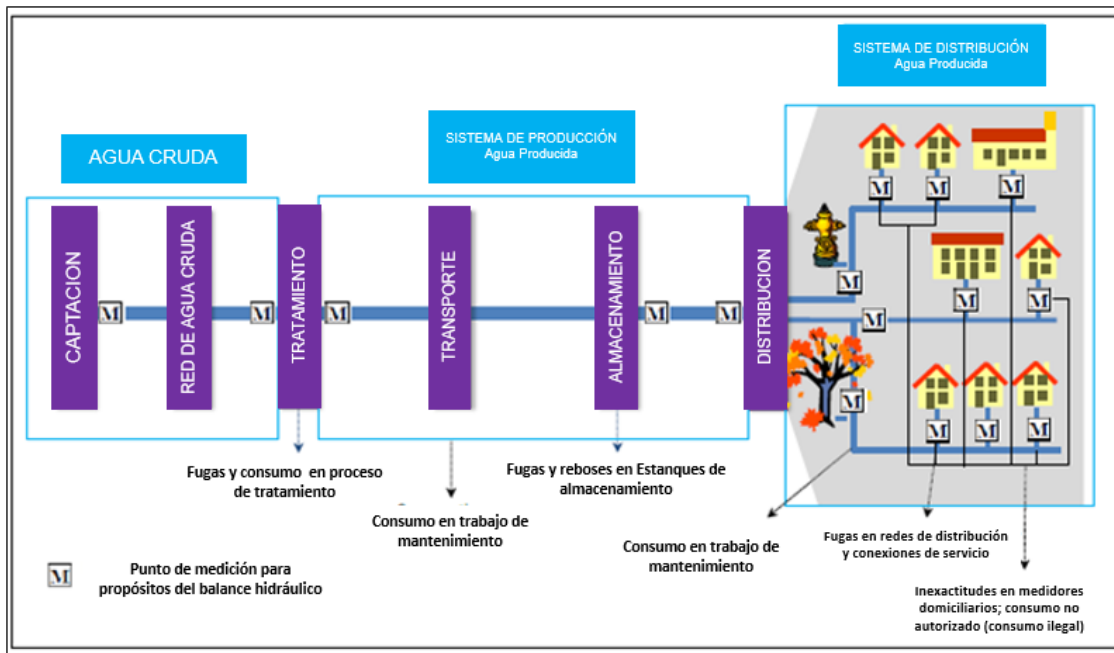


Figura 2. 1 Terminología propuesta de sistema de suministro de agua (IWA commite, 2000; Modificación propia)

2.2. Estrategias para gestionar las pérdidas

El agua potable es cada día un bien más escaso, por lo cual IWA recomienda varias estrategias y acciones para reducir las pérdidas de agua potable. IWA definió cuatro acciones principales para combatir las pérdidas reales de agua potable, las que se muestran en la siguiente figura:

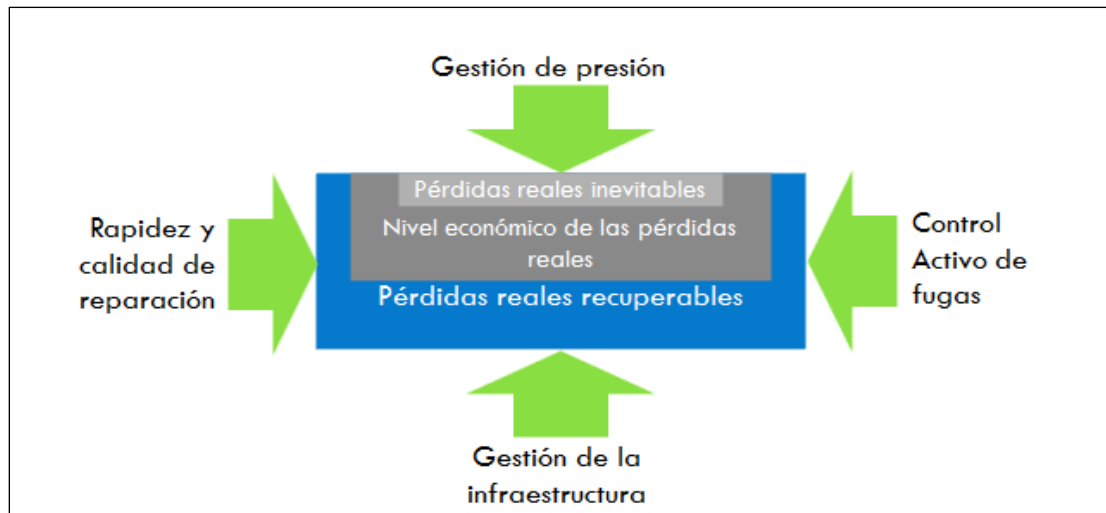


Figura 2. 2 Principales actividades de la gestión de pérdidas reales (IWA commite, 2000; Modificación propia)

El sistema de análisis dentro de la presente memoria se basa en las subdivisiones de las pérdidas reales propuesta en la Figura 2. 2.

2.2.1. Gestión de presión

Es uno de los elementos fundamentales en la estrategia de gestión de pérdidas, se recomienda mantener las presiones a niveles óptimos de servicio y a la vez asegurar un suministro suficiente y eficiente. La presión y la fuga son directamente proporcionales, dado que si aumenta la presión, el agua que se fuga, se incrementará.

Existe una relación física entre el caudal y la presión de fuga:

$$q = c \cdot h^{\alpha} \quad [m^3/s] \quad \text{EC 2. 1}$$

Donde,

q: Caudal de fuga [m^3/s]

h: Presión de fuga [m]

α : Exponente de fuga [-]²

c: constante de proporcionalidad [m^2]

² Adimensional

El exponente de fuga α es el factor que más influye el caudal de una fuga debido a su posición como exponente en la EC 2.1. Existen varios factores que tienen un impacto significativo sobre el rango de exponentes de fuga:

- 1) El tamaño y la forma del orificio de fuga, el cual depende del material del tubo y el tipo de falla (rajaduras longitudinales o circunferenciales, orificios redondos, etc.).
- 2) La capacidad que tiene la fuga de expandirse con una presión que se va elevando, lo cual depende del material del tubo y la forma de la fuga (los orificios redondos se expanden menos que las rajaduras longitudinales a medida que se eleva la presión).
- 3) El tipo de suelo.
- 4) Las condiciones de flujo en el orificio de fuga (laminar, transitorio o turbulento), el cual depende del número Reynolds y de la forma del orificio.

Además, existe una ecuación que permite determinar la eficiencia en la gestión de presión:

$$L_1 = L_0 \cdot \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^\alpha \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad \text{EC 2. 2}$$

Donde,

L_1 : Caudal de fuga a presión ajustada P_1 [m^3/s]

L_2 : Caudal de fuga inicial a presión P_0 [m^3/s]

P_0 : Presión promedio inicial en la zona [m]

P_1 : Presión promedio ajustada en la zona [m]

La siguiente figura ilustra de manera gráfica el efecto de la presión reducida en el caudal de fuga para redes con valores de α entre 0,5 y 2,5.

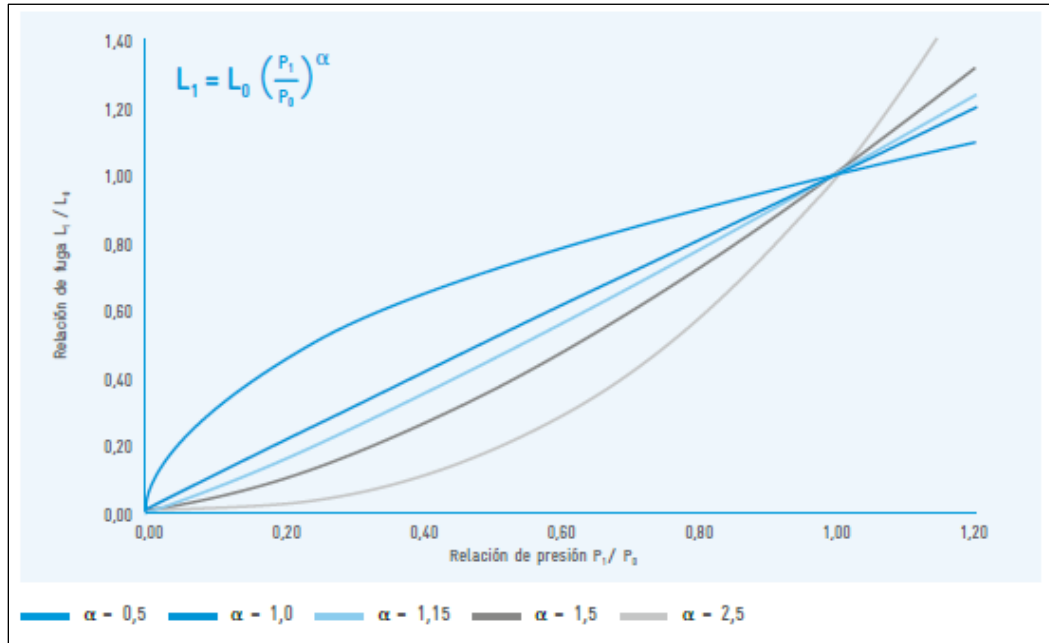


Figura 2. 3 Relación entre presión y fuga para diferentes valores α (Fallis, 2011)

Donde α es 2,5 para tuberías flexibles, 0,5 para tuberías rígidas y 1 para grandes áreas o para tener una primera hipótesis.

2.2.1.1. Tecnología y modo de operación de presiones

Mientras existan distintos métodos de gestión de presión, los pasos e instalaciones básicos son siempre similares: primero, tiene que seleccionarse un sector de gestión de presión (SGP) conveniente y se debe separar de zonas vecinas cerrando válvulas de límite.

Enseguida, se debe instalar en el punto de ingreso al SGP una válvula reguladora de presión (VRP) y un sensor de presión. Hay cuatro maneras básicas de operar la VRP y modular la presión del sistema:

- 1) Salida fija: es el sistema de control de presión más básico, donde se mantiene la presión de salida de la VRP a un nivel elegido en toda ocasión.
- 2) Modulación de la presión basada en el tiempo: la presión de salida de la VRP se modula de acuerdo al tiempo, usualmente para reducir la presión durante la noche cuando los caudales son bajos.
- 3) Modulación de la presión basada en el caudal: se pueden fijar distintas presiones de salida para distintas tasas de flujo de manera que se mantenga la presión mínima requerida en la zona durante caudales máximos o para abrir la VRP cuando se excede un caudal umbral (por ejemplo, el caudal contra incendios).

4) Modulación de la presión de control remoto: utilizando el tipo más avanzado de modulación de la presión, la presión de salida de la VRP se ajusta continuamente por telemetría (medición y recopilación de datos mediante lugares remotos, donde se transmite información para vigilancia) desde sensores de presión en uno o más puntos cruciales en el SGP en donde la presión se mantiene estable al nivel deseado.

La disminución de la presión en la red es uno de los enfoques para controlar y reducir las pérdidas de agua, sin embargo, tiende a ocultar los problemas de infraestructura y puede ser difícil de promover la eficacia y eficiencia de las actividades de detección activa de fugas, especialmente cuando se utilizan equipos acústicos.

2.2.2. Control activo de fugas

El control activo de fugas (CAF) es un método de intervención para reducir las pérdidas reales de agua potable, en el que una empresa de agua utiliza fondos, personal y equipo técnico para detectar y reparar de manera activa fugas que actualmente existen, pero se encuentra bajo tierra, por lo cual no han sido detectadas. El propósito principal del CAF es reducir el tiempo durante el cual se filtran las fugas que se encuentran ocultas para minimizar las pérdidas reales de agua.

El proceso del CAF se puede dividir en tres pasos importantes: planificación zonal, monitoreo de caudal y detección activa de fugas.

2.2.2.1. Planificación Zonal

Es el proceso inicial que es necesario realizar en toda empresa sanitaria para gestionar pérdidas, cuya actividad consiste en dividir la red de distribución en sectores más pequeños que permita implementar sistemas de monitoreo y control, para comprender y analizar los perfiles de presión y caudal, identificar las áreas prioritarias, para mejorar la eficacia en la detección activa de fugas.

Los DMAs son sectores de medición de caudal, los cuales se encuentran completamente cerrados, donde hay una o más entradas de caudal con medición bien definida y también puede existir una o más salidas de caudal bien definidas. Tienen el beneficio de la combinación de dos de las cuatro herramientas contra pérdidas reales, ya que ayudan a reducir los tiempos de detección de fugas y también a mejorar la detección de fugas a través de la priorización de los esfuerzos en las áreas donde los análisis de los DMAs han demostrado que los niveles de fugas son más altos. El DMA puede ser diseñado para su instalación permanente o se puede establecer para medidas provisionales.

Además, el enfoque del DMA ofrece la ventaja de que, una vez que los niveles de fuga se reducen a un nivel económico óptimo, es posible seguir de cerca el posterior aumento de caudal en el DMA, para que posteriormente no sea necesario enviar inspectores de fugas al DMA, puesto que se alcanza un umbral preestablecido de pérdidas.

Dependiendo de las características de la red de distribución, un DMA va a ser un área suministrada por una o más alimentadoras. El caudal suministrado al DMA es monitoreado por medidores de

caudal y, en ciertas circunstancias, un DMA puede conectarse en cascada con un DMA adyacente. Lo mencionado anteriormente se puede ver en la siguiente figura:

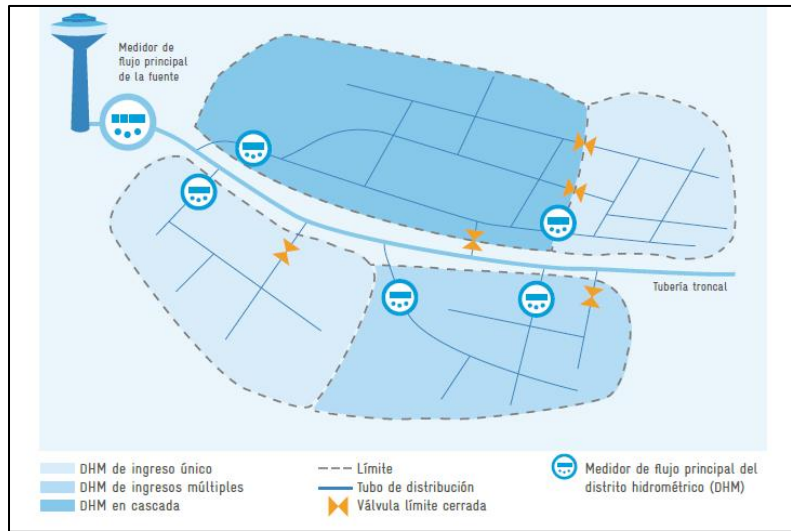


Figura 2. 4 Típico esquema de DMA (Fallis, 2011) ³

³ DHM, distrito hidrométrico el cual tiene el mismo significado que DMA

2.2.2.2. Instalación del DMA y Pruebas

Para poder realizar esta actividad, es necesario realizar las siguientes ocho etapas:

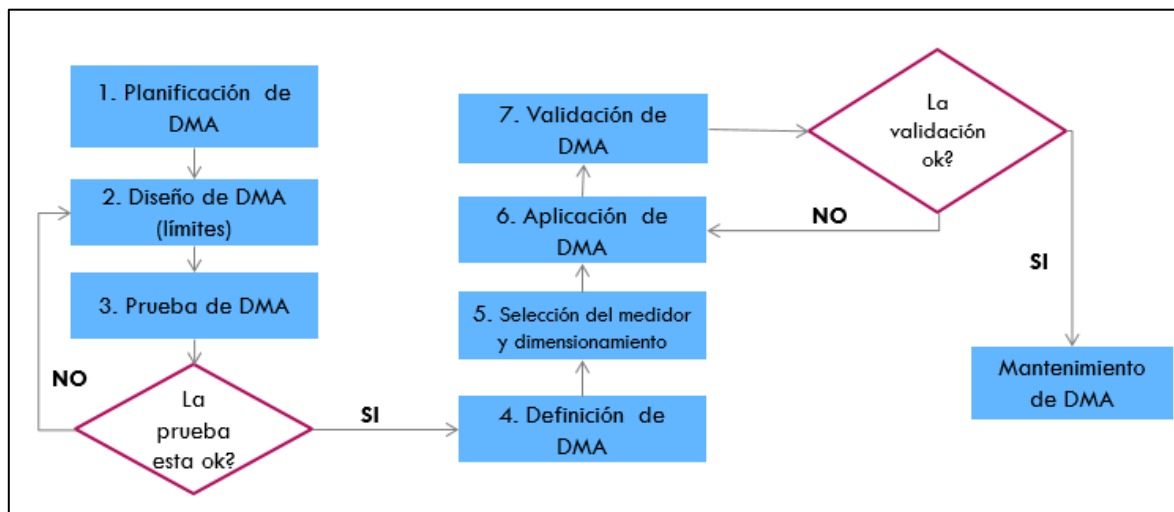


Figura 2. 5 Etapas en el Diseño e Instalación del DMA (Elaboración propia)

Paso 1 – Planificación de DMA

La etapa de planificación es el proceso de dividir el sistema de distribución en el tamaño adecuado del DMA. El dibujo de la sectorización del DMA es el primer paso y debe ser preparado usando GIS y sistema comercial para asegurar que todos tengan la información. En este proceso, es necesario identificar:

- **Tamaño del DMA:** Cuanto menor sea el tamaño de un DMA más rápido las roturas serán identificadas a través del monitoreo de caudal durante la noche. Por ejemplo, si un DMA es mayor de 2000 conexiones propiedades / servicio se hace difícil discriminar fugas pequeñas (por ejemplo, fugas de línea de servicio) de los volúmenes de consumo de los clientes. Sin embargo, el tamaño de la DMA en última instancia depende del nivel económico de fugas. Si los análisis económicos han demostrado que es conveniente identificar y reparar nuevas fugas, entonces el tamaño DMA tiene que ser de 1000 conexiones de servicio. Sin embargo, en la mayoría de los casos el tamaño DMA debe estar entre 3000 y 5000 conexiones de servicio.
- **Fuente de alimentación de las zonas de presión,** definir entradas y salidas del DMA.
- **Número de clientes suministrados en el DMA** (GIS y sistema comercial), incluyendo el volumen total de agua facturada. La identificación de los grandes clientes es muy importante en esta etapa.
- **La longitud total de las tuberías,** el número de conexiones de servicio y la edad de las conexiones de servicio en cada DMA.
- **Válvulas límites de frontera,** tamaño y tipo de válvulas.
- **Zonas de presión controladas,** las VRP o cualquier bomba que abastezca este sector.

- Equipo utilizado en el control de la presión.
- Aspectos problemáticos de la red, que definen su estado y la existencia del registro de campañas históricas.
- Extremos y secciones sin salida, sin consumo creado por el cierre de las válvulas del DMA.
- Válvulas de descarga para la limpieza periódica o la reparación de fugas.

Paso 2 – Diseño de DMA

El dibujo provisorio de las fronteras del DMA debe prepararse utilizando GIS y la modelación hidráulica. La determinación de las fronteras tiene que garantizar:

- Punto (s) conocido (s) del caudal de entrada y salida de agua provista de medición de caudal.
- Donde este el límite del DMA, se instala un medidor o una válvula que debe estar cerrada, de manera que el caudal cruce el límite, ya sea en el DMA o fuera en un DMA adyacente.
- Puntos de interfaz de medición con DMA adyacentes, creando intercambios bi-direccionales o unidireccionales, siempre con el mismo equipo de medición instalado.
- Un DMA de tamaño entre 1000 y 3000 conexiones de servicio para cada DMA si es posible.

Esta definición debe tener en cuenta las características físicas de la zona, la calidad del agua, restricciones de la empresa y las condiciones hidráulicas.

Paso 3 – Prueba de DMA

Antes de que cualquier trabajo adicional se lleve a cabo, es necesario el uso de un modelo hidráulico para asegurar la calidad del suministro y la presión en el DMA. Prueba de simulación de un modelo hidráulico se deben realizar de acuerdo con los siguientes pasos:

- Inicialmente, el sistema debe ser modelado y calibrado (presión y calidad del agua) en su estado actual antes del cierre de las válvulas de contorno.
- Cerrar las válvulas definidas y cerrar la válvula del punto de entrada.
- Desarrollar una simulación para garantizar que el DMA está cerrado mediante la verificación de que todos los puntos de presión actual por debajo sean cero.
- Abrir el punto de entrada.
- Desarrollar una simulación para los más altos y bajos consumos según su hora para analizar las condiciones de la oferta de impacto, es decir, la presión en el punto más crítico, las velocidades en la red, la edad del agua, otros.
- Compruebe si hay cambios en las reglas de operación (por ejemplo, puntos de ajuste de VRP).
- Desarrollar una simulación por un período de 24 a 48 horas para analizar la edad del agua y los posibles problemas de calidad del agua.

Si los resultados de las pruebas están bien, se debe realizar un estudio de las válvulas de límite del DMA para comprobar la accesibilidad y operación de las válvulas de límites a futuro, para garantizar que los resultados del modelo hidráulico son consistentes con la red real.

Si los resultados de las pruebas no están bien, es necesario definir nuevos límites y probar una vez más.

Paso 4 –Definición de DMA

Es importante discutir la definición del DMA con todas las áreas involucradas en el proceso - planificación, operación, mantenimiento, calidad del agua, detección de fugas y otros, para prevenir el cierre efectivo de la DMA o conducir a una revisión del diseño si el DMA no es validado.

Paso 5 – Selección del medidor y dimensionamiento

La elección del tamaño y tipo de medidor dependerá de:

- Rango de caudal.
- Requisitos de caudal inverso.
- Precisión.
- Requisitos de comunicación de datos.
- Costo del medidor.
- Costo de los requisitos de mantenimiento.
- Reglas para el tamaño del medidor deben tener en cuenta las pérdidas de carga, las fluctuaciones estacionales y los cambios de demanda.

Paso 6 – Aplicación de DMA

La aplicación del DMA incluye las siguientes actividades:

- Informar con anticipación a centro de control de operaciones en relación con todas las medidas de aplicación de DMA con el fin de prevenir los posibles impactos sobre los servicios de red o trabajo en curso.
- Construir la cámara e instalar medidor.
- Conectar los medidores un sistema SCADA o si no es posible un sistema de registro de datos.
- Instalar válvulas en lugares donde se necesitan.
- Si es necesario cambiar las VRP.
- Cerrar las válvulas límites.

Paso 7 – Validación de DMA

Tras la instalación de todos los medidores de contorno (o el cierre de las válvulas en su caso), es necesario validar el DMA para asegurar que:

- Todos los medidores estén funcionando correctamente.
- El límite del DMA está "ajustado", es decir, cerradas las válvulas de frontera no esté pasando y no hay cruces de caudal (prueba de presión cero).
- Todas las válvulas internas estén en el estado correcto.

El procedimiento recomendado para la validación de DMA es una prueba de presión cero, con los siguientes pasos:

- Indicar las válvulas de frontera mediante una marca en las tapas de las válvulas (por ejemplo, pintura azul).
- Desarrollar la prueba entre las 01:00 y las 05:00 [hrs] con el fin de cortar el suministro a la menor cantidad de clientes. Además, se debe informar a clientes con necesidades especiales.
- Asegurar que el personal conozca los planes que indican el límite de DMA, válvulas de frontera, y la válvula de entrada al DMA.
- Si es posible, instale un medidor de presión en un tubo vertical (que no sea el punto de destino para el control de la presión de rutina).
- Cerrar la válvula de entrada al DMA para aislar el DMA y la presión en el manómetro de tubo vertical debe caer.
- Si se cae inmediatamente, el DMA se divide en zonas correctamente. Si después de 5 minutos la presión no ha caído, una segunda comprobación se realiza mediante la apertura de un grifo (con la válvula de entrada todavía cerrada) para inducir un poco de flujo, que debe poner la presión en cero. La presión debe permanecer en cero cuando la toma de agua esté cerrada.

Paso 8 – Mantenición de DMA

Los cambios en el suministro y la distribución dentro del sistema pueden influir en el funcionamiento de un DMA, particularmente la interpretación de datos.

- Cambios de límites en el DMA: Será necesario modificar el trazado de los límites del DMA afectado y tomar las acciones apropiadas
- Conexiones nuevas de suministro: Actualización del GIS y el sistema de información con el nuevo número de conexiones y nuevas tuberías que cruzan los límites.
- Cambios en la operación: Los cambios en el funcionamiento pueden ser permanentes o temporales, si son permanentes todos los nuevos datos deben ser actualizados. Si son temporales, los datos deben ser registrados para evitar la mala interpretación de ellos.
- Mantenimiento regularmente: La operación eficiente de un DMA depende del mantenimiento regular de todos los equipos especialmente los medidores y válvulas de contorno.

2.2.2.3. Monitoreo de Caudal

El volumen económico óptimo de fuga es un factor determinante que influye en la selección de capacidades de supervisión y de transferencia de datos de cada DMA. Existen dos tipos de transmisión, en tiempo real o transferido y es analizado según la persona a cargo estime conveniente. Si varias fugas ocurrieron durante este período, el caudal mínimo nocturno se utiliza para identificar la aparición de nuevas roturas y también para priorizar los esfuerzos de detección de fugas hacia el DMA cuyo volumen de fuga se ha elevado por encima del umbral óptimo económico.

Análisis de datos

El concepto de monitoreo de DMA es para medir el caudal en un área discreta con un límite definido y observar variaciones típicas en el flujo. La estimación de pérdida real a través de análisis del caudal mínimo nocturno se lleva a cabo restando un volumen evaluado o medido para cada uno de los clientes conectados a la red de agua en el DMA. El caudal mínimo nocturno en las zonas urbanas por lo general ocurre entre las 02:00 y las 04:00 [hrs]. Este valor es uno de los datos más significativos utilizados en la determinación de la tasa de fuga en cada DMA. Durante este período, el consumo autorizado está en un mínimo y, por tanto, la fuga se encuentra en su porcentaje máximo.

El consumo nocturno se compone generalmente de dos tipos de clientes:

- **Uso nocturno excepcional:** Algunos clientes públicos, comerciales, industriales y agrícolas tendrán el uso de grandes cantidades de agua durante el período de la noche debido a la naturaleza de sus procesos. Tales usos pueden ser grandes en relación con el caudal mínimo nocturno en la zona. Estos clientes tienen que ser identificados a través de las discusiones con el personal operativo y mediante análisis de datos de consumo del sistema de facturación.
- **Uso nocturno del hogar:** Los clientes residenciales también consumen agua durante la noche. El consumo se produce debido a la descarga de inodoros, lavadoras automáticas y riego de jardines. Idealmente, las mediciones de consumo nocturno de típicos clientes se pueden reunir con el fin de determinar el nivel adecuado de consumo nocturno y poder realizar un análisis del caudal nocturno.

Indicadores de desempeño

La expresión de ANF como porcentaje del volumen de entrada es engañosa porque favorece los servicios públicos con alto consumo, baja presión y suministro intermitente. Además, no hace diferencia entre las pérdidas físicas y pérdidas comerciales. Sin embargo, el ANF como porcentaje de entrada es a veces útil para llevar a cabo un cálculo de balance hídrico. También es útil como una medida de desempeño financiero año a año, siempre y cuando los principios de medición sean coherentes. Pero sí se requiere realizar un análisis por DMA, es necesario tener ciertos indicadores de desempeño, para comprender mejor los niveles de pérdidas dentro de la empresa.

Los indicadores necesarios para comprender y seleccionar el DMA más crítico son los siguientes:

- $Q_{\min}/Q_{\text{med}}$: sector que tenga más alto valor de $Q_{\min}/Q_{\text{med}}$, donde el objetivo es lograr un valor entre 0,3 y 0,4.
- $Q_{\min}/\text{Longitud de red}$ [m^3/km]: sector que tenga más alto valor de $Q_{\min}/\text{Longitud de red}$ será el más crítico.
- $Q_{\min}/\text{Clientes}$ [$\text{m}^3/\text{conexión}$]: sector que tenga más alto valor de $Q_{\min}/\text{clientes}$ será el más crítico.
- IRR: Índice de roturas, el cual se determina anualmente y el sector más crítico es aquel que tiene más alto valor de roturas.
- IRR para matriz: se determina a partir de la cantidad de roturas por cada 100 kilómetros de red anualmente [$N^{\circ}/(100 \cdot \text{km} \cdot \text{año})$]
- IRR para arranques: se determina a partir de la cantidad de roturas por cada 1000 clientes anualmente [$N^{\circ}/(1000 \cdot \text{clientes} \cdot \text{año})$]
- Pérdidas de agua por conexión [$\text{m}^3/(\text{conexión} \cdot \text{año})$]: sector que tenga más alto valor de Pérdidas/conexión año será el más crítico.
- Pérdida de agua por longitud de red [$\text{m}^3/(\text{km} \cdot \text{día})$]: sector que tenga más alto valor de Pérdidas/longitud de red día será el más crítico.

2.2.2.4. Detección Activa de Fugas

En este proceso se debe inspeccionar en terreno en búsqueda de fugas en un área específica de la red o en una cierta sección de la tubería. Se dispone de varios métodos acústicos y no acústicos para encontrar las fugas: geófonos, correladores de ruidos, videoscopia, radares subterráneos, inyecciones de gas, etc. La detección exhaustiva de fugas es una precondition para obtener esfuerzos eficientes de ubicación de fugas.

a) Equipos de detección

Equipos de detección acústica de fugas

Existen muchos equipos de detección de amplia tecnología, capacidades y precios. Es por esto que es importante saber qué tipo de equipos de detección se debe escoger según el tipo de naturaleza y ocurrencia de pérdidas por fugas.

El factor más importante para el éxito en la detección de fugas es la experiencia del inspector de detección de fugas, al utilizar los equipos disponibles y la interpretación de los resultados recibidos desde el equipo. El operador debe estar capacitado para comprender no sólo cómo utilizar el equipo acústico, sino también sus limitaciones.

Geófono de Varilla: instrumento tradicional utilizado para buscar fugas de forma sistemática en todas las conexiones de red y tuberías de conexión de servicio. Hay varios diseños, pero el más común tiene un auricular unido a un eje de acero. La detección de fugas es colocando la varilla en un accesorio, por lo que cualquier ruido de fugas se transfiere desde el tubo, a través del eje de acero y se escucha en el auricular.

Geófono: aparato para escuchar, el cual mediante una señal electro-acústica amplificada nos permite escuchar una posible fuga por un ruido directo sobre válvulas, grifos, matriz, arranques u otros accesorios de red. También se utilizan para determinar la ubicación exacta de una fuga. Los dispositivos electrónicos tienen señal amplificadores y filtros de ruido para atenuar la señal de ruido de fuga. Se utilizan generalmente en conjunto con otros equipos de detección de fugas, aunque puede ser utilizado solo, especialmente en áreas con pocos accesorios y donde predomina la tubería de PVC.

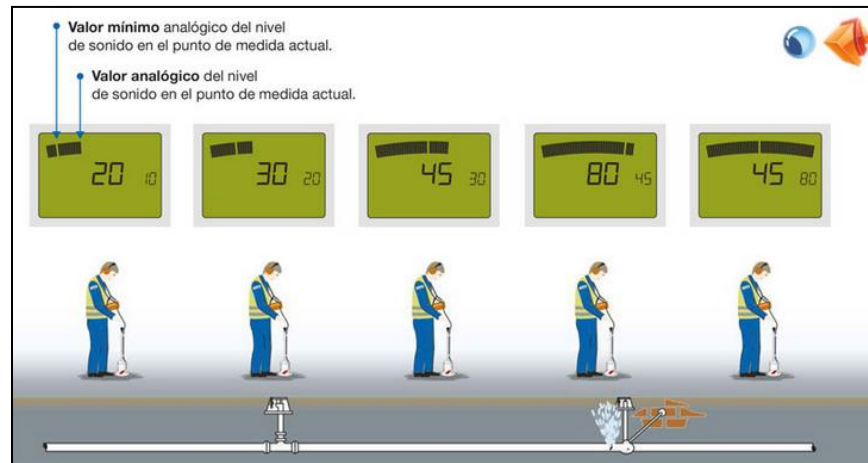


Figura 2. 6 Detección acústica mediante Geófono (Localizador Fugas de Agua, 2014)

Correlador: al igual que el geófono, un correlador de ruido se basa en el sonido de fuga generada. Un correlador consiste típicamente en una unidad de receptor y procesador, y dos sensores equipados con un transmisor de radio. Los dos sensores se colocan en válvulas o grifos, en cada lado de donde se sospecha que hay una fuga. El ruido de fuga que es detectado por los sensores se convierte en señales eléctricas y luego transmite a través de las emisoras de radio a la unidad de correlación. El sonido de la fuga viaja a lo largo de la tubería con una velocidad constante que depende del diámetro y el material de la tubería, llegando primero al sensor más cercano de la fuga. El correlador utiliza la diferencia de tiempo entre los dos tiempos de llegada, información sobre el material de la tubería y el tamaño, y la distancia entre los dos sensores para calcular la ubicación de la fuga.

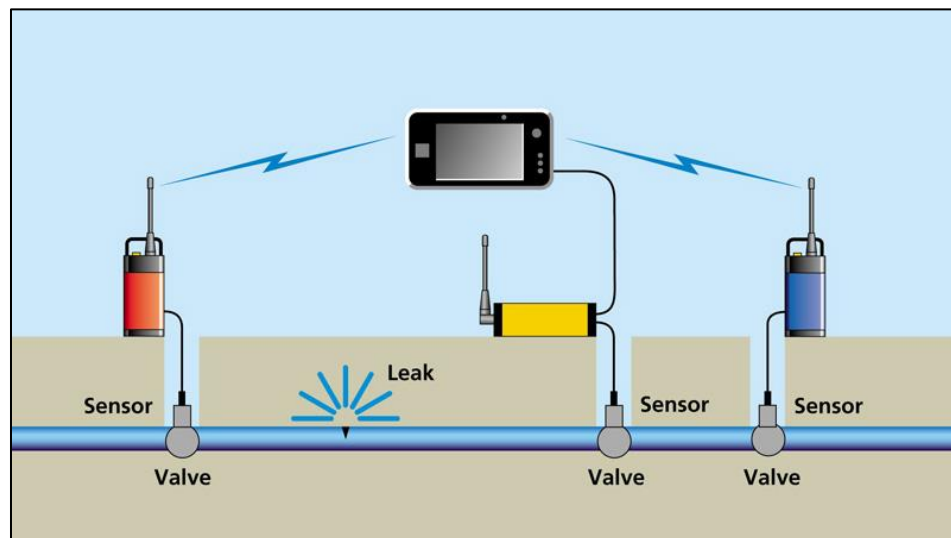


Figura 2. 7 Detección de fuga mediante Correlador (Perta, 2017)

Loggers: dispositivo compacto con un sensor acústico y programable que permite escuchar ruidos de fugas en lugares donde es muy complejo detectar, como en sectores con alto tráfico de vehículos, dado que se pueden programar correctamente para controlar los ruidos de fugas en la noche, por lo general entre las 02:00 y las 04:00 [hrs]. Tiene un imán que asegura el contacto entre el sensor y las válvulas, grifos o sección tubería de metal. Este dispositivo funciona en tuberías de metal con alta presión de servicio, en una distancia de hasta 200 [m] y en Tuberías de plástico hasta 80 [m]. Esta tecnología tiene la ventaja de reducir el lapso de tiempo entre la identificación de un ruido de fugas y localización de una fuga. Sin embargo, todavía es muy recomendable que la ubicación exacta de la fuga debe ser verificada por un especialista en la detección de fugas, usando un geófono antes de realizar la excavación y posterior reparación de la fuga.

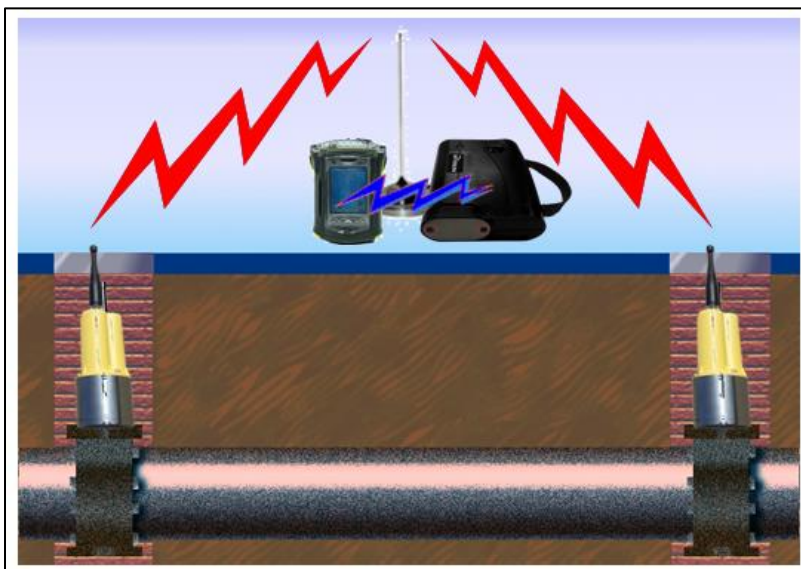


Figura 2. 8 Detección acústica mediante permalogs (DNK Water, 2007)

Logger ID	Leak Confidence	Critical (dB)	Peak (dB)	Spread (dB)	Counts at Peak
5	4	99	99	1	99
11	3	27	28	15	35
9	2	22	23	30	39
4	2	21	21	44	35
13	2	20	22	36	32
3	2	19	20	50	42
6	1	82	85	8	31
12	1	63	69	24	15
7	1	58	63	12	18
10	1	45	54	14	14
8	1	38	40	22	31
2	1	24	26	62	17
1	1	16	17	47	26
15	1	15	25	44	8
14	1	14	15	24	34

Figura 2. 9 Ejemplo de resultados de detección acústica mediante permalogs (DNK Water, 2007)

Donde los resultados observados indican que hay 6 Loggers que detectaron una posible fuga (ID: 5,11, 9, 4 13, 3), donde los que tienen mayor probabilidad de ser fugas, son los que tienen mayor confianza de fuga (leak confidence), donde 5 es el máximo.

Equipos de detección no acústica de fugas

Inyección de gas: gas trazador insoluble en agua (hidrógeno, helio, etc) el cual se inyecta en un radio de 5 [km] de red a través de un grifo o realizando un hoyo circular en la parte superior de la tubería. También se puede realizar en donde se sospecha que existe una fuga. La inyección tiene que ser con presión suficiente para que este salga a través de la fuga que se encuentra en la tubería. Una vez estabilizado, un dispositivo que detecte gas debe ser utilizado para rastrear la superficie por encima de la línea de la tubería.

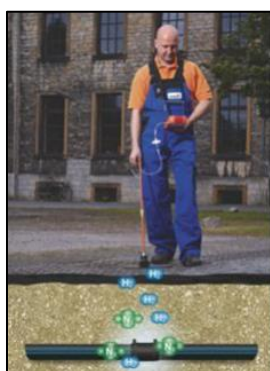


Figura 2. 10 Detección de fugas mediante inyección de gas (Localizador Fugas de Agua, 2014)

Inspección por video: tiene un sensor el cual se mueve por la matriz, junto con un pequeño paracaídas, el que se utiliza para extraer el sensor a través de la tubería. El sensor está unido a la superficie, lo que permite ver los resultados en tiempo real, y tener el máximo control y sensibilidad. Esta tecnología no es de uso generalizado, debido a sus altos requerimientos logísticos y costos. Sin embargo, puede ser una herramienta muy eficaz en situaciones tales como baja presión o fugas en tuberías de PVC en donde se genera muy poco sonido y dificulta más la detección de fugas con equipos acústicos.

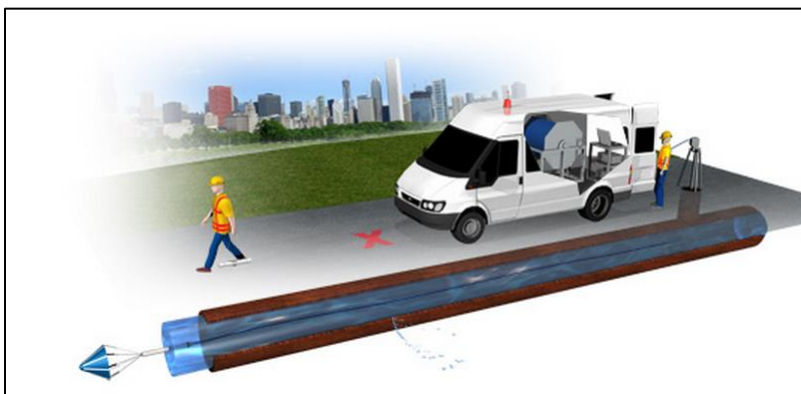


Figura 2. 11 Inspección por video (Pure Technologies, 2017)

Fibra óptica: tecnología que utiliza la fibra óptica para la gestión y seguimiento de grandes diámetros de red. Un cable de fibra óptica continuo está instalado en la tubería y se conecta a un sistema de adquisición de datos que permite el monitoreo acústico en tiempo real.

Georadar: el principio de esta tecnología trata de un método no invasivo de análisis de materiales basado en la transmisión de ondas electromagnéticas de banda ultra ancha en los materiales. Una parte de la onda electromagnética se refleja cuando se alcanza un límite entre dos materiales con diferentes propiedades eléctricas. La señal reflejada se graba en la fuente de la onda EM y se muestra para el operador y con frecuencia registrada para su posterior análisis. Este método ha sido utilizado con éxito para la prueba red de transmisión en las zonas rurales, pero no es práctico para las zonas urbanas densas, donde la interferencia de otros servicios subterráneos, tales como alcantarillas, podría complicar innecesariamente el proceso.



Figura 2. 12 Inspección con georadar (Direct Industry, 2017)

Cámara térmica: la termografía es una técnica que permite medir temperaturas a distancia, con exactitud y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. La termografía permite captar la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras termográficas o de termovisión. Con esta novedosa técnica es posible detectar la localización de la fuga de agua ya que dicha zona estará a una temperatura distinta al del resto del entorno.



Figura 2. 13 Inspección con Cámara Térmica (Fluke, 2017)

b) Técnicas de detección de fugas

Según la cantidad de ANF que se pierde por fugas es posible decidir qué técnica de detección de fugas o combinación de técnicas es la más adecuada para cada empresa sanitaria. Al decidir sobre las técnicas adecuadas, también es importante tener en cuenta la edad, condición, y material del sistema de distribución y el nivel de habilidad del inspector de fugas que lleva a cabo el esfuerzo de detección de fugas.

Estudio Visual

La forma más básica de localización de fugas es la inspección visual. Un estudio visual consiste en caminar por las líneas de red en busca de fugas que afloran a la superficie, posibles hundimientos en la calzada o, en países muy secos o regiones, áreas que tienen sectores verdes que sospechosamente puede ser generada por una rotura que está por encima de la línea de red.

Si bien el estudio visual no es la técnica más sofisticada, no debería ser subestimada, sobre todo en empresas que no tienen un mantenimiento frecuente de la red.

Estudio de detección de fugas acústico

La detección de fugas acústica es probablemente el método más común de detección de fugas que ha existido durante muchos años. Los diferentes equipos de resonancia acústica se utilizan en dos niveles muy diferentes de detalle.

Recorrido general

Este método de general acústico sólo es para geofonar grifos y válvulas en la red de distribución con el fin de detectar cualquier sonido de fugas, si es que no hay conexiones de servicio que suenen.

Los grifos se encuentran distanciados más o menos de forma constante y proporcionan una buena cobertura de gran parte de la red. Para esto se utilizan geófonos y correladores de ruido para localizar una fuga. Es una metodología de detección de fugas de ahorro de tiempo que tiene un déficit. Fugas de conexión de servicio a menudo no se detectan en este modo, sobre todo si la zona se compone principalmente de matrices y conexiones de servicio no metálicas.

Recorrido Integral

Este método de detección tiene en cuenta todos los accesorios disponibles en la red y conexiones de servicio. Los geófonos se utilizan por encima de la red y en los puntos de contacto para casos que la red está muy profunda.

Una vez que un sonido de fuga se detecta, geófonos y correladores de ruido se pueden utilizar para la localización de la fuga. A pesar de que este método de detección de fugas demanda mucho tiempo es la forma más eficaz para detectar todas las fugas detectables en el sistema, incluyendo conexiones de servicio.

Step Testing

Step Testing es una técnica de detección de fugas en la cual un DMA se subdivide en DMA más pequeños y se instalan medidores de caudal de manera temporal en la zona que se reduce el DMA. Esto se hace a menudo sobre una base temporal y utilizando medidores de caudal portátiles para medir el caudal en la zona aislada. Cada vez que una sección con fuga sea aislada, un descenso será visto en el gráfico de caudal como se muestra en la siguiente figura:

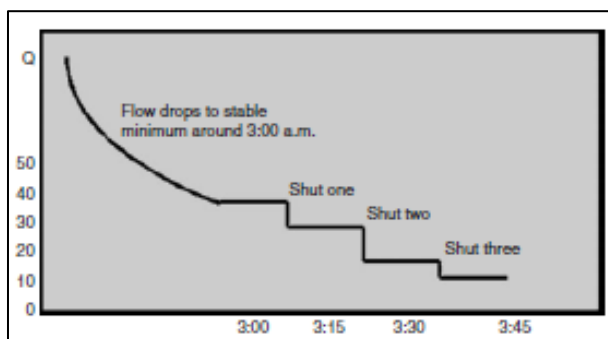


Figura 2. 14 Step Testing (Thornton, Sturn, & Kunkel, 2008)

Al llevar a cabo Step Testing, es muy importante que al ejecutar la prueba no cause interrupciones de suministro al cliente. Por esta razón es que un Step Testing se lleva a cabo normalmente durante la noche, cuando el consumo de cliente es mínimo.

Este método ayuda al operador a concentrarse en las áreas con fugas significativas y ahorra tiempos de búsquedas de fugas al geofonar el DMA completo. Cuando se conoce el volumen de la fuga, el operador puede justificar mayores niveles de esfuerzo para localizar fugas.

Es necesario evaluar cuidadosamente si una prueba de paso es el método apropiado para ser utilizado, pero es una buena herramienta para dar a conocer el volumen de fuga en el sector, lo que representa una valiosa información para los cálculos de costo-beneficio y el seguimiento del programa y también ahorra tiempo al dirigir equipos de localización de fugas sólo a aquellos sectores donde se ha demostrado que hay fugas.

Prueba nocturna

Realizar una prueba nocturna es muy similar a realizar un Step Testing, pero en este caso se aíslan DMA en zonas más pequeñas, realizando un corte en ese sector, cerrando las válvulas de borde correspondientes y se mide el caudal de todo el DMA. Este resultado de medición es comparado con el caudal mínimo nocturno del DMA total (días previos a realizar el corte) y si es que el caudal disminuye de manera notoria, es decir, comparando con la cantidad de clientes que existan en el sector, respecto del DMA total, se puede determinar un sector crítico.

Mapas de ruido

Es una forma mejorada de exploración acústica a través de sonares que están predeterminados (principalmente en grifos), el nivel y tipo de ruido de fugas (lectura tomada desde el equipo de detección de fugas) que se localizan en el plano. Además, la presencia o ausencia de ruido se introduce en una hoja de cálculo con información estandarizada sobre fecha, lugar, descripción general e inspector. El siguiente paso es validar el ruido registrado y documentar los resultados de la misma hoja de cálculo. Este proceso sólo se completa cuando todos los ruidos grabados han sido validados. El supervisor de fugas ahora puede controlar fácilmente el trabajo de los inspectores y se puede comparar los niveles de ruido reales y, por tanto, identificar fácilmente las áreas donde se necesitan actividades de detección de fugas más detallada. Esto es una mejora simple pero muy eficaz de sondeo que se puede aplicar en los sistemas de distribución con una densidad de grifos muy alta, donde los puntos de sondeo se pueden identificar fácilmente.

Para implementar esfuerzos eficientes de detección y ubicación de fugas es importante asegurar que los trabajadores de detección de fugas estén equipados con mapas que sean exactos y el sistema esté actualizado. La mayoría de las tecnologías de ubicación acústica de fugas depende de la disponibilidad, información precisa del material de los tubos, su diámetro y longitud. La mala información lleva a una ubicación incorrecta de las fugas, lo cual resulta en trabajos de excavación innecesarios.

Tipo de Suelo

Un factor que es muy influyente es el tipo de suelo, dado que tiene un efecto significativo en el tiempo durante el cual el agua aflora. Mientras que el agua que escapa en suelos cohesivos (por

ejemplo, arcilla o limo) puede aparecer pronto en la superficie, las fugas en suelos no cohesivos (por ejemplo, arena o grava) tienden a drenar por debajo de la tierra, dificultando la detección de fugas.

2.2.3. Rapidez y calidad de reparaciones

Rapidez de reparación

Tiempo general en que ocurre una fuga, el cual va desde la percepción hasta la ubicación. Tiempos de fuga largos, generarán grandes cantidades de pérdidas de agua, incluso desde fugas relativamente pequeñas. Por lo tanto, las empresas de AP siempre deben tratar de reducir los tiempos de percepción, ubicación y reparación hasta un mínimo económico. En este proceso normalmente participan varios departamentos de una empresa, por lo cual es necesario organizarse de manera eficiente y que estén bien documentados. Se debe priorizar la reparación de fugas de acuerdo con el tamaño de las fugas y considerando la seguridad del suministro a lo largo del sistema. El número de cuadrillas de reparación debe ser apropiado al número de fugas y roturas que debe repararse en determinado tiempo.

La política de la empresa sanitaria también tiene una fuerte influencia sobre la velocidad y calidad de las reparaciones. Los tiempos de las reparaciones se pueden reducir fijando metas de desempeño respecto a cuán rápido se debe reparar la ruptura de una matriz, la fuga de un arranque o una válvula defectuosa.

Calidad de reparación

La calidad de las reparaciones desempeña un papel significativo en el proceso general del manejo de fugas. Los malos materiales, la necesidad de improvisación y la mala calidad de la mano de obra hacen que sea probable que ocurran nuevas fugas en el mismo lugar. Por lo tanto, las reparaciones de fugas las deben ejecutar trabajadores calificados y bien capacitados.

2.2.4. Gestión de infraestructura

La Gestión de infraestructura es satisfacer el nivel requerido de servicio de la manera más económica creando, adquiriendo, manteniendo, operando, rehabilitando y descartando activos para las empresas sanitarias, que permitan soluciones de reducción de pérdidas de agua. La vida de la infraestructura se prolonga implementando gestión de presión. Reducir la presión en la tubería no solamente ahorra agua reduciendo pérdidas reales, sino que reduce las nuevas roturas de tuberías, incrementa la vida de los activos y difiere los reemplazos de tuberías. Se necesita rehabilitación basada en las características de tubería como la edad y roturas.

Desafortunadamente el mantenimiento es a menudo pasado por alto, hasta que el problema está a la vista y por lo tanto hasta que se produce una situación de emergencia. Sin embargo, cualquier buen programa de gestión de pérdida proactiva debería abordar el mantenimiento continuo como una de las cuestiones claves.

El mantenimiento de tuberías puede ser de muchas formas y puede ser llevado a cabo en tiempos variables, dependiendo de la naturaleza del problema, la actitud del operador, y la gravedad de la situación. En el caso de sustitución de tuberías, nuevas tecnologías se están utilizando para llevar a cabo el reemplazo sin zanjas. Es importante señalar en este punto que muchas matrices o conexiones de servicios tienen alta frecuencias de rotura, en particular si la calidad de la instalación del material se descuida.

CAPÍTULO III: ELECCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL DE GESTIÓN DE REDES Y NIVELES DE PÉRDIDAS DEL SITIO DE ESTUDIO

3.1. General

En Chile, hasta fines del 2014, el porcentaje de pérdida de agua promedio fue equivalente al 33,65%, mientras que en Aguas del Altiplano correspondió a un 35,1%, según datos proporcionados por la SISS.

N° Empresa	Producción en miles de m³							Facturación en miles de m³			Agua no facturada (2)	
	Subterránea		Superficial		Total		Variación	2013	2014	Variación	2013	2014
	2013	2014	2013	2014	2013	2014						
1 Aguas Andinas	83.015	92.994	543.574	544.652	626.589	637.646	1,8%	435.471	442.991	1,7%	30,5%	30,5%
2 ESSBIO	106.356	109.486	107.839	108.121	214.195	217.607	1,6%	137.881	140.782	2,1%	35,6%	35,3%
3 ESVAL	78.765	90.172	94.431	85.375	173.196	175.547	1,4%	103.276	105.458	2,1%	40,4%	39,9%
4 Nuevosur	65.093	65.992	4.037	4.002	69.130	69.994	1,3%	39.577	40.791	3,1%	42,7%	41,7%
5 Aguas Araucanía	47.282	47.607	18.022	18.317	65.304	65.924	0,9%	36.504	37.144	1,8%	44,1%	43,7%
6 ESSAL	38.874	36.547	21.510	22.154	60.384	58.701	-2,8%	34.760	35.792	3,0%	42,4%	39,0%
7 SMAPA	92.605	95.641	-	-	92.605	95.641	3,3%	50.842	52.249	2,8%	45,1%	45,4%
8 Aguas del Valle	36.217	42.675	16.091	11.127	52.308	53.802	2,9%	37.639	38.168	1,4%	28,0%	29,1%
9 Aguas Antofagasta	1.031	1.081	50.145	51.396	51.176	52.477	2,5%	37.609	38.445	2,2%	26,5%	26,7%
10 Aguas del Altiplano	50.609	51.028	-	-	50.609	51.028	0,8%	32.721	33.139	1,3%	35,3%	35,1%
11 Aguas Cordillera	11.839	17.189	72.477	73.333	84.316	90.522	7,4%	67.029	67.106	0,1%	20,5%	25,9%
12 Aguas Chañar	27.435	26.892	-	-	27.435	26.892	-2,0%	18.137	18.022	-0,6%	33,9%	33,0%
13 Aguas Magallanes	-	-	11.661	11.844	11.661	11.844	1,6%	9.999	10.416	4,2%	14,2%	12,1%
14 Aguas Décima	-	-	11.160	11.001	11.160	11.001	-1,4%	8.877	9.020	1,6%	20,5%	18,0%
15 Aguas Patagonia de Aysén	-	-	8.518	8.356	8.518	8.356	-1,9%	5.191	5.238	0,9%	39,1%	37,3%
16 SEMBCORP Aguas Chacabuco	8.529	8.698	-	-	8.529	8.698	2,0%	5.582	5.901	5,7%	34,6%	32,2%
17 Aguas San Pedro	4.153	4.142	-	-	4.153	4.142	-0,3%	2.455	2.798	14,0%	40,9%	32,4%
18 San Isidro ESSSI	2.763	3.343	286	255	3.049	3.598	18,0%	1.684	1.930	14,6%	44,8%	46,3%
19 Aguas Manquehue	7.797	7.757	6.312	7.141	14.110	14.898	5,6%	12.510	13.432	7,4%	11,3%	9,8%
20 SEMBCORP Aguas Lampa	2.608	2.612	-	-	2.608	2.612	0,2%	1.616	1.705	5,5%	38,0%	34,7%
21 COOPAGUA	557	514	1.309	1.383	1.866	1.897	1,7%	1.617	1.630	0,8%	13,3%	14,1%
22 COSSBO	708	693	-	-	708	693	-2,2%	707	655	-7,4%	0,1%	5,4%
23 Aguas Santiago Poniente	1.829	1.896	-	-	1.829	1.896	3,6%	1.535	1.583	3,1%	16,1%	16,5%
24 Melipilla Norte	808	873	-	-	808	873	8,0%	593	653	10,1%	26,7%	25,2%
25 SEMBCORP Aguas Santiago	3.003	3.279	-	-	3.003	3.279	9,2%	2.289	2.537	10,8%	23,8%	22,6%
26 Novaguas (1)												
27 SELAR	993	967	-	-	993	967	-2,6%	818	846	3,4%	17,6%	12,5%
TOTAL	672.869	712.076	967.371	958.458	1.640.240	1.670.533	1,85%	1.086.922	1.108.431	1,98%	33,73%	33,65%

Figura 3. 1 Volumen y Porcentaje de ANF en Chile durante 2013-2014 (SISS, 2014; Modificación propia)

La gran cantidad de agua perdida por fugas en las redes de distribución de agua (pérdidas físicas o reales) y los volúmenes de agua distribuidos no facturados (pérdidas aparentes) pueden ser elementos que complican la situación de suministro de agua, especialmente en los países en desarrollo y transición, dado que el acceso al AP es de mayor complejidad, debido a la escasez de recursos, impidiendo en algunos casos extraer AP en zonas de difícil acceso y lejanía.

Con el objetivo de controlar y reducir las pérdidas en la red, es necesario realizar una evaluación de desempeño del estado de red con respecto al ANF y gestión de redes de agua potable, identificando los problemas que deben abordarse. Para ello se determinarán los niveles de pérdidas mediante un balance hídrico en el sitio de estudio, para tener una comprensión global del sistema de distribución.

Luego, es necesario identificar los métodos que utiliza ADA para poder reducir los altos niveles de ANF, que permita realizar un diagnóstico que presente una visión general del estado actual del sistema de red de agua potable, detectando las buenas y/o malas prácticas.

3.2. Elección del Sitio de Estudio

ADA cuenta con DMAs en todas las ciudades importantes, es decir, Arica, Alto Hospicio e Iquique. Para poder seleccionar el sector piloto de estudio es necesario tener cobertura de medición de 100% en la ciudad y que cumpla con los requerimientos del subcapítulo 2.2.2 sobre planificación zonal.

A continuación, se muestra en la Tabla 3. 1 el porcentaje de cobertura de medición de caudal por ciudad:

Tabla 3. 1 Cobertura de medición en Alto Hospicio, Arica e Iquique (Elaboración propia)

ITEM	Localidad		
Empresa: AGUAS DEL ALTIPLANO	Alto Hospicio	Arica	Iquique
Cantidad de Clientes Totales	27.178	61.308	62.884
N° DMA Totales	8	41	42
RESUMEN			
N° DMA Totales con cobertura	8	38	30
N° DMA Totales en Desarrollo	7	0	0
N° DMA Totales Proyectados	0	0	5
Cobertura DMA existentes	100%	93%	71%
Cobertura de Integración (DMA) a Monitor	100%	93%	69%
DMA EXISTENTES	8	41	42
Sin medición	0	2	12
Con medición	8	39	30
Sin telemetría	0	1	1
Con telemetría	8	38	29
Integrado a Monitor	8	38	29
DMA EN DESARROLLO año 2015	7	0	0
Mejoras DMA existentes (medición e integración)	0	0	0
Nuevos DMA	7	0	0
DMA PROYECTADOS 2016	0	0	5
Mejoras DMA existentes	0	0	5
Nuevos DMA	0	0	0

Como se observa en la tabla anterior Iquique tiene un porcentaje de 71% de cobertura de DMA existentes, lo cual es muy bajo y en ese sentido no es un buen sector piloto para analizar. En el caso de Arica es un sector piloto con gran cobertura de medición, pero tiene un gran problema en sus DMA, debido a que lo mencionado en el subcapítulo 2.2.2 sobre planificación zonal, en su paso 7 de validación del sector no se cumple a cabalidad, puesto que las válvulas internas de varios DMAs no se encuentran cerradas, debido a que están en mal estado o no se pueden ubicar en terreno, lo cual provoca un traspaso de caudal hacia otro DMA, sin tener control de cuanto caudal corresponde a

cada uno. Por estos motivos se seleccionó como sector piloto la ciudad de Alto Hospicio, ya que tiene 100% de cobertura y sus DMA se encuentran completamente herméticos.

3.3. Descripción del sistema de Agua Potable de Alto Hospicio

Alto Hospicio, es una comuna ubicada en la Provincia de Iquique, en la Región de Tarapacá. Se ubica cercano a la ciudad portuaria de Iquique. La comuna de Alto Hospicio concentra a 72.758 habitantes (estimados en 2006, según INE).

3.3.1. Fuentes de abastecimiento

Las fuentes actuales de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Alto Hospicio son todas de tipo subterráneo, ubicada en Canchones en la hoya de la Pampa del Tamarugal. Actualmente existen 18 sondajes, cuyos derechos de agua son de 1235 [l/s] en total, con una profundidad promedio cercana a los 110 metros cada uno. En la Figura 3. 2 se esquematiza el sistema de producción de AP para la ciudad.

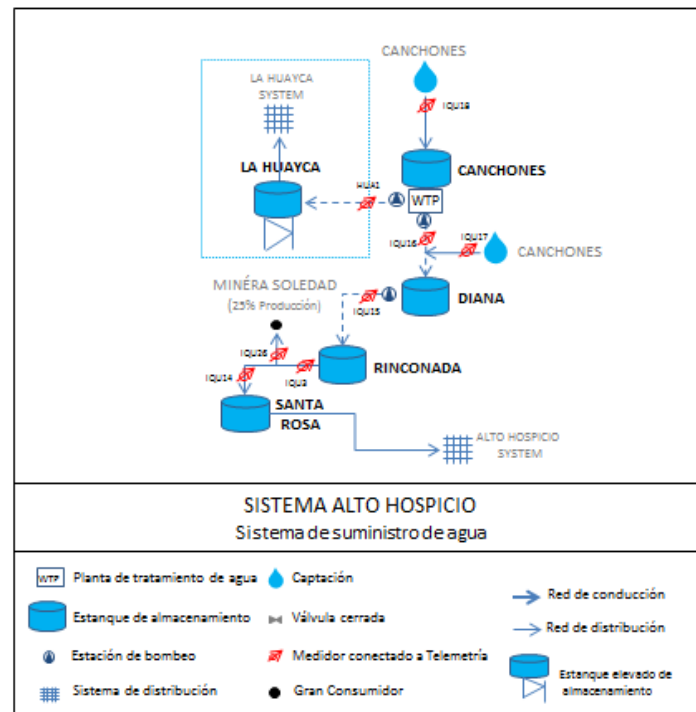


Figura 3. 2 Sistema de Agua Potable Alto Hospicio (ADA)

3.3.2. Sistema de Captación

El sistema de captación Canchones, está constituido por un grupo de 18 sondajes de gran profundidad. Desde la aducción Canchones, además, se alimenta la localidad de La Huayca y al sector de Cumiñalla, donde existe un número importante de clientes históricos conectados a la aducción.

Tabla 3. 2 Sondajes Sistemas Canchones (ADA)

Nombre Captación	Q derechos [l/s]	Prof.[m]	D [pulg]
SONDAJES CANCHONES			
SONDAJE N° 1	80	110	10
SONDAJE N° 2	80	110	16
SONDAJE N° 3	80	110	16
SONDAJE N° 4	80	100	12
SONDAJE N° 5	80	120	12
SONDAJE N° 6	80	120	16
SONDAJE N°7	80	120	12
SONDAJE D	80	110	16
SONDAJE E	80	100	16
SONDAJE F	85	100	16
SONDAJE G	85	95	16
SONDAJE I	90	100	16
SONDAJE H	0	100	16
SONDAJES CUMIÑALLA			
SONDAJE A	85	110	16
SONDAJE 493 DIESEL	0	110	16
SONDAJE 494	90	110	16
SONDAJE 495	0	110	16
SONDAJE 491	80	110	16

3.3.3. Calidad del Agua

Se han analizado los registros de medición de calidad de agua en fuentes del periodo 2001-2011, obteniendo los siguientes valores medios para cada sondaje:

Tabla 3. 3 Calidad del Agua en Sondajes Canchones y Cumiñalla (ADA)

Parámetro	SONDAJES CANCHONES													SONDAJES CUMIÑALLA			
	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	D	E	F	G	H	I	A	493	494	495
Arsénico	0,072	0,076	0,092	0,084	0,078	0,048	0,031	0,026	0,049	0,066	0,095	0,044	0,088	0,038	0,029	0,032	0,025
Sulfatos	426	296	275	248	267	246	260	713	532	251	274	484	566	413	432	405	526
Manganeso	0,269	0,075	0,131	0,038	0,044	0,046	0,050	2,663	1,581	0,661	0,850	2,356	2,195	1,288	1,168	0,470	0,082
SDT	1127	707	779	687	770	724	787	1400	1231	629	737	1131	1223	933	1056	1017	1144
Cloruros	140	125	89	87	91	92	107	175	143	93	87	113	133	117	113	120	121

Del cuadro anterior, se puede apreciar que los parámetros críticos del sistema son el Arsénico y el Manganeso. Con los valores anteriores y considerando la configuración de fuentes planificada para el abastecimiento de la demanda, se ha proyectado que las aguas mezcladas de Canchones y Cumiñalla tendrán concentraciones de Arsénico del orden de 0,05 [mg/l] al inicio del periodo y luego en el año 2016 ascenderán a 0,056 [mg/l], aproximadamente, cuando se deberán activar fuentes de mejor calidad para satisfacer la demanda. En cuanto al Manganeso, este se presentará con valores entre 0,39 y 0,79 [mg/l], el cual se abate en torre de aireación en Canchones que se ilustra en la siguiente figura.



Figura 3. 3 Torre de aireación Canchones para reducir Mn (ADA)

En cuanto a otros elementos se tendrán las siguientes concentraciones medias en sondeos Canchones-Cumiñalla en el periodo de previsión del estudio: Cloruros 114 [mg/l]; Sulfatos 361 [mg/l] y SDT 912 [mg/l], todos con valores por debajo de los máximos admisibles según la Norma NCh409/05.

3.3.4. Plantas Elevadoras

Existen 3 plantas elevadoras en el Sistema: Canchones, Diana, EL Boro. Desde el punto de vista físico-operacional, todas las plantas se encuentran en un buen estado.

3.3.5. Estanques de Regulación

Alto Hospicio cuenta con tres estanques de regulación, Santa Rosa N°1 y N°2, y El Boro, con un Volumen de 15800 [m³]. Los Estanques se encuentran en buen estado físico-operativo y con capacidad suficiente para satisfacer la demanda actual y futura. En la Tabla 3. 4 se entregan las características de los estanques.

Tabla 3. 4 Características de Estanques de Regulación del Sistema de Agua Potable Alto Hospicio (ADA)

Recinto	Estanque	Tipo	Volumen [m³]	Cota Radier [msnm]
Santa Rosa	Santa Rosa N°1	SE	10.000 ⁴ (1)	665,4
	Santa Rosa N°2	SE	5.000	665,4
El Boro	El Boro	SE	800	594

⁴ Volumen útil 7500 m³

3.3.6. Red de Distribución

La red cuenta con un desarrollo total de 490.000[m] y su estado en general es regular, donde la alta salinidad del suelo de Alto Hospicio crea fallas frecuentes en el sistema. En la Figura 3. 4 se destacan las zonas y sectores de distribución abastecidos por los estanques de regulación.

El sistema de distribución de Alto Hospicio es abastecido principalmente desde el recinto Santa Rosa por los estanques Santa Rosa N°1 de 10.000 [m³] y N°2 de 5.000 [m³] y desde el estanque El Boro de 800 [m³], el cual es abastecido por los estanques Santa Rosa. Los estanques Santa Rosa se ubican en el sector suroriente de la ciudad y abastecen del orden del 90% del sistema de distribución; mientras que el estanque El Boro se encuentra ubicado al sector nororiente de la localidad, y permite regular el abastecimiento del sector del mismo nombre.



Figura 3. 4 Estanques de Alto Hospicio (ADA)

A continuación, se presenta el esquema de distribución de la localidad de Alto Hospicio:

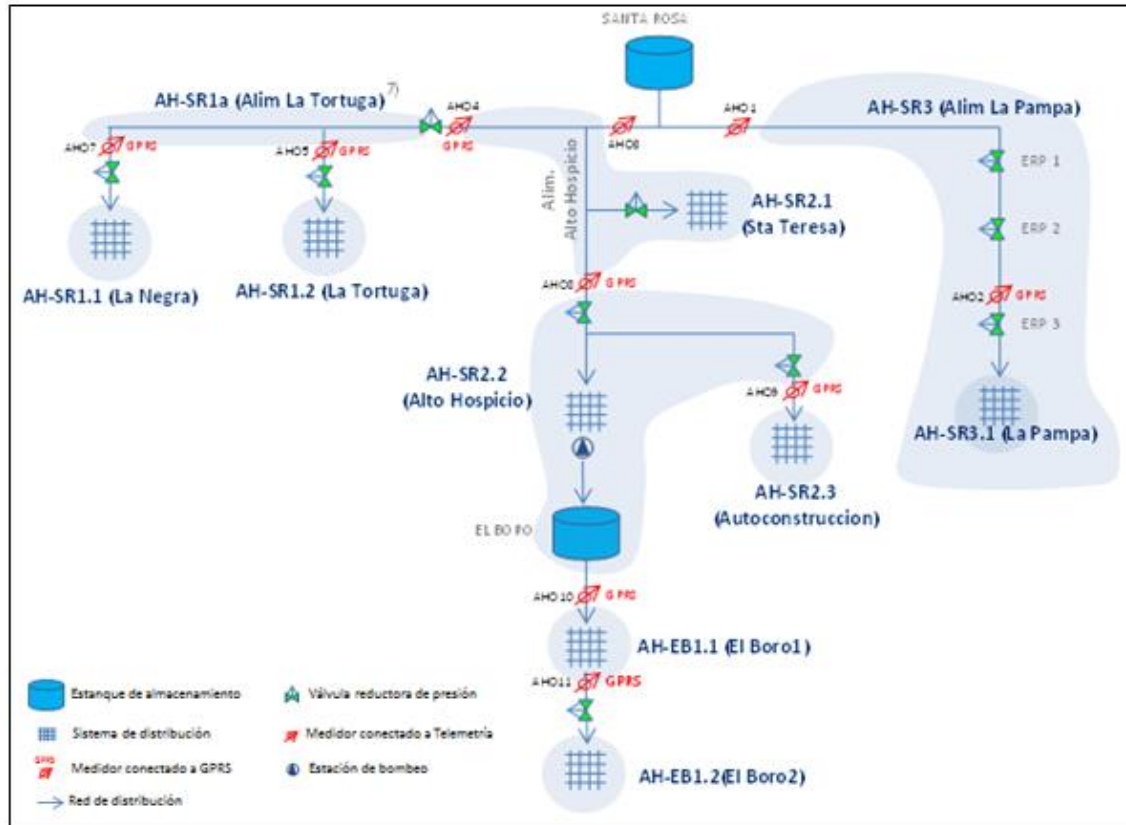


Figura 3. 5 Sistema de distribución de agua potable Alto Hospicio (ADA; Modificación propia)

3.4. Gestión de Redes en Alto Hospicio

3.4.1. Situación Actual del Recurso Hídrico en Alto Hospicio

A continuación, se muestra la evolución de pérdidas entre los periodos 2013-2014 de la localidad de Alto Hospicio.

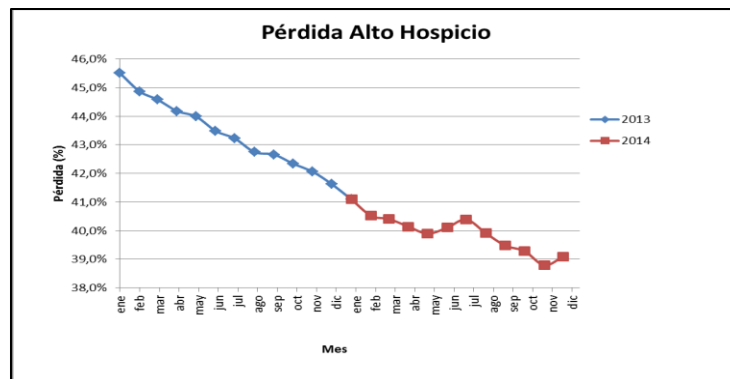


Figura 3. 6 Evolución del porcentaje de ANF en Alto Hospicio 2013-2014 (Elaboración propia)

Se observa que en Alto Hospicio hubo una disminución de 4,4% en el 2013 y a partir de mayo del 2014 se produce una desaceleración.

3.4.2. Determinación del Nivel de Pérdidas en Alto Hospicio

Se realiza un Balance Hídrico a partir de capítulo 2.1.1, para determinar el nivel de pérdidas de Alto Hospicio y analizar el estado de pérdidas de agua en la gestión operacional y comercial, a partir del acumulado de los últimos 12 meses.

Tabla 3. 5 Balance Hídrico Alto Hospicio en diciembre del 2014 (Elaboración propia)

Volumen de Entrada al Sistema 7.162.156 [m ³]	Consumo Autorizado Facturado 4.362.689 [m ³]	Agua Facturada 4.362.689 [m ³]
	Consumo Autorizado No Facturado 1.476 [m ³]	Agua No Facturada 2.799.467 [m ³]
	Pérdidas Aparentes 398.448 [m ³]	
	Pérdidas Reales 2.399.543 [m ³]	

3.4.3. Estrategias para Gestionar las Pérdidas Físicas en Alto Hospicio

3.4.3.1. Gestión de Presión

En Alto Hospicio la red se divide típicamente en zonas de presiones controladas por una Estación Reguladora de Presión (ERP). Alto Hospicio cuenta con el 100% cobertura de ERP, donde sus sistemas bi-consignas y multiconsignas tienen como objetivo estabilizar la presión, para tener que abastecer el punto crítico de presión, con la presión necesaria, esto se realiza variando la presión aguas abajo de la VRP (línea de color amarillo en Figura 3. 7), disminuyendo el caudal mínimo nocturno. La Figura 3. 7 muestra una baja en promedio de 1 [l/s] en el caudal nocturno al regular durante el periodo nocturno en el DMA El Boro 2, según línea color azul. Si es que la VRP no regula, trae como consecuencia que la presión aguas abajo deje de regular, lo cual se puede observar en la Figura 3. 7, puesto que la presión aguas arriba (línea de color rojo) tiene el mismo comportamiento que la presión aguas abajo (línea de color amarillo). A continuación, se definen los sistemas Bi-consigna y Multi-consigna.

Sistema Bi-consigna: reduce una alta presión de entrada a una presión de salida más baja y constante, pudiendo ajustar la presión para dos periodos de tiempo, tal como se muestra en la línea de color amarillo de la Figura 3. 7, en la cual se observa que hay un ajuste de presión durante el período nocturno entre las 2:00 y las 5:00 [hrs] y otro durante el resto del día. Este ajuste se realiza

para mantener el caudal mínimo que los clientes necesitan utilizar durante la noche, mientras que durante el día se utiliza para satisfacer de manera adecuada la presión de entrega al cliente.

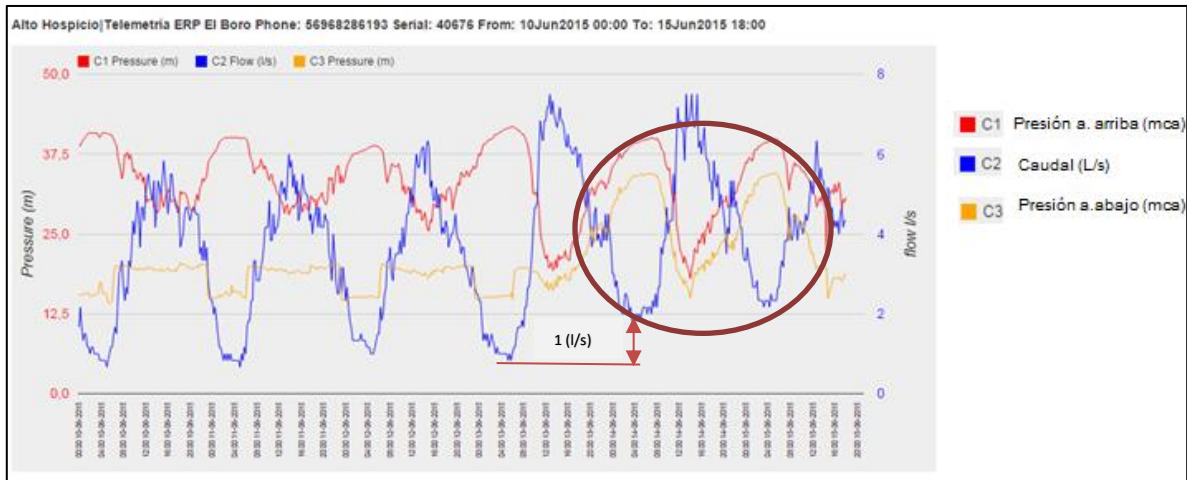


Figura 3. 7 Sistema DNK de medición para sistema Bi-Consigna⁵ (ADA; Modificación propia)

Sistema Multi-consigna: reduce una alta presión, pudiendo ajustar la presión para múltiples periodos de tiempo.

3.4.3.2. Control Activo de Fugas

3.4.3.2.1. Planificación zonal

En este aspecto ADA tiene 100% de cobertura en implementación y sistemas de monitoreo y control en Alto Hospicio, puesto que lo mencionado en el capítulo 2.2.2 respecto a la planificación Zonal e instalación de DMA ya fueron subdivididos, como se observa en la siguiente figura:



Figura 3. 8 Distribución de DMA en la Localidad Alto Hospicio (ADA)

⁵En el eje x se observa la medición del 2015 desde el 10 de Junio a las 0:00 [hrs] hasta el 15 de Junio a las 18:00 [hrs]

Tabla 3. 6 Clientes por DMA en la Localidad Alto Hospicio⁶ (ADA)

CLIENTES POR SECTOR		
ACHURADO	NOMBRE SECTOR	CANTIDAD DE CLIENTES
	ALTO HOSPICIO	10,966
	LA PAMPA	6.272
	LA TORTUGA	3,685
	AUTOCONSTRUCCION	1,840
	LA NEGRA	1,641
	EL BORO	1,563
	SANTA TERESA	1,211
TOTAL		27.178

3.4.3.2.2. Monitoreo de Caudal

Para planificar el trabajo de terreno, ADA se basa principalmente en informes de caudal diarios, análisis del comportamiento del caudal mínimo nocturno mediante gráficos mensuales, y análisis del valor Q_{min}/Q_{med} de cada DMA, por lo cual es necesario actualizar la información recibida por el medidor de caudal que se encuentre instalado en la entrada al DMA.

En la localidad de Alto Hospicio todos los medidores instalados son la misma marca y modelo, medidor Siemens /modelo MAG8000 con transmisión GPRS, es decir, que transmite información a través de paquetes de datos, los cuales son enviados vía correo electrónico, configurando un intervalo de tiempo de transmisión, en este caso para que la batería sea de larga duración, la transmisión es una vez al día.

Es por esto, que se pierde gran tiempo en actualizar las planillas de caudal que cada medidor envía, impidiendo al encargado realizar un análisis adecuado de los resultados obtenidos al actualizar las planillas.

⁶ Donde el sector El Boro se subdivide en El Boro 1 y El Boro 2

CAPÍTULO III: ELECCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL DE GESTIÓN DE REDES Y NIVELES DE PÉRDIDAS DEL SITIO DE ESTUDIO

A continuación, se muestra el informe de caudales diarios que realiza ADA para poder identificar los sectores con posibles aumentos de caudal.

Tabla 3. 7 Consumo promedio nocturno Localidad Alto Hospicio (Elaboración propia)

Fecha	07-04-2015	08-04-2015								
Alto Hospicio	Ayer	Hoy	Q med hoy [l/s]	Qmin (1) [l/s]	ΔQ C/r Mínimo	% Desv c/r Ayer	% Desv c/r Mínimo	Cientes N°	Qmin/clientes [L/s/cliente]	Qmin / Qmed
ERP Alto Hospicio	80,09	76,22	137,04	60,18	16,04	-5,09%	21,05%	14369	5,30	0,56
Sector Alto Hospicio	62,18	59,27	90,07	43,39	15,88	-4,91%	26,79%	10966	5,40	0,66
Autoconstrucción	14,69	13,44	32,12	8,55	4,89	-9,30%	36,38%	1840	7,30	0,42
El Boro TK	4,91	3,90	14,85	3,90	0,00	-25,90%	0,06%	1563	2,50	0,26
Sobre Erp El Boro	2,89	2,55	9,87	2,55	0,00	-13,33%	0,00%		-	0,26
Erp El Boro	2,02	1,35	4,98	1,21	0,14	-49,63%	10,01%		-	0,27
ERP La Pampa 3	48,65	48,83	72,51	37,22	11,61	0,37%	23,78%	6272	7,79	0,67
La Tortuga 1	11,15	10,80	40,80	7,65	3,15	-3,24%	29,17%	5326	2,03	0,26
La Tortuga 2	6,55	7,25	28,39	4,65	2,60	9,66%	35,86%	3685	1,97	0,26
La Negra	3,28	3,43	12,79	2,73	0,70	4,37%	20,27%	1641	2,09	0,27

(1) Mínimo Histórico.

Como se observa en la tabla anterior, hay un caudal mínimo nocturno histórico en el DMA, el cual es comparado con la condición actual en el DMA y si es que hay una gran desviación entre ellos, el sector debe ser intervenido inmediatamente (DMA en color rojo), estos pueden ser comparados por su gran porcentaje de desviación, como es el caso del DMA Autoconstrucción y por gran desviación entre caudales como en el DMA La Pampa.

Otro de los análisis es el comportamiento del caudal mínimo nocturno mediante gráficos mensuales, como se muestra a continuación.

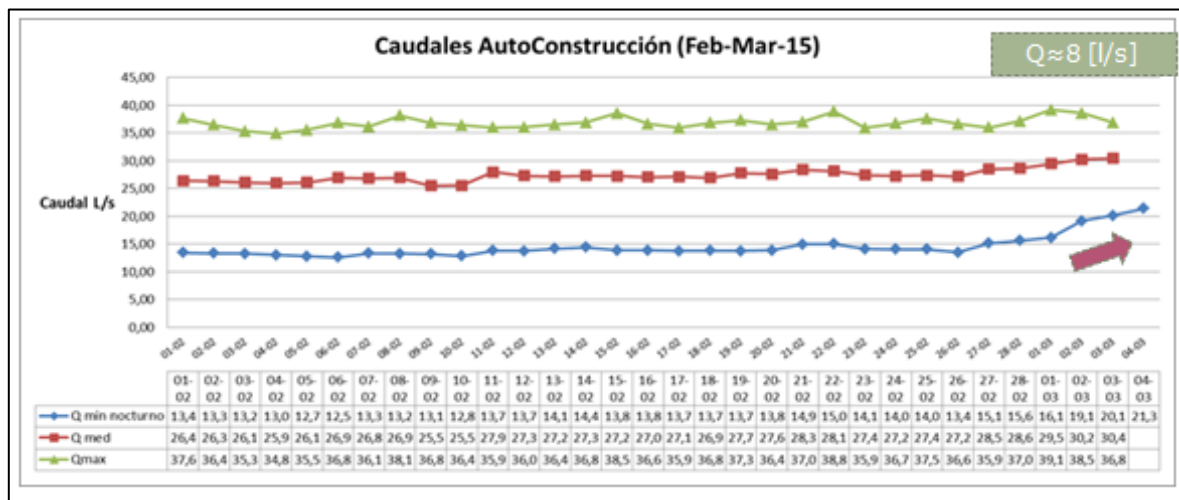


Figura 3. 9 Gráfico de caudales de un DMA de la localidad de Alto Hospicio (Elaboración propia)

El análisis por realizar en este caso es identificar un aumento en el caudal mínimo nocturno (línea de color azul), tal como se observa en la Figura 3. 9, cuyo aumento es de 8 [l/s], lo cual indica que es necesario acudir a terreno en búsqueda de fugas.

Además, si es que no hay aumentos de caudal, se debe seguir una campaña de trabajo por sectores críticos, donde los sectores que son críticos son aquellos DMAs que tienen un valor de $Q_{min}/Q_{med} > 0,4$. A partir de este valor se puede determinar como meta cuanto es el caudal por recuperar para llegar a un Q_{min} deseado.

$$\frac{Q_{min}}{Q_{med}} > 0,4 \quad \text{EC 3.1}$$

Entonces es necesario disminuir X cantidad de caudal para llegar al Q_{min} ideal, obteniendo:

$$\frac{Q_{min}-x}{Q_{med}-x} = 0,4 \quad \text{EC 3.2}$$

$$Q_{min} - x = 0,4 \cdot (Q_{med} - x) \quad \text{EC 3.3}$$

$$\frac{Q_{min}-0,4 \cdot Q_{med}}{0,6} = x \quad \text{EC 3.4}$$

Donde,

X: Caudal a recuperar.

En la siguiente tabla, se observa la campaña de trabajo, determinada por la cantidad de caudal mínimo por kilómetro de red y según ecuación anterior se determina el caudal a recuperar por DMA (sector). Además, se estima el tiempo que se demoraría una cuadrilla en recorrer el DMA en forma completa y con ello planificar una campaña de trabajo.

Tabla 3. 8 Campaña de trabajo por DMAs críticos (Elaboración propia)

Localidad	Sector	Qmin	Qmed	Qmin/Qmed	Qmin/Km de red	Δ a recuperar	IRR	Kms	Inicio	Fin	Semanas	Cuadrilla
Alto Hospicio	La Pampa	50,43	68,51	0,74	1,27	38,38	2,24	39,79	01-jun	13-jul	7,96	C3
Alto Hospicio	Autoconstrucción	16,19	29,15	0,56	1,12	7,55	0,48	14,5	14-jul	31-jul	2,9	C3
Alto Hospicio	Alto Hospicio	52,46	96,14	0,55	0,80	23,34	0,78	65,81	03-ago	30-oct	13,16	C3
Alto Hospicio	La Tortuga	8,98	23,84	0,38	0,44	0,00	0,39	20,47	02-nov	22-nov	4,09	C3
Alto Hospicio	El Boro Alto	3,4	8,05	0,42	0,40	0,30		8,476	23-nov	04-dic	1,70	C3
Alto Hospicio	Santa teresa						1,31					C3
Alto Hospicio	La Negra	3,54	11,8	0,30	0,30	0,00	1,34	11,98				C3
Alto Hospicio	ERP El Boro	1,23	3,52	0,35	0,39	0,00		3,174				C3

3.4.3.2.3. Detección Activa de fugas

Las empresas sanitarias a nivel nacional y específicamente ADA, tienen el personal necesario para detectar roturas, pero el gran problema es determinar el lugar exacto en donde se produjo la rotura, puesto que a medición de caudales y presiones miden sectores muy grandes.

Equipos utilizados para detección de fugas en ADA

En ADA se dispone de métodos acústicos para encontrar las fugas: geófonos, permalogs.



Figura 3. 10 Inspector de Fugas de ADA utilizando el Geófono (Elaboración propia)



Figura 3. 11 Ejemplo de instalación de permalogs (Elaboración propia)

ADA, divide la red de distribución en zonas llamadas cuarteles (los cuales son áreas donde es posible suspender temporalmente el suministro de agua, sin afectar la oferta global). Cada cuartel es típicamente una red cerrada cuya zona puede abastecer hasta 300 clientes, con un máximo de longitud de 1000 [m] de tubería. Aunque las redes de los sistemas se dividen en estas áreas, cada área es una red abierta, sin válvulas. Este procedimiento de diseño conduce a redes de baja densidad de válvulas donde la flexibilidad de trabajo operativo es limitada y las actividades de gestión de fugas son menos eficaces, ya que no existen válvulas para operar o para instalar equipos acústicos, como es el caso de permalogs.

Pruebas nocturnas

Para casos en que las fugas no han podido ser detectadas por el inspector de fugas, se pueden realizar pruebas nocturnas. Para esto es necesario definir la zona de interés y los movimientos a realizar, como se muestra en Figura 3. 12, donde:

- Las válvulas que se encuentran cerradas (punto de color rojo) que se encuentran encerradas en un círculo azul, deben permanecer cerradas, mientras que las que se encuentran encerradas en un círculo de color verde, deben ser abiertas.
- Las válvulas que se encuentran abiertas (punto de color celeste) que se encuentran encerradas en un círculo verde, deben permanecer abiertas, mientras que las que se encuentran encerradas en un círculo de color rojo, deben ser cerradas.
- Los grifos que deben ser medidos, para corroborar que las presiones dentro del sector marquen 0 m.c.a y fuera del sector sigan teniendo presión para confirmar que no se cortó un sector más grande, se encuentran marcados con un círculo de color rosado.

La finalidad de esta prueba nocturna es realizar un corte de suministro de agua en el sector y determinar cuánto baja el caudal nocturno y comparar con indicadores que permitan determinar si es que el sector cortado es crítico comparando cantidad de clientes, kilómetros de red, etc.



Figura 3. 12 Plano de prueba nocturna realizada en sector La Pampa (ADA)

Tipo de Suelo

La localidad de Alto Hospicio, se caracteriza por tener suelos salinos, por lo cual es difícil determinar dónde se encuentran las fugas, esto porque al ser el suelo salino y generarse una rotura, el agua es absorbida por el suelo, disminuyendo la efectividad del inspector de fugas.

3.4.3.3. Rapidez y Calidad de Reparación

ADA tiene tiempos de reparación cortos, esto se debe a que como empresa se ha propuesto realizar los trabajos en tiempos no mayores a dos días. Si estos valores no se cumplen por parte del contratista, ADA tiene el derecho de pasar una multa al contratista.

La forma de inspeccionar el tiempo de reparación es a través del Sistema de Atención de Requerimientos (SAR), el cual es un sistema de información que lleva el control de las fallas y tipos de reparaciones realizadas, registro de los tiempos de funcionamiento, causas y consecuencias, planificación, etc.

A partir de un reporte generado por los inspectores de fugas sobre los hallazgos detectados, es generada una Orden de Trabajo (OT), la cual permite tener el seguimiento de dichos hallazgos. Mediante este seguimiento se genera un reporte que se informa semanalmente al zonal (encargado de llevar el control de las reparaciones), como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3. 9 Informe de Gestión de fugas Alto Hospicio (Elaboración propia)

Fecha de revisión: 27/08/2015		Agosto
Total	Un	Hospicio
Hallazgos detectados	Nº	52
Hallazgos atendidos	Nº	43
% de atendidas	%	82,7%
Tiempo de atención(1)	días	0,84
%OT atendidas antes de 24 horas(2)	%	62%
%OT atendidas antes de 48 horas(2)	%	81%
%OT atendidas después de 48 horas(2)	%	2%
Hallazgos efectivos	Nº	43
Hallazgos pendientes	Nº	9
Tiempo de retraso	días	3,68
Matrices	Un	Hospicio
Hallazgos detectados	Nº	12
Hallazgos atendidos	Nº	12
% de OTs atendidas	%	100,0%
Tiempo de atención(1)	días	0,90
%OT atendidas antes de 24 horas(2)	%	50%
%OT atendidas antes de 48 horas(2)	%	100%
%OT atendidas después de 48 horas(2)	%	0%
Hallazgos efectivos	Nº	12
Hallazgos pendientes	Nº	0
Tiempo de retraso	días	0
Arranques	Un	Hospicio
Hallazgos detectados	Nº	39
Hallazgos atendidos	Nº	30
% de OTs atendidas	%	76,9%
Tiempo de atención(1)	días	0,85
%OT atendidas antes de 24 horas(2)	%	64%
%OT atendidas antes de 48 horas(2)	%	74%
%OT atendidas después de 48 horas(2)	%	3%
Hallazgos efectivos	Nº	30
Hallazgos pendientes	Nº	9
Tiempo de retraso	días	3,68
Otras(3)	Un	Hospicio
Hallazgos detectados	Nº	1
Hallazgos atendidos	Nº	1
% de OTs atendidas	%	100,0%
Tiempo de atención(1)	días	0,11
%OT atendidas antes de 24 horas(2)	%	100%
%OT atendidas antes de 48 horas(2)	%	100%
%OT atendidas después de 48 horas(2)	%	0%
Hallazgos efectivos	Nº	1
Hallazgos pendientes	Nº	0
Tiempo de retraso	días	0

(1) A partir de OTs atendidas

(2) Con respecto a OTs detectadas (total)

(3) Llave de paso, conunto medidor, orifo, etc.

3.4.3.4. Gestión de Infraestructura

Un problema que presenta Alto Hospicio es el diseño de la red con respecto a la reparación de roturas, debido a que las válvulas que existen permiten cortar el agua al cuartel, pero afectan a una gran cantidad de clientes durante la interrupción. También existen conexiones de servicio en mal estado que pueden ser responsables de gran parte de las pérdidas de AP. Además, se requiere especial cuidado en Alto Hospicio dado que presenta suelo salino, generando una condición de infraestructura con mayor debilidad en roturas, debido a que al generarse una rotura, el suelo salino absorbe el agua, disminuyendo la posibilidad de encontrar la rotura con equipos acústicos.

3.5. Diagnóstico de Alto Hospicio

La empresa sanitaria portuguesa AGS, realizó un diagnóstico del nivel de pérdidas físicas de agua potable, a partir de la información de los componentes del estado del arte para realizar un análisis para evaluar el estado de la red que presenta Alto Hospicio.

3.5.1. Pérdidas Físicas

3.5.1.1. Gestión de Presión

EL control de presión en Alto Hospicio es bueno, debido a que se cumple de buena forma con las normativas chilenas de máxima y mínima presión, utilizando VRP en gran parte de los DMAs. En Alto Hospicio sus DMA se encuentran completamente sectorizados, lo cual no causa problemas operacionales y/o servicio respecto de las presiones mínimas y máximas, salvo en casos de desajustes de VRP, que ocurren ocasionalmente.

3.5.1.2. Control activo de fugas

Las actividades de localización y reparación pueden estar afectando a los volúmenes de pérdidas físicas

Lograr una eficaz detección de fuga depende del nivel de sectorización de la red, sistema de medición de caudal y frecuencia con la que se monitorea el caudal. El nivel de sectorización en Alto Hospicio es insuficiente, debido a la existencia de zonas de redes grandes. El sistema de medición es adecuado, pero el método de monitoreo de caudal actual es insuficiente para comprender, vigilar y comparar las pérdidas entre DMA.

El éxito depende de la capacidad de encontrar la rotura de manera eficaz a través de la detección activa de fugas antes de que dicha rotura sea reportada. En Alto Hospicio, los recursos técnicos (recursos humanos y equipo) asignados a las tareas de campo son los adecuados, dado que la ubicación de roturas no es baja, sin embargo, parece ser insuficientes para reducir el volumen de pérdida.

Hay varias causas que pueden explicar esta falta de efectividad en la disminución de las pérdidas mediante la detección activa de fugas:

- Mala elección del DMA, ocurre debido a una planificación incompleta y mediciones que no son reales, lo cual trae como consecuencia a una preparación inadecuada de las campañas de trabajo en terreno y las actividades de control activo de fugas.
- Tipo de suelo, dado que en suelos salinos las roturas no afloran a la superficie.
- Número insuficiente de las válvulas para operar o instalar equipos acústicos.

Es importante reconocer que en los sistemas de distribución de red con suelos salinos y de baja presión, como en Alto Hospicio, existen técnicas de detección que también pueden proporcionar buenos resultados y que deben ser consideradas, tal como, la inyección de gas.

3.5.1.3. Rapidez y Calidad de Reparación

Los métodos que utiliza ADA, en conjunto con los contratistas son buenos, dado que los tiempos de reparación promedio son menores a un día, pero todos los eventos que son generados por ADA, técnicos y comerciales, son coordinados por la central de despacho y resueltos sin orden de prioridad, excepto si se trata de una gran rotura. Un problema con un medidor del cliente se resuelve al mismo nivel que una rotura en una conexión de servicio o una pequeña fuga en la red, sin dar prioridad específica.

Además, hay varias combinaciones que influyen de manera negativa al realizar una reparación:

- La baja densidad de válvulas restringe realizar una reparación que lleve un menor impacto en la interrupción del servicio.
- El uso de abrazaderas en lugar de cerrar el cuartel, puede que afecte a menos clientes, pero puede dañar gravemente el material de la tubería y poner en peligro la sostenibilidad de la infraestructura.
- En ADA pese a cumplir con las normas chilenas de AP, no existe una política clara para la supervisión de las reparaciones, específicamente en las conexiones de servicio en la cual el proveedor trabaja por su cuenta. Es extremadamente importante asegurar procedimientos de inspección para controlar el trabajo de servicios y asegurar una buena calidad en las intervenciones de la red.

3.5.1.4. Gestión de Infraestructura

En cuanto a los datos de infraestructura, hay tres aspectos críticos que deben ser mejorados: la falta de fecha de instalación de la tubería; falta de catastro conexiones de servicio; falta de actualización y procedimientos de validación de datos.

El desarrollo y el establecimiento de procedimientos de actualización de datos y validación son esenciales para garantizar la exactitud de la información y, por tanto, para apoyar la evaluación y análisis de sistemas.

El registro de datos de las órdenes de trabajo es una responsabilidad del proveedor de servicios, lo cual es muy importante para la validación de este proceso. Por lo tanto, un procedimiento de validación de datos que garantiza órdenes de trabajo tiene que ser completa y correctamente cumplida; el control de calidad de los datos debe garantizarse después de la implementación del procedimiento. Este proceso es esencial para apoyar un análisis preciso de las roturas que permite la comprensión de la condición de la infraestructura y la identificación de los problemas y las causas principales.

CAPÍTULO IV: SOLUCIÓN A TRAVÉS DE NUEVA TECNOLOGÍA PARA REDUCIR PÉRDIDAS

4.1. Planteamiento de la solución a través de nueva tecnología para reducir pérdidas

Para mejorar la eficiencia de la red y poder reducir el ANF, AGS implemento un sistema de monitoreo de caudal en línea, para tener un mejor análisis del comportamiento diario de caudal. Este monitoreo permite entender e identificar donde se está perdiendo el caudal, y poder actuar de manera rápida y eficiente en el control de pérdidas físicas, específicamente en el control activo de fugas. Monitor es la herramienta para automatizar y simplificar la gestión de pérdidas de AP de consumidores con el objetivo de conseguir un gran ahorro de AP y económico. Monitor avisa de las desviaciones que se produzcan sobre el consumo previsto, gracias al cálculo de líneas base, que permite detectar posibles fallos o pérdidas de rendimiento que puedan derivar en mayores consumos. Tiene la ventaja de ser accesible de cualquier lugar y en cualquier momento mediante diferentes tipos de dispositivos con acceso a internet pudiendo compartir la información fácilmente dentro de la organización.

Para poder entender de mejor manera el software, se realizará una descripción detallada de cómo está estructurado el software.

4.2. Descripción del Software Monitor

Mediante el patrón de demanda (Figura 4. 1), que es la información histórica de demanda que ocurre en una escala de tiempo, la cual describe en forma general el comportamiento de los clientes en una serie de tiempo, se realiza la descripción de la estructuración del software Monitor.

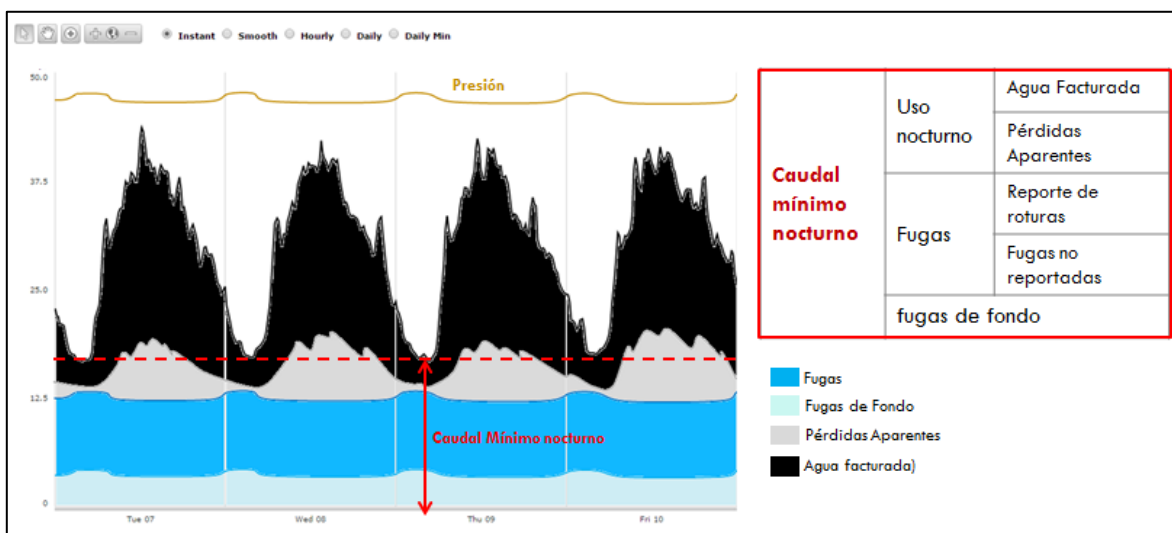


Figura 4. 1 Perfil de demanda (AGS)

4.2.1. Opciones de datos

Monitor presenta diversas opciones de datos que permiten analizar el comportamiento del DMA, las cuales se muestran a continuación:

4.2.1.1. Caudal Instantáneo

Permite ver el patrón de demanda de un DMA, donde se puede observar y analizar de manera más detallada el comportamiento del caudal, con un límite de una semana.

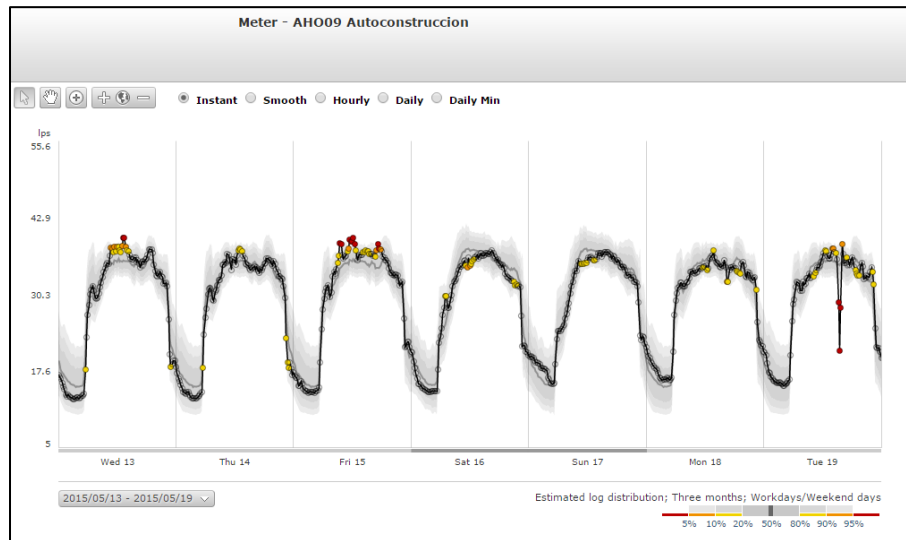


Figura 4. 2 Perfil de demanda instantáneo del DMA Autoconstrucción (Monitor)

4.2.1.2. Caudal Horario

Permite ver el patrón de demanda de un DMA, pero con un tiempo de análisis de 3 semanas como máximo, lo cual permite describir la variación del patrón de demanda y poder tomar decisiones con datos más fidedignos, al momento de tomar una decisión.

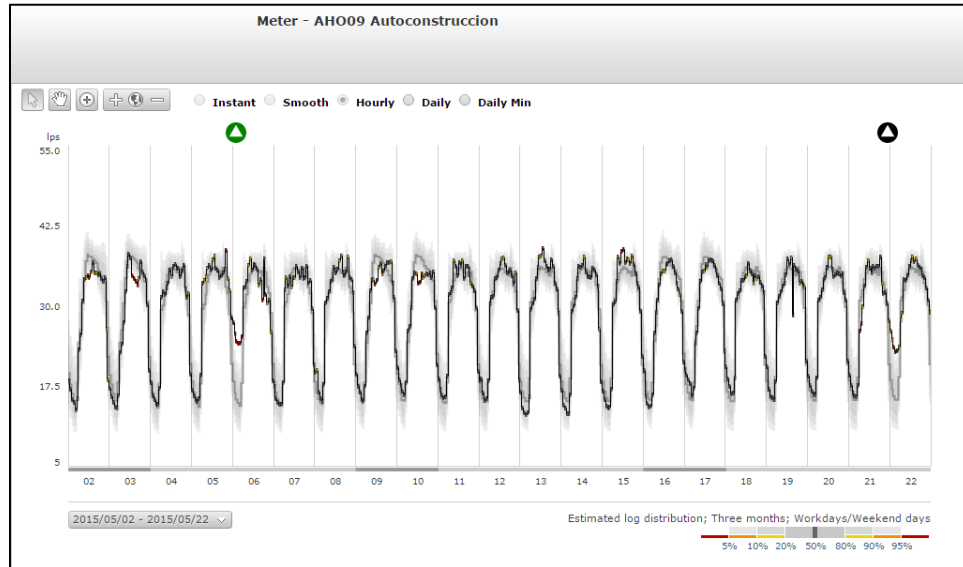


Figura 4. 3 Perfil de demanda horario del DMA Autoconstrucción (Monitor)

4.2.1.3. Caudal Medio Diario

Permite recopilar información, sobre cómo va cambiando el patrón de demanda, a través del tiempo. Además, permite utilizar información que relacione el caudal actual, con el caudal medio que se produjo en una determinada etapa y poner como meta ese caudal.

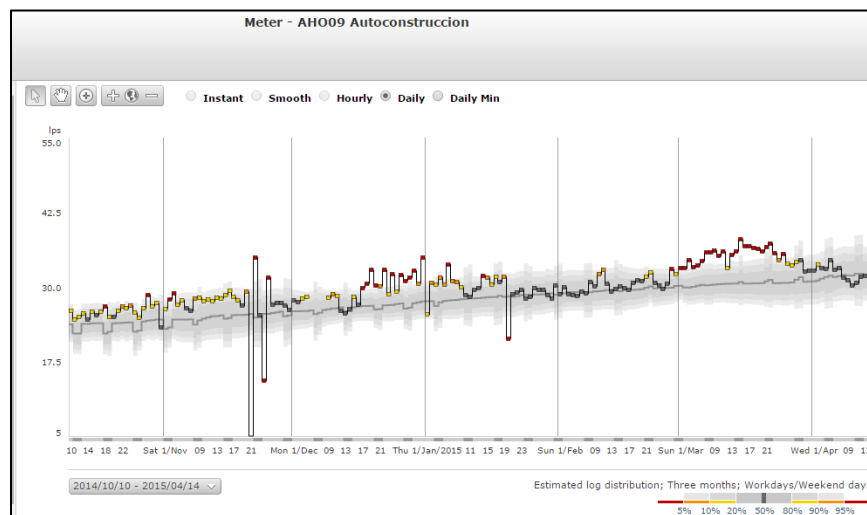


Figura 4. 4 Perfil de demanda media diario del DMA Autoconstrucción (Monitor)

4.2.1.4. Caudal Mínimo Diario

Permite interpretar el patrón de demanda con los caudales mínimos, lo que generalmente se conoce como caudales mínimos nocturnos (salvo en casos de consumos de grandes clientes y de manera irregular).

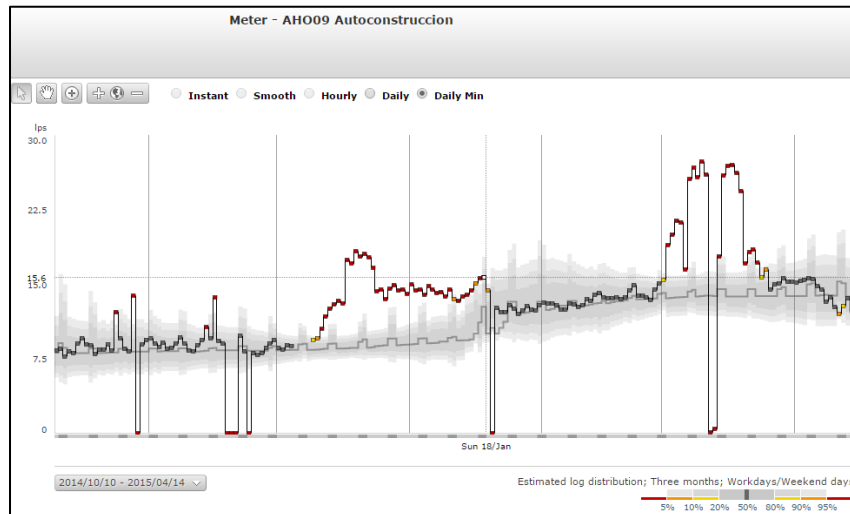


Figura 4. 5 Perfil de demanda mínima diario del DMA Autoconstrucción (Monitor)

4.2.1.5. Estadísticas del Comportamiento de Caudal

Análisis que se determina a partir del caudal instantáneo, subcapítulo 4.2.1.1, en tiempo real, cuyo dato más utilizado es el Min/Med, el cual relaciona el caudal mínimo sobre el medio, determinando que sector es más crítico, para identificar el DMA al cual hay que acudir.

Statistics	
Min (P5)	14.05 lps
Med (P50)	32.98 lps
Max (P95)	37.44 lps
Min/Med	0.43
Duration	7d
Missing data	--

Figura 4. 6 Estadísticas del DMA Autoconstrucción (Monitor)

4.2.1.6. Comparación de patrones entre DMAs

Este análisis permite comparar zonas aledañas, con el fin de determinar posibles cambios de DMA, provocados por algún movimiento de válvula en el sector. Este movimiento de válvulas generalmente se debe a cortes del servicio, permitiendo abastecer desde otro DMA sin interrumpir gran parte del servicio, si la presión permite el abastecimiento.

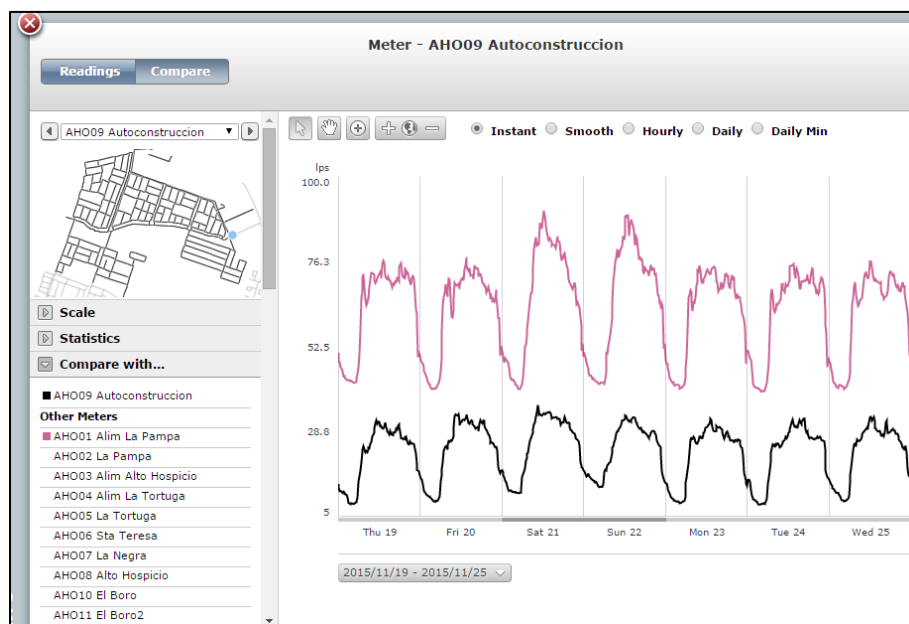


Figura 4. 7 Perfil de demanda del DMA Autoconstrucción comparado con La Pampa (Monitor)

4.2.2. Generación de eventos

Mediante la recopilación histórica de datos de caudal instantáneo, se genera un patrón de demanda el cual depende del tipo de distribución probabilística que se le asigne previamente. AGS definió cuatro tipos de distribuciones probabilísticas: distribución logarítmica estimada (distribución log-normal), distribución estimada (distribución normal estándar), percentiles Simples y distribución adaptativa. Generalmente se utiliza la distribución logarítmica estimada, dado que la variación de sus intervalos no es significativa, pero en casos de DMA que tienen grandes variaciones estacionales o simplemente se encontraron grandes roturas y el caudal disminuyó considerablemente, es necesario utilizar la distribución adaptativa.

Definido el tipo de comportamiento que se le asigna a cada DMA, Monitor comienza a trabajar en la generación de eventos, comparando el caudal instantáneo en el momento, con el comportamiento que tenga cada DMA. Es por esto, que para generar un evento se necesita que el caudal instantáneo supere al menos el 95 % de intervalo de confianza en comparación al patrón de demanda.

La Generación de eventos tiene un tratamiento estadístico, el cual AGS con la experiencia ha ido adquiriendo:

Aumento Grande de Caudal

Es generado suponiendo que se produjo una rotura grande en el DMA, donde una rotura grande generalmente es mayor a 5 [l/s]. Para que sea generada esta alarma, debe superar el intervalo de confianza del 95% durante media hora.

Aumento Mediano de Caudal

Es generado suponiendo que se produjo una rotura media en el DMA, donde una rotura media generalmente es mayor a 2 [l/s]. Para que sea generada esta alarma, debe superar el intervalo de confianza del 95% durante dos horas.

Aumento Pequeño de Caudal

Es generado suponiendo que se produjo una rotura pequeña (fuga) en el DMA, donde una rotura pequeña generalmente aumenta de forma paulatina en el tiempo. Para que sea generada esta alarma, debe superar el intervalo de confianza del 95% durante un día.

4.2.3. Monitoreo de Caudal

El monitoreo de caudal tiene tres etapas fundamentales para poder gestionar el aumento de caudal, teniendo un manejo efectivo y eficiente de esta herramienta.

4.2.3.1. Análisis del comportamiento diario

El analisis a partir de esta herramienta requiere conocer de manera adecuada cuales son los tipos de consumos nocturnos que existen dentro de cada macrocuartel, para ello es necesario determinar detalladamente la razón del caudal mínimo nocturno, tal y como se detalla en la Figura 4. 1, donde el caudal mínimo nocturno requiere separarse en tres tipos: uso nocturno, fugas detectables y fugas de fondo.

Uso nocturno

Consumo autorizado que varia según tipo de clientes en cada DMA, teniendo una influencia significativa en el caudal mínimo nocturno, el cual puede estar influenciado por un gran consumidor, el cual debe estar registrado en un sistema de medición (capítulo 3.4.3.2), para determinar una variación de caudal importante y que se pueda justificar como caudal de consumo.

Fugas Detectables

Este tipo de fugas se puede clasificar de la siguiente manera:

- Fugas reportadas o visibles: provienen principalmente de estallidos o rupturas de uniones en grandes conducciones o tuberías de distribución. El agua que se fuga aparecerá en la superficie rápidamente dependiendo de la presión del agua y el tamaño de la fuga, así como de las características del suelo y la superficie. No se requiere equipo especial para ubicar las fugas.
- Fugas no reportadas u ocultas: estas por definición tienen caudales mayores a 0,5 [m³/hr] que debido a las condiciones no favorables no aparecen en la superficie. La presencia de fugas ocultas se puede identificar analizando tendencias en el comportamiento del consumo de agua dentro de una zona definida de suministro de agua.

Fugas de fondo

Comprende pérdidas de agua con caudales menores a 0,5 [m³/hr]. Estas fugas muy pequeñas (filtración o goteo de uniones, válvulas o accesorios no herméticos) no se pueden detectar utilizando métodos de detección acústicos de fugas. Por lo tanto, se asume que muchas fugas de fondo nunca se detectan ni reparan, sino que fugan hasta que se reemplaza eventualmente la parte defectuosa. Las fugas de fondo a menudo causan una buena parte de las pérdidas reales de agua debido a su gran número y el largo tiempo durante el que ocurren.

4.2.3.2. Perfil de demanda

En general se pueden dividir en dos tipos de perfiles demanda, patrón irregular y patrón regular.

Patrón irregular

Comportamiento de Patrón varía día a día, dado que puede tener grandes consumos durante la noche, debido a que se puede tener bombas, estanques, etc.

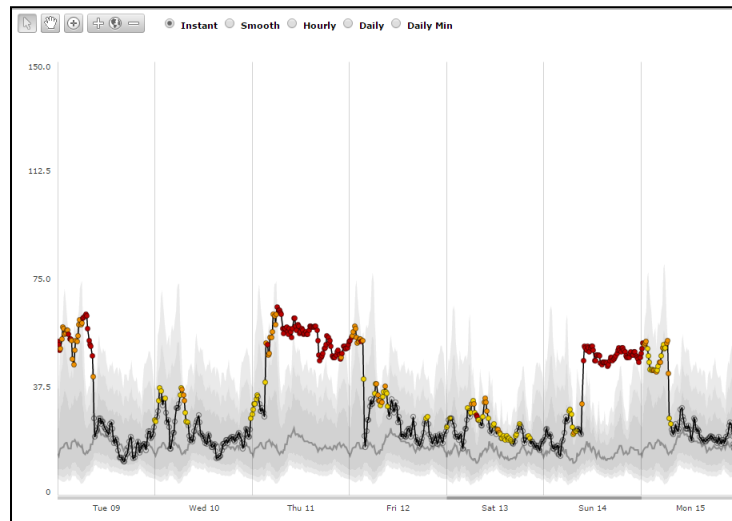


Figura 4. 8 Patrón de demanda irregular (Monitor)

Patrón regular

El perfil de caudal tiende a ser simétrico día a día, lo cual se produce en general en sectores que son en su mayoría domiciliarios.

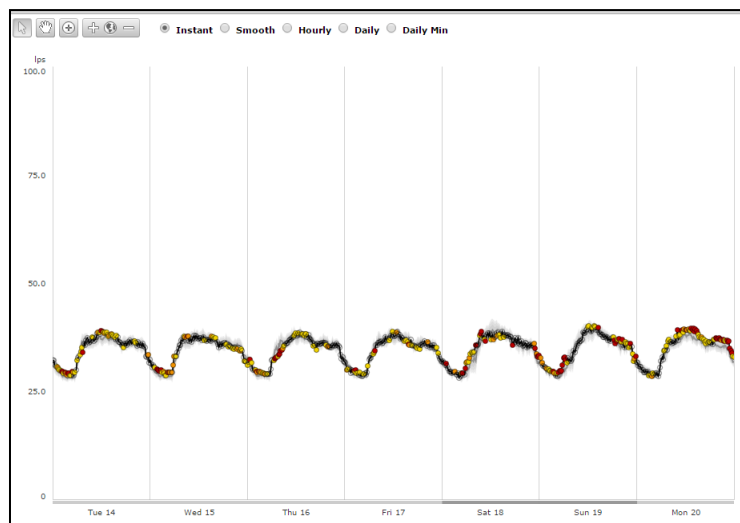


Figura 4. 9 Patrón de demanda regular (Monitor)

4.2.3.3. Análisis de eventos

Roturas Reportadas

Roturas que son informadas por: clientes, carabineros, bomberos, personal de la empresa, etc. Estas roturas tienden a ser detectadas de manera inmediata, debido a la gran variación de caudal en el DMA.

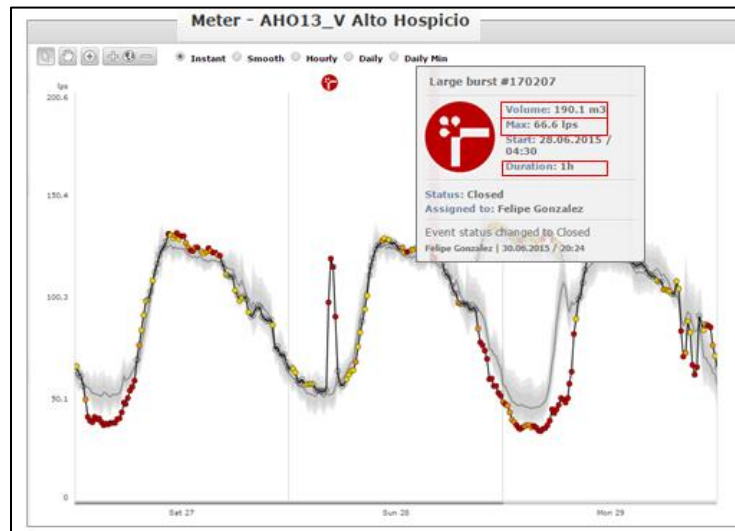


Figura 4. 10 Rotura reportada (Monitor)

Roturas No Reportadas

Fugas que son detectadas por el trabajo en terreno de los equipos de control activo de fugas. Generalmente, tienen las siguientes características:

- Roturas medianas: aumento del caudal medio durante un período cortó.
- Roturas pequeñas: poco aumento del caudal, pero la pérdida aumenta durante un período mayor, dado es que más complicado detectar pequeñas roturas.

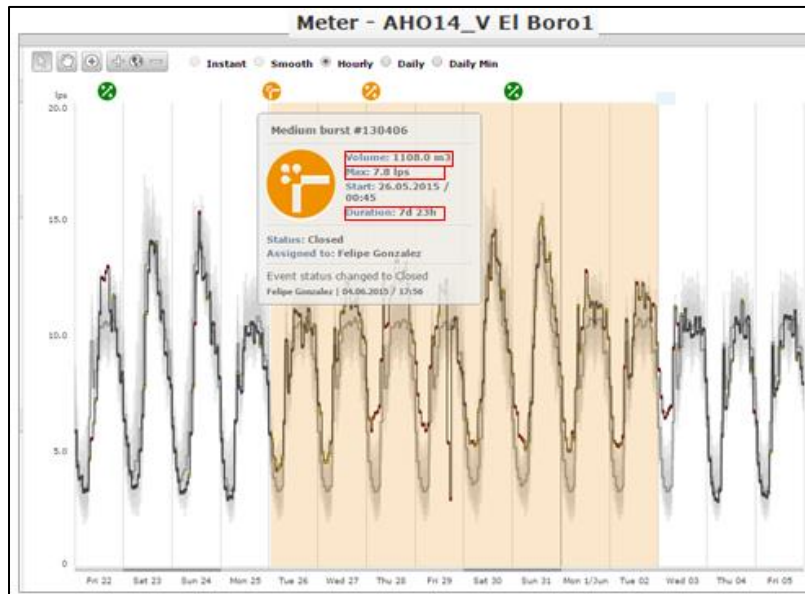


Figura 4. 11 Rotura no reportada y detectada por personal de fugas (Monitor)

Consumo Ilegal

Consumo no autorizado debido a robos y consumo ilegal, que depende del tipo de cliente, variando en duración y frecuencia. Usualmente se debe a:

- Conexiones ilegales: en la red de agua, sobre todo en zonas con construcciones ilegales y de baja seguridad y más frecuente en los sistemas que ya había suministro intermitente.
- El uso ilegal de grifos: el cual se utiliza generalmente llenando estanques para riego o limpieza de calles, uso ilegal del sistema de protección contra incendios en el interior de los edificios (Por lo general, no tienen medidores) y otros robos.
- Conexiones públicas: conectadas a la red (no autorizada).

Generalmente el patrón de comportamiento de consumos ilegales se detecta de dos formas, mediante aumentos significativos de caudal que luego disminuyen en un corto período sin ninguna razón e intervención (ver Figura 4. 12) y por largos periodos de elevado caudal, lo cuales disminuyen repentinamente después de un período de trabajo de equipos de fraude sin ninguna razón e intervención.

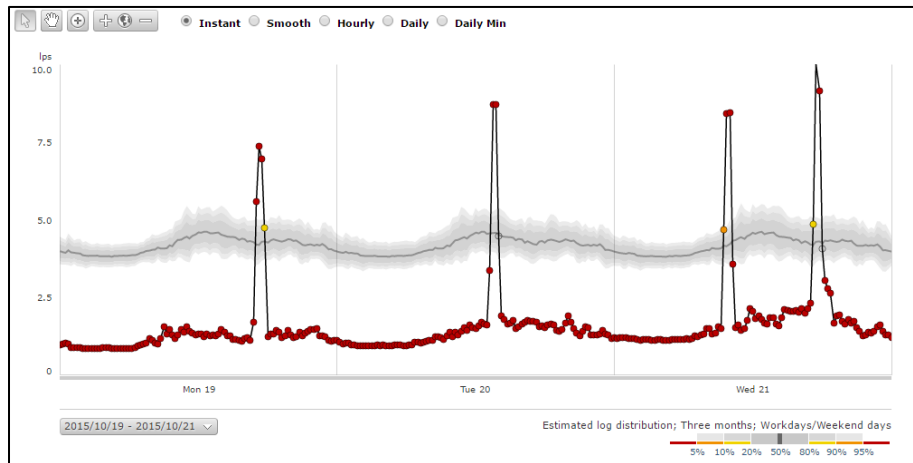


Figura 4. 12 Consumo ilegal debido a aperturas de grifo (Monitor)

Desajuste de VRP

Para los DMAs que cuentan con VRP, el aumento de caudal puede llegar a ocurrir por un desajuste de VRP, ocasionando un incremento de caudal, ya que la relación es directamente proporcional, es decir, a mayor presión mayor es el caudal y viceversa.

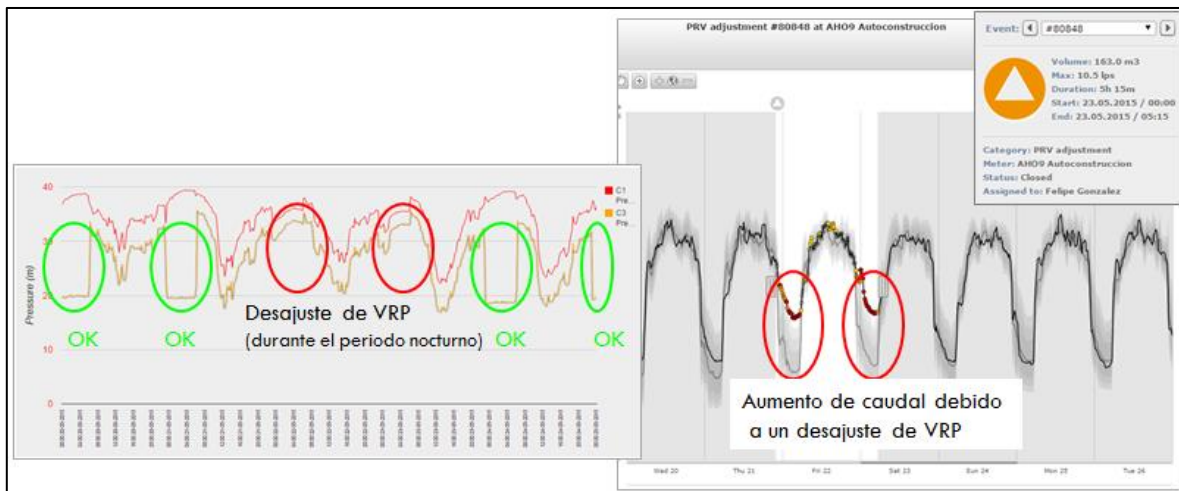


Figura 4. 13 Desajuste de VRP durante el periodo nocturno en sector Autoconstrucción (Monitor; Modificación propia)

Cambio de Zona

Cambios en la geometría del DMA, debido a la gestión operativa, tales como:

- Problemas de abastecimiento del DMA habitual, acudiendo al sector aledaño para abastecer del caudal, a través de aberturas y cierres de las válvulas correspondientes.
- Obras en la red, que necesariamente deben realizarse con cortes, pueden abastecer a clientes desde otro sector, evitando un corte mayor.

En la Figura 4. 14 se puede observar el traspaso de caudal entre DMAs o zonas, donde en la figura superior se aprecia un aumento de caudal, producido por el traspaso de caudal del DMA de la figura inferior, en la cual se observa el corte del DMA.

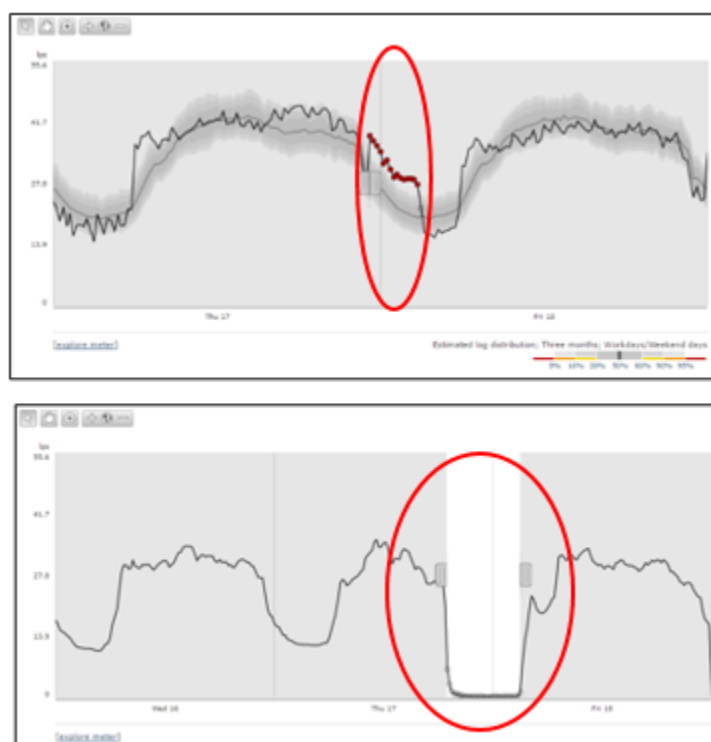


Figura 4. 14 Cambio de Zona entre DMA La Pampa y DMA Autoconstrucción (Monitor; Modificación propia)

Trabajo de Mantenimiento

Trabajos que se realizan dentro de la red, ya sea limpieza de tuberías, cortes en el sector, descargas, reposición del servicio, etc.

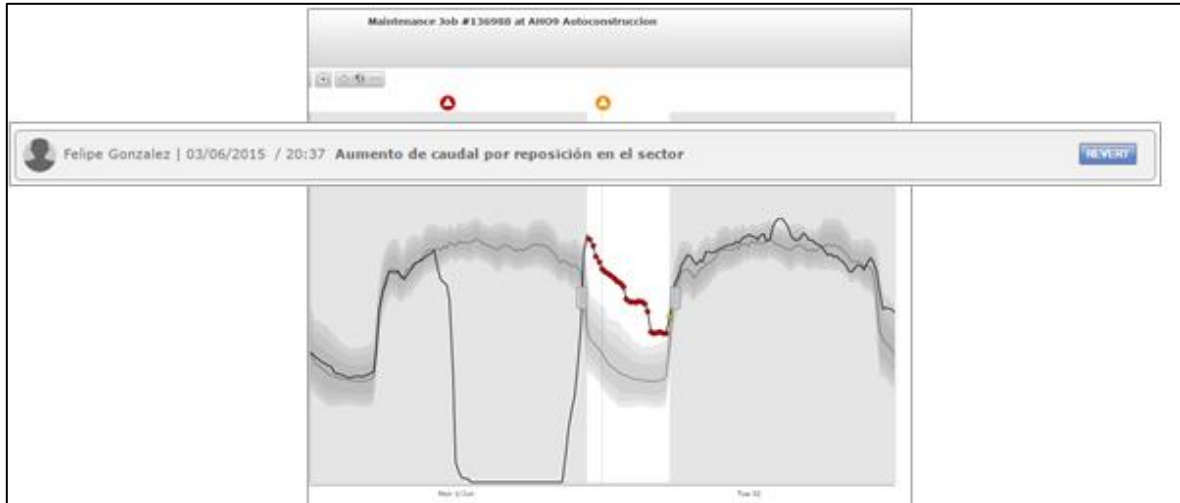


Figura 4. 15 Trabajo de mantenimiento generado por reposición de caudal (Monitor)

Falla de Medidor

Estos eventos pueden ser provocados por fallas en la transmisión de datos e inundación de cámara de AP, lo que provoca descomposición del medidor, etc.

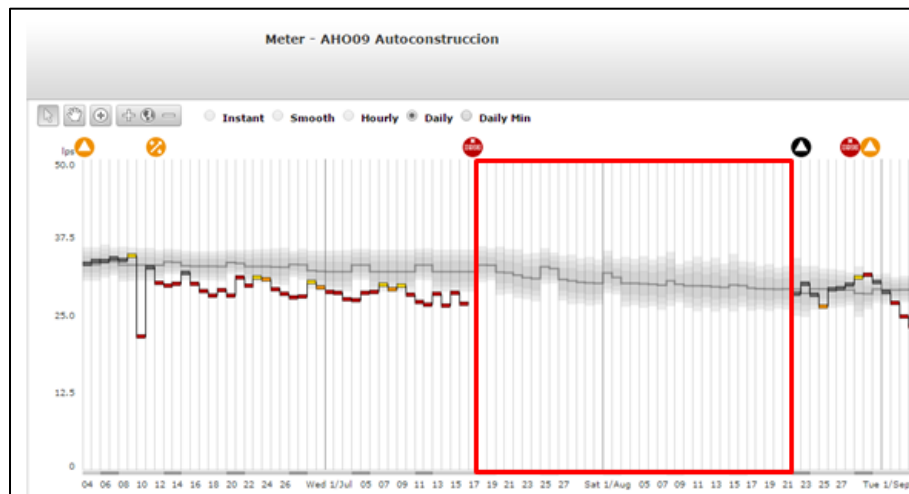


Figura 4. 16 Falla de medidor GPRS por problemas con el servidor de consulta (Monitor; Modificación propia)

Rebose de Estanque

Evento que ocurre por no tener un control en la entrada y salida del estanque, puede ser causado por un mal funcionamiento del bombeo, descomposición del medidor, bajo consumo de clientes durante la noche, etc.

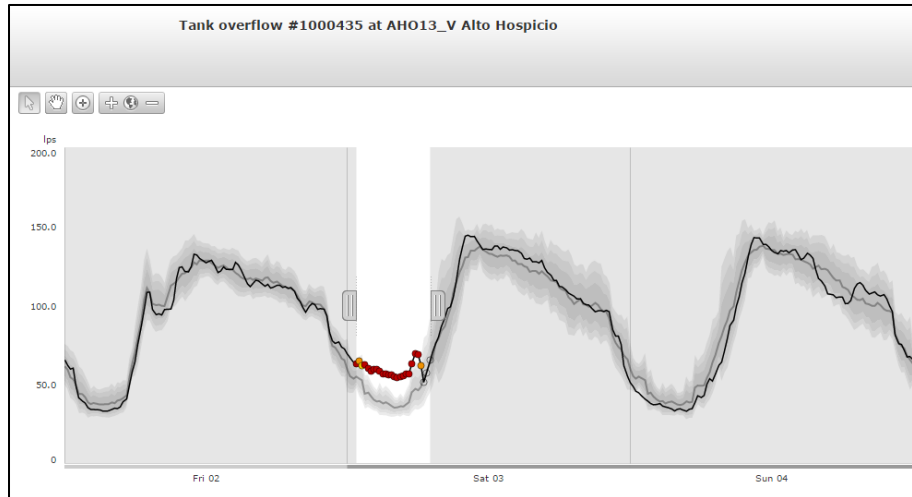


Figura 4. 17 Rebose en Estanque provocado por el continuo trabajo de la bomba impulsora (Monitor)

4.2.4. Procedimiento por seguir para evaluación de eventos

Hay diferentes tipos de eventos (grandes roturas, medianas roturas, fugas, consumo ilegal, desajuste de VRP, cambio de zona, trabajo de mantenimiento), por lo cual interpretar el tipo de ocurrencia no es posible al mirar los gráficos solamente.

Hay algunos eventos que ocurren en la red (como roturas, consumos ilegales, etc.) que provocan desviaciones visibles en el patrón, pero estos eventos no son detectados por el software Monitor, sino que se debe conectar con el evento que está ocurriendo en terreno. Es por esto que se debe seguir un proceso para determinar por qué se generó el evento.

Se debe seguir el siguiente diagrama de flujo para determinar de manera correcta cual fue la causa de la generación del evento.

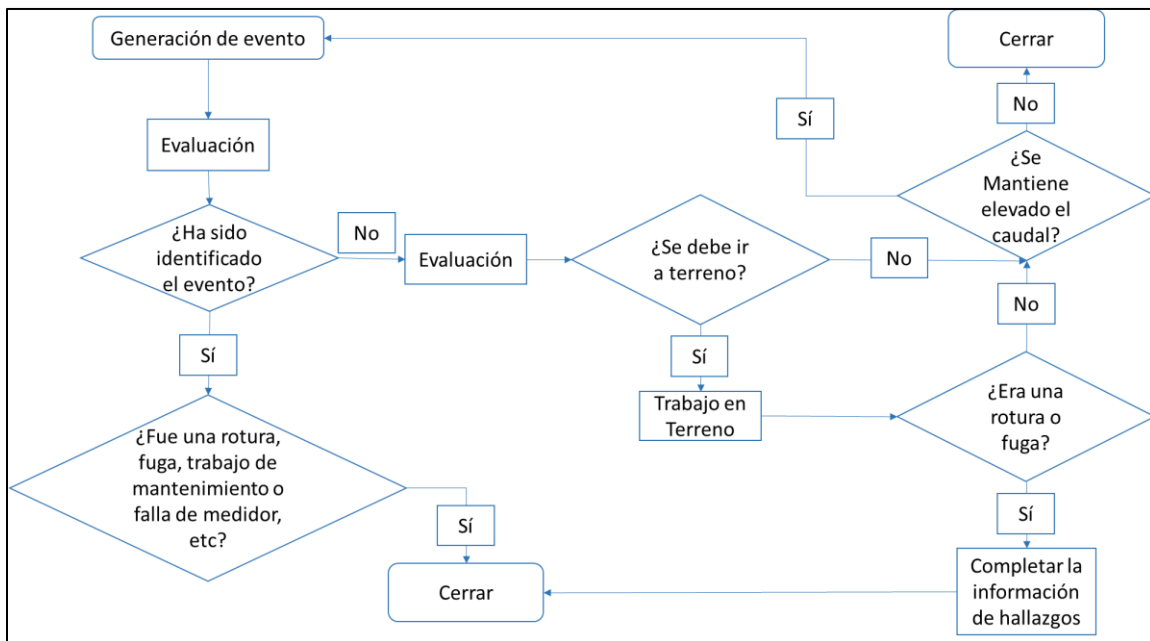


Figura 4. 18 Diagrama de flujo de gestión de eventos generados por Monitor (Elaboración propia)

4.3. Diseño de metodología para aplicación de tecnología

4.3.1. General

Este capítulo tiene como objetivo presentar un conjunto de procedimientos para ser utilizados en caso de que se quiera tener un buen manejo del software Monitor. Estos pasos a seguir son importantes para tomar decisiones correctas, deben ser analizadas por el ingeniero a cargo y deben ser ejecutadas por los equipos técnicos.

4.3.2. Datos e información

Para definir, implementar y operar DMA es necesario tener acceso a varios residentes de datos en los sistemas de información de utilidad:

- GIS, infraestructura y datos de topografía.
- SCADA, datos de medidores de caudal por DMA.
- Sistema Comercial, consumo de los clientes.
- Red de modelo hidráulico, comportamiento de los sistemas (requiere información del GIS, SCADA y el sistema comercial).

4.3.3. Sectorización de la red

La sectorización de la red para el monitoreo de caudal se basa en la implementación de una red de distribución totalmente hermética. La creación de un DMA permite el análisis de los caudales medidos, lo que permite el cálculo de los niveles de pérdidas y los indicadores necesarios para apoyar las decisiones al momento de realizar intervenciones en la red. Para ello se deben seguir los pasos del subcapítulo 2.2.2.2., página 14.

CAPÍTULO V: APLICACIÓN DE METODOLOGÍA PARA NUEVA TECNOLOGÍA EN ALTO HOSPICIO

5.1. DMA Hidráulico

En la ciudad de Alto Hospicio existen 8 DMAs hidráulicos, los cuales se muestran en la Tabla 3. 1, página 31. A partir de estos DMAs es necesario clasificarlos según se definió en subcapítulo 2.2.2.1, página 12, es decir, si es que los análisis económicos o niveles de pérdidas demuestran que es conveniente identificar y reparar nuevas fugas de forma inmediata, entonces el tamaño DMA tiene que ser menor que 1500 conexiones de servicio. Sin embargo, en la mayoría de los casos el tamaño DMA debe estar entre 3000 y 5000 conexiones de servicio. Observando la Tabla 5. 1, es necesario realizar una sectorización más pequeña de al menos dos sectores de Alto Hospicio: La Pampa y Alto Hospicio. Antes de realizar la sectorización, es necesario determinar la cantidad de pérdidas que tiene cada DMA (sector) y con este análisis establecer exactamente qué DMA deben ser reducidos.

Tabla 5. 1 Resumen DMA Alto Hospicio (Elaboración propia)

DISTRIBUCIÓN				TAMAÑO	
Estanque	Alimentadora	Sector	ERP	Clientes	Km Red
Santa Rosa	La Pampa	Total	Total	6.272	39,8
Santa Rosa	La Pampa	La Pampa	La Pampa	6.272	39,79
Santa Rosa	Alto Hospicio	Total	Total	20.655	125,2
Santa Rosa	Alto Hospicio	Autoconstrucción	Autoconstrucción	1.840	14,50
Santa Rosa	Alto Hospicio	La Negra	La Negra	1.641	11,98
Santa Rosa	Alto Hospicio	Santa Teresa	Santa Teresa	1.211	3,06
Santa Rosa	Alto Hospicio	La Tortuga	La Tortuga	3.685	20,47
Santa Rosa	Alto Hospicio	Alto Hospicio	Alto Hospicio	10.966	65,81
Santa Rosa	Alto Hospicio	El Boro	El Boro 1	1.312	9,42
Santa Rosa	Alto Hospicio	El Boro	El Boro 2	251	2,23

Tabla 5. 2 Resumen de pérdida acumulada por DMA (Elaboración propia)

Pérdida Acumulada	sep-14	ago-15
Autoconstrucción	59,63%	66,91%
Sector Alto Hospicio	24,70%	26,81%
El boro 1	27,73%	35,68%
El boro 2	64,14%	66,22%
La Negra	39,88%	44,04%
La Tortuga	25,96%	25,97%
La Pampa	65,14%	66,77%

Como se puede observar en la Tabla 5. 2, La Pampa es uno de los DMAs que tiene mayor nivel de pérdidas, por lo cual es necesario reducir el DMA en varios DMAs de 1000 conexiones de servicio aproximadamente. También es necesario según el alto nivel de pérdidas, analizar los DMAs de Autoconstrucción y El Boro 2, pero como se observa en Tabla 5. 3 y Tabla 5. 4 las pérdidas aparentes (robos, medidores en mal estado) de estos sectores son muy altas, por lo que el nivel de pérdidas por fugas no es tan relevante como para disminuir el tamaño del DMA. Además, se puede observar en la Tabla 5. 2 que el DMA Santa Teresa no está, esto se debe a que el DMA se implementó en

Agosto del 2015 para completar el 100% de cobertura y el cálculo de pérdida acumulada corresponde a la pérdida de un año completo.

Tabla 5. 3 DMAs con pérdidas aparentes (Elaboración propia)

Distribution system	Macrocuartel	Contribución de ANF	Vol de ANF	Caudal Mínimo (Qmin)	Caudal mínimo (Qmin)	V _{qmin}	V _{aparentes}	Existen pérdidas aparentes
		ago-14 a ago-15		Pormedio jan-15 a ago-15				
		%	m ³	l/s	m ³ /h	m ³	m ³	
Alto Hospicio	AH-SR1.1 (La Negra)	0,9	169.534	3,1	11,0	96.767	72.767	Cierto
Alto Hospicio	AH-SR1.2 (La Tortuga)	1,1	201.352	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Alto Hospicio	AH-SR2.1 (Sta Teresa)	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Alto Hospicio	AH-SR2.2 (Alto Hospicio)	4,5	833.097	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Alto Hospicio	AH-SR2.3 (Autoconstrucción)	3,4	629.064	13,6	49,1	429.995	199.069	Cierto
Alto Hospicio	AH-SR3.1 (La Pampa)	8,4	1.531.993	48,8	175,8	1.540.003	-8.010	Incierto
Alto Hospicio	AH-EB1.1 (El Boro1)	0,6	105.376	3,9	13,9	122.188	-16.812	Incierto
Alto Hospicio	AH-EB1.2 (El Boro2)	0,5	93.652	1,3	4,8	42.413	51.239	Cierto

Tabla 5. 4 Porcentaje de pérdidas aparentes de los DMAs Autoconstrucción y EL Boro 2 (Elaboración propia)

DMA	Vol de producción	Vol Facturado	Vol de ANF	porcentaje de pérdidas aparentes
	m ³	m ³	m ³	%
Autoconstrucción	922.606	294.987	627.619	32%
EL boro 2	141.187	47.784	93.403	55%

Además, hay que tener en cuenta el DMA Alto Hospicio, que a pesar de tener la más baja pérdida, tiene 10.212 clientes, siendo un DMA muy grande. Para el caso de los otros DMA, tienen la cantidad óptima de clientes, dado que todos tienen entre 1000-2000 clientes, a excepción de La Tortuga, que al tener un nivel más bajo de pérdidas no es necesario disminuir el DMA.

5.1.1. Sectorización La Pampa

De acuerdo con lo expuesto, la nueva sectorización de La Pampa, y que se muestra en el esquema siguiente, requiere de una serie de actividades previas:

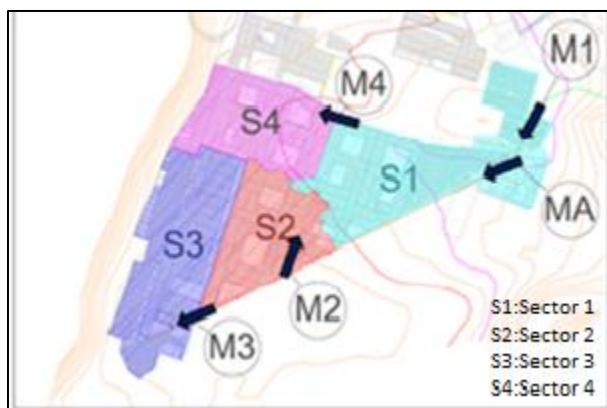


Figura 5. 1 Sectorización DMA La Pampa (ADA)⁷

⁷ Donde, M1: Medidor de caudal 1, M2: Medidor de caudal 2, etc.

Para el funcionamiento de la sectorización y macromedición será necesario realizar algunas actividades de revisión y verificación de infraestructura en terreno; básicamente dichas actividades consisten en la revisión de válvulas de sectorización y revisión de válvulas de acuartelamiento.

Revisión de válvulas de sectorización: la nueva sectorización obliga a modificar la disposición de válvulas existentes en terreno, es así que es probable que válvulas que actualmente se encuentran abiertas, deban trabajar cerradas o viceversa.

En el esquema siguiente se indica la ubicación de aquellas válvulas que intervienen en la nueva sectorización:

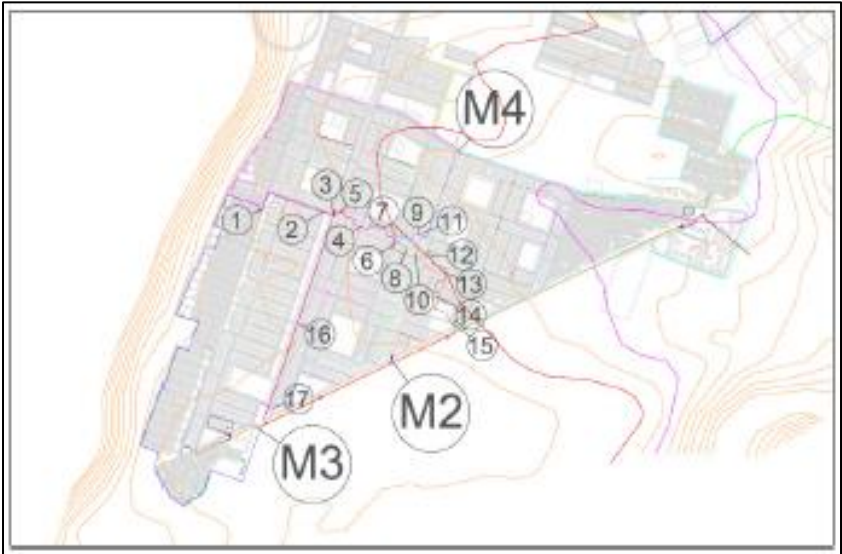


Figura 5. 2 Esquema de válvulas sectorización DMA La Pampa (ADA)

Válvulas de sectorización La Pampa

En la siguiente tabla, las válvulas que aparecen en situación existente deberán ser revisadas a fin de que su situación quede en la posición indicada en la columna de operación para el funcionamiento de la nueva sectorización.

Tabla 5. 5 Situación operativa de válvulas de sectorización La Pampa (ADA)

N°	Válvula	Diámetro	Situación	Operación	Obs
1	Gabriela Mistral con Rio Valdivia	100	Existente	Cerrada	
2	Estados Unidos con Calle Siete	100	Existente	Cerrada	
3	Alemania con Las Américas	100	Proyectada	Cerrada	
4	Alemania con Suiza (N)	100	Existente	Cerrada	
5	Alemania con Las Américas (3121463)	100	Existente	Cerrada	
6	Alemania con Suecia (3114465)	100	Existente	Cerrada	
7	Alemania con Suecia (N)	100	Existente	Cerrada	
8	Alemania con Dinamarca (S)	100	Existente	Cerrada	
9	Gladys Marín con España (P)	100	Existente	Cerrada	
10	Gladys Marín con Alemania (S) 3127141	100	Existente	Cerrada	
11	Gladys Marín con España (N)	100	Existente	Cerrada	
12	Gladys Marín con Alemania (S) 3123721	100	Existente	Cerrada	
13	Barhein con Camboya	100	Existente	Cerrada	
14	Bangladesh con Camboya	100	Existente	Cerrada	
15	Polonia con Kuwait	100	Existente	Cerrada	
16	Las Américas con Calle Ochenta y Cinco	100	Existente	Cerrada	
17	Las Américas con Calle Cinco	100	Existente	Cerrada	

Revisión de válvulas de acuartelamiento: la nueva sectorización obliga a asignar a cada sector de distribución una determinada cantidad de cuarteles con sus respectivos clientes.

Dicha revisión deberá ser cuidadosa en los casos de aquellos cuarteles ubicados en los límites entre sectores.

A manera de ejemplo se muestra el cuartel 6040, el cual se ubica en el límite entre los sectores 1 y 2, y está asignado al sector 2 (según Figura 5. 1), ello significa que su abastecimiento se debe efectuar desde el sector 2. Este cuartel posee seis válvulas de acuartelamiento según se muestra en el siguiente esquema:



Figura 5. 3 Válvulas a revisar en Cuartel 6040 (ADA)

En este caso existen cuatro válvulas que lo separan del sector 1, por lo cual deberán estar cerradas, mientras que una válvula lo conecta al resto de los cuarteles del sector 2 (válvula superior marcada en verde) y finalmente la válvula verde inferior de la Figura 5. 3 conecta a la alimentadora y constituye el ingreso de caudal al sector.

El esquema señala en círculo color rojo las válvulas que deben permanecer cerradas, mientras que en círculo color verde señala las válvulas que deben permanecer abiertas.

Esta sectorización fue planificada a partir de los niveles de pérdidas que posee el DMA de La Pampa, pero en ADA se determinó renovar 16 [kms] de red entre los años 2016-2017 en este DMA, lo que equivale al 50% de la red que posee, por lo cual esta sectorización no fue la definitiva, dividiendo el sector en dos DMA, quedando: S1-S4 y S2-S3.

5.1.2. Sectorización Alto Hospicio

De acuerdo con lo expuesto, la nueva sectorización del sector Alto Hospicio, y que se muestra en el esquema siguiente, requiere de una serie de actividades previas:

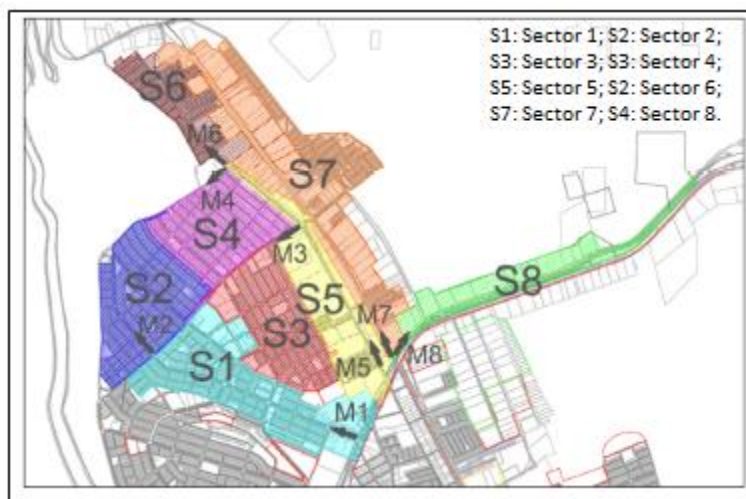


Figura 5. 4 Nueva Sectorización Alto Hospicio (ADA)

Para el funcionamiento de la sectorización y macromedición, será necesario realizar algunas actividades de revisión y verificación de infraestructura en terreno; básicamente dichas actividades consisten en la revisión de válvulas de sectorización y revisión de válvulas de acuartelamiento.

Revisión de válvulas de sectorización

La nueva sectorización obliga a modificar la disposición de válvulas existentes en terreno, es así como es probable que válvulas que actualmente se encuentran abiertas, deban trabajar cerradas o viceversa.

En la Figura 5. 5 se indica la ubicación de aquellas válvulas que intervienen en la nueva sectorización.



Figura 5. 5 Ubicación de Válvulas de sectorización (ADA)

En la tabla siguiente, las válvulas que aparecen en situación existente deberán ser revisadas a fin de que su situación quede en la posición indicada en la columna de Operación para el funcionamiento de la nueva sectorización.

Tabla 5. 6 Situación Operativa de válvulas de sectorización Alto Hospicio (ADA)

N°	Sector	Ubicación Válvula	Diámetro	Situación	Operación	Observación
I	I	Los Cóndores con Ruta A-16	200	Existente	Abierta	
1	I	Esmeralda con Salitrera Iris	100	Existente	Cerrada	
2	I	Los Cóndores con Los Álamos (Bandejón Central)	150	Existente	Cerrada	
3	I	Los Cóndores con Los Álamos (N-O)	75	Existente	Cerrada	
4	I	Salitrera La Noria con Los Álamos	75	Proyectada	Cerrada	
5	I	Tiliviche con Los Álamos	100	Existente	Cerrada	
6	I	Ujina con Los Álamos (Bandejón Central)	100	Existente	Cerrada	
7	I	Ujina con Los Álamos (S-O)	100	Existente	Cerrada	
II	II	Los Cóndores con Los Álamos	200	Existente	Abierta	
8	II	Los Álamos con Cerro Esmeralda (N-O)	150	Existente	Cerrada	
9	II	Los Álamos con Los Mangos (N-O)	100	Existente	Cerrada	
10	II	Los Álamos con Los Tumbos (N-O)	100	Existente	Cerrada	
11	II	Los Pomelos con Los Tumbos	100	Existente	Cerrada	
12	II	Los Guindales con Los Tumbos	100	Existente	Cerrada	
13	II	Chijo con Los Pepinos	100	Existente	Cerrada	
14	II	Los Pepinos con Los Castaños	200	Existente	Cerrada	
III	III	Los Álamos con Los Aromos	150	Existente	Abierta	Válvula Izquierda
15	III	Los Almendros con Los Álamos	200	Proyectada	Cerrada	
16	III	Los Nogales con Los Álamos (N)	160	Existente	Cerrada	
17	IV	Los Pomelos con Los Aromos	100	Existente	Cerrada	
18	IV	Los Guindales con Los Aromos	100	Existente	Cerrada	
19	VI	Las Parcelas con Uno Sur	100	Existente	Cerrada	
VII	VII	Las Parcelas con Ruta A-16 (N-O)	150	Existente	Abierta	
20	VII	Las Parcelas con Los Álamos	200	Existente	Cerrada	
21	VII	Montes Los Olivos con Ruta A-616	100	Existente	Cerrada	
22	VII	Las Parcelas con Ruta A-616	200	Existente	Cerrada	

Revisión de válvulas de acuartelamiento

La sectorización obliga a asignar a cada sector de distribución una determinada cantidad de cuarteles con sus respectivos clientes.

En la Tabla 5. 7 se pueden ver los cuarteles asociados a cada nuevo sector, estos cuarteles deberán ser revisados a fin de constatar que su abastecimiento sea efectuado desde el sector que le ha sido asignado.

Dicha revisión deberá ser cuidadosa en los casos de aquellos cuarteles ubicados en los límites entre sectores. A manera de ejemplo se muestra el cuartel 1080, el cual se ubica en el límite entre los sectores 2 y 4, y está asignado el sector 4, ello significa que su abastecimiento se debe efectuar

desde el sector 4. Este cuartel posee seis válvulas de acuartelamiento según se indica en la siguiente figura:

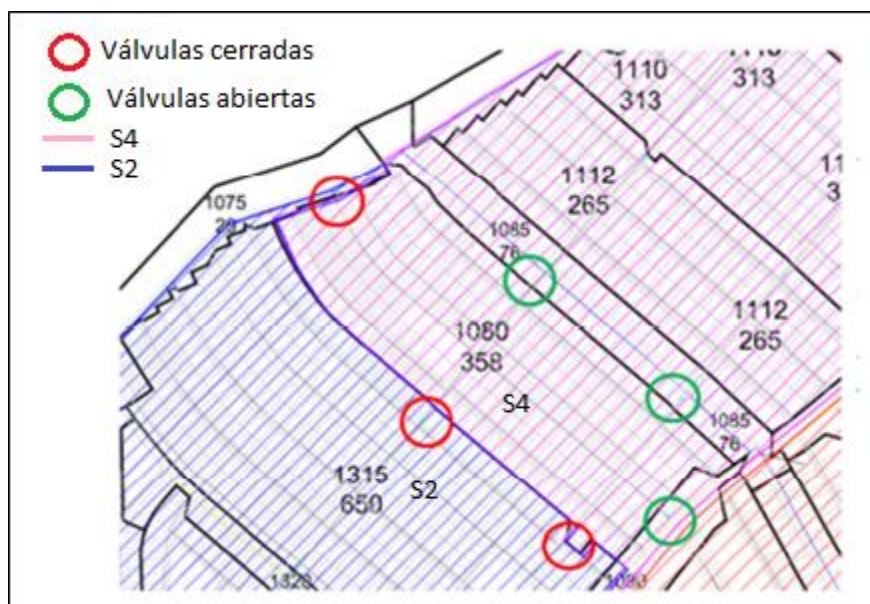


Figura 5. 6 Válvulas a revisar en Cuartel 1080⁸ (ADA; Modificación propia)

En este caso existen tres válvulas que lo separan del sector 2 y por lo cual deberán estar cerradas, mientras que las otras tres válvulas lo separan de otros cuarteles pertenecientes al sector 4 y deberán permanecer abiertas para facilitar el suministro hacia el cuartel 1080 desde el sector 4.

Esta Sectorización no fue la definitiva, dado que hay DMA que son muy pequeños, como es el caso de los Sectores 5 y 8 según Tabla 5. 7.

⁸ El esquema señala en círculo color rojo las válvulas que deben permanecer cerradas, mientras que en círculo color verde señala las válvulas que deben permanecer abiertas.

Tabla 5. 7 Resumen DMA ideal Alto Hospicio (ADA)

Sector	Cuartel	Clientes	Total Clientes
1	1010	3	1561
1	1025	185	
1	1030	331	
1	1040	210	
1	1050	412	
1	1275	33	
1	1280	3	
1	1285	43	
1	1290	11	
1	1300	187	
1	1305	64	
1	1310	69	
1	1330	10	
2	1045	63	1861
2	1055	136	
2	1060	314	
2	1065	317	
2	1070	227	
2	1075	29	
2	1315	646	
2	1320	84	
2	1325	45	
3	1095	806	1168
3	1255	284	
3	1260	78	
4	1080	359	1075
4	1085	76	
4	1090	28	
4	1110	308	
4	1112	265	
4	1115	39	
5	1100	159	397
5	1105	9	
5	1135	68	
5	1150	161	
6	1120	320	924
6	1125	437	
6	1230	63	
6	1235	67	
6	1240	37	
7	1130	10	1340
7	1140	112	
7	1145	130	
7	1155	166	
7	1190	166	
7	1200	46	
7	1205	60	
7	1210	22	
7	1215	22	
7	1220	23	
7	1225	12	
7	1335	129	
7	1340	195	
7	1345	247	
8	1185	20	20

Finalmente se unieron los sectores 5-6 y 7-8, debido a que tenían muy pocos clientes por DMA, quedando de la siguiente forma:

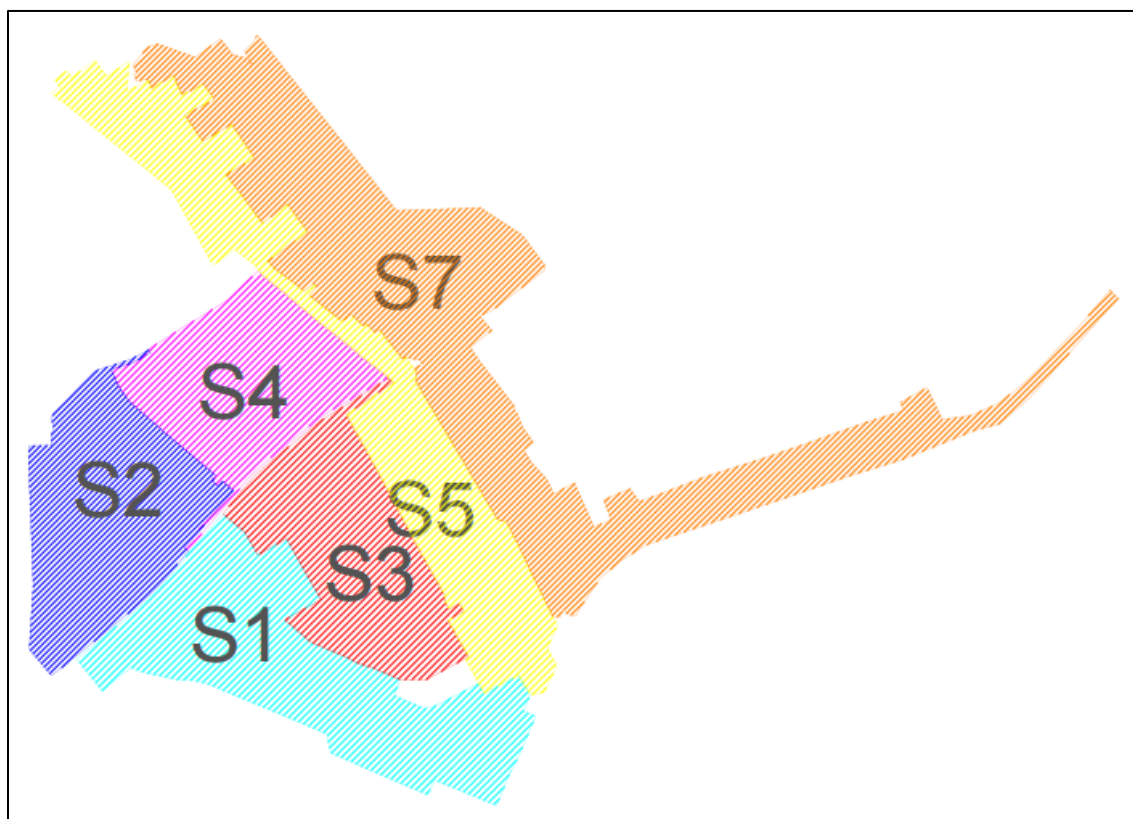


Figura 5. 7 Sectorización definitiva DMA Alto Hospicio (ADA)

5.2. Medición de DMA

Alto Hospicio cuenta con 8 DMA, todos tienen medición de caudal a partir de septiembre de 2015, donde se incorporó el DMA de Santa Teresa, alcanzando una cobertura del 100%. Para determinar si estos DMA están midiendo de manera adecuada, es decir, si es que los DMA son herméticos, es necesario realizar una prueba de estanqueidad.

Dicha prueba se debe realizar durante la noche, esto con el fin de interrumpir lo menos posible el consumo del cliente. Como se describió en el subcapítulo 2.2.2.2, página 14, los límites de DMA deben evaluarse mediante la realización de una "prueba de presión 0". Durante este ensayo, la presión se deja caer dentro del DMA con el funcionamiento de la válvula o VRP y se controla el flujo de entrada hacia el futuro DMA. Estas pruebas deben llevarse a cabo durante el período de caudal mínimo nocturno entre la 1:00 y las 4:00 horas con el fin de evitar la interrupción del consumo de clientes que generaría reclamos. Los pasos de reducción de la presión deben llegar hasta el nivel de presión donde se establece la presión mínima requerida en el punto de presión zona crítica. A fin de supervisar si el DMA es hidráulicamente hermético o no, varios medidores de presión necesitan ser instalados fuera de los límites de DMA antes de la prueba.

5.2.1. Estanqueidad Autoconstrucción

Para poder realizar la prueba de estanqueidad en el DMA Autoconstrucción es necesario cerrar o verificar que están cerradas las válvulas de frontera (círculos de color naranja) señaladas en la Figura 5. 8.

Una vez revisadas las válvulas de frontera, se procede a cerrar la válvula de entrada al DMA (círculo negro) señaladas en la Figura 5. 8 y medir la presión en los grifos (círculos de color verde, amarillo y café). Es necesario señalar que los círculos de color verde, amarillo y café que se muestran en la Figura 5. 8 son los grifos por analizar, donde el grifo con un círculo de color café se encuentra en la zona más desfavorable, debido a que es el punto más alto del sector, teniendo menor presión, mientras que el círculo de color verde es el punto más favorable, es decir, punto más bajo donde la presión en ese punto puede demorar en llegar a cero o simplemente no llegar.

A continuación, se muestran los resultados de la “prueba de presión 0”:

Tabla 5. 8 Resultados de prueba de presión 0 en DMA Autoconstrucción (Elaboración propia)

Grifo	Ubicación	Cota	Antes		Después	
			Hora	Presión (m.c.a)	Hora	Presión (m.c.a)
Desfavorable	Calle treita y dos con Suecia	525-530	3:05:00 AM	21	3:20:00 AM	0
Intermedio	Calle treinta y seis con Las Americas	520-525	3:10:00 AM	27	3:25:00 AM	0
Favorable	Gabriela Mistral con Republica Dominicana	515-520	3:15:00 AM	33	3:30:00 AM	4

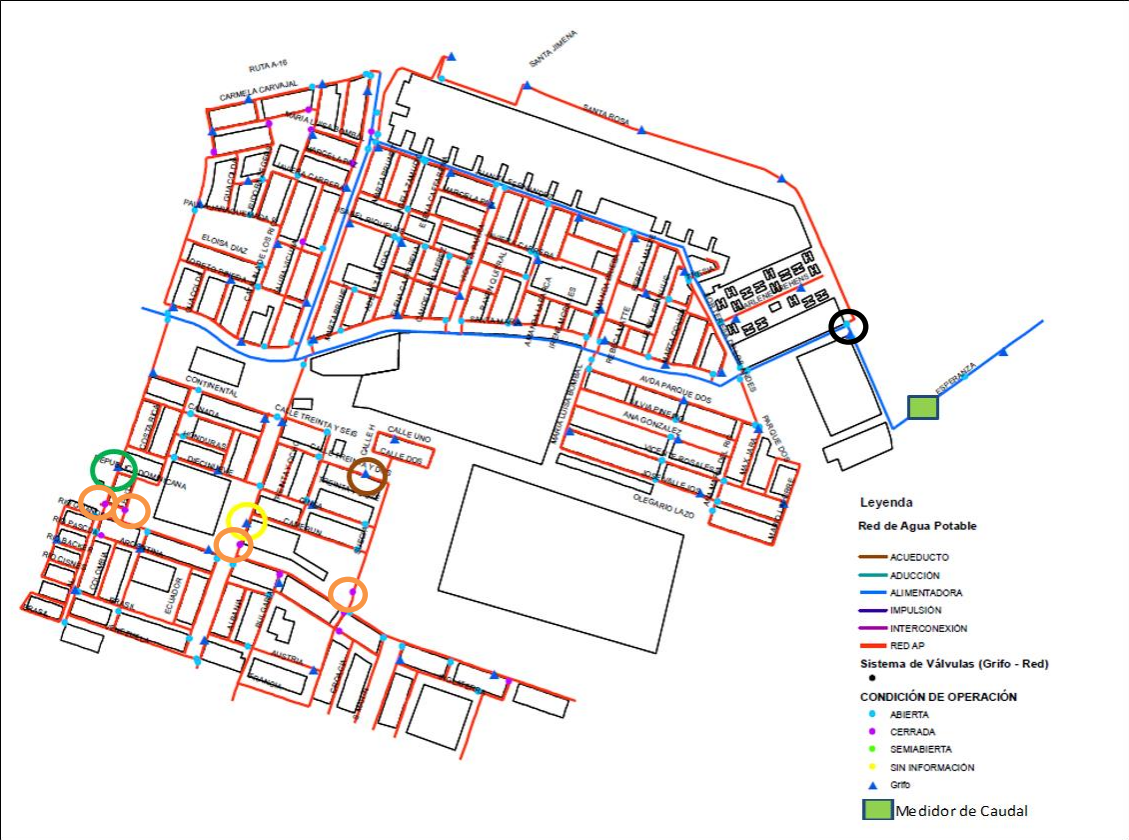


Figura 5. 8 Prueba de Estanqueidad en DMA Autoconstrucción⁹ (ADA; Modificación propia)

5.2.2. Estanqueidad El Boro 2

Para poder realizar la prueba de estanqueidad en el DMA EL Boro 2 es necesario cerrar o verificar que están cerradas las válvulas de frontera (círculos de color naranja) señaladas en la Figura 5. 9.

Una vez revisadas las válvulas de frontera, se procede a cerrar la válvula de entrada al DMA (círculo negro) señaladas en la Figura 5. 9 y medir la presión en los grifos (círculos de color verde, amarillo y café).

A continuación, se muestran los resultados de la “prueba de presión 0”:

Tabla 5. 9 Resultados de prueba de presión 0 en DMA El boro 2 (Elaboración propia)

Grifo	Ubicación	Cota	Antes		Después	
			Hora	Presión	Hora	Presión
Desfavorable	Calle treita y dos con Suecia	560-565	3:05:00 AM	28	3:20:00 AM	0
Intermedio	Calle treinta y seis con Las Americas	550-555	3:10:00 AM	37	3:25:00 AM	0
Favorable	Gabriela Mistral con Republica Dominicana	545-550	3:15:00 AM	44	3:30:00 AM	0

⁹Círculo de color naranja son las válvulas de frontera que deben permanecer cerradas.
Círculo de color negro es la válvula de entrada al DMA
Círculos color verde, amarillo y café señalan los grifos a los cuales se debe realizar la “prueba de presión 0”.

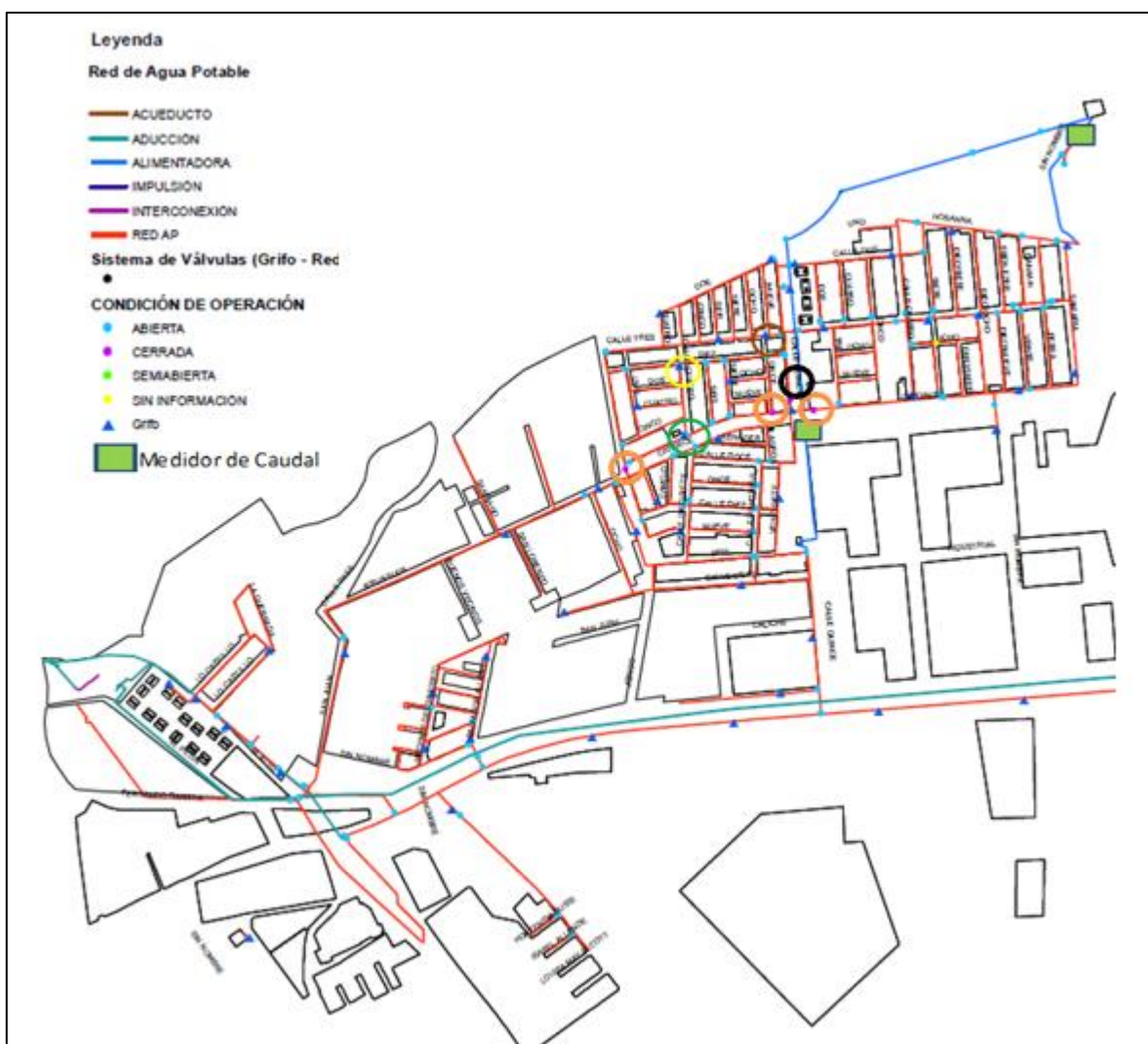


Figura 5. 9 Prueba de Estanqueidad en DMA El Boro 2¹⁰ (ADA; Modificación propia)

¹⁰Círculo de color naranja son las válvulas de frontera que deben permanecer cerradas.

Círculo de color negro es la válvula de entrada al DMA

Círculos color verde, amarillo y café señalan los grifos a los cuales se debe realizar la “prueba de presión 0”.

5.2.3. Estanqueidad La Tortuga

Para poder realizar la prueba de estanqueidad en el DMA La Tortuga es necesario cerrar o verificar que están cerradas las válvulas de frontera (círculos de color naranja) señaladas en la Figura 5. 11.

Una vez revisadas las válvulas de frontera, se procede a cerrar la válvula de entrada al DMA (círculo negro) señaladas en la Figura 5. 11 y medir la presión en los grifos (círculos de color verde, amarillo y café).

A continuación, se muestran los resultados de la “prueba de presión 0”:

Tabla 5. 10 Resultados de prueba de presión 0 en DMA El boro 2 (Elaboración propia)

Grifo	Ubicación	Cota	Antes		Después	
			Hora	Presión	Hora	Presión
Desfavorable	Calle treita y dos con Suecia	560-565	3:05:00 AM	28	3:20:00 AM	0
Intermedio	Calle treinta y seis con Las Americas	550-555	3:10:00 AM	37	3:25:00 AM	0
Favorable	Gabriela Mistral con Republica Dominicana	545-550	3:15:00 AM	44	3:30:00 AM	0

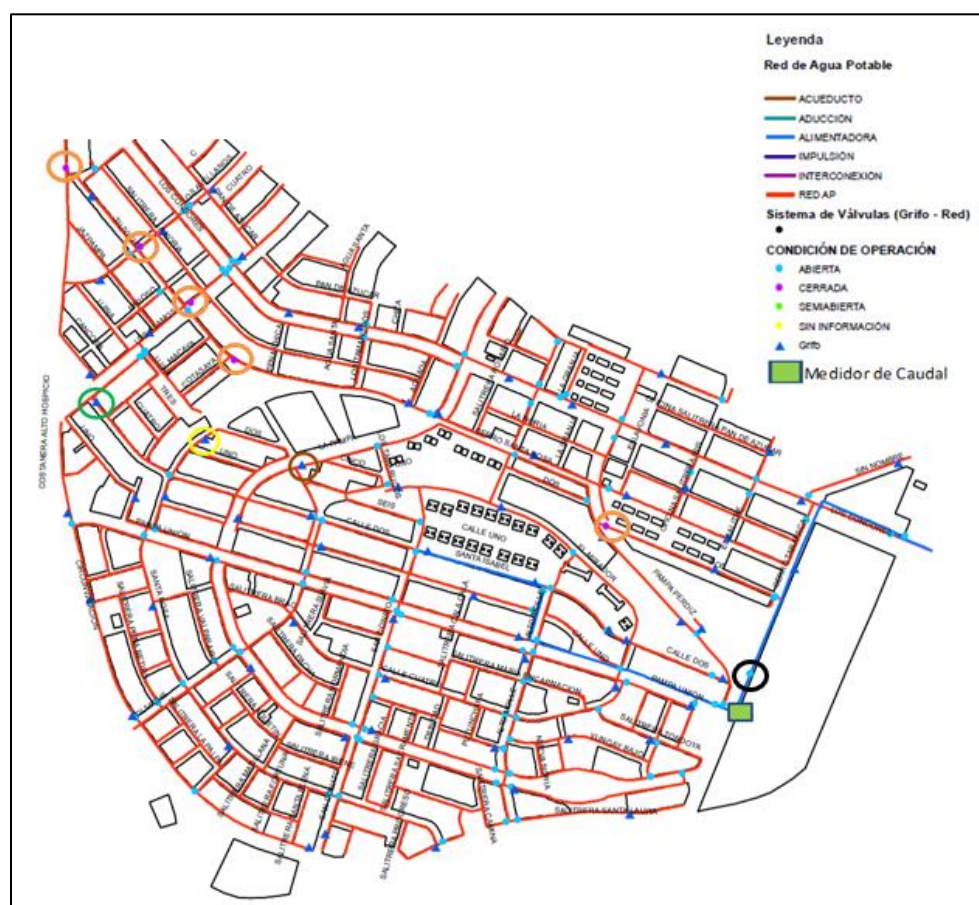


Figura 5. 11 Prueba de Estanqueidad en DMA La Tortuga¹² (ADA; Modificación propia)

¹² Círculo de color naranja son las válvulas de frontera que deben permanecer cerradas.

5.3. Telelectura actual y futura

Como se menciona en el capítulo 5.2 Alto Hospicio tiene 8 DMAs con medición de caudal a partir de septiembre de 2015. Estos 8 DMAs tienen telelectura mediante medidores Mag8000 con conexión GPRS, cuya transmisión es cada 24 horas. Mediante la implementación de los nuevos DMAs se pretende llegar a 15 medidores de caudal dentro de los DMAs.

Además, como se observa en la Figura 3. 5 página 36, existe medición de telelectura de las alimentadoras antes de llegar a los DMAs, los cuales son tres: Alimentadora La Tortuga, Alimentadora Alto Hospicio y Alimentadora La Pampa, las cuales provienen del estanque Santa Rosa.

5.4. Integración a Monitor

Para integrar a Monitor la medición de caudal primero es necesario determinar de qué manera se realizará la medición, ya sea real o virtual.

Medición real: medición de caudal que se puede obtener directamente de los datos transmitidos por el medidor con telelectura.

Medición virtual: medición de caudal que se puede obtener de dos maneras distintas; sumando y restando caudales de dos o más medidores de caudal. Esto se produce en los siguientes casos:

- DMA con dos o más tuberías de abastecimiento, por lo que se deben sumar los caudales de entrada al DMA.
- DMA que abastece a otro DMA, por lo que se debe restar el caudal de salida del DMA.

Teniendo esta definición y a partir de la Figura 3. 5 página 36, se puede determinar cuántos DMAs tienen medición real y virtual. Para este análisis se asociará la integración a Monitor antes y después de reducir el tamaño de los DMAs.

Tabla 5. 11 Integración a Monitor antes de Reducir los DMAs (Elaboración propia)

Localidad	Estanque	DMA	Clientes	integrado	Medidor
Alto Hospicio	La Pampa	La Pampa	6.272	SI	Real
Alto Hospicio	Alto Hospicio	Autoconstrucción	1.840	SI	Real
Alto Hospicio	Alto Hospicio	La Negra	1.641	SI	Real
Alto Hospicio	Alto Hospicio	Santa Teresa	1.211	SI	Real
Alto Hospicio	Alto Hospicio	La Tortuga	3.685	SI	Real
Alto Hospicio	Alto Hospicio	Alto Hospicio	10.966	SI	Virtual
Alto Hospicio	Alto Hospicio	EL Boro 1	1.312	SI	Virtual
Alto Hospicio	Alto Hospicio	El Boro 2	251	SI	Real

Círculo de color negro es la válvula de entrada al DMA

Círculos color verde, amarillo y café señalan los grifos a los cuales se debe realizar la “prueba de presión 0”.

Se espera que con la nueva sectorización que se realizará se llegue a la siguiente situación:

Tabla 5. 12 Resumen 1 DMAs ideales Alto Hospicio (Elaboración propia)

Localidad	Estanque	DMA	Clientes	Integrado	Nuevo DMA	Medidor	Observación
Alto Hospicio	La Pampa	La Pampa	6.272	SI		Virtual	(Quedará con 3647 clientes)
Alto Hospicio	La Pampa	La Pampa 2	0		SI	Real	Instalación de medidor con Telemetría (GPRS) (2625 clientes)
Alto Hospicio	Alto Hospicio	Autoconstrucción	1.840	SI		Real	
Alto Hospicio	Alto Hospicio	La Negra	1.641	SI		Real	
Alto Hospicio	Alto Hospicio	Santa Teresa	1.211	SI		Real	
Alto Hospicio	Alto Hospicio	La Tortuga	3.685	SI		Real	
Alto Hospicio	Alto Hospicio	Alto Hospicio	10.966	SI		Virtual	(Quedará con 1561 clientes)
Alto Hospicio	Alto Hospicio	Alto Hospicio 1	0		SI	Virtual	Instalación de medidor con Telemetría (GPRS) (1861 clientes)
Alto Hospicio	Alto Hospicio	Alto Hospicio 2	0		SI	Real	Instalación de medidor con Telemetría (GPRS) (1168 clientes)
Alto Hospicio	Alto Hospicio	Alto Hospicio 3	0		SI	Real	Instalación de medidor con Telemetría (GPRS) (1075 clientes)
Alto Hospicio	Alto Hospicio	Alto Hospicio 4	0		SI	Real	Instalación de medidor con Telemetría (GPRS) (1321 clientes)
Alto Hospicio	Alto Hospicio	Alto Hospicio 5	0		SI	Real	Instalación de medidor con Telemetría (GPRS) (1360 clientes)
Alto Hospicio	Alto Hospicio	Alto Hospicio 6	0		SI	Real	Instalación de medidor con Telemetría (GPRS) (2620 clientes)
Alto Hospicio	Alto Hospicio	EL Boro 1	1.312	SI		Virtual	
Alto Hospicio	Alto Hospicio	El Boro 2	251	SI		Real	

5.5. Resumen

En la siguiente tabla se expone resumidamente la situación ideal de DMAs en Alto Hospicio para que Monitor funcione de manera más eficiente.

Tabla 5. 13 Resumen 2 DMAs ideal Alto Hospicio (Elaboración propia)

ITEM	Localidad
Empresa: AGUAS DEL ALTIPLANO	Alto Hospicio
Cantidad de Clientes Totales	27.178
N° DMA Totales en Sectores Críticos	8
Cantidad de Clientes en DMA en Sectores Críticos	27.178
Tasa de clientes/ DMA críticos	3.397
% clientes considerados en sectores críticos	100%
RESUMEN	
N° DMA Totales Existentes en sectores críticos	8
N° DMA Totales en Desarrollo Nuevos en sectores críticos	7
N° DMA Totales Proyectados Nuevos en sectores críticos	0
Cobertura DMA existentes	100%
Cobertura de Integración (DMA) a Monitor	100%
DMA EXISTENTES	8
Sin medición	0
Con medición	8
Sin telemetría	0
Con telemetría	8
Integrado a Monitor	8
DMA EN DESARROLLO año 2015	7
Mejoras DMA existentes (medición e integración)	0
Nuevos DMA	7
DMA PROYECTADOS 2016	0
Mejoras DMA existentes	0
Nuevos DMA	0
Integración a Monitor	8
N° DMA con Medición sin Telemetría	0
N° DMA con Medición con Telemetría	8
N° DMA con Medición, telemetría e integrados a Monitor	8

5.6. Seguimiento y control

Para poder aplicar esta tecnología se deben realizar actividades de seguimiento y control del software Monitor y del trabajo en terreno. Es por esto que se requiere definir cuál será el recurso humano necesario para reducir las pérdidas. Para ello es prioridad determinar en que DMA es posible obtener eficientes ganancias operativas

Durante la ejecución del plan y con el sistema de evaluación de desempeño, los sistemas serán monitoreados y algunas actividades pueden cambiar

Al generarse una alarma en Monitor el zonal debe atender de forma inmediata, con la información que se maneje en terreno, donde debe responder las siguientes preguntas:

¿Hubo algún cambio de zona?, ¿Hubo algún desajuste de VRP?, ¿Hubo alguna rotura importante?, ¿Hubo alguna otra razón?

Luego de que el zonal haya informado de la situación ocurrida y esta no haya sido alguna situación conocida, es necesario realizar trabajo en terreno.

Además, como se definió en los puntos anteriores es necesario realizar actividades para definir nuevos DMAs y a la vez realizar la validación de los DMAs. Se determinó que las cuadrillas (2 inspectores) disponibles para realizar estas tareas, junto con la detección acústica fueran las siguientes:

Tabla 5. 14 Cuadrillas necesarias (ADA)

ID	Actividad	Cuadrillas (No.)
		Alto Hospicio
ACT 1	Sectorización de la red	
ACT1.1	Definir nuevos macrocuarteles (DMA) ⁽¹⁾	1
ACT1.2	validación de los DMA (trabajo en terreno) ⁽¹⁾	
ACT 2	Control Activo de fugas	
ACT 2.1	sub- zonificación de los DMA	n.a.
ACT 2.2a	Detección acústica – recorrido completo /inspecciones	1
¹⁾ ACT 2.2b	Detección acústica – eventos generados por Monitor	1
ACT 2.3c	Detección acústica – recorrido permanente/ inspección	
TOTAL		3

(1) Actividades que puede realizar el zonal

ADA definió por condiciones económicas que el zonal de Alto Hospicio, el cual es el encargado de la reparación de roturas de Alto Hospicio, se encargue de realizar la sectorización de la red.

VI: RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA PROPUESTA POR AGS EN ALTO HOSPICIO

6.1. GENERAL

Durante 7 meses, desde Abril a Octubre del 2015, se aplicó esta nueva tecnología en el sector piloto de Alto Hospicio, donde Monitor generó 106 eventos, los cuales dieron a conocer el comportamiento y estado de la red en la cual se encuentra la ciudad de Alto Hospicio. Además, se obtuvo un reporte por DMA, para analizar el tipo de falencia que tiene cada DMA. Se analizaron los tiempos de respuesta, tasa de hallazgos con y sin Monitor.

6.2. Reporte de Alarmas Monitor

6.2.1. La Pampa

Tabla 6. 1 Eventos de Monitor en el DMA La Pampa entre Abril- Octubre del 2015 (Elaboración propia)

La Pampa		Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Total
Total	Un°	0	1	1	1	3	1	1	8
Eventos Generados	N°	0	1	1	1	3	1	1	8
Eventos Cerrados	N°	0	0	0	0	1	0	0	1
Aumento de caudal	N°	0	0	0	0	1	0	0	1
Eventos Atendidos	N°	0	1	1	1	2	1	1	7
Falla de Medidor	N°	0	1	0	0	0	0	0	1
Falla de Lectura	N°	0	0	0	1	0	0	0	1
Trabajo de Mantenimiento	N°	0	0	1	0	0	0	0	1
Fuga	N°	0	0	0	0	1	1	0	2
Rotura Media	N°	0	0	0	0	1	0	1	2
Rotura Grande	N°	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumo ilegal	N°	0	0	0	0	0	0	0	0
Desajuste de VRP	N°	0	0	0	0	0	0	0	0
Cambio de Zona	N°	0	0	0	0	0	0	0	0
Rebose en Estanque	N°	0	0	0	0	0	0	0	0
% Eventos Cerrados	%	0	0,00%	0,00%	0,00%	33,33%	0,00%	0,00%	12,50%
% Eventos Atendidos	%	0	100,00%	100,00%	100,00%	66,67%	100,00%	100,00%	87,50%
Tiempo de eventos cerrados	días	0	0	0	0	0,18	0	0	0,18
Tiempo de eventos atendidos	días	0	176,94	0,45	0,11	1,25	16,00	0,65	28,09
% Eventos Pendientes	%	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Eventos Pendientes	N°	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos en Evaluación	N°	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos Abiertos	N°	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos con Trabajo en Terreno	N°	0	0	0	0	0	0	0	0

Como se puede observar en la Tabla 6. 1 , en este DMA no se producen grandes eventos, solo 2 casos de fugas son generadas por alarmas de Monitor, por lo cual no hay información suficiente para analizar y diagnosticar una falla en el DMA.

6.2.2. Autoconstrucción

Tabla 6. 2 Eventos de Monitor en el DMA Autoconstrucción entre Abril- Octubre del 2015 (Elaboración propia)

Autoconstrucción									
Total	Un	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Total
Eventos Generados	Nº	3	4	12	2	3	2	1	27
Eventos Cerrados	Nº	1	0	7	0	0	0	1	9
Aumento de caudal	Nº	1	0	7	0	0	0	1	9
Eventos Atendidos	Nº	2	4	5	2	3	2	0	18
Falla de Medidor	Nº	0	0	1	1	1	1	0	4
Falla de Lectura	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Trabajo de Mantenimiento	Nº	0	1	3	0	0	1	0	5
Fuga	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotura Media	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotura Grande	Nº	0	0	0	1	0	0	0	1
Consumo ilegal	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Desajuste de VRP	Nº	2	3	1	0	2	0	0	8
Cambio de Zona	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Rebose en Estanque	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
% Eventos Cerrados	%	33,33%	0,00%	58,33%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	33,33%
% Eventos Atendidos	%	66,67%	100,00%	41,67%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	66,67%
Tiempo de eventos cerrados	días	0,26	0	0,33	0	0	0	0,07	0,29
Tiempo de eventos atendidos	días	1,17	0,57	3,23	5,71	5,16	1,59	0	2,83
% Eventos Pendientes	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Eventos Pendientes	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos en Evaluación	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos Abiertos	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos con Trabajo en Terreno	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0

Como se puede observar en la Tabla 6. 2, en este DMA se producen muchos desajustes de VRP (ocho), por lo cual es necesario determinar las pérdidas de AP cuando no regula la VRP. Para obtener el ANF, se debe utilizar la EC 2.2, página 10, que relaciona la presión inicial y ajustada, con el caudal inicial y ajustado. Al hacer esta relación, se puede determinar la cantidad de volumen perdido, comparando el caudal mínimo nocturno histórico y el caudal mínimo nocturno al no regular la VRP. A continuación, se determinan las pérdidas de AP al no regular la VRP:

Tabla 6. 3 Eventos de Monitor en el DMA Autoconstrucción entre Abril- Octubre del 2015 que no regularon VRP¹³ (Elaboración propia)

DMA	Inicio			Fin			Cálculos		
	Fecha	$L_0(l/s)$	$P_0(m)$	Fecha	$L_1(l/s)$	$P_1(m)$	P_1/P_0	L_1/L_0	α
Autoconstrucción	25-abr	21,4	34,3	28-abr	12,4	17,6	0,51	0,58	1,22
Autoconstrucción	29-abr	20,8	34,1	30-abr	12	18,7	0,55	0,58	1,09
Autoconstrucción	06-may	23,7	33,5	07-may	14,5	17,4	0,52	0,61	1,33
Autoconstrucción	21-may	22,8	33,9	24-may	12,4	18,7	0,55	0,54	0,98
Autoconstrucción	02-jun	22,6	25,7	17-jun	13,1	17,6	0,68	0,58	0,69
Autoconstrucción	22-ago	19,5	38,6	25-ago	9,6	15	0,39	0,49	1,33
Autoconstrucción	29-ago	18,7	37	03-sep	9,6	14,6	0,39	0,51	1,39
Promedio									1,15

Donde α , es el factor que relaciona el caudal de fuga con la presión.

A partir del valor obtenido de α y teniendo en cuenta que el DMA Autoconstrucción tuvo durante el mes de septiembre un $Q_{mín}$ de 7,53 [l/s], ver Tabla 6. 6, se puede determinar cuánto caudal extra se pierde cada vez que la VRP no regula.

¹³ Se utilizaron siete casos debido a que el evento que se produjo a fines de mayo se prolongó, generando dos eventos los cuales se superponen.

Tabla 6. 4 Caudal, volumen y dinero perdido al no regular VRP Valor (Elaboración propia)

Q _{mín}	L ₁ (l/s)	P ₁ (m)	P ₀ (m)	L _{1per} (l/s)	L _{oper} (l/s)	Vol perdido (m ³)	Dinero perdido
7,53	12,40	17,60	34,30	4,87	10,49	906,14	\$ 792.872
7,53	12,00	18,70	34,10	4,47	8,92	770,52	\$ 224.735
7,53	14,50	17,40	33,50	6,97	14,80	1278,86	\$ 373.000
7,53	12,40	18,70	33,90	4,87	9,65	833,81	\$ 729.586
7,53	13,10	17,60	25,70	5,57	8,61	743,70	\$ 3.253.687
7,53	9,60	15,00	38,60	2,07	6,14	530,17	\$ 463.902
7,53	9,60	14,60	37,00	2,07	6,03	520,93	\$ 759.683
						Total	\$ 6.597.464

Teniendo en cuenta que el valor del m³ en ADA es de mil pesos aproximadamente a octubre del 2015.

Tabla 6. 5 Estadísticas del DMA Autoconstrucción durante septiembre del 2015 (Monitor)

Statistics	
Min (P5)	7.53 lps
Med (P50)	8.10 lps
Max (P95)	11.74 lps
Min/Med	0.93
Duration	31d
Missing data	--

6.2.3. La Negra

Tabla 6. 6 Eventos de Monitor en el DMA La Negra entre Abril- Octubre del 2015 (Elaboración propia)

La Negra		Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Total
Total	Un	2	2	2	1	1	1	1	10
Eventos Generados	N°	2	2	2	1	1	1	1	10
Eventos Cerrados	N°	0	1	1	0	0	0	0	2
Aumento de caudal	N°	0	1	1	0	0	0	0	2
Eventos Atendidos	N°	2	1	1	1	1	1	1	8
Falla de Medidor	N°	0	0	0	1	1	1	0	3
Falla de Lectura	N°	0	0	0	0	0	0	0	0
Trabajo de Mantenimiento	N°	2	0	0	0	0	0	0	2
Fuga	N°	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotura Media	N°	0	1	0	0	0	0	0	1
Rotura Grande	N°	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumo ilegal	N°	0	0	0	0	0	0	1	1
Desajuste de VRP	N°	0	0	1	0	0	0	0	1
Cambio de Zona	N°	0	0	0	0	0	0	0	0
Rebose en Estanque	N°	0	0	0	0	0	0	0	0
% Eventos Cerrados	%	0,00%	50,00%	50,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	20,00%
% Eventos Atendidos	%	100,00%	50,00%	50,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	80,00%
Tiempo de eventos cerrados	días	0	0,08	3,00	0	0	0	0	1,54
Tiempo de eventos atendidos	días	0,16	0,29	2,32	11,37	10,20	1,01	0,11	3,20
% Eventos Pendientes	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Eventos Pendientes	N°	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos en Evaluación	N°	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos Abiertos	N°	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos con Trabajo en Terreno	N°	0	0	0	0	0	0	0	0

En este DMA, no se generó una gran cantidad de eventos, por lo que no es posible realizar mayor análisis.

6.2.4. La Tortuga

Tabla 6. 7 Eventos de Monitor en el DMA La Tortuga entre Abril- Octubre del 2015 (Elaboración propia)

La Tortuga		Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Total
Total	Un								
Eventos Generados	Nº	2	0	4	3	1	4	0	14
Eventos Cerrados	Nº	0	0	2	0	0	2	0	5
Aumento de caudal	Nº	0	0	2	0	0	3	0	5
Eventos Atendidos	Nº	2	0	2	3	1	1	0	9
Falla de Medidor	Nº	0	0	0	1	1	1	0	3
Falla de Lectura	Nº	0	0	0	1	0	0	0	1
Trabajo de Mantenimiento	Nº	1	0	2	1	0	0	0	4
Fuga	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotura Media	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotura Grande	Nº	1	0	0	0	0	0	0	1
Consumo ilegal	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Desajuste de VRP	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Cambio de Zona	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Rebose en Estanque	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
% Eventos Cerrados	%	0,00%	0	50,00%	0,00%	0,00%	75,00%	0	35,71%
% Eventos Atendidos	%	100,00%	0	50,00%	100,00%	100,00%	25,00%	0	64,29%
Tiempo de eventos cerrados	días	0	0	1,10	0	0	0,15	0	0,53
Tiempo de eventos atendidos	días	0,10	0	0,21	4,04	10,22	1,01	0	2,66
% Eventos Pendientes	%	0,00%	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0	0,00%
Eventos Pendientes	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos en Evaluación	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos Abiertos	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos con Trabajo en Terreno	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0

En este DMA, no se generó una gran cantidad de eventos, pero es necesario destacar que hubo 5 eventos que no pudieron ser categorizados, los cuales pueden ser posibles robos de agua.

6.2.5. Alto Hospicio

Tabla 6. 8 Eventos de Monitor en el DMA Alto Hospicio entre Abril- Octubre del 2015 (Elaboración propia)

Alto Hospicio		Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Total
Total	Un								
Eventos Generados	Nº	0	0	9	1	1	2	6	19
Eventos Cerrados	Nº	0	0	3	0	0	0	1	4
Aumento de caudal	Nº	0	0	3	0	0	0	1	4
Eventos Atendidos	Nº	0	0	6	1	1	2	5	15
Falla de Medidor	Nº	0	0	1	1	1	2	0	5
Falla de Lectura	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Trabajo de Mantenimiento	Nº	0	0	3	0	0	0	0	3
Fuga	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotura Media	Nº	0	0	0	0	0	0	1	1
Rotura Grande	Nº	0	0	1	0	0	0	0	1
Consumo ilegal	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Desajuste de VRP	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Cambio de Zona	Nº	0	0	1	0	0	0	0	1
Rebose en Estanque	Nº	0	0	0	0	0	0	4	4
% Eventos Cerrados	%	0	0	33,33%	0,00%	0,00%	0,00%	16,67%	21,05%
% Eventos Atendidos	%	0	0	66,67%	100,00%	100,00%	100,00%	83,33%	78,95%
Tiempo de eventos cerrados	días	0	0	0,26	0	0	0	0,05	0,21
Tiempo de eventos atendidos	días	0	0	1,17	11,32	10,16	2,02	0,14	2,22
% Eventos Pendientes	%	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Eventos Pendientes	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos en Evaluación	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos Abiertos	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos con Trabajo en Terreno	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0

Como se puede observar en la Tabla 6. 9, en este DMA se producen reboses de estanque, esto se debe a que el medidor contabiliza la llegada al Estanque El Boro como se muestra en la Figura 3. 5, página 36, sector de medición AH-SR2.2 Alto Hospicio. A continuación, en Figura 6. 1 se muestra el volumen de pérdida que determina Monitor respecto de su caudal histórico:

By assignee	☐ show chart	By status	☐ show chart	By category	☐ show chart
Events	%	Events	%	Events	%
Gary Meneses	4	100%	Closed	4	100%
				Tank overflow	4
					100%
By volume (L)	☐ show chart	By maximum value (lps)	☐ show chart	By duration (min)	☐ show chart
Events	%	Events	%	Events	%
100<150	1	25%	10<50	4	100%
150<250	2	50%		100<150	1
250<500	1	25%		150<250	1
				250<500	2
					50%
By color code	☐ show chart	By zone	☐ show chart	Volume by zone (L)	☐ show chart
Events	%	Events	%	Volume	%
red	4	100%	AH-SR2.2 (Alto Hospicio)	4	100%
				AH-SR2.2 (Alto Hospicio)	924
					100%
Volume by meter (L)	☐ show chart				
Volume	%				
AHO13_V Alto Hospicio	924	100%			

Figura 6. 1 Reporte de reboses de estanque en el DMA Alto Hospicio (Monitor; Modificación propia)

Se puede observar en la Figura 6. 1, que en los eventos 4 categorizados como rebose de estanque, el volumen perdido fue de 924 [l], cuya pérdida de caudal por evento se muestra a continuación:

Tabla 6. 9 Volumen por Reboso de estanque EL Boro (Elaboración propia)

Fecha	duración	Volumen [l]
03-oct	6:15	359
05-oct	4:15	221,6
14-oct	1:45	139
18-oct	2:45	205,1
Total		924,7

6.2.6. EL Boro 1

Tabla 6. 10 Eventos de Monitor en el DMA El boro 1 entre Abril- Octubre del 2015 (Elaboración propia)

El Boro 1									
Total	Un	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Total
Eventos Generados	Nº	2	4	3	5	1	1	0	16
Eventos Cerrados	Nº	0	3	2	4	0	0	0	9
Aumento de caudal	Nº	0	3	2	4	0	0	0	9
Eventos Atendidos	Nº	2	1	1	1	1	1	0	7
Falla de Medidor	Nº	0	0	0	1	1	1	0	3
Falla de Lectura	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Trabajo de Mantenimiento	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Fuga	Nº	0	0	1	0	0	0	0	1
Rotura Media	Nº	1	1	0	0	0	0	0	2
Rotura Grande	Nº	1	0	0	0	0	0	0	1
Consumo ilegal	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Desajuste de VRP	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Cambio de Zona	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Rebose en Estanque	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
% Eventos Cerrados	%	0,00%	75,00%	66,67%	80,00%	0,00%	0,00%	0	56,25%
% Eventos Atendidos	%	100,00%	25,00%	33,33%	20,00%	100,00%	100,00%	0	43,75%
Tiempo de eventos cerrados	días	0	1,82	1,00	0,55	0	0	0	1,07
Tiempo de eventos atendidos	días	0,07	7,97	32,00	41,92	10,07	2,94	0	13,58
% Eventos Pendientes	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0	0,00%
Eventos Pendientes	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos en Evaluación	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos Abiertos	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos con Trabajo en Terreno	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0

En este DMA, se generaron varios eventos que no se pudieron asignar a ninguna categoría, según categorización mostrada en la Figura 4. 18 página 63, teniendo que ser cerrados como aumento de

caudal. Estos aumentos de caudal pueden tener relación con consumo ilegal, lo cual es difícil de detectar, puesto que se debe tener información en terreno.

6.2.7. EL Boro 2

Tabla 6. 11 Eventos de Monitor en el DMA El boro 2 entre Abril- Octubre del 2015 (Elaboración propia)

El Boro 2		Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Total
Total	Un								
Eventos Generados	Nº	0	0	5	2	2	1	2	12
Eventos Cerrados	Nº	0	0	3	0	0	0	1	4
Aumento de caudal	Nº	0	0	3	0	0	0	1	4
Eventos Atendidos	Nº	0	0	2	2	2	1	1	8
Falla de Medidor	Nº	0	0	0	1	1	1	0	3
Falla de Lectura	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Trabajo de Mantenimiento	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Fuga	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotura Media	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotura Grande	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumo ilegal	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Desajuste de VRP	Nº	0	0	2	1	1	0	1	5
Cambio de Zona	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Rebose en Estanque	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
% Eventos Cerrados	%	0	0	60,00%	0,00%	0,00%	0,00%	50,00%	33,33%
% Eventos Atendidos	%	0	0	40,00%	100,00%	100,00%	100,00%	50,00%	66,67%
Tiempo de eventos cerrados	días	0	0	1,01	0	0	0	3,96	1,75
Tiempo de eventos atendidos	días	0	0	8,50	8,17	5,34	1,01	0,33	5,67
% Eventos Pendientes	%	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Eventos Pendientes	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos en Evaluación	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos Abiertos	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0
Eventos con Trabajo en Terreno	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0

Como se puede observar en la Tabla 6. 11, en este DMA la mayor parte de las fallas se producen por desajustes de VRP (cinco), por lo cual es necesario determinar las pérdidas de AP cuando no regula la VRP. Para obtener el ANF se debe utilizar la EC 2.2, página 10, que relaciona la presión inicial y ajustada, con el caudal inicial y ajustado. A continuación, se determinan las pérdidas de AP al no regular la VRP:

Tabla 6. 12 Eventos de Monitor en el DMA El Boro 2 entre Abril- Octubre del 2015 que no regularon VRP¹⁴ (Elaboración propia)

DMA	Inicio			Fin			Cálculos		
	Fecha	$L_0(l/s)$	$P_0(m)$	Fecha	$L_1(l/s)$	$P_1(m)$	P_1/P_0	L_1/L_0	α
El Boro 2	24-ago	1,52	31,4	26-ago	0,94	18,6	0,59	0,62	1,09
El Boro 2	25-oct	2,28	34,1	30-oct	1,6	15	0,44	0,70	2,32
								Promedio	1,70

A partir del valor de α y teniendo en cuenta que el DMA El Boro 2 tuvo un $Q_{mín}$ de 0,77 [l/s] se puede determinar cuánto caudal más se pierde cada vez que la VRP no regula.

¹⁴ Los eventos que se produjeron en Junio y Julio no fueron detectados por Monitor puesto que hubo una falla en el medidor, como se muestra en la Figura 6. 2

Tabla 6. 13 Caudal, volumen y dinero perdido al no regular VRP¹⁵ (Elaboración propia)

Q _{mín}	L ₁ (l/s)	P ₁ (m)	P ₀ (m)	L _{1per} (l/s)	L _{0per} (l/s)	Vol perdido x día (m³)	Dinero perdido
0,77	0,94	18,60	31,40	0,17	0,41	35,85	\$ 20.914
0,77	1,60	15,00	34,10	0,83	2,03	175,47	\$ 255.899

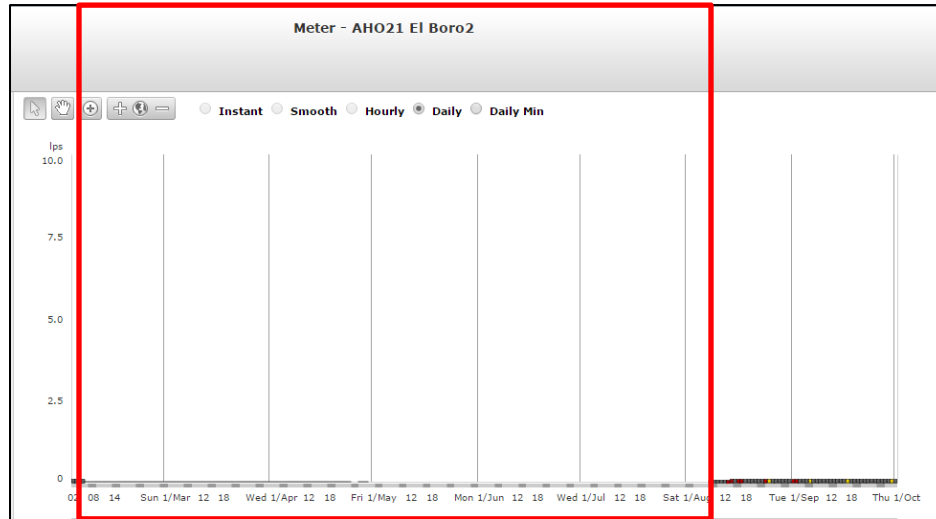


Figura 6. 2 Falla de Medidor en DMA EL Boro 2 (Monitor; Modificación propia)

Tabla 6. 14 Estadísticas del DMA El Boro 2 en septiembre del 2015 (Monitor)

Statistics	
Min (P5)	0.78 lps
Med (P50)	1.06 lps
Max (P95)	2.03 lps
Min/Med	0.74
Duration	63d
Missing data	--

6.2.8. Santa Teresa

No se produjo ninguna alarma en este DMA.

¹⁵ Donde el valor de 1 m³ = \$1000 aproximadamente a Octubre del 2015

6.3. Pérdidas Aparentes

El software Monitor permite ver el registro de caudales más detalladamente, es por esto que se puede determinar en que DMA hay posibilidades de que existan pérdidas aparentes (robos de agua). Utilizando la Figura 4. 1, página 49, se puede observar que las pérdidas aparentes son aquellas que están entre el Agua Facturada y el caudal mínimo nocturno, es decir, es el ANF menos el caudal mínimo nocturno. Este valor corresponde sí o sí a pérdidas aparentes, y si el valor es menor que cero, entonces no es seguro que existan pérdidas aparentes.

Tabla 6. 15 DMA con pérdidas aparentes (Elaboración propia)

Sistema de Distribución	DMA	Contribución de ANF	Vol de ANF	Caudal Mínimo (Qmin)	Caudal mínimo (Qmin)	V _{Qmin}	V _{aparentes}	Existen pérdidas aparentes
		Noviembre-14 a Octubre-15		Promedio jan-15 a Octubre-15				
		%	m ³	l/s	m ³ /h	m ³	m ³	
Alto Hospicio	La Negra	0,9	168.677	2,9	10,4	91.539	77.138	Cierto
Alto Hospicio	La Tortuga	1,1	199.515	6,3	22,6	197.712	1.803	Cierto
Alto Hospicio	Sta Teresa	0,5	89.518	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Alto Hospicio	Alto Hospicio	4,3	814.607	40,5	145,9	1.277.985	-463.378	Indierto
Alto Hospicio	Autoconstrucción	3,3	627.619	12,7	45,9	401.762	225.857	Cierto
Alto Hospicio	La Pampa	8,1	1.530.786	47,4	170,5	1.493.769	37.017	Cierto
Alto Hospicio	El Boro1	0,6	105.207	3,7	13,2	115.615	-10.408	Indierto
Alto Hospicio	El Boro2	0,5	93.403	1,3	4,6	40.444	52.959	Cierto

6.4. Detección activa de fugas

ADA lleva un registro de las campañas con la cantidad de hallazgos y tiempo que se trabaja en cada DMA. Utilizando el software Monitor, se pudo determinar los tiempos de respuesta y la mejora respecto de las campañas que se hacían antes de utilizar Monitor. Esto se realizó midiendo y comparando los tiempos a partir de cuándo el supervisor pudo detectar una falla en el DMA y envió a las cuadrillas a inspeccionar en terreno. Se definió un plan de trabajo para la localidad de Alto Hospicio, utilizando una cuadrilla (dos personas) de fuga para trabajar en este plan, mientras que la otra cuadrilla trabajó en los eventos generados por Monitor que requirieron de trabajo en terreno.

6.4.1. Prioridad Q_{mín}/Q_{med}

Se definió un plan de trabajo en Alto Hospicio, en el cual se realiza un monitoreo de DMA, definiendo áreas prioritarias para sectores que tienen un Q_{mín}/Q_{med}>0,4. Es necesario determinar el tiempo en el cual una cuadrilla recorre el DMA, en ADA se utiliza un rendimiento de 1 [km] diario por cuadrilla, que corresponde a un avance promedio de las cuadrillas de ADA.

Tabla 6. 16 Plan de trabajo de Detección Activa de Fugas (Elaboración propia)

Localidad	DMA	Q _{min}	Q _{med}	Q _{min} /Q _{med}	Monitor	Kms	Inicio	Fin	Semanas
Alto Hospicio	La Pampa	50,43	68,51	0,74	Si	39,79	01-jun	13-jul	7,96
Alto Hospicio	Autoconstrucción	16,19	29,15	0,56	Si	14,5	14-jul	31-jul	2,9
Alto Hospicio	Alto Hospicio	52,46	96,14	0,55	Si	65,81	03-ago	30-oct	13,16
Alto Hospicio	El Boro Alto	3,4	8,05	0,42	Si	8,476	02-nov	13-nov	1,70
Alto Hospicio	La Tortuga	8,98	23,84	0,38	Si	20,47	16-nov	07-dic	4,09
Alto Hospicio	Santa teresa				no				
Alto Hospicio	La Negra	3,54	11,8	0,30	Si				
Alto Hospicio	ERP El Boro	1,23	3,52	0,35	Si				

6.4.2. Eventos generados por Monitor

A partir de los eventos generados por Monitor, y luego de los análisis del gestor de Monitor y supervisor al cual se le asigna el evento, si ambos no proporcionan la información necesaria que justifique por qué se generó el evento, este debe pasar a la cuadrilla de fugas encargada de trabajar en el DMA, hasta que el patrón de demanda vuelva al caudal mínimo nocturno que había antes de la generación del evento.

Tabla 6. 17 Eventos de Monitor que requirieron de Detección Activa de Fugas (Elaboración propia)

Programación					Evento monitor		Inicio		Fin					
Código	Cuadrilla	Sector	Alerta	Días	Fecha	Q _{min}	Fecha	Q _{min}	Fecha	Q _{min}	ΔQ	Matriz	Arranque	MAP
AH-130406	C5	El Boro 1	Monitor	7	25-may	2,8	26-may	6,3	02-jun	2,8	-3,5	2	0	0
AH-184160	C5	El Boro 1	Monitor	3	13-jul	3,2	14-jul	4,9	17-jul	3,1	-1,8	2	0	0
AH-195867	C5	La Pampa	Monitor	12	01-ago	49,7	01-ago	49,7	12-ago	41	-8,7	6	9	0
AH-196061	C5-C3	La Pampa	Monitor	26	04-sep	47,7	04-sep	47,7	29-sep	37,4	-10,3	1	5	0
AH-1000892	C4	Autoconstrucción	Monitor	18	26-oct	8	26-oct	11,4	12-nov	7,8	-3,6	2	4	0

Tabla 6. 18 Volumen y dinero perdido de Eventos en Monitor que requirieron de Detección Activa de Fugas (Elaboración propia)

Sector	Alerta	Días	Volumen (m ³)	Clientes	Kms	Precio Total
El Boro 1	Monitor	7	1108,0	1369	8,48	1.108.000
El Boro 1	Monitor	3	123,4	1369	8,48	123.400
La Pampa	Monitor	26	2063,2	6272	39,79	2.063.200
Autoconstrucción	Monitor	18	1961,4	1840	14,50	1.961.400
					Promedio	1.797.678

6.4.3. Registro de Campaña de Trabajo

Se seleccionaron campañas de trabajo realizadas durante 2014 (sin Monitor) y 2015 (con Monitor), con el fin de determinar los tiempos de respuesta antes y después de Monitor. Para las campañas del 2014 y 2015 se determinó la cantidad de hallazgos realizados, para analizar, comparar e interpretar los resultados.

La campaña de 2014 es seleccionada por el gestor de pérdidas, determinando las prioridades a las cuales la cuadrilla de fugas debe acudir. En la Tabla 6. 19 se lleva un registro del tiempo de retraso desde que se generó el aumento de caudal hasta que se le informa a la cuadrilla de fugas que hay un aumento de caudal. También es necesario analizar la meta a la cual se debe llegar para que la cuadrilla consiga bajar el caudal del DMA crítico y moverse a otro DMA menos crítico.

La campaña de 2015 se analiza a partir de Monitor y al realizar esta campaña de trabajo como se explicó anteriormente, se priorizan los DMAs críticos, es decir, los que tienen $Q_{min}/Q_{med} > 0,4$ registrándose con el código GRP (Gestión de Reducción de Pérdidas), junto con los eventos generados por Monitor.

Tabla 6. 19 Registro de Campaña de Detección Activa de Fugas sin Monitor (Elaboración propia)

Programación				Aumento de caudal			Inicio		Fin						
Codigo	Cuadrilla	Sector	Alerta	Días	Fecha	Qmin	Tiempo de retraso	Fecha	Qmin	Fecha	Qmin	ΔQ	Matriz	Arranque	MAP
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	8,5	-	-	-	02-jun-14	43,6	10-jun-14	46,7	3,1	11	4	0
GRP-AH-002	C3	El Boro	GRP	0,5	-	-	-	10-jun-14	3,3	10-jun-14	3,3	0	0	0	0
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	1	-	-	-	11-jun-14	47,8	11-jun-14	47,5	-0,3	1	2	0
GRP-AH-003	C3	Autoconstrucción	GRP	0,5	04-jun-14	12,3	8	12-jun-14	20,8	12-jun-14	13	-7,8	0	0	0
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	1,5	-	-	-	12-jun-14	47,5	13-jun-14	40	-7,5	1	1	0
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	3	-	-	-	17-jun-14	39,2	19-jun-14	38,7	-0,5	2	1	0
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	8	-	-	-	23-jun-14	47,5	30-jun-14	43,1	-4,4	4	6	3
GRP-AH-002	C3	El Boro	GRP	1	12-jun-14	3,3	19	01-jul-14	5,8	01-jul-14	4,6	-1,2	0	0	0
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	6	-	-	-	09-jul-14	45,1	14-jul-14	44,1	-1	6	4	0
GRP-AH-004	C3	Alto Hospicio	GRP	1	-	-	-	15-jul-14	-	15-jul-14	-	0	0	0	0
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	1	-	-	-	17-jul-14	44,4	17-jul-14	44,4	0	1	1	0
GRP-AH-005	C3	La Negra	GRP	1	-	-	-	21-jul-14	47,5	21-jul-14	45,5	-2	0	0	0
GRP-AH-004	C3	Alto Hospicio	GRP	2	-	-	-	22-jul-14	-	23-jul-14	-	0	0	0	0
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	8	-	-	-	24-jul-14	45	31-jul-14	38,3	-6,7	7	4	0
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	4	-	-	-	01-ago-14	36,7	04-ago-14	37,6	0,9	3	0	0
GRP-AH-002	C3	El Boro	GRP	1	12-jun-14	3,3	54	05-ago-14	4,3	05-ago-14	4,5	0,2	0	0	0
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	3	-	-	-	06-ago-14	37,5	08-ago-14	36,1	-1,4	3	2	0
GRP-AH-005	C3	La Tortuga	GRP	1	30-jul-14	5,5	12	11-ago-14	37,8	11-ago-14	6,8	-31	0	0	0
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	18	-	-	-	12-ago-14	35,3	29-ago-14	41,7	6,4	11	5	2
GRP-AH-002	C3	El Boro	GRP	1	12-jun-14	3,3	81	01-sep-14	4,8	01-sep-14	4,8	0	0	0	0
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	1	-	-	-	02-sep-14	38,7	02-sep-14	40,2	1,5	0	0	0
GRP-AH-005	C3	La Negra	GRP	1	21-jul-14	2,9	44	03-sep-14	4,5	03-sep-14	4,2	-0,3	0	0	0
GRP-AH-006	C3	Santa teresa	GRP	1	-	-	-	04-sep-14	-	04-sep-14	-	-	0	0	0
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	25	-	-	-	05-sep-14	42,8	29-sep-14	43,3	0,5	13	13	1
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	29	-	-	-	01-oct-14	44,2	29-oct-14	40,2	-4	29	12	0
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	8	-	-	-	03-nov-14	40,8	10-nov-14	39,8	-1	8	3	0
GRP-AH-002	C3	El Boro	GRP	1	12-jun-14	3,3	152	11-nov-14	8	11-nov-14	7,3	-0,7	0	0	0
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	1	-	-	-	12-nov-14	41,5	12-nov-14	40,4	-1,1	2	0	0
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	15	-	-	-	14-nov-14	41,5	28-nov-14	44,2	2,7	3	11	0
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	3	-	-	-	01-dic-14	46,2	03-dic-14	47	0,8	4	5	1
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	12	-	-	-	11-dic-14	47,4	22-dic-14	52,2	4,8	9	1	0
GRP-AH-001	C3	La Pampa	GRP	6	-	-	-	26-dic-14	54,9	31-dic-14	51,5	-3,4	3	5	0

A continuación, se muestra el caudal recuperado durante la campaña 2014, el cual se obtiene de la Tabla 6. 19, obteniendo:

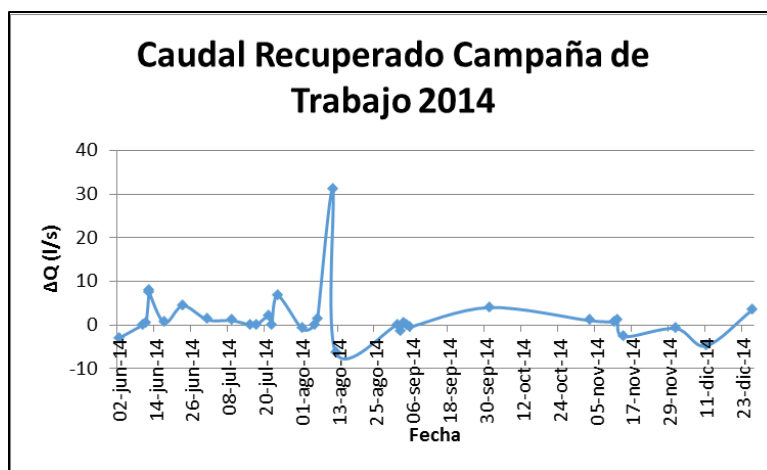


Figura 6. 3 Caudal Recuperado durante Campaña de Trabajo 2014 (Elaboración propia)

Donde, el caudal negativo significa que, pese al trabajo realizado en el DMA, se perdió más caudal del que había antes de empezar la campaña de trabajo.

Tabla 6. 20 Volumen recuperado sin Monitor (Elaboración propia)

Año	Volumen recuperado (m^3)
2014	1589,76

Tabla 6. 21 Registro de Campaña de Detección Activa de Fugas con Monitor (Elaboración propia)

Programación					Evento monitor		Inicio		Fin		ΔQ	Matriz	Arranque	MAP
Codigo	Cuadrilla	Sector	Alerta	Días	Fecha	Qmin	Fecha	Qmin	Fecha	Qmin				
GRP- AH-001	C3	La Pampa	GRP	36	-	-	13-abr	52,4	18-may	45	-7,4	27	17	0
GRP- AH-001	C3	La Pampa	GRP	13	-	-	18-may	52,6	30-may	43,9	-8,7	9	5	0
AH-130406	C5	El Boro 1	Monitor	1	26-may	2,8	02-jun	6,3	02-jun	2,8	-3,5	2	0	0
GRP- AH-001	C5	La Pampa	GRP	28	-	-	03-jun	48,3	30-jun	47,7	-0,6	8	9	0
GRP- AH-002	C3	Autoconstrucción	GRP	4	-	-	30-jun	14	03-jul	13,7	-0,3	3	7	0
GRP- AH-001	C5	La Pampa	GRP	8	-	-	01-jul	46,9	08-jul	48,3	1,4	8	9	0
GRP- AH-002	C5	La negra	GRP	3	-	-	13-jul	2,8	15-jul	2,8	0	3	5	0
AH-184160	C5	El Boro 1	Monitor	1	16-jul	3,2	17-jul	4,9	17-jul	3,1	-1,8	2	0	0
GRP- AH-001	C5	La Pampa	GRP	11	-	-	21-jul	49,4	31-jul	46,2	-3,2	6	10	0
GRP- AH-002	C3	Autoconstrucción	GRP	31	-	-	01-ago		31-ago		0	5	25	0
AH-195867	C5	La Pampa	Monitor	12	01-ago	49,7	01-ago	49,7	12-ago	41	-8,7	6	9	0
GRP- AH-002	C3	Autoconstrucción	GRP	11	-	-	01-sep	11,9	11-sep	10,3	-1,6	5	10	0
AH-196061	C5-C3	La Pampa	Monitor	26	04-sep	47,7	04-sep	47,7	29-sep	37,4	-10,3	1	5	0
GRP- AH-002	C5	Autoconstrucción	GRP	15	-	-	14-sep	10,3	28-sep	7,8	-2,5	4	8	0
GRP- AH-001	C3	La Pampa	GRP	1	-	-	02-oct	36,9	02-oct	38,2	1,3	0	1	0
GRP- AH-001	C3	La Pampa	GRP	1	-	-	13-oct	39	13-oct	36,7	-2,3	3	2	0
GRP- AH-001	C3	La Pampa	GRP	10	-	-	20-oct	38,5	29-oct	35,9	-2,6	12	8	0
AH-1000892	C4	Autoconstrucción	Monitor	18	26-oct	8	26-oct	8	12-nov	7,8	-0,2	2	4	0

Además, se gráfica el caudal recuperado durante la campaña 2015 con Monitor y se muestra a continuación:

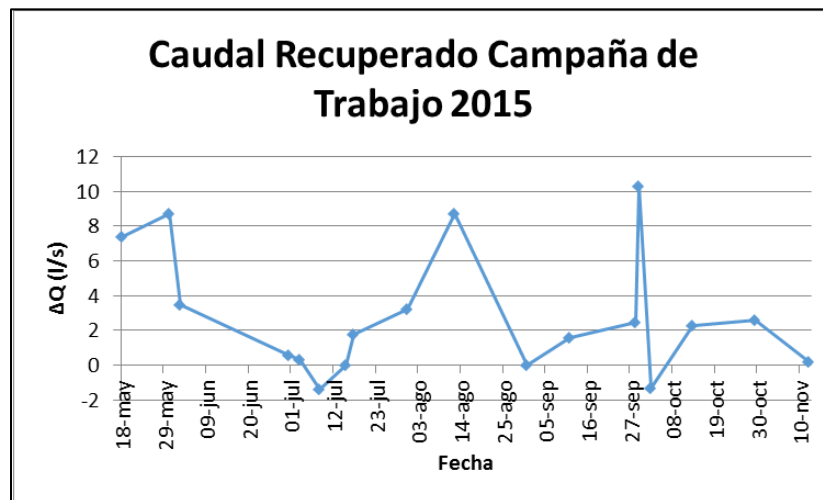


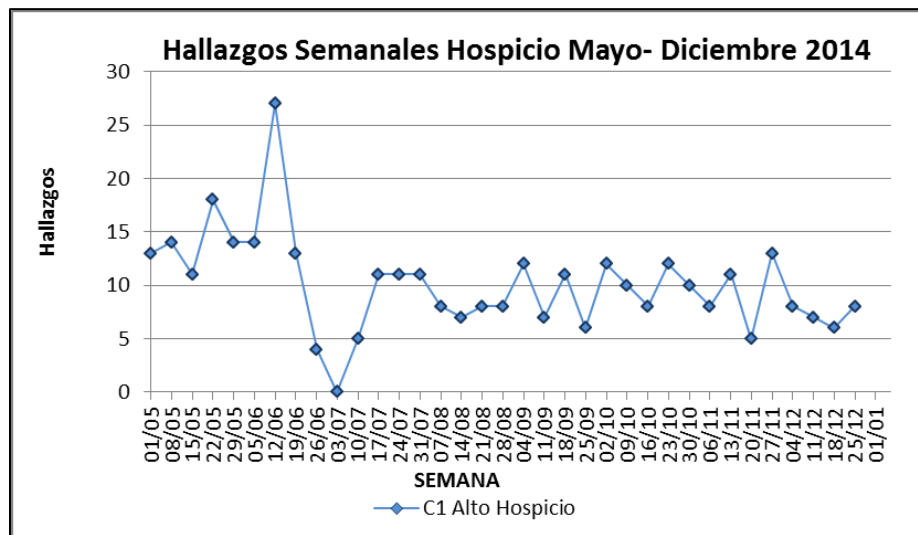
Figura 6. 4 Caudal Recuperado durante Campaña de Trabajo 2015 (Elaboración propia)

Tabla 6. 22 Volumen recuperado con Monitor (Elaboración propia)

Año	Volumen recuperado (m^3)
2015	38219,04

6.4.4. Tasa de hallazgos y distancia recorrida por cuadrilla

Al seleccionar las campañas de trabajo realizadas durante 2014 (sin Monitor) y 2015 (con Monitor), se estudia la tasa de hallazgos y distancia recorrida por parte de las cuadrillas de fugas, para determinar la eficacia y eficiencia que puede generar el uso del software Monitor. Para ambas campañas se determinó la cantidad de hallazgos y distancia recorrida realizados semanalmente, para analizar, comparar e interpretar los resultados.

Figura 6. 5 Hallazgos semanales Alto Hospicio Mayo-Diciembre 2014¹⁶ (Elaboración propia)

Durante Mayo-Diciembre 2014 el promedio semanal de hallazgos fue de 10 roturas.

¹⁶ C1: cuadrilla 1.

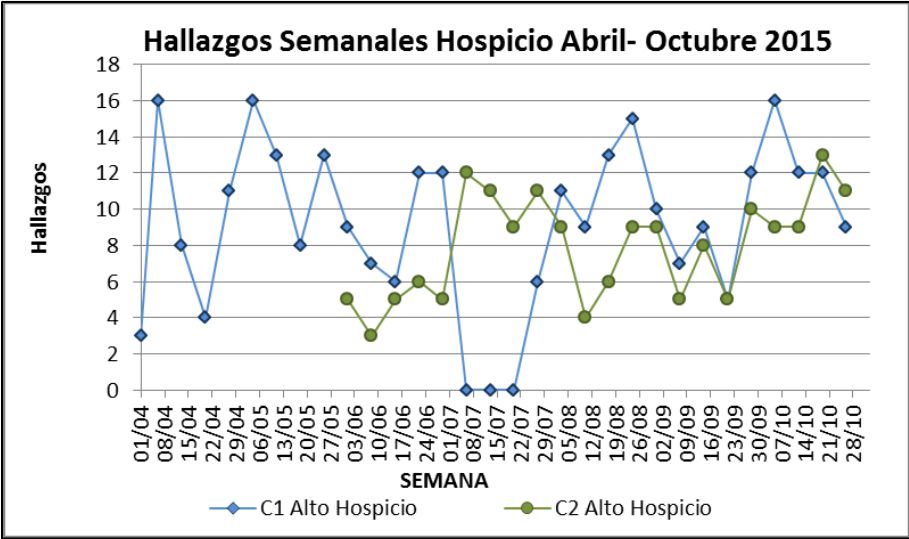


Figura 6. 6 Hallazgos semanales Alto Hospicio Abril-Octubre 2015 (Elaboración propia)

A partir de la Figura 6. 6, se puede determinar los promedios de hallazgos durante Abril-Octubre del 2015, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 6. 23 Promedio semanal de Hallazgos Alto Hospicio Abril-Octubre 2015¹⁷ (Elaboración propia)

Promedios de Hallazgos C1 (N°)	10,14
Promedios de Hallazgos C2 (N°)	7,91
Promedios de Hallazgos Total (N°)	9,03

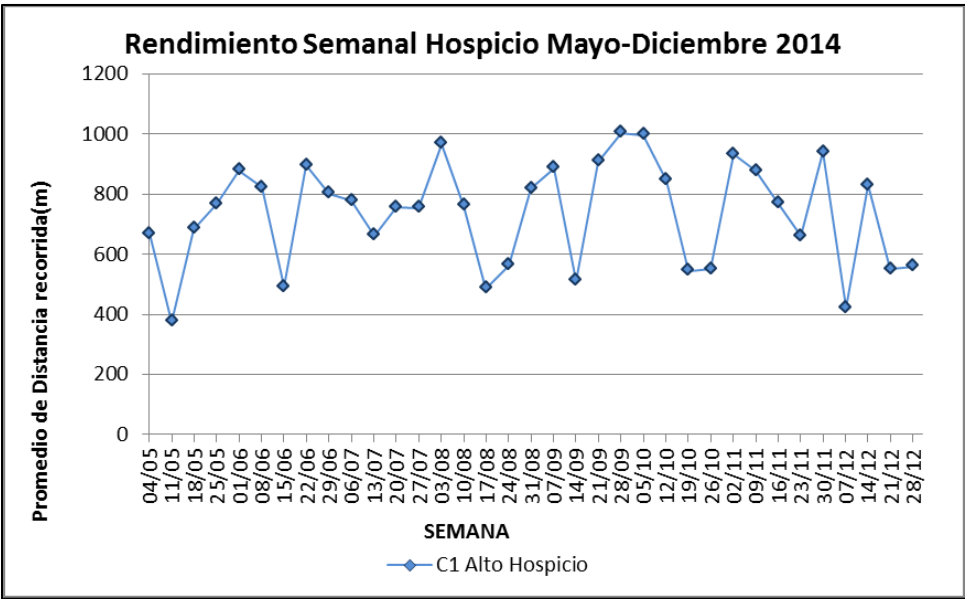


Figura 6. 7 Distancia recorrida por cuadrilla en Alto Hospicio Mayo-Diciembre 2014 (Elaboración propia)

¹⁷ C1: cuadrilla 1 y C2: cuadrilla 2.

Tabla 6. 24 Promedio semanal de distancia recorrida Alto Hospicio Abril-Octubre 2015 (Elaboración propia)

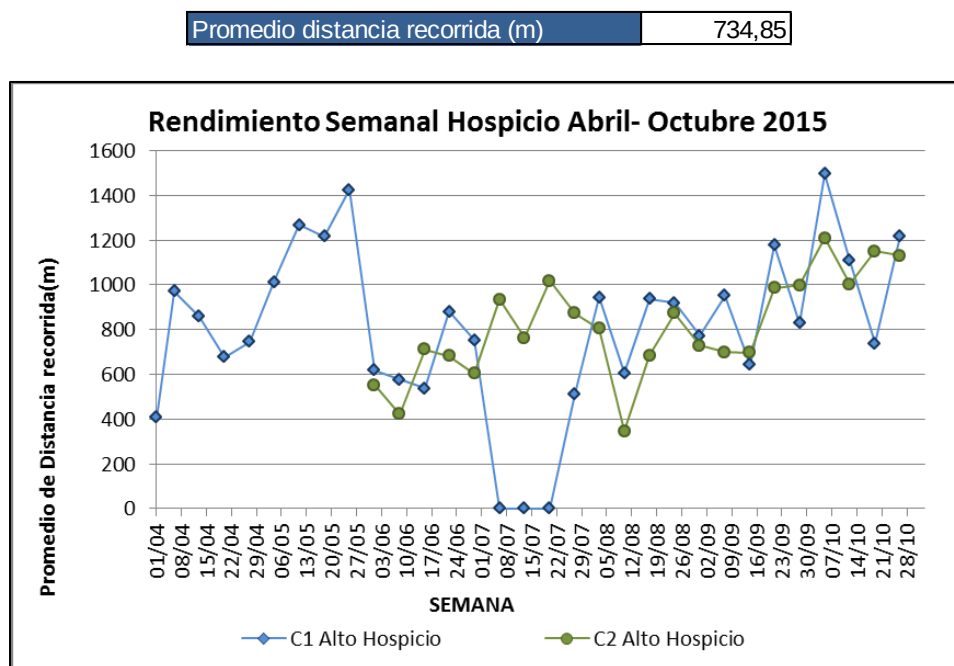


Figura 6. 8 Distancia recorrida por cuadrilla en Alto Hospicio Abril-Octubre 2015 (Elaboración propia)

Tabla 6. 25 Promedio semanal de distancia recorrida Alto Hospicio Abril-Octubre 2015 (Elaboración propia)

Promedio distancia recorrida C1 (m)	885,61
Promedio distancia recorrida C2 (m)	812,25
Promedio distancia recorrida Total (m)	848,93

Además, es necesario destacar que las cuadrillas a partir de septiembre del 2015, su distancia recorrida fue aumentando considerablemente tal como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 6. 26 Promedio semanal de distancia recorrida Alto Hospicio Septiembre-Octubre 2015 (Elaboración propia)

Promedio distancia recorrida C1 (m)	992,62
Promedio distancia recorrida C2 (m)	955,82
Promedio distancia recorrida Total (m)	974,22

Dicho aumento, generó un aumento en la cantidad de hallazgos, tal como se observa a continuación:

Tabla 6. 27 Hallazgos semanales Alto Hospicio Septiembre-Octubre 2015 (Elaboración propia)

Promedio de Hallazgos C1	10,22
Promedio de Hallazgos C2	8,78
Promedio de Hallazgos Total	9,50

6.5. Balance hídrico luego de implementar Monitor

Con el fin de comparar los niveles de pérdidas antes y después de implementar Monitor en Alto Hospicio, se realiza un balance hídrico según capítulo 2.1.1., página 4. Los resultados antes de implementar Monitor se muestran en la Tabla 6. 28 y después de implementar Monitor en la Tabla 6. 29. Como se observa la Tabla 6. 28 y Tabla 6. 29, las pérdidas aumentaron de 39,1% a 40,9%, lo cual se explica en el capítulo 7.1. , cuyos resultados se muestran en la Tabla 6. 30 y Tabla 6. 31.

Tabla 6. 28 Balance Hídrico Alto Hospicio en diciembre del 2014 (Elaboración propia)

Volumen de Entrada al Sistema	Consumo Autorizado Facturado 4.362.689 [m ³]	Agua Facturada 4.362.689 [m ³]	60,9%
7.162.156 [m ³]	Consumo Autorizado No Facturado 1.476 [m ³]	Agua No Facturada 2.799.467 [m ³]	39,1%
	Pérdidas Aparentes 398.448 [m ³]		
	Pérdidas Reales 2.399.543 [m ³]		

Tabla 6. 29 Balance Hídrico Alto Hospicio en Octubre del 2015 (Elaboración propia)

Volumen de Entrada al Sistema	Consumo Autorizado Facturado 4.544.402 [m ³]	Agua Facturada 4.544.402 [m ³]	59,1%
7.691.645 [m ³]	Consumo Autorizado No Facturado 1.135 [m ³]	Agua No Facturada 3.147.243 [m ³]	40,9%
	Pérdidas Aparentes 448.471 [m ³]		
	Pérdidas Reales 2.697.637 [m ³]		

Resultados sin considerar DMA La Pampa**Tabla 6. 30 Balance Hídrico Alto Hospicio en Diciembre del 2014 (Elaboración propia)**

Volumen de Entrada al Sistema	Consumo Autorizado Facturado 3.663.261 [m ³]	Agua Facturada 3.663.261 [m ³]	71,2%
5.143.603 [m ³]	Consumo Autorizado No Facturado 1.326 [m ³]	Agua No Facturada 1.480.342 [m ³]	28,8%
	Pérdidas Aparentes 210.151 [m ³]		
	Pérdidas Reales 1.268.865 [m ³]		

Tabla 6. 31 Balance Hídrico Alto Hospicio en Octubre del 2015 (Elaboración propia)

Volumen de Entrada al Sistema	Consumo Autorizado Facturado 4.544.402 [m ³]	Agua Facturada 3.803.825 [m ³]	71,3%
5.691.645 [m ³]	Consumo Autorizado No Facturado 1.030 [m ³]	Agua No Facturada 1.529.080 [m ³]	28,7%
	Pérdidas Aparentes 217.410 [m ³]		
	Pérdidas Reales 1.310.640 [m ³]		

CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIÓN Y DESARROLLOS FUTUROS

7.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se puede observar en el capítulo anterior se produjeron 106 eventos en la ciudad de Alto Hospicio, donde se puede inferir que cada DMA tiene distinto tipo de fallas, es decir, para realizar gestión de pérdidas en Alto Hospicio, se debe realizar de manera específica para cada DMA.

7.1.1. DMA La Pampa

En este DMA el ANF es muy alto, teniendo un 68,6% de pérdidas acumuladas y registrando un total del 65% (155 de 240) de los hallazgos por detección activa de fugas, registrando un aumento en el nivel de pérdidas, dado que tenía un 65,35% antes de comenzar a utilizar Monitor. Debido a que el porcentaje de pérdidas aumentó, se determinó el nivel de roturas visibles (que afloran a la superficie) e invisibles encontradas, el cual se muestra a continuación:

Tabla 7. 1 IRR DMA La Pampa (Elaboración propia)¹⁸

		Ene2014-dic2014	Nov2014-Oct2015
Roturas de matrices	$N^{\circ}/(100 \text{ km} \cdot \text{año})$	101,55	106,63
Roturas de matrices con detección activa de fugas	%	79,80	80,28
roturas de arranques	$N^{\circ}/(1000 \text{ conexiones} \cdot \text{año})$	44,32	33,32
Roturas de arranques con detección activa de fugas	%	21,69	42,27

Como se observa, las roturas de matrices aumentaron tanto por detección activa, como roturas que afloran, es por esto que los resultados serán analizados sin este DMA, dado el mal estado en el que se encuentra la red puede afectar el análisis de los resultados.

7.1.2. DMA Autoconstrucción

Este DMA presenta dos grandes problemas:

- Desajuste de VRP: como se mencionó en el capítulo anterior, el caudal extra que se perdía al no regular la VRP, fue necesario realizar un cambio de válvula, ya que el piloto que controla la regulación de caudal de forma automática falló. Este cambio se realizó a partir de mediados de septiembre del 2015, por lo cual como se observa en la Tabla 6. 2, página 85, en octubre del mismo periodo no hubo algún desajuste de VRP. No obstante, se observa que se perdieron \$6.597.464, considerando el valor de $1[\text{m}^3]=\$1.000$ a octubre del 2015.
- Pérdidas Aparentes: según la Tabla 6. 15, página 88, se determinó cual DMA tiene pérdidas aparentes, es decir, robo de agua y mala medición que pueden tener los medidores domiciliarios. Este DMA tiene un 36% de pérdidas aparentes ($V_{\text{aparentes}}/\text{Vol de ANF}$), por

¹⁸ Los datos se superponen en Noviembre y Diciembre del 2014, esto se debe a que hay datos erróneos de Noviembre y Diciembre del 2013.

lo cual es importante que el área comercial acuda a este DMA en busca de posibles robos de agua.

7.1.3. DMA Alto Hospicio

Este DMA tiene muchos clientes para realizar detección activa de fugas, dado que según Tabla 6. 16, página 92, una cuadrilla de fugas se demoraría en recorrer el DMA 13 semanas (3 meses), además el patrón de caudal es irregular, dado que alimenta al estanque El Boro, por lo cual es difícil determinar el estado del sector con el análisis de los caudales mínimos nocturnos, pero analizando el ANF se concluye que el porcentaje de pérdidas es de un 25%, lo cual es bastante bajo. Sin embargo, dado que el DMA es muy grande puede que cuando ADA realice la división del DMA, se pueda priorizar algún nuevo DMA. Además, se debe llevar un buen control de las horas de bombeo hacia el Estanque El Boro, puesto que se producen reboses, lo que trae como consecuencia una pérdida de caudal significativo que es muy fácil de controlar, dado que se puede tener un controlador automático electrónico el cual a partir del nivel del estanque funcione de manera correcta.

7.1.4. DMA El Boro 1

En este DMA se puede observar según la Tabla 6. 17, página 92, que los tiempos de hallazgos de roturas son muy cortos, lo cual genera una menor pérdida de volumen según la Tabla 6. 18, página 92. A partir de estos resultados se realiza una comparación entre los costos que requiere la instalación de un medidor, con respecto al volumen perdido. La instalación de un medidor depende de diversas variables, como lo es la cantidad de piezas que se deben reemplazar en la tubería para instalar el medidor, también si es que es necesario hacer una cámara y del diámetro nominal de la tubería, lo cual aumentaría el costo del medidor. Es por esto por lo que se realizará un análisis según el diámetro nominal que tenga. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 7. 2 Precio de instalación de macromedidor de caudal (Elaboración propia)

DN	Unidad	Cantidad	Precio Total	Precio Promedio
100	N°	4	5.998.936	1.499.734
150	N°	1	4.778.693	4.778.693
200	N°	6	28.383.728	4.730.621
250	N°	1	7.335.344	7.335.344
			Promedio	3.874.725

Teniendo en cuenta el costo promedio de un medidor DN 200, medidor que más frecuentemente se instala y que la duración de un macromedidor es de 20 años, se puede estimar que el DMA ideal es EL Boro 1, es decir, tener una longitud de red de 8,5 [km] y 1300 clientes para monitorear.

7.1.5. DMA El Boro 2

Este DMA presenta los mismos problemas que el DMA Autoconstrucción:

- Desajuste de VRP: como refiere el capítulo anterior, donde se hace referencia de la pérdida de recursos hídricos por no regular, fue necesario tener un mayor control sobre esta VRP, que durante la noche tiende a fallar de modo continuo la regulación del caudal de forma automática. Según la Tabla 6. 13, página 90, los caudales perdidos no son muy altos, pero si el desajuste de VRP dura varios días, puede llegar a perderse un volumen considerable, como se observa en el caso 1 de la Tabla 6. 13, página 90, se pierden 0,41 [l/s], lo cual es equivalente a 35,85 [m³/s] y considerando que 1 [m³]= \$1.000 a Octubre del 2015, al no regular durante la noche, desde las 23:00 [hrs] y las 6:00 [hrs], en dos días se pierden \$20.914. Para el caso 2, se pierden \$255.899 al no regular. Dado este análisis es necesario tener buena supervisión sobre estos desajustes de VRP, o considerar un posible cambio de VRP para este DMA.
- Pérdidas Aparentes: según la Tabla 6. 15, página 91, se determinó cuál DMA tiene pérdidas aparentes, es decir, robo de agua y mala medición que pueden tener los medidores domiciliarios. Este DMA tiene un 60% de pérdidas aparentes ($V_{aparentes}/Vol$ de ANF), por lo cual es importante que el área comercial acuda a este DMA en busca de posibles robos de agua.

7.1.6. Alto Hospicio

La detección activa realizada en la localidad de Alto Hospicio, sin considerar el DMA de La Pampa, dio resultados positivos, ya que según las Tabla 6. 30 y Tabla 6. 31, página 98, el porcentaje de pérdidas disminuyó en 0,1%. Este resultado no es el beneficio esperado por parte de ADA, pero dado los grandes recursos invertidos en el DMA La Pampa, no se pudo reflejar una baja considerable en las pérdidas.

La renovación de redes en el DMA La Pampa se realizó en el año 2016, donde se renovaron 16 [kms]. de red, lo cual permitió bajar 15 [l/s] en el DMA La Pampa, reduciendo las pérdidas en Alto Hospicio a 28,1% a Diciembre del 2016, bajando 12% en comparación a octubre del 2015 según Tabla 6. 29. A continuación, se muestra el balance hídrico a Diciembre del 2016:

Tabla 7. 3 Balance hídrico ADA en diciembre del 2016 (ADA)

Volumen de Entrada al Sistema 8.743.694 [m³]	Agua Facturada 6.286.716 [m³]	71,9%
	Agua No Facturada 2.456.978 [m³]	28,1%

7.2. CONCLUSIÓN Y DESARROLLOS FUTUROS

El objetivo general de la presente memoria ha consistido en el estudio de una nueva tecnología para determinar y controlar las pérdidas de agua potable en Aguas Del Altiplano, como parte fundamental de una estrategia a seguir. En este trabajo se han presentado de forma general las alternativas de gestión de fugas que engloban los diferentes cursos de acción que deciden emprender los sistemas de abastecimiento. Este planteamiento sirve para observar las alternativas disponibles que tienen las compañías de distribución de agua al momento de desarrollar las estrategias de manejo de fugas. Todo lo anterior orientado al diseño y generación de criterios que sirvan como base para el desarrollo de nuevos métodos para la reducción de ANF.

La aplicación de una nueva tecnología a nivel piloto tuvo grandes beneficios, no solamente en el marco principal de la memoria, que es la detección activa de pérdidas de agua potable, sino que se obtuvo un mejor control de la red de agua potable, tanto en pérdidas reales como pérdidas aparentes, dado que antes de la aplicación de Monitor, se daba a entender que la mayor parte de las pérdidas eran reales y dejando de lado las pérdidas aparentes.

En cuanto a la labor de ubicación de fugas, mediante la utilización de equipos de ultrasonido, fue la más compleja, haciéndose evidente la necesidad de una capacitación del personal a cargo. Los resultados obtenidos con los equipos fueron muy variables, esto posiblemente se debió a que las actividades se realizaron generalmente dentro del día, exponiéndose a condiciones adversas para el uso de estos equipos como son los ruidos del ambiente. Pero es necesario destacar que al tener el software Monitor el caudal recuperado en las campañas de trabajo fue mayor, dado que existía un mayor control del caudal mínimo nocturno.

La renovación de 16 [kms] de redes en el DMA La Pampa en el año 2016, permitió bajar 12 % las pérdidas en Alto Hospicio, lo cual era fundamental para poder reducir los recursos económicos en reparar tuberías y recursos técnicos en detección de fugas, por cual mantener la infraestructura en buen estado es fundamental para controlar los niveles de pérdidas a nivel empresa.

Debe existir cooperación e integración con otras áreas de la empresa, esto agiliza la transferencia de información y desarrollo de trabajos que se requiera, por ejemplo mantención, adquisición de materiales, mano de obra, etc. Además, es de suma importancia la ayuda de otras áreas en el manejo de las alarmas de Monitor, puesto que es necesario apoyo de mantenimiento de medidores, supervisores de terreno y centro de control, dado que ellos apoyan operativamente en el manejo y control de la red de agua potable.

Es útil llevar registros de los resultados de cada experiencia. Estos servirán posteriormente para realizar estudios estadísticos en cuanto a ubicación, tamaño y reparación de fugas, para tomar medidas de prevención en cuanto a la generación y tiempo que estas se fugan. Además, se puede utilizar en diferentes áreas de Ingeniería dado que puede ser un análisis de cualquier tipo de información continua, seguimiento y control de consumos y costes energéticos (electricidad, agua,

vapor, gas natural...), permitiendo el análisis detallado y la gestión unificada de una instalación individual o de entornos complejos con múltiples datos de análisis.

Dentro de las aplicaciones futuras, se considera la posibilidad de extender el diseño, aplicación y evaluación de esta metodología, pero utilizando una tecnología que se está empezando a implementar en los países más desarrollados y que en ADA se implementará en sectores pilotos, la cual consiste en telectura inteligente del medidor del cliente, lo cual ayudará a mejorar el servicio y proporcionar numerosos beneficios al cliente y a la empresa sanitaria, teniendo información en tiempo real del cliente. Estos beneficios son: comunicación bidireccional usuario-compañía de agua, que permite “monitorear” al usuario y obtener estadísticas de frecuencia de uso, perfiles de consumo, posibles roturas domiciliarias, disminuir las pérdidas aparentes, debido a la no toma de lectura del medidor y/o por cambio de consumo en el domicilio por conexiones ilegales. Esta tecnología y utilizando la herramienta Monitor, podrá generar reportes diarios de cada DMA, separando las pérdidas aparentes de las reales, comparando las curvas de demanda del caudal de entrada al sistema y del consumo domiciliario de los clientes, determinando los horarios de ilícitos en cada DMA y otras informaciones técnicas útiles para la compañía de agua. Además, es necesario evaluar qué tipo de medidor es más conveniente, puesto que existen dos tipos de comunicaciones para la toma de datos, vía GPRS y recolección de datos por radio.

CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS

ADA, Base de datos.

AGS, Descripción del software Monitor.

AP Technologies, www.aptechnologies.co.uk/

Direct Industry, <http://www.directindustry.es/prod/mae-srl/product-104001-1651510.html>, 2017.

DNK Water, Permalog Plus User Manual, 2007

Fallis, P., Guía para la reducción de las pérdidas de agua, Technical Manual SP, Eschborn, GIZ, 2011.

Farley, M., Wyeth, G., Bin, Z., Istandar, A., Singh, S., The Manager's Non-Revenue Water Handbook, 2008.

Farley, M., Leakage managent and control, 2001.

Fluke, <http://www.fluke.com/fluke/eses/termografia/fluke-ti450.htm?pid=80858>, 2017.

GimateG, <http://www.gimateg.com/>

Grupo IUSA, <http://www.grupo-iusa.com/>

Humphreys, Empresas Sanitarias en chile: un sector con potencial de crecimiento y atractivo para el inversor, 2012.

IWA commite, Blue Page "Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Permomance Measures", 2000.

I20 water, <http://portal.i2owater.com/>

Johnson, E., Managent of Non-revenue and Revenue Water Data, second Edition, 2009.

Localizador Fugas de Agua, Geófono, <http://www.localizadorfugasagua.es/geofono.php>, 2014.

Perta, Correlador, <http://www.perta.pt/en/produtos/leak-noise-correlator-eureka-digital/>, 2017.

Pure Technologies, <https://www.puretechltd.com/solutions/inspection-services/>, 2017.

SISS, Informe de Gestión de Pérdidas del Sector Sanitario, 2014.

Thornton, J., Sturm, R., Kunkel, G., Water Loss Control, second Edition, 2008.

ANEXO A: MÉTODO DE CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico debe calcularse de acuerdo con los siguientes pasos:

- Paso 0: Definir los límites exactos del sistema y fechas de referencia;
- Paso 1: Definición del Volumen de entrada al sistema;
- Paso 2: Definir consumo facturado medido y consumo no medido, cálculo del agua facturada;
- Paso 3: Cálculo del Agua no facturada;
- Paso 4: Definir consumo medido pendiente de facturación y consumo no medido pendiente de facturación, Cálculo del Consumo autorizado no facturado;
- Paso 5: Cálculo del Consumo Autorizado;
- Paso 6: Cálculo de la Pérdida de agua;
- Paso 7: Cálculo de las Pérdidas Aparentes;
- Paso 8: Cálculo de las Pérdidas Reales;
- Paso 9: Cálculo de los componentes de la pérdida real;

Cada paso de la metodología se describe a continuación. Considere la siguiente tabla de balance de agua para apoyar el cálculo del balance de agua.

A	B	C	D	E
Volumen de entrada al sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido	Agua facturada
			Consumo facturado no medido	
		Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido	Agua no facturada
			Consumo no facturado no medido	
	Pérdida de Agua	Pérdida aparente	Consumo no autorizado	
			Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
		Pérdida real	Fugas en las tuberías de aducción y distribución	
			Fugas y reboses en estanques de almacenamiento	
			Fugas en las conexiones de servicio	

Paso 0 – Definir los límites exactos del sistema y fechas de referencia

- Definir los límites exactos del sistema (todos los sistemas, macrocuarteles)
- Definir fechas de referencia (un año es más preciso)

Paso 1 – Definición del Volumen de entrada al sistema

- Definir el Volumen de Entrada al sistema (columna A).

Volumen de entrada al sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido	Agua facturada
			Consumo facturado no medido	
	Pérdida de Agua	Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido	Agua no facturada
			Consumo no facturado no medido	
		Pérdida aparente	Consumo no autorizado	
			Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
		Pérdida real	Fugas en las tuberías de aducción y distribución	
			Fugas y reboses en estanques de almacenamiento	
			Fugas en las conexiones de servicio	

Paso 2 – Definir consumo facturado medido y consumo no medido, cálculo del agua facturada

- Definir consumo facturado medido y consumo no medido (columna D).
- Ingresar Consumo No Autorizado (columna C).
- Ingresar Agua Facturada (columna E).

Volumen de entrada al sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido	Agua facturada
			Consumo facturado no medido	
	Pérdida de Agua	Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido	Agua no facturada
			Consumo no facturado no medido	
		Pérdida aparente	Consumo no autorizado	
			Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
		Pérdida real	Fugas en las tuberías de aducción y distribución	
			Fugas y reboses en estanques de almacenamiento	
			Fugas en las conexiones de servicio	

Paso 3 – Cálculo del Agua no facturada

- Calcular el volumen de Agua no facturada (columna E) como:
- Agua no fact (col E) = Vol de entrada al sistema (col A) – Agua facturada (col E)

Volumen de entrada al sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido	Agua facturada
			Consumo facturado no medido	
	Pérdida de Agua	Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido	Agua no facturada
			Consumo no facturado no medido	
		Pérdida aparente	Consumo no autorizado	
			Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
		Pérdida real	Fugas en las tuberías de aducción y distribución	
			Fugas y reboses en estanques de almacenamiento	
			Fugas en las conexiones de servicio	

Paso 4 – Definir consumo medido pendiente de facturación y consumo no medido pendiente de facturación, Cálculo del Consumo autorizado no facturado

- Definir consumo medido pendiente de facturación y consumo no medido pendiente de facturación en la columna D
- Consumo Autorizado no facturado en la columna C
- Consumo Autorizado no facturado (col C) = Consumo no facturado medido+ Consumo no facturado no medido (col D)

Volumen de entrada al sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido	Agua facturada		
			Consumo facturado no medido			
		Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido		Agua no facturada	
			Consumo no facturado no medido			
	Pérdida de Agua	Pérdida aparente		Consumo no autorizado		
				Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos		
Pérdida real			Fugas en las tuberías de aducción y distribución			
			Fugas y reboses en estanques de almacenamiento			
			Fugas en las conexiones de servicio			

Paso 5 – Cálculo del Consumo Autorizado

- Agregar los volúmenes de consumo autorizado no facturado y consumo autorizado no facturado (columna C).
- Agregar suma de consumo Autorizado (columna B):
- Consumo autorizado (col B) = Consumo autorizado facturado+ Consumo autorizado no facturado (col C).

Volumen de entrada al sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido	Agua facturada
			Consumo facturado no medido	
		Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido	
			Consumo no facturado no medido	
	Volumen de entrada al sistema	Pérdida de Agua	Pérdida aparente	Consumo no autorizado
Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos				
Pérdida real			Fugas en las tuberías de aducción y distribución	
			Fugas y reboses en estanques de almacenamiento	
			Fugas en las conexiones de servicio	

Paso 6 – Cálculo de la Pérdida de agua

- Cálculo de la Pérdida de agua (columna B) como:
- Pérdida de agua (col B) = Volumen de entrada al sistema (col A) – Consumo Autorizado (col C)*

Volumen de entrada al sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido	Agua facturada
			Consumo facturado no medido	
		Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido	
			Consumo no facturado no medido	
Volumen de entrada al sistema	Pérdida de Agua	Pérdida aparente	Consumo no autorizado	Agua no facturada
			Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
		Pérdida real	Fugas en las tuberías de aducción y distribución	
			Fugas y reboses en estanques de almacenamiento	
			Fugas en las conexiones de servicio	

Paso 7 – Cálculo de las Pérdidas Aparentes

- Evaluar los componentes de consumo no autorizado e inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos (columna D) por los mejores medios disponibles, agregar estos y determinar pérdidas aparentes (columna C):
- Pérdidas aparentes (col C) = Consumo no autorizado (col D) + Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos (col D)

Volumen de entrada al sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido	Agua facturada
			Consumo facturado no medido	
		Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido	
	Pérdida de Agua		Consumo no facturado no medido	Agua no facturada
		Pérdida aparente	Consumo no autorizado	
		Pérdida real	Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
			Fugas en las tuberías de aducción y distribución	
			Fugas y reboses en estanques de almacenamiento	
			Fugas en las conexiones de servicio	

Paso 8 – Cálculo de las Pérdidas Reales

- Calcular la pérdida real (columna C) como:
- Pérdida real (col C) = Pérdida de agua (col B) – Pérdida aparente (col C)

Volumen de entrada al sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido	Agua facturada
			Consumo facturado no medido	
		Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido	
	Pérdida de Agua		Consumo no facturado no medido	Agua no facturada
		Pérdida aparente	Consumo no autorizado	
		Pérdida real	Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
			Fugas en las tuberías de aducción y distribución	
			Fugas y reboses en estanques de almacenamiento	
			Fugas en las conexiones de servicio	

Paso 9 – Cálculo de los componentes de la pérdida real

- Evaluar los componentes de las pérdidas reales (columna D), utilizando los mejores medios disponibles (análisis de caudal nocturno, la frecuencia de roturas/velocidad del caudal/duración, modelo, etc), se suman estos y se comparan con el volumen de las pérdidas reales de la columna C, que se derivan de Paso 8.

Volumen de entrada al sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido	Agua facturada
			Consumo facturado no medido	
		Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido	
	Pérdida de Agua		Consumo no facturado no medido	Agua no facturada
		Pérdida aparente	Consumo no autorizado	
		Pérdida real	Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
			Fugas en las tuberías de aducción y distribución	
			Fugas y reboses en estanques de almacenamiento	
			Fugas en las conexiones de servicio	