

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Metodología para reducción de pérdidas técnicas en el sistema de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

Stephenson Xavier Molina Arce

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año - 2009

RESUMEN

El presente trabajo de tesis de grado realiza la documentación y evaluación de los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología de reducción de pérdidas técnicas en el sistema de distribución de agua potable del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.

La metodología propuesta consiste en delimitar zonas de la red de distribución, de tal manera que mediante la medición del caudal suministrado a cada una de ellas se pueda obtener un indicador de pérdidas técnicas. Este indicador permite establecer un orden de prioridades para la aplicación de estrategias que influyen en las causas y efectos de los componentes de las pérdidas técnicas.

Siendo las estrategias aplicadas la sectorización operacional de la red de distribución, el control activo de fugas (detección y localización de fugas), la gestión de la presión (reducción y regulación de las presiones servicio), y la gestión de la infraestructura (mantenimiento y renovación de redes).

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IX
INDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	XVI
INDICE DE TABLAS.....	XVIII
CAPITULO 1	
1. INTRODUCCION.....	1
Antecedentes.....	3
Identificación de la zona de estudio.....	5
Justificación.....	7
Objetivos.....	8
Estructura de la tesis.....	9
CAPITULO 2	
2. REVISION BIBLIOGRAFICA REFERENTE A PÉRDIDAS DE AGUA POTABLE.....	12

2.1.	Pérdidas técnicas de Agua Potable.....	16
	Origen de las fugas.....	17
	Tipos y clasificación de las fugas.....	21
2.2.	Caudal Mínimo Nocturno.....	28
	Componentes del caudal mínimo nocturno.....	29
	Variabilidad de los consumos nocturnos.....	31
	Evaluación de las fugas en una red de distribución mediante la medición de caudales nocturnos.....	32
2.3.	Medición y estimación de pérdidas técnicas de agua potable.....	36
	Medición del caudal nocturno suministrado a la red de distribución.....	37
	Estimación de pérdidas técnicas.....	39
2.4.	Indicadores de pérdidas técnicas.....	45
	Indicadores porcentuales de pérdidas técnicas.....	48
	Indicadores de pérdidas técnicas recomendados por la IWA.....	52
2.5.	Estrategias de reducción de pérdidas técnicas.....	58
	Sectorización hidráulica de la red de distribución.....	60
	Macromedición de caudales y presiones.....	68
	Control activo de fugas.....	70
	Gestión de la presión.....	74

Gestión de infraestructura.....	77
Velocidad y calidad de las reparaciones de fugas.....	79
2.6. Revisión del capítulo.....	80

CAPITULO 3

3. METODOLOGIA DE REDUCCION DE PERDIDAS TECNICAS APLICADA AL SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AA.PP. DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	81
3.1. Sectorización hidráulica de la red de distribución de agua potable.....	83
Planeamiento de la sectorización hidráulica de la red de distribución de AA.PP.....	84
Materialización de la sectorización hidráulica de la red de distribución de AA.PP.....	86
3.2. Macromedición de caudal y presión en la red de distribución de agua potable.....	97
Sistema de macromedición de caudal y presión en la red de distribución de AA.PP.....	98
Equipos instalados en el sistema de macromedición de caudal y presión en la red de distribución de AA.PP.....	102
Obras civiles previas a la instalación de equipos de medición en el sistema de macromedición.....	105

Instalación de los equipos de almacenamiento de datos en el sistema de macromedición.....	108
Instalación de los caudalímetros ultrasónicos con sensores de fijación externa en el sistema de macromedición.....	112
Gestión de la información obtenida de la macromedición de caudal y presión en la red de distribución de AA.PP.	117
3.3. Control activo de fugas en la red de distribución de agua potable.....	121
3.3.1. Detección de fugas en la red de distribución de AA.PP...122	
Protocolo de operaciones para pruebas de Step Test.....	122
Documentación de pruebas de Step Test.....	127
Evaluación de pruebas de Step Test.....	128
Desarrollo de la detección de fugas en la red de distribución de AA.PP.....	131
3.3.2. Búsqueda de fugas en la red de distribución de agua potable.....	138
Equipos empleados para búsqueda de fugas en la red de distribución de AA.PP.....	140
Metodologías de trabajo aplicadas para la búsqueda de fugas en la red de distribución de AA.PP.....	141
Reportes de localización de fugas.....	148

3.4.	Gestión de la infraestructura de la red de distribución de agua potable.....	150
	Mantenimiento de la red de distribución de AA.PP.....	150
	Renovación de redes de distribución de AA.PP.....	154
3.5.	Gestión de la presión en la red de distribución de AA.PP.....	155
3.6.	Revisión del capítulo.....	160

CAPITULO 4

4.	RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE REDUCCION DE PÉRDIDAS TECNICAS.....	168
4.1.	Evolución de las pérdidas técnicas.....	168
	Reducción del caudal mínimo nocturno suministrado a la red de distribución.....	170
	Reducción del indicador de pérdidas técnicas (l/s/km) definido para la red de distribución.....	172
	Reducción de los indicadores de pérdidas técnicas (l/s/km/bar) correspondientes a los sectores hidráulicos.....	174
	Reducción del volumen suministrado a la red de distribución....	176
	Evolución de los índices de consumo.....	178
4.2.	Gestión del sistema de distribución de AA.PP.....	181

Reducción del Índice de Agua No Contabilizada en el sistema de distribución de AA.PP. de la ciudad de Guayaquil.....	181
Optimización operacional del sistema de distribución.....	183
Análisis de daños localizados y reparados en la red de distribución.....	185
Conformación del Sistema de Información Geográfica.....	186
Modelación matemática de la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.....	188

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	190
--	-----

ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

IWA	Internacional Water Association
AWWA	American Water Works Association
ECAPAG	Empresa Cantonal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil
AA.PP.	Agua potable
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria
IANC	Indice de Agua No Contabilizada
CARL	Current Annual Real Losses
UMF	Umbral medio de fugas
UARL	Unavoidable Annual Real Losses
VIF	Volumen incontrolado de fugas
ILI	Infrastructure Leakage Index
IFE	Indice de fugas estructurales
ICONOD	Indice de Consumo No Doméstico
CMN	Consumo mínimo nocturno
CHP	Consumo horario promedio
CMH	Consumo máximo horario
ICMN	Indice de consumo mínimo nocturno
ICMH	Indice de consumo máximo horario
CEN	Consumo específico nocturno

l/h	Litros por hora
l/s	Litros por segundo
l/viv/h	Litros por vivienda por hora
l/s/km	Litros por segundo por kilómetro de red de distribución
l/s/km/bar	Litros por segundo por kilómetro de red de distribución por bar de presión
bar	Bar
PSI	Libras por pulgada cuadrada
Kg/cm ²	Kilogramo por centímetro cuadrado
m.c.a.	Metros de columna de agua
m	Metros
mm	Milímetros
PEAD	Polietileno de Alta Densidad
PVC	Polivinilo Cloruro
HD	Hierro dúctil
HF	Hierro fundido
CP	Correlating Pods
PN	Presión nominal
SIG	Sistema de Información Geográfica
DMA	District Meter Area

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	6
Figura 2 Clasificación de las fugas realizada por Lambert, Mayers y Trows en 1998.....	26
Figura 3 Relación entre clasificación de fugas de Hirner y nivel económico de pérdidas.....	28
Figura 4 Criterios para la selección de indicador de pérdidas técnicas adecuado a las características de la red de distribución de agua potable.....	53
Figura 5 Estrategias de reducción y control de pérdidas técnicas.....	59
Figura 6 Sectorización hidráulica de la red de distribución de AA.PP. del Suburbio Oeste.....	96
Figura 7 Distritos de medición planteados para la medición de caudal y presión en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.....	100
Figura 8 Esquema de instalación para puntos de macromedición.....	106
Figura 9 Esquema de conexión para entrada de medición de presión de servicio en data-logger.....	109
Figura 10 Esquema de puertos de entrada y salida de datos en data logger Metrolog P.....	110

Figura 11 Esquema de instalación de abrazaderas inoxidables para fijar sensores de caudalímetro ultrasónico en tuberías de diámetro mayor a 500mm.....	115
Figura 12 Gráfico obtenido con los datos brutos de caudal registrados durante el período del 01 al 31 de marzo del 2008 en el punto de macromedición FNC-CTP-M34.....	118
Figura 13 Procesamiento en MS-Excel de los datos de caudal y presión registrados en el punto de macromedición FNC-CTP-M34 para el período del 01 al 31 de marzo del 2008.....	119
Figura 14 Ejemplo de curva de caudal registrado para 72 horas en el punto de macromedición FNC-CTP-M34.....	120
Figura 15 Ejemplo de curva de modulación horaria para el mes de marzo obtenida de los registros de caudal en el punto de macromedición FNC-CTP-M34.....	120
Figura 16 Informe gráfico de datos de caudal y presión registrados durante el desarrollo de una prueba de Step Test, informe utilizados para el cálculo del caudal nocturno de varios sectores hidráulicos.....	129
Figura 17 Informe gráfico de presiones de servicio en los sectores hidráulicos medidos en una prueba de Step Test, informe utilizados para verificar la hermeticidad de cada sector y el impacto del cierre de cada sector hidráulico en los sectores adyacentes.....	131

Figura 18	Macrosectores hidráulicos configurados en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.....	132
Figura 19	Modificación de la configuración de los macrosectores hidráulicos definidos para la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.....	133
Figura 20	Índices lineales de fugas óptimos calculados para los sectores hidráulicos.....	135
Figura 21	Identificación de sectores hidráulicos con mayores indicadores de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil calculados para octubre del 2006.....	136
Figura 22	Prelocalización de una fuga con la utilización de la varilla de contacto.....	142
Figura 23	Localización de una fuga con la utilización de micrófono de campana.....	143
Figura 24	Esquema de prelocalización y localización de fugas con el empleo de geófono.....	145
Figura 25	Tipos de daños reparados en mantenimientos preventivos y correctivos, incluidos en la clasificación de fugas en guías domiciliarias.....	152
Figura 26	Tipos de daños reparados en mantenimientos preventivos y correctivos, incluidos en la clasificación de fugas en la red de distribución de AA.PP.....	153

Figura 27 Accesorios proyectados para la estación reguladora de presión ERP-CTP-001.....169

Figura 28 Evolución del caudal mínimo nocturno suministrado a la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil para el período comprendido entre enero del 2006 y octubre del 2008.....171

Figura 29 Evolución del indicador de perdidas técnicas de la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil para el período comprendido entre enero del 2006 y octubre del 2008.....173

Figura 30 Indicadores de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil calculados para octubre del 2006.....175

Figura 31 Indicadores de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil calculados para octubre del 2008.....175

Figura 32 Evolución del volumen suministrado a la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil para el período comprendido entre enero del 2005 y octubre del 2008.....177

Figura 33 Evolución de la curvas de modalidad horaria registrados en el mes de octubre de los años 2006,2007 y 2008.....180

Figura 34 Evolución del volumen suministrado al sistema de distribución de AA.PP. de la ciudad de Guayaquil para el período comprendido entre enero del 2001 y octubre del 2008.....182

Figura 35 Evolución del Índice de Agua No Contabilizada en el sistema de distribución de AA.PP. de la ciudad de Guayaquil para el período comprendido entre enero del 2001 y octubre del 2008.....183

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1 Y 2 Reemplazo (izquierda) e instalación (derecha) de válvulas de 90mm tipo compuerta.....	94
Fotografía 3 Y 4 Empate (izquierda) y taponamiento (derecha) ejecutados para adaptar la red de distribución de AA.PP. a los límites de la sectorización hidráulica.....	95
Fotografía 5 Armario de hormigón armado que alberga la instrumentación de los equipos de medición y cámara de macromedición del punto FNC-CTP-M34 ubicado en la Av. Barcelona.....	107
Fotografía 6 Y 7 Armario de seguridad (izquierda) e instrumentación de los equipos de medición (derecha) instalados en el punto de macromedición FNC-CTP-M34 ubicado en la Av. Barcelona.....	107
Fotografía 8 Y 9 Accesorios de conexión entre punto de aforo y el armario de instrumentación.....	111
Fotografía 10 Conexión de instrumentación de equipos de medición con sensores ultrasónicos y punto de aforo del punto de macromedición FNC-CTP-M34 ubicado en la Av. Barcelona.....	111

Fotografía 11 Instalación de sensores tipo "clamp-on" sobre una tubería de 350mm AC según método de instalación en "V", para un caudalímetro ultrasónico Polysonics DCT6088 (Thermo).....116

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Terminología utilizada en el balance hidráulico propuesto por la IWA.....	13
Tabla 2 Categorías asociadas al origen de las fugas.....	19
Tabla 3 Características generales de fugas y roturas.....	24
Tabla 4 Caudales aproximados para distintos tipos de fugas.....	26
Tabla 5 Componentes del caudal mínimo nocturno.....	29
Tabla 6 Parámetros utilizados para el análisis de los componentes de las pérdidas técnicas anuales.....	42
Tabla 7 Componentes calculados para el Umbral Medio de Fugas – UARL.....	43
Tabla 8 Parámetros de cálculo para los principales factores de desempeño propuestos por la IWA.....	47
Tabla 9 Valores orientadores de la existencia de fugas para índices de consumo.....	50
Tabla 10 Estrategias para la reducción y control de pérdidas técnicas.....	59
Tabla 11 Puntos que conforman el sistema de macromedición de caudal y presión en la red de distribución del suburbio oeste.....	99

Tabla 12	Equipos instalados en el sistema de macromedición de caudal y presión en la red de distribución del suburbio oeste.....	103
Tabla 13	Equipos de detección directa y localización de fugas empleados en la red de distribución de AA.PP. Del suburbio oeste de Guayaquil.....	141
Tabla 14	Aplicación de las estrategias de reducción de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.....	161
Tabla 15	Desagregación por sector hidráulico de las estrategias de reducción de pérdidas técnicas aplicadas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.....	162
Tabla 16	Proyectos de renovación de redes en el suburbio Oeste de la ciudad de Guayaquil.....	165
Tabla 17	Disminución de presión de servicio en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de Guayaquil - Mayo del 2007.....	166
Tabla 18	Índices de consumo.....	179
Tabla 19	Fugas localizadas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de Guayaquil.....	186

AGRADECIMIENTO:

Agradezco a mis padres Stephenson y Narcisa por su apoyo, a mis hermanos César y Jorge por su constante motivación, y a Lissette por su sonrisa que me llena de estímulo.

Un especial agradecimiento a la Ing. Alby Aguilar por su inestimable colaboración con esta tesis. Y mi gratitud sincera a los Ingenieros Xavier Aragón, Angela Castaño, Juan Carlos Bernal y Arturo Cabrera por los conocimientos transmitidos.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Gastón Proaño

SUBDECANO FICT

Ing. Alby Aguilar

DIRECTORA DE TESIS

Dr. David Matamoros

VOCAL

Ing. Jorge Rengel

VOCAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Stephenson Xavier Molina Arce

CAPITULO 1

1. INTRODUCCION.

La ciudad de Guayaquil está localizada en la República del Ecuador, país ubicado en la costa del Pacífico de América del Sur. Es la ciudad con mayor población del país, con un estimado de 2'366.902 habitantes que ocupan una superficie aproximada de 344,5 km².

Desde agosto del 2001 la concesionaria INTERAGUA C. LTDA. está encargada de la operación de los servicios de agua potable y alcantarillado de la ciudad. Esta concesión está bajo el control y regulación de la Empresa Cantonal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil (ECAPAG).

Al inicio de la concesión el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Guayaquil presentaba un elevado nivel de pérdidas, evidenciado por la discontinuidad de servicio en las zonas centro y sur de la ciudad¹. Situación provocada por un inadecuado control operacional del sistema de

¹ Véase en la sección de anexos el plano de continuidad de servicio de AA.PP. en la ciudad de Guayaquil previo al inicio de la sectorización hidráulica en el año 2005 (Anexo 1).

distribución, escaso mantenimiento de la infraestructura, y la falta de un programa para reducir las pérdidas en el sistema de distribución.

La empresa INTERAGUA C. LTDA., conciente de los problemas existentes en el sistema de distribución de agua potable, implementó un proyecto de reducción de las pérdidas técnicas en la red de distribución de las zonas centro y sur de la ciudad. Aplicado con el objetivo de obtener un incremento en la eficiencia operacional del sistema de distribución y la consecuente disminución de la magnitud del nivel de pérdidas.

Este proyecto permitió alcanzar la continuidad de servicio en las zonas centro y sur de la ciudad sin aumentar la producción actual en la planta de potabilización; maximizando el aprovechamiento de la infraestructura disponible y racionalizando el gasto.

La metodología para la reducción de pérdidas técnicas de agua potable aplicada en el sistema de distribución de agua potable del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil consistió en utilizar la sectorización hidráulica para delimitar zonas de la red de distribución y lograr un abastecimiento continuo durante 24 horas. De tal manera que mediante la medición del caudal suministrado a cada una de ellas se pueda establecer un indicador de pérdidas que permita establecer un orden de prioridades para la

implementación de estrategias de reducción de pérdidas técnicas; aplicadas en función del origen de estas y considerando el cumplimiento de metas parciales de reducción gradual anual.

Las estrategias que fueron aplicadas incluyeron los procesos de detección, localización y reparación de fugas visibles y no visibles; consideradas en el control activo de fugas, gestión de la infraestructura y gestión de la presión.

Antecedentes.

En el año 2004, la Subgerencia de Agua No Contabilizada de la empresa INTERAGUA C. LTDA. desarrolló un balance hidráulico del sistema de distribución de agua potable de la ciudad. Elaborado mediante la medición del caudal suministrado a las zonas norte, centro y sur de la ciudad, la estimación de la demanda neta de usuarios domésticos e industriales, y la revisión del catastro de redes.

En la campaña de medición de caudales realizada en enero del año 2004, se comprobó que el sistema entregaba el 45% de su producción a la zona norte y el 55% restante a las zonas centro y sur. Basados en esta información y la estimación de la demanda calculada (teniendo en cuenta la facturación registrada para el mes de febrero de 2004) fue posible establecer el volumen de agua perdido para cada zona de la ciudad.

Los resultados obtenidos en el balance hidráulico establecieron un índice de agua no contabilizada de 65% para las zonas centro y sur de la ciudad, y de 34% para la zona norte². Nivel de pérdidas que exigía incrementar la producción en aproximadamente 50% (equivalente a 13.6 millones de m³/mes o 5.2 m³/s) para lograr la continuidad de servicio en las zonas de la ciudad antes mencionadas.

Debido a que incrementar la producción sin reducir el porcentaje de pérdidas en el sistema de distribución originaría que los volúmenes de pérdidas sean cada vez serán mayores, y que los costos sean insostenibles para la empresa y los usuarios (tarifas exorbitantes); se planteó el análisis de soluciones basadas en los resultados obtenidos en el balance hidráulico realizado por la Subgerencia de Agua no Contabilizada.

La evaluación de los resultados del balance hidráulico determinó que para alcanzar la continuidad de servicio sin aumentar la producción en la planta de potabilización era necesario implementar un programa de reducción de pérdidas técnicas. Sin embargo, bajo las condiciones de servicio existentes era muy difícil localizar las zonas con mayores pérdidas técnicas porque los acueductos principales estaban comunicados entre sí.

² Véase en la sección de anexos las tablas que resumen los resultados obtenidos en el balance hidráulico realizado en el año 2004 para el sistema de distribución de AA.PP. de la ciudad de Guayaquil (Anexo 2).

El estudio sugirió dividir el sistema de distribución en macrosectores hidráulicos³ abastecidos a través de acueductos independientes entre sí. A partir de esta recomendación fue desarrollado el proyecto denominado "Plan Los Angeles". Este proyecto proponía obras hidráulicas necesarias para la simplificación del sistema de distribución, con la finalidad de obtener esquemas de distribución simple y con pérdidas de fricción mínimas; garantizando rutas óptimas de abastecimiento de los caudales demandados por los usuarios de cada zona de la ciudad.

Una vez independizados los diferentes acueductos que definieron las fronteras y abastecimientos de los macrosectores hidráulicos propuestos en el balance hidráulico; se inició el proyecto de reducción de pérdidas técnicas en la red de distribución de las zonas centro y sur de la ciudad.

Identificación de la zona de estudio.

El sector del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil, ubicado en la zona centro de la ciudad, está conformado por un área aproximada de 1.262 hectáreas, con 49.740 conexiones domiciliarias, y un nivel socio-económico bajo. Y está limitado de la siguiente manera:

³ En la sección de anexos puede ser revisado el esquema de división del sistema de distribución de AA.PP. de la ciudad de Guayaquil en macrosectores hidráulicos, propuesto en el "Plan Los Angeles" (Anexo 3).

- Al norte por la calle G. Rendón (desde la calle 21 hasta la calle 30) y por la calle Febres-Cordero (desde la calle 30 hasta llegar al Estero Salado).
- Al este por la calle 21 (desde G. Rendón hasta El Oro) y por la calle 11 (desde Bolivia hasta Callejón Oriente).
- Al sur, oeste y sur-este por los cuerpos de agua correspondientes al Estero Salado.



Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.
(Fuente: Subgerencia de Distribución de agua potable, Interagua, 2008)

La zona de estudio se denomina macrosector hidráulico CTP, siglas correspondientes a la ubicación geográfica y las iniciales de la ruta de abastecimiento (Centro - Tres cerritos - Portete). Pues, el sector de estudio

perteneciente a la zona centro, es abastecido por un sistema a gravedad desde los tanques de almacenamiento #1 y #3 del reservorio de Tres Cerritos; a través de una tubería de conducción de 900mm que ingresa al suburbio por el puente de la calle Portete.

Justificación.

La red de distribución de agua potable del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil presentaba una gran cantidad de fugas, era antigua, de materiales inadecuados. No contaba con un abastecimiento continuo durante 24 horas del día, y en las 10 horas de servicio las condiciones eran deficientes; pues las presiones de servicio no superaban los dos metros de columna de agua.

Por esta razón la empresa INTERAGUA C. LTDA (Concesionaria del servicio de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Guayaquil) inició el proyecto de la sectorización hidráulica de la red de distribución. Este proyecto permitió lograr la continuidad del servicio, regularizar las presiones de servicio en todo el sistema de distribución, y alcanzar condiciones de servicio que posibiliten la implementación de estrategias para la reducción y control de pérdidas técnicas en el sistema de distribución de AA.PP. de la zona de estudio.

Luego de aplicar durante 21 meses la metodología de reducción y control de pérdidas técnicas en el sistema de distribución de agua potable del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil es necesario documentar la metodología aplicada, presentar los resultados obtenidos, y definir conclusiones y recomendaciones referentes a su aplicación.

Objetivos.

Objetivo general.

Presentar la metodología de reducción de pérdidas técnicas aplicada en el sistema de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.

Objetivos específicos.

- Revisar de la formulación teórica de la metodología de reducción de pérdidas técnicas planteada.
- Documentar la metodología de reducción de pérdidas técnicas aplicada.
- Presentar los resultados obtenidos durante el período de tiempo comprendido entre octubre del 2006 a octubre del 2008.

- Obtener conclusiones generales y específicas de la implementación de las diferentes estrategias incluidas en la metodología de reducción de pérdidas técnicas aplicada.

Estructura de la tesis.

La presente tesis de grado está conformada por 5 capítulos. En el capítulo 1 se han revisado los antecedentes relacionados con la aplicación de la metodología de reducción de pérdidas técnicas, la identificación de la zona de estudio, y los objetivos (general y específicos) del documento desarrollado a continuación.

En el capítulo 2 se presentará una revisión general del concepto de pérdidas técnicas de agua potable, así como de las alternativas que dispone una empresa u operadora de servicios de agua potable para su medición, evaluación y reducción. Información que permite plantear la formulación teórica de la metodología aplicada para la zona de estudio.

En los diferentes apartados que componen el capítulo 3 se presentan las estrategias de: sectorización hidráulica de la red de distribución, macromedición de caudales y presiones, control activo de fugas, gestión de la presión, y gestión de la infraestructura. Estrategias incluidas en la

metodología de reducción de pérdidas técnicas aplicada para la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.

Es así que tenemos que en el apartado 3.1, correspondiente a la sectorización hidráulica, se revisa el proceso de diseño de los límites de la sectorización hidráulica; y los trabajos de campo realizados durante la etapa de materialización, necesarios para definir físicamente sobre la red de distribución los límites de los sectores hidráulicos.

En el apartado 3.2 se realiza la revisión del sistema de macromedición de caudal y presión instalado en la red de distribución de AA.PP. de la zona de estudio. Esto incluye la revisión del protocolo de operaciones (ubicación de los puntos de macromedición y equipos instalados), del desarrollo de la actividad de macromedición, y de la gestión de la información obtenida como producto de esta actividad.

En el apartado 3.3 se presentan las estrategias de detección y búsqueda de fugas, que componen el control activo de fugas en la red de distribución. La revisión de la detección de fugas incluye el protocolo de operaciones, documentación, y evaluación de las pruebas de "Step Test"; y la revisión de los indicadores de pérdidas técnicas utilizados para analizar el nivel de

pérdidas técnicas en la red de distribución. En la sección correspondiente a la estrategia de búsqueda de fugas se describen los equipos de localización y detección directa de fugas empleados; detallando los principios fundamentales y las metodologías de trabajo para su utilización.

En los apartados 3.4 y 3.5 se revisarán las estrategias de gestión de la infraestructura y gestión de la presión, respectivamente. En estos apartados se considera la revisión de las actividades de mantenimiento de la red de distribución, proyectos de renovación de la red de distribución en sectores hidráulicos con infraestructura defectuosa, y la disminución y regulación de la presión de servicio.

En el capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología de reducción de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil. Revisando la evolución en el tiempo de los indicadores relacionados con las pérdidas técnicas y de las mejoras en la gestión del sistema de distribución.

Finalmente, en el capítulo 5 se enuncian las conclusiones recomendaciones técnicas obtenidas de la experiencia de aplicar la metodología de reducción de pérdidas técnicas en la zona de estudio.

CAPITULO 2

2. REVISION BIBLIOGRAFICA REFERENTE A PÉRDIDAS DE AGUA POTABLE.

Las pérdidas de agua potable en un sistema de distribución, representan la diferencia que existe entre la medición de la cantidad de agua suministrada al sistema de distribución (agua producida) y el volumen de agua considerado como base para la facturación y cobro de los servicios (agua facturada).

$$Pérdidas\ de\ agua = Agua\ Pr\ oducida - Agua\ Facturada$$

Debido a la diversidad de términos utilizados en un balance hidráulico para calcular las pérdidas de agua potable en un sistema de distribución, la Internacional Water Association (IWA - Sociedad Internacional de Agua) definió la terminología mostrada en la tabla 1. Esta terminología estandariza y define las pérdidas de agua potable como:

$$Pérdidas\ de\ agua = Pérdidas\ "reales" + Pérdidas\ "aparentes"$$

Tabla 1
Terminología propuesta por la IWA para se utilizada en un balance hidráulico

Volumen suministrado al sistema de distribución	Consumo autorizado	Consumo Autorizado facturado	Consumo medido facturado	Agua Contabilizada	
			Consumo no-medido facturado		
		Consumo Autorizado no-facturado	Consumo medido no-facturado	Agua No Contabilizada	
			Consumo no-medido no-facturado		
	Pérdidas de agua potable	Pérdidas aparentes			Consumo no autorizado
					Inexactitudes de medición
		Pérdidas reales		Fugas en la red de distribución	
				Fugas y reboses en tanques de almacenamiento (reservorios)	
		Fugas en acometidas			

Las *pérdidas reales* (o pérdidas técnicas) comprenden las fugas ocurridas por daños en la hermeticidad de los tanques de almacenamiento y en los componentes del sistema de distribución como tuberías, conexiones prediales, accesorios de unión y de control de la red; sean estos escapes visibles y no visibles [1].

El volumen de pérdidas de agua potable asociado a las pérdidas reales depende de las políticas de reparaciones de la empresa y de las características de la red de distribución. Características tales como: la presión de servicio de la red de distribución, la frecuencia y los caudales promedios de las fugas y roturas, la cantidad de fugas visibles nuevas reportadas, el

tiempo transcurrido entre la notificación, localización y reparación de las fugas visibles y el nivel de fugas de fondo existente en la red de distribución.

Las *pérdidas aparentes* (o pérdidas comerciales) representan la eficiencia del sistema de medición y se relacionan con aspectos de evaluación de cantidades de agua y no con pérdidas propiamente dichas, reflejándose en pérdidas de ingresos.

Estas pérdidas se asocian a los consumos no registrados y no facturados debido a: errores de medición, consumos clandestinos y fraudulentos (masivos o dispersos), consumos no facturados por errores en la subestimación de consumo, fraude de usuarios legales, y errores en las estimaciones de consumos no registrados que se producen en la red de abastecimiento.

Para propósitos de comprensión del origen de las pérdidas comerciales, a continuación se hace referencia a las causas que constituyen cada uno de sus componentes [2]:

1. *Volumen por error de medición*: es la parte del volumen consumido por los usuarios que no es facturado a causa de la imprecisión originada en la

sensibilidad (arranque a bajo caudal) y/o deterioro de exactitud con el tiempo del aparato de medición.

2. *Volumen de consumo clandestino:* es la parte del volumen consumido por los usuarios que no es facturado debido al uso de conexiones ilegales, sean estas dispersas o localizadas en asentamientos masivos. También incluyen consumos no autorizados a través de hidrantes.
3. *Volumen de consumo fraudulento:* es la parte del volumen consumido por los usuarios legales que no es facturado a causa del uso de conexiones paralelas a la acometida oficial o por adulteraciones del medidor.
4. *Volumen no facturado por subestimación de consumo:* es el volumen consumido por encima del facturado para usuarios que carecen de medidor y que reciben facturación estimada promedio.

Generalmente en los sistemas de distribución sin medición, el componente predominante de las pérdidas de agua potable son las fugas o pérdidas reales; mientras que en los sistemas de distribución con medición, las pérdidas aparentes pueden constituir un factor significativo. Sin embargo, en 1992, una comisión de observación de la IWA determinó que en los países desarrollados las fugas son usualmente el mayor componente de las pérdidas de agua potable; sin embargo en los países parcialmente desarrollados o en desarrollo son más trascendentes las conexiones ilegales, los errores de medición y errores de estimación [5].

2.1. Pérdidas técnicas de Agua Potable.

Las pérdidas técnicas de agua, también llamadas fugas, ocurren en los sistemas de distribución de agua potable debido a la no estanqueidad de los mismos. Es decir, ocurren debido a roturas, mal acoplamiento de uniones, válvulas, empaquetaduras, y demás elementos del sistema.

Estos flujos de agua no controlados constituyen un importante factor agravante de las pérdidas de agua potable debido a su naturaleza y su gran participación porcentual en las mismas. Pues, además de representar una pérdida efectiva de líquido, las fugas tienen reflejos sociales y económicos importante en la población; ya que se trata de agua captada, bombeada, tratada, almacenada, y distribuida, que se pierde debido a fallas en el sistema de abastecimiento en el instante en el que esta lista para ser consumida.

Si una tubería se rompe o presenta fugas durante la operación podría tener inicialmente un defecto, haber sido dañada durante la instalación, estar deteriorada y fatigada ya sea por la corrosión o por el envejecimiento del material, e incluso ser el resultado de fallas producidas por altas presiones o el acomodo natural del suelo.

Origen de las fugas.

Los factores que originan las fugas en los sistemas de distribución de agua dependen principalmente de factores relacionados con movimientos del terreno, corrosión de las tuberías, presión de servicio, antigüedad de las tuberías, y las condiciones de instalación de las tuberías.

La *corrosión* es provocada por factores como presencia de nivel freático o corrientes parásitas en tuberías instaladas sin la protección suficiente en terrenos agresivos (ácidos).

Los *movimientos del terreno* son una causa muy frecuente de las fugas, especialmente en aquellas tuberías instaladas sin precauciones en suelos inestables, tales como las zonas de aluviones, de relleno o suelos arcillosos que se expanden y contraen de acuerdo al contenido de humedad; donde las tuberías están sometidas a movimientos del terreno que afectan la estanqueidad de las juntas y de las tuberías [2].

Los *cambios de carga superficial del terreno* durante la ejecución de obras próximas a las tuberías de distribución de agua potable, someten al suelo a cargas inaceptables y transmiten vibraciones que ocasionan descompresiones

o movimientos del terreno, que afectan las condiciones de instalación de las tuberías [3].

Adicionalmente se pueden ocasionar daños en las tuberías por cargas de contacto durante la ejecución de excavaciones sin atender las precauciones reglamentarias, que en la práctica se da cuando un operario excavando el terreno con una máquina rompe la tubería.

La *mala calidad de materiales* empleados junto con una mano de obra deficiente implica trabajos defectuosos en instalación de tuberías o reparaciones; provocando la reducción de la vida útil de las tuberías instaladas y el aumento en la frecuencia de los daños.

Las *presiones de servicio excesivas* ocasionan sobrepresión o depresión instantánea (golpes de ariete⁴) en la red que puede provocar fracturas en las tuberías o desencajar accesorios por el desplazamiento de los bloques de anclaje.

⁴ El fenómeno de golpe de ariete (fenómeno transitorio) se produce por la variación repentina de la velocidad o la presión del fluido en un punto determinado de la tubería; por ejemplo, como resultado del cierre súbito de una válvula.

La tabla 2 resume de manera concreta las principales categorías asociadas al origen de las fugas mencionadas en el manual AWWA "Water Audits and Leak detection 1990" [5].

Tabla 2
Categorías asociadas al origen de las fugas

ORIGEN DE LAS FUGAS	Causas del origen de las fugas
MATERIAL DEFECTUOSO	Una deficiente elección de los materiales y de las juntas, así como de los asentamientos sobre los que deberán estar los mismos.
DEFICIENCIA EN LA INSTALACION DE TUBERIAS	Debido a una deficiente colocación de las tuberías, piedras alrededor de la tubería que no se han eliminado, o falta de previsión del tráfico pesado.
DEFICIENCIAS EN LA VALVULERIA	Se presentan en muchos casos fugas en accesorios como: ventosas, derivaciones de tuberías, hidrantes, válvulas (fugas en asientos de compuertas, incrustaciones, ejes rotos, abrazaderas mal puesta, etc).
CORROSION	Una corrosión interna debida a agua agresiva, y/o externa debida a una insuficiente protección en los materiales metálicos de cierta tierra agresiva y de las aguas subterráneas.
GOLPE DE ARIETE	Operaciones excesivamente rápidas realizadas sobre válvulas de funcionamiento en el sistema que dan lugar ocasionalmente a excesivas presiones, o llenado de tuberías demasiado rápido, dando lugar al fenómeno de ariete.
DESMONTAJE DEFICIENTE	Averías accidentales en hidrantes, llaves o grifos desmontados de los tubos verticales de manera deficiente originan fugas que deberían evitarse.

Respecto a los elementos del sistema de distribución donde tienen lugar el mayor volumen de las pérdidas reales, en un principio se creía que las juntas de las tuberías eran la principal causa de las fugas; pero se ha demostrado con los datos aportados por compañías gestoras de una gran parte del mundo, que no es así.

Las pérdidas en las juntas juegan un papel pequeño en el volumen total de las fugas, pues su caudal de fuga es muy pequeño, al igual que ocurre con las fugas debido a la corrosión. Las válvulas tampoco son fuente de grandes fugas, aunque en determinadas redes con gestión deficiente el número de problemas existentes en las mismas es importante.

Sin embargo, es en las acometidas y las tuberías de las acometidas donde se da el mayor volumen perdido por fuga, tanto por el número de tuberías dañadas como por los importantes caudales de fuga que tienen lugar.

Como muestra de lo manifestado en el párrafo anterior, se puede mencionar un estudio realizado en México (Ochoa, A. L. y Bourguett, O. V) en 1998 en el que se comprobó que en los sistemas de distribución de agua, las fugas tienen lugar entre 80-90% en las acometidas debido sobre todo a la calidad deficiente de los materiales y al no cumplimiento de las normas por motivos

económicos. De las fugas en acometidas el 75% se originaba en los propios tubos de las acometidas y el restante 25% en los codos, válvulas de inserción y control, y en las uniones de los tubos [5].

Tipos y clasificación de las fugas.

Teniendo en cuenta que una fuga es un escape de agua en cualquier punto de un sistema de abastecimiento, son muchas las características que pueden ser utilizadas para hacer una clasificación de las fugas.

a) Básicamente se puede decir que existen las fugas *visibles* y *no-visibles*. En el caso de las visibles aunque el efecto esté a una distancia importante del punto donde se dio a conocer, este emerge al exterior bien al pavimento o al terreno en general. Cuando por las condiciones del terreno o por el valor de la fuga, el agua se infiltra en el terreno o drena hacia tuberías de alcantarillado la fuga es no-visible; pudiendo ser o no visible en el futuro, dependiendo de las condiciones del terreno en cuanto a su permeabilidad y al tamaño de la fuga.

b) Una fuga también se puede clasificar dependiendo de la *razón u origen de su existencia*, aunque muchas veces se tenga cierta incertidumbre del origen de la misma. Así tenemos fugas debidas a *corrosión* tanto interna como

externa, fugas originadas por *excesiva presión* en la red, o debido a la *carga de tráfico*, o a una *mala calidad* tanto de los materiales como de los accesorios, y debido al envejecimiento de la infraestructura.

c) Las fugas también pueden ser clasificadas de acuerdo al *elemento del sistema donde se producen*:

- Fugas en *depósitos de abastecimientos*: Aparecen como grietas o derrames por reboses de los niveles de agua.
- Fugas en *tuberías principales*: Aparece de diferentes formas dependiendo de la causa que las origina tales como: *aplastamiento*, debido a un mal diseño o poca profundidad de instalación de la tubería, *reventón* debido a vibraciones de cargas en la superficie, o *rajaduras horizontales* debido a fatiga de la tubería, golpe de ariete, defecto en la construcción o manufacturación de la misma.
- Fugas en *líneas de acometidas*: Se suelen presentar debido a la mala calidad de los materiales o a una instalación deficiente de piezas que se colocan flojas o mal montadas, y también debido a factores externos como cortes o perforaciones en el terreno.
- Fugas en las *juntas de las tuberías*: Que juegan un papel pequeño en el volumen total de las fugas, pues su caudal de fuga es muy pequeño.

- Fugas en las *cajas de los medidores residenciales*: Son goteos producidos por piezas flojas y falta de hermeticidad del contador.
- Fugas en instalaciones intradomicilarias: No se tienen en cuenta para los balances de agua porque tienen lugar después del contador, aunque tienen influencia en los análisis de caudales nocturnos.
- Fugas en *válvulas*: Causadas por roturas de empaques o volantes de las mismas.
- Fugas *heterogéneas* o de otros tipos.

d) Las fugas se pueden clasificar en tres grupos dependiendo del caudal de agua que pierden:

- *Roturas*: Debidas a causas accidentales como fracturas de tuberías en obras, inundaciones, etc. en este tipo de fugas suele perderse gran cantidad de agua en poco tiempo, pero son fácilmente detectables.
- *Fugas ocultas de mediano o gran caudal*: Son pérdidas de agua ocultas y de gran caudal, que al encontrarse en terrenos permeables que filtran el agua. La mayoría suelen detectarse por las variaciones de presión que producen en la red, por el incremento de consumo en una zona o por el aumento de los caudales mínimos nocturnos. El tiempo de detección depende de la gestión activa de fugas que aplique.

- *Fugas de pequeño caudal:* Se producen en las válvulas de regulación, acometidas, hidrantes, etc. Estas son de difícil detección ya que no provocan un cambio brusco en consumos o presiones, aunque con el paso del tiempo represente una gran cantidad de agua perdida.

Normalmente se utilizan los términos "fuga" y "rotura" de diferentes modos, pues no hay existe definición normalizada. Una rotura en una tubería requiere una reparación de emergencia, mientras una fuga no, adicionalmente, la evidencia de una rotura es obvia, mientras la detección de una fuga puede requerir equipo especial. Aunque no hay reglas definitivas y firmes la tabla 3 lista las características de las fugas y las roturas.

Tabla 3
Características generales de fugas y roturas [3].

Fuga	Rotura
Es posible un calendario de reparación	Requiere reparación de emergencia.
Son necesarios medios específicos de detección	La detección es obvia (por ejemplo, agua en superficie, baja presión etc.)
La reparación no interrumpe el servicio usualmente	La reparación exige corte del servicio
Ocurre a menudo a lo largo del cilindro de la tubería	Sucede con más frecuencia en juntas de tubería y líneas de servicio.

Con el objetivo de controlar las pérdidas técnicas en los sistemas de abastecimiento de agua, Lambert, Mayers y Trow (1998) realizan una clasificación de las fugas en: fugas comunicadas o registradas, no comunicadas o registradas y fugas de fondo [5].

- *Fugas comunicadas:* fugas y roturas reportadas, de caudales de fuga altos pero de corto período de duración.
- *Fugas no comunicadas:* fugas y roturas no reportadas, de caudales de fuga moderados cuyo promedio de duración depende del método de control activo de fugas aplicado.
- *Fugas de fondo:* fugas en juntas, accesorios, y en los pequeños agujeros ocasionados por la corrosión. Son fugas de caudales muy bajos para ser detectados por métodos acústicos además de ser no visibles.

Las fugas comunicadas (o registradas) generalmente originan corrientes o charcos visibles en la superficie, originando una pérdida de agua y como consecuencia de ello un descenso de presión que puede dar origen a una deficiencia de servicio.

Las fugas no comunicadas (o no registradas) son encontradas solamente cuando se lleva a cabo una política activa de gestión, por lo que pueden existir durante meses o incluso años, y perder mayores volúmenes de agua que las fugas comunicadas.

Las fugas de fondo son fugas de caudales bastante bajos, pero pueden dar cuenta de una considerable proporción del volumen anual de pérdidas.

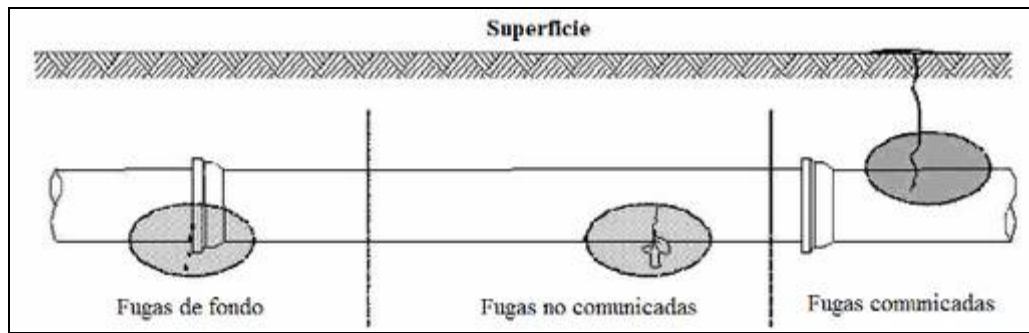


Figura 2. Clasificación de las fugas realizada por Lambert, Mayers y Trows en 1998
(Fuente: Catálogo completo de válvulas, Singer Valve)

La tabla 4 muestra valores típicos aproximados de caudales para las fugas comunicadas, no comunicadas y de fondo.

Tabla 4
Caudales aproximados para distintos tipos de fugas [5].

Tipo de fuga	Q (l/h)	Q (l/s)
Fuga de fondo (indetectable)	10 l/h - 300 l/h	0,003 l/s a 0,08 l/s
Fuga no comunicada (no fácilmente detectable)	< 500 l/h	< 0,14 l/s
Fuga no comunicada (fácilmente detectable)	> 500 l/h	> 0,14 l/s
Fuga comunicada	500 l/h - 50.000 l/h	0,14 l/s a 14 l/s

Hasta ahora se han presentado varios tipos de clasificación de fugas en función de las características de las mismas. Sin embargo, al momento de acometer un programa de gestión de pérdidas técnicas basado en la detección y localización activa de fugas; es necesario contar con una clasificación que relacione directamente su inspección, localización y reparación para mejorar el rendimiento de la red.

Esta clasificación adicional, realizada por Hirner W. H. (1998) no solo depende de la relación entre el número de fugas, de los caudales medios, y de la duración media de cada tipo de fuga; pues también considera cuales fugas pueden ser reparadas para ser económicamente rentables para la compañía.

La clasificación de Hirner plantea tres grandes tipos de fugas: las pérdidas inevitables, las pérdidas tolerables y las pérdidas recuperables [5].

- Las pérdidas inevitables: son las fugas de fondo, y son tan pequeñas que no es económico repararlas, pues no son detectables. Son económicamente detectables para la compañía.
- Las pérdidas tolerables: fugas detectables que están en un rango entre las inevitables y las pérdidas recuperables
- Las pérdidas recuperables o grandes pérdidas: es económico repararlas.

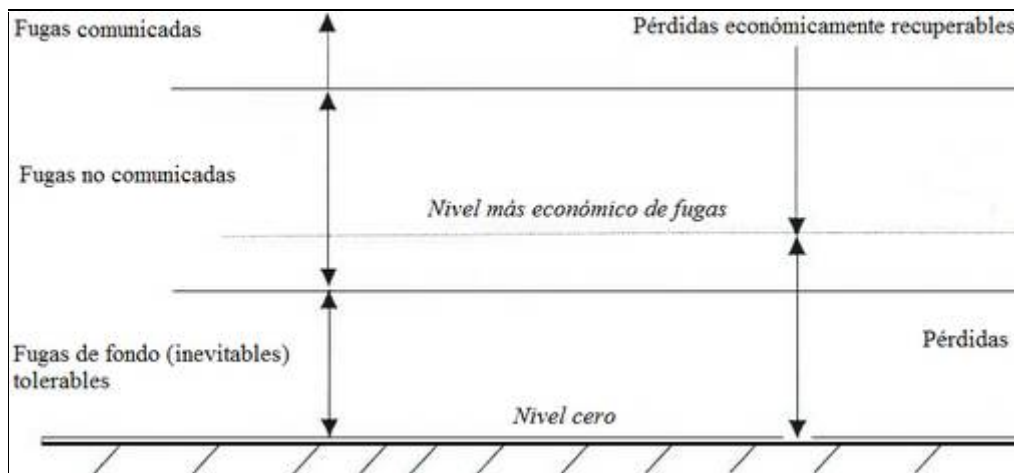


Figura 3. Relación entre clasificación de fugas de Hirner y nivel económico de pérdidas
(Fuente: Cabrera, Enrique, Alternativas y estrategias disponibles en la reducción de pérdidas, 2006)

2.2. Caudal Mínimo Nocturno.

La información que proporcionan los caudales mínimos nocturnos que son suministrados a la red de distribución de agua potable es valiosa, pues, las variaciones de estos caudales a lo largo de períodos sucesivos de tiempo permiten revelar pérdidas escondidas en el sistema.

Pero los caudales nocturnos brutos no pueden ser correlacionados directamente con las pérdidas en el sistema de distribución, pues, estos incluyen los consumos nocturnos domésticos y no domésticos realizados por industrias, hospitales y servicios públicos; las cuales deben ser estimadas.

Habiendo determinado las cifras del consumo nocturno doméstico y no doméstico y restado este valor del caudal bruto que es suministrado a la red de distribución, puede determinarse el caudal mínimo nocturno neto, el cual será el mejor indicador de la existencia excesiva de fugas en la red de distribución.

Componentes del caudal mínimo nocturno.

El caudal mínimo nocturno está constituido por dos componentes principales (tabla 5): el *caudal perdido por fugas en la red de distribución*; y el *caudal entregado a los consumidores*, sean estos domésticos y no domésticos, los que a su vez están compuestos por las fugas en las instalaciones domiciliarias y los consumos nocturnos intencionados.

Tabla 5
Componentes del caudal mínimo nocturno [8]

Caudal Mínimo Nocturno	Caudal entregado a los consumidores	Uso nocturno de consumidores	Uso doméstico	
			Uso no doméstico	
		Fugas de consumidores	Caudal nocturno correspondiente a fugas	
	Pérdidas en la red de distribución			

El caudal entregado a los consumidores puede descomponerse en dos términos: el consumo intencionado de los usuarios y el caudal correspondiente a fugas de los consumidores.

- El *caudal de fugas de los consumidores* corresponde a las fugas existentes en las instalaciones domiciliarias de los consumidores, que generan consumos de duraciones temporales altas. Es necesario recordar que la existencia de fugas durante largos períodos de tiempo en las instalaciones de los consumidores se debe a que las facturas no reflejan la ocurrencia de dichas fugas, por lo que los usuarios no encuentran motivo para repararlas.
- El *consumo intencionado* de agua en horas nocturnas está limitado en muchas ocasiones a consumos de poca duración con caudales variables originados por usos esporádicos en viviendas e industrias.

El caudal perdido por fugas en la red de distribución puede decomponerse en otros más específicos en función de la red donde se producen las fugas, tales como las roturas en tuberías de distribución y acometidas, y por otro lado por las fugas latentes.

Variabilidad de los consumos nocturnos.

La variabilidad de los consumos nocturnos radica en que no todos los componentes del caudal mínimo nocturno se comportan a lo largo del tiempo de la misma manera debido a la variación sistemática de los mismos. Esta variación es provocada por factores como la aleatoriedad del consumo de los usuarios, el número de usuarios, y los efectos de la presión en la red sobre la tasa de aparición de nuevas fugas.

La aleatoriedad del consumo de los usuarios puede ser demostrada a partir del hecho que los caudales de fugas que ocurren en las instalaciones internas de los usuarios y en la red de distribución son prácticamente estables durante el período en el que se registra el caudal mínimo nocturno; pero los consumos intencionados, sean domésticos o no domésticos, corresponden a consumos de intensidad y duración aleatoria.

Durante las horas nocturnas el consumo se reduce al caudal de fuga, por lo que, midiendo el caudal mínimo nocturno en una vivienda se tiene un excelente estimador de las fugas de la misma. Sin embargo, en la práctica los caudales medidos corresponden al consumo de un sector formado por un grupo de viviendas, lo que provoca una mayor dificultad para establecer el

caudal base normalmente correspondiente a fugas sobre el que se solapan los consumos.

Por lo tanto se puede concluir que el tiempo que se necesita para establecer el caudal base sobre el que se solapan los consumos y que correspondería al caudal de fuga del sector, aumenta con el número de viviendas en el sector.

Evaluación de las fugas en una red de distribución mediante la medición de caudales nocturnos.

Para determinar la proporción del caudal nocturno correspondiente a las fugas en la red de distribución es posible utilizar dos metodologías. La primera utiliza estimaciones de cada uno de los componentes del caudal mínimo nocturno, y la segunda utiliza el análisis estadístico de los caudales mínimos nocturnos suministrados a la red de distribución.

La estimación de los diferentes componentes del caudal mínimo nocturno puede realizarse mediante una metodología propuesta en el informe "Managing leakage". Esta metodología trata de establecer el caudal correspondiente a las roturas existentes en la red de distribución y acometidas, el caudal mínimo nocturno inevitable, y los consumos nocturnos de usuarios (8).

El volumen perdido por roturas en la red de distribución y acometidas se puede calcular a partir de la información sobre su frecuencia de aparición, el caudal característico y el tiempo transcurrido hasta su reparación. Su cálculo puede realizarse a través del método BABE, el cual necesita de una base de datos de las fugas reparadas en el sistema de distribución junto con información del material y diámetro de la tubería, la forma de la rotura, una aproximación del caudal perdido, las causas que lo provocaron y si la fuga fue comunicada por los usuarios.

Las fugas latentes son aquellas fugas que debido a su bajo caudal, su detección y localización es difícil. El cálculo de estas fugas puede ser realizado a través de una ecuación propuesta por Lambert y Hirner, la cual determina el Nivel Medio de Fugas Inevitables denominado UARL (Unavoidable Average Real Losses). El cálculo del UARL tiene en cuenta la influencia de la longitud de la tuberías, el número de acometidas, la longitud total de las acometidas desde la tubería principal hasta el medidor del usuario, y la presión promedio del sistema.

Muchas veces resulta difícil distinguir la proporción de fugas que se encuentran en la red de distribución y en las instalaciones interiores, por lo que las fugas en las instalaciones interiores pasan a ser contabilizadas dentro

del caudal nocturno correspondiente a fugas. En la sección 2.3 se revisará con mayor detalle el cálculo de estos componentes de las fugas existentes en la red de distribución.

El objetivo del *análisis estadístico de los caudales mínimos nocturnos* es cuantificar que parte del caudal mínimo nocturno corresponde a las fugas existentes en la red de distribución, junto a la hipótesis de que la totalidad del consumo nocturno que se produce de manera continua se debe a fugas en la red de distribución [8].

Antes de revisar la metodología de análisis estadístico de los caudales mínimos nocturnos es necesario recordar que el caudal mínimo nocturno se descompone en caudales constantes y de larga duración, y caudales aleatorios de menor duración.

Los *caudales constantes y de larga duración* comprenden:

- Las fugas en la red de distribución, de caudal constante pero dependientes de la presión en el sistema.
- Algunas fugas en las instalaciones interiores de los usuarios.
- Llenado de depósitos domiciliarios. Correspondiente a usos intencionados de agua de larga duración y caudal prácticamente constante, y que en

algunos sistemas puede llegar a ser muy importante debido a la presencia generalizada de tanques de almacenamiento y cisternas.

Los *caudales aleatorios de menor duración* incluyen:

- Los consumos en viviendas.
- Los consumos en industrias y locales comerciales.
- Algunas fugas menores en las instalaciones interiores, originadas por un grifo mal cerrado, una cisterna defectuosa, etc.

El análisis estadístico de la medición del caudal nocturno se basa en la hipótesis de que la media obtenida a partir de la muestra de caudales mínimos nocturnos puede considerarse una variable aleatoria normal.

Por lo tanto, aplicando las propiedades de esta variable se estima que el caudal correspondiente al caudal de fugas en la red de distribución (de caudal constante y de larga duración) estará con una probabilidad del 99% alrededor del caudal medio medido ± 2.5 veces su desviación típica muestral; desviación que correspondería a los caudales aleatorios o consumos nocturnos domésticos y no domésticos [8].

La secuencia que se aplica para el desarrollo de esta metodología es la siguiente:

- Se realizan mediciones del caudal mínimo nocturno durante una serie de noches en las que no se produzcan situaciones excepcionales. Estas mediciones proporcionarán una muestra de datos necesarios para el análisis estadístico a realizarse.
- A partir de los datos obtenidos de las mediciones se calcula el caudal medio correspondiente al caudal mínimo nocturno. Adicionalmente se deberá calcular la desviación típica muestral para los datos obtenidos.
- Finalmente, se calcula el caudal de fugas en la red de distribución realizando la resta entre el valor del caudal medio medido y 2.5 veces el valor de la desviación típica muestral calculada.

2.3. Medición y estimación de pérdidas técnicas de agua potable.

El método de medición de caudales de fugas aplicado en un sistema de distribución depende de las preferencias y políticas de la empresa operadora del servicio. Pero principalmente, de la configuración de la red de distribución y de las características del servicio. Esto es, si el servicio de distribución es continuo durante las 24 horas del día o es de servicio discontinuo, si la configuración de la red de distribución puede ser modificada temporalmente, y si la red de distribución está sectorizada.

Si la red de distribución cumple los requerimientos antes descritos, es decir si mantiene un servicio de abastecimiento continuo durante las 24 horas del día y la configuración de la red puede ser temporalmente modificada sin causar deficiencias de abastecimiento, la medición de caudales de fugas puede realizarse mediante la medición del caudal nocturno suministrado a la red de distribución, también utilizado en la detección indirecta de fugas para ubicar las áreas con mayor presencia de fugas. En caso contrario, las fugas deberán ser estimadas utilizando un método de cuantificación.

Medición del caudal nocturno suministrado a la red de distribución.

La medición del caudal suministrado a la red de distribución consiste en registrar, temporalmente (durante cortos períodos de tiempo) o permanentemente, los caudales que ingresan a una zona, sector, o subdivisión de la red de distribución.

Este método puede cubrir grandes áreas rápidamente y permite comparar las pérdidas de agua de un mismo sector día a día o semana a semana, así como comparar los valores de pérdidas de agua entre sectores individuales homólogos, y su ventaja radica en que solo es necesaria la medición de caudales de una manera temporal, pero frecuente, para su posterior análisis.

Es indispensable que una medición temporal del caudal sea precedida por la delimitación del sector hidráulico, para tener la seguridad de que esté efectivamente aislado de la red de distribución restante y de que durante el período de medición no exista deficiencia de abastecimiento de agua, es decir, presiones inferiores a la existente en condiciones normales de abastecimiento.

Para que el abastecimiento a la red de distribución sea normal durante el periodo de medición, es necesario asegurar un suministro continuo de agua al sector hidráulico, como mínimo, 48 horas antes de iniciar la medición. Cuando ocurre una interrupción significativa de abastecimiento, el período subsiguiente se destaca por un consumo de agua con características irregulares y diferentes de la distribución horaria de consumo que ocurre en condiciones normales de abastecimiento.

Durante el período de medición, es conveniente instalar aparatos registradores de presión en los puntos desfavorables de unidad de sectorización hidráulica con la finalidad de identificar eventuales interrupciones en el abastecimiento como consecuencia de operaciones en válvulas, roturas de tuberías u otros factores que puedan alterar la curva de consumo normal del sector hidráulico que está siendo medido.

Al inicio y al final del periodo de medición deben leerse todos los micromedidores de los grandes consumidores existentes en la unidad de sectorización hidráulica sujeta a medición, para eliminar en el análisis de los resultados el consumo promedio y consumo nocturno de los grandes consumidores. La eliminación de estos consumos permitirá establecer con mayor exactitud la correlación entre coeficientes de consumo y el posible nivel de fugas del sector hidráulico.

Las subdivisiones de la red de distribución consisten en la división, mediante válvulas de aislamiento, de la red de distribución en zonas de longitud de red más pequeñas e independientes (sectores hidráulicos y distritos de medición o DMAs) en las cuales pueda determinarse su demanda durante las 24 horas o durante la noche. Cuando no es posible aislar zonas de la red de distribución en forma permanente, como sería el caso para un sistema de distribución en anillo hidráulico, el aislamiento y la medición de caudales serán temporales [6].

Estimación de pérdidas técnicas.

En 1997 Lambert presentó un método que permite modelar y estimar los volúmenes correspondientes a los componentes de las pérdidas técnicas por medio de los conceptos denominados BABE "Burst and Background

Estimates" que en su análisis consideran las fugas de fondo, las fugas comunicadas y las fugas no comunicadas.

Según el manual Managing leakage el término "Burst" se refiere a roturas que tienen caudales de más de 500 l/h a una presión de 50 mca, y "Background" a las fugas latentes, es decir, fugas con caudales menores a 500 l/h a una presión de 50 mca [1].

Los conceptos BABE consideran que las roturas se derivan de las fugas comunicadas y no comunicadas, y que estas son generadas por fugas indetectables individuales que pueden considerarse como grupos de sucesos con frecuencias, caudales típicos y duraciones típicas diferentes. Obtenidas a partir del análisis del Volumen Anual de pérdidas técnicas o Current Annual Real Losses (CARL).

Su cálculo se realiza estudiando los tres tipos de fugas para cada infraestructura del sistema de abastecimiento, esto es, en depósitos de almacenamiento, en tuberías de transporte (acueductos), tuberías de distribución y acometidas; considerando ciertos parámetros que ejercen influencia en los volúmenes de las pérdidas técnicas derivadas de las fugas detectables.

Para el cálculo del CARL se suele utilizar un software diseñado específicamente para cada compañía, en el que cada uno de los componentes de las pérdidas técnicas está modelado a partir de información que permita cuantificar las pérdidas técnicas anuales. Esta información está compuesta principalmente por:

- Datos estadísticos sobre la infraestructura, las frecuencias de las fugas comunicadas y no comunicadas, y la presión de servicio en la red de distribución.
- Número de fugas comunicadas y no comunicadas de diferentes tamaños y tipos de tuberías.
- Caudales de fugas típicos, por diámetro y material de la tubería, y presión.
- Duración promedio de las fugas comunicadas y no comunicadas, modeladas de acuerdo a los tiempos promedios de reporte o detección, localización y de reparación supuestos por las políticas en curso de la compañía de agua.
- Relaciones presión/fuga derivadas de estudios internacionales y verificados localmente.
- Caudales típicos para las fugas detectables, basados en estudios internacionales.
- Caudales típicos de fugas de fondo y factores es estado de la infraestructura, basados en análisis de datos de caudales nocturnos.

Tabla 6
Parámetros utilizados para el análisis de los componentes de las pérdidas técnicas anuales – CARL [1]

Tipo de infraestructura	Fugas de fondo no detectables	Roturas y reboses reportados	Roturas y reboses no reportados
Acueductos	Longitud Presión Menor índice de pérdida/Km	Número/año Presión Índice promedio de caudal Duración promedio	Número/año Presión Índice promedio de caudal Duración promedio
Tanques de almacenamiento	Fugas a través de la estructura, porcentaje de capacidad/día	No. de reboses reportados/año Índice promedio de caudal Duración promedio	No. de reboses no reportados/año Índice promedio de caudal Duración promedio
Acometidas	Número de acometidas Presión Menor índice de pérdida/acometida	Número/año Presión Índice promedio de caudal	Número/año Presión Índice promedio de caudal
Instalaciones internas (después del medidor)	Longitud Presión Menor índice de pérdida/Km	Número/año Presión Índice promedio de caudal	Número/año Presión Índice promedio de caudal

Las fugas de fondo conforman el Nivel Medio de Fugas Inevitables o Unavoidable Average Real Losses (UARL). Este muestra el mejor estado potencial de pérdidas técnicas que podría alcanzar un sistema para las condiciones particulares de longitud de redes y acometidas, número de acometidas y presiones de servicio.

Los componentes del UARL pueden ser obtenidos utilizando los valores apropiados de los parámetros de frecuencia y duración de las roturas, y relaciones típicas entre presiones y caudales de fugas para sistemas en buenas condiciones de mantenimiento.

Tabla 7
Componentes calculados para el Umbral Medio de Fugas – UARL [7]

Tipo de infraestructura	Fugas de fondo	Roturas reportadas	Roturas no reportadas	UARL Total	Unidades
Red de distribución	9.6	5.8	2.6	18	litros/Km de tuberías/día/mca
Acometidas	0.6	0.04	0.16	0.8	litros/acometida/día/mca
Acometidas (medidas desde la red de distribución hasta el medidor)	16.0	1.9	7.1	25	litros/Km/día/mca

Los valores, mostrados en la tabla 7, fueron obtenidos a partir de un análisis estadístico de datos procedentes de más de 27 abastecimientos en 20 países y muestran la preponderancia de las fugas en las acometidas frente a las fugas en las tuberías de distribución, y la menor importancia del número en aquellas.

Estos pueden ser presentados como ecuaciones en unidades internacionales o inglesas. La ecuación básica de cálculo para el UARL en unidades de litros/día es:

$$UARL = (18 \times L_d + 0.80 \times N_a + 25 \times L_a) \times P$$

Donde:

L_d : Longitud total de las tuberías de distribución de la red, expresada en [Km]

N_a : número total de acometidas existentes

L_a : Suma de las longitudes de todas las acometidas, expresada en [Km]

P : Presión promedio del sistema, expresada en [mca]

El UARL también puede ser expresado en unidades de litros/acometida/día y calculado a través de la siguiente ecuación:

$$UARL = \frac{(18 \times L_d + 0.80 \times N_a + 25 \times L_a) \times P}{N_a}$$

En el documento "Managing Leaking" se propone un método simplificado en el que el caudal nocturno se calcula a partir de una ecuación donde únicamente se incluye el número de acometidas y la longitud de las tuberías de distribución afectados por constantes.

$$Q_{fugas.latentes} = F \times N_c + G \times L_m$$

Las constantes F y G , están en función del estado de la red, con valores entre 2 a 6 l/viv/h para la constante F y entre 20 y 40 l/viv/h para la constante G . Para obtener los valores correspondientes a las constantes de esta ecuación se realizaron mediciones en 42 sectores correspondientes a varios sistemas de distribución de AA.PP. a una presión promedio del sistema de 50 mca.

Las ecuaciones mencionadas muestran que el UARL depende directamente de las variables de longitud de la red de distribución, y longitud de las acometidas y número de las mismas. Mediante los valores que tiene cada una de las tres variables queda confirmada la importancia relativa que tiene cada una en las fugas existentes para un sistema de abastecimiento específico o un grupo de ellos. Además debido a la influencia de la presión promedio del sistema en el nivel de pérdidas, ésta aparece como un factor multiplicador de la suma de las tres variables.

2.4. Indicadores de pérdidas técnicas.

Para la representación del nivel de pérdidas físicas existentes en una red de distribución de agua potable, la Internacional Water Supply Association (IWA) recomienda la utilización de indicadores de desempeño (PIs o Performance Indicators) del sistema de distribución, que relacionen el

volumen perdido a través de fugas con factores como la longitud y presión de la red, tiempo de servicio, número de acometidas y número de predios servidos; todos ellos fácilmente determinables.

Los indicadores de pérdidas técnicas más utilizados son aquellos que están en función del:

- Porcentaje del caudal promedio diario , o indicadores porcentuales (usados por algunas empresas de Estados Unidos y compañías operadoras de Francia).
- Volumen por predio por unidad de tiempo, expresado en litros/predio/hora (usado actualmente por operadores de Alemania y Japón).
- Volumen por conexión de servicio por unidad de tiempo, expresado en litros/acometida/hora
- Volumen por longitud de tuberías del sistema por unidad de tiempo, expresado en m³/Km de redes del sistema/hora

La selección de estos dependerá de la simplicidad de cálculo deseada, de la cantidad de datos disponibles para su cálculo, o de aquel que represente mejor el estado del sistema de distribución. La tabla 8 muestra los factores necesarios para el cálculo de los principales indicadores de desempeño.

Tabla 8
Parámetros de cálculo para los principales indicadores de desempeño propuestos por la IWA [7].

Indicador de desempeño	Continuidad de servicio	Longitud de redes	Número de acometidas	Localización del micromedidor	Presión de servicio
Porcentaje del caudal promedio diario o indicador porcentual	No	No	No	No	No
Volumen/predio/unidad de tiempo	No	No	Solo si existe un predio por acometida	No	No
Volumen/acometida/unidad de tiempo	No	No	Si	No	No
Volumen/longitud de tuberías/por unidad de tiempo	No	Si	No	No	No
Volumen/longitud de redes total del sistema/por unidad de tiempo	No	Si	Posiblemente	Si	No

Indicadores porcentuales de pérdidas técnicas.

Los indicadores porcentuales de pérdidas técnicas se calculan a través del estudio derivado de la medición y monitoreo (en intervalos mínimos de 24 horas) de caudales mínimos nocturnos suministrado a un sector hidráulico. Entre los indicadores de mayor uso se pueden mencionar los Coeficientes de consumo, el Índice de Agua No Contabilizada, el Índice de Consumo No Doméstico, y el Índice Lineal de fugas.

La interpretación de algunos de estos indicadores es sencilla, pues, para cada uno de ellos se ha fijado un valor que cuando resulta mayor comparado con los valores obtenidos del cálculo para cada sector indicará la existencia de fugas.

El Índice de Agua No Contabilizada (IANC) es un indicador del porcentaje de pérdidas en un sistema de distribución de agua potable, utilizado para diagnosticar la eficiencia general de una empresa de agua potable.

La disminución del IANC es un objetivo de todas las empresas de agua potable, pero es imposible de conseguir. Una regla general, comúnmente aprobada, es definir un nivel aceptable de IANC de 0.15 (15%) aunque este valor es altamente específico de cada sistema de distribución. La norma real

para decidir si hay un nivel aceptable de agua no contabilizada es una regla económica: el ahorro económico en la producción de agua al menos debe compensar el costo de reducción del agua no contabilizada.

El cálculo del Índice de Agua No Contabilizada puede ser realizado mediante una ecuación cuyos resultados pueden ser expresados en cifras porcentuales por constituir una forma de expresión estándar definida por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico de Colombia [2].

$$IANC = \frac{\text{Volumen Pr oducido} - \text{Volumen Facturado}}{\text{Volumen Pr oducido}}$$

Para esta ecuación el *Volumen Producido* es definido como aquel volumen medido a la salida de los tanques de almacenamiento menos los desperdicios de agua utilizados por mantenimientos, y corresponde al volumen entregado al sistema de distribución durante los últimos doce meses. El *Volumen Facturado* corresponde al registrado por todos los micromedidores de los usuarios, también durante los últimos doce meses.

La determinación de la cifra correcta para el IANC en cualquier sistema puede no ser tan fácil, debido a que frecuentemente, incluso en los denominados sistemas completamente medidos, se utiliza mucha agua sin medir y dichas cantidades tienen que ser estimadas.

Los Índices de Consumo permiten un conocimiento "a priori" del estado de la red de distribución mediante valores orientadores de la existencia de fugas como los mostrados en la tabla 9.

Su cálculo se hace a partir de los consumos horarios obtenidos a través del análisis gráfico y estadístico de los datos registrados durante la medición del caudal suministrado a la red de distribución realizada de manera continua durante un tiempo mínimo de 24 horas. Los coeficientes de consumo más utilizados son el Índice de Consumo Máximo Horario (ICMH) y del Índice de Consumo Mínimo Nocturno (ICMN) para áreas residenciales.

Tabla 9
Valores orientadores de la existencia de fugas para índices de consumo [9].

Indicador	Expresión de cálculo	Valores orientadores
Índice de Consumo Horario-	CHM/CMN	$CHM/CMN > 3$ a 7 indica bajo nivel de fugas. Para valores < 3 , el nivel de fugas es importante
Índice de Consumo Máximo Horario (<i>ICMH</i>)	$ICMH = CHM/CHP$	Valores de diseño recomendado en cada país (México 1.55)
Índice de Consumo Mínimo Nocturno (<i>ICMN</i>)	$ICMN = CMN/CHP$	$ICMN > 0.4$ indica sospecha fugas

Si existen grandes consumidores en el sector hidráulico investigado, es necesario el cálculo del Índice de Consumo Nocturno No Doméstico (ICONOD).

$$ICONOD = \frac{CMN - cmn}{CHP - chp}$$

Valores de ICONOD > 0.4 indican la sospecha de existencia de fugas en el sector, sin embargo la AWWA recomienda utilizar valores de 0.35 para los análisis comparativos. Sin embargo, un análisis de costo-beneficio junto con estudios de correlación entre pérdidas técnicas de agua potable y valores de ICONOD, pueden definir los valores máximos de índices a partir de los cuales es económicamente viable proseguir con la investigación de fugas no visibles para sector hidráulico.

Cuando un sector hidráulico no tiene grandes consumidores, el Índice de Consumo Nocturno No Doméstico (ICONOD) coincide con el Índice de Consumo Mínimo Nocturno (ICMN), pues el ICONOD elimina la influencia del consumo de los grandes consumidores cuando se analiza la relación entre el caudal mínimo nocturno y el caudal horario promedio.

Indicadores de pérdidas técnicas recomendados por la IWA.

Referente al indicador que mejor represente el nivel de las pérdidas técnicas existentes en una red de distribución y pueda ser utilizado como criterio para orientar los recursos dirigidos a la detección de fugas, la IWA publicó las siguientes observaciones [1]:

- El indicador que relaciona el "porcentaje del caudal promedio diario", es fuertemente influenciado por los consumos y la variabilidad de estos, por lo que es poco adecuado para representar el nivel de pérdidas físicas en la red de distribución.
- El indicador expresado en "volumen/por predio/unidad de tiempo" no es recomendado, pues, existe la posibilidad de que una misma acometida abastezca a más de un usuario.
- Para el caso de aquellos sistemas con discontinuidad de servicio, se debería utilizar el indicador expresado en "volumen/por acometida/unidad de tiempo" cuando el sistema está presurizado"
- Los indicadores expresados en "volumen/por acometida/unidad de tiempo" y en "volumen/longitud de tuberías/por unidad de tiempo" dependen de la densidad de conexiones existentes en el sistema.
- El indicador que relaciona la "longitud de redes total del sistema" con el nivel de pérdidas físicas permite incluir un número mayor de factores que aquella que depende de "el número de acometidas" o "la longitud de

tuberías”; y es la más adecuada para el análisis de sistemas en los que la mayoría de las fugas ocurren en las acometidas y no en las tuberías.

Siendo los indicadores de desempeño de más adecuada aplicabilidad para evaluar el nivel de pérdidas físicas son: el indicador de desempeño expresado en “volumen/por acometida/unidad de tiempo” para una densidad de conexiones menores a 20 acometidas/Km de tuberías, y aquel expresado en “volumen/longitud de red/unidad de tiempo” para sistemas de distribución con densidades mayores a 20 acometidas/Km de tuberías.

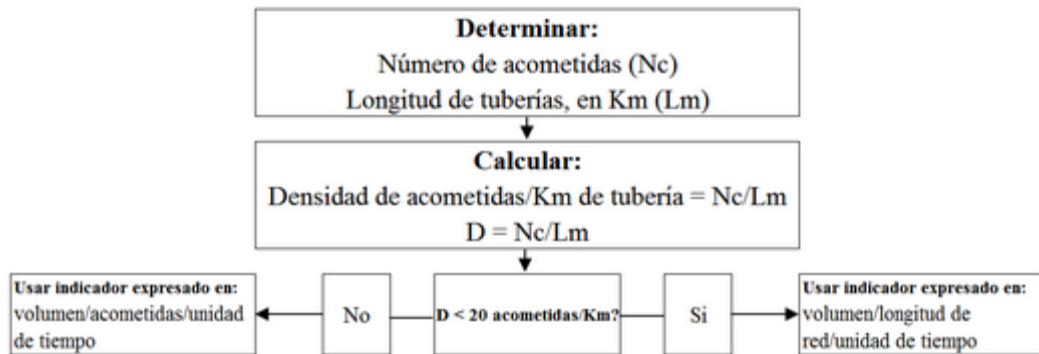


Figura 4. Criterios para la selección de indicador de pérdidas técnicas adecuado a las características de la red de distribución de agua potable.

(Fuente: Cabrera, Enrique, Alternativas y estrategias disponibles en la reducción de pérdidas, 2006)

El Índice Lineal de fugas, también denominado Consumo Específico Nocturno (CEN), expresado en [l/s Km], se calcula como el cociente entre el Caudal Mínimo Nocturno determinado en pruebas de step test y la longitud L de la red de distribución.

$$CEN = \frac{CMN}{L}$$

Para realizar el análisis es necesario definir un parámetro de comparación, denominado *Consumo Específico Límite Nocturno (CELN)*. El cálculo del CELN supone que una parte del agua suministrada a la red de distribución durante horarios de consumo mínimo nocturno se está perdiendo por fugas y que la parte restante está entregándose a los consumidores.

$$CELN = \frac{E \times CMN}{100 \times L}$$

Donde:

CELN = Consumo Específico Límite Nocturno, expresado en [l/s/Km]

CMN = Consumo Mínimo Nocturno, resultado de la suma de los consumos nocturno de los segmentos de red medidos.

L = Longitud de tubería de sector hidráulico, expresado en [Km].

E = Porcentaje esperado de entrega a los usuarios

$$E = \frac{(CMN - P) \times 100}{CMN}$$

Cuando no se dispone de información suficiente para el cálculo del porcentaje E se adopta un valor de 70% para redes de distribución donde hay almacenamiento domiciliar. Valor que posteriormente debe ser ajustado al obtener mayor información del sistema de distribución.

Una fuga detectable por los equipos actualmente existentes, provoca una pérdida de agua que transformada en Consumo Específico Nocturno es muy superior al Consumo Especifico Límite Nocturno. En función de esta hipótesis, se puede establecer un criterio según el cual cada vez que se tenga un Consumo Específico Nocturno de segmento de red, superior al Consumo Especifico Límite Nocturno, se realice una investigación a fin de determinar las causas de ese alto consumo.

La utilización de los indicadores de desempeño hasta ahora revisados es limitada, pues resulta adecuada cuando son utilizados para analizar la evolución del estado de un mismo sector, pero no necesariamente son los más adecuados para realizar comparaciones entre sectores con presiones de servicio distintas. Pues, para un eficiente control de pérdidas, es necesario el uso de indicadores que posibiliten el análisis del desempeño de un sistema de distribución cualquiera y que también permita su comparación con otros sistemas (Benchmark).

Como solución a este inconveniente, Lambert (1998) propuso el cálculo de un valor de referencia de pérdidas técnicas a través de ecuaciones que utilizan como variables la longitud total del sistema, el número de acometidas

existentes en la red, y la presión promedio de la red durante 24 horas de servicio.

En función de la propuesta hecha por Lambert, la Internacional Water Association (IWA) recomienda la utilización de un indicador denominado Índice de Fugas Estructurales o ILI (Infrastructure Leakage Index). Este indicador permite medir la efectividad de las actividades de reparación y rehabilitación de redes como resultado del control activo de fugas, en relación a la presión de servicio de cada sistema de distribución de agua potable que influyen sobre el estado de la infraestructura del sistema.

El ILI es adimensional, su cálculo está basado en la relación entre dos indicadores relativos: el Volumen Incontrolado de Fugas o CARL (Current Annual Real Losses) y el Nivel Medio de Fugas o UARL (Unavoidable Average Real Losses). Calculados en función de las presiones existentes para cada sistema y su continuidad de servicio; por lo que puede ser utilizado efectivamente como factor de comparación entre diferentes sistemas de abastecimientos.

$$ILI = \frac{CARL}{UARL}$$

Un valor de ILI igual o incluso menor que 1 indica que el sistema se encuentra en las mejores condiciones posibles de operación y gestión; y a medida que un sistema envejece y/o su gestión empeora, el ILI tenderá a aumentar sensiblemente, situándose entre lo aceptable en el entorno de 5.

Estos valores fueron definidos en función de los resultados obtenidos en un estudio realizado por Wallace en 1987, en el que se calcularon los valores de Indicadores de Fugas Estructurales (ILI) para 27 sistemas de abastecimiento de varios países, los cuales variaron entre 1 y 10.

El uso del ILI aún no es aceptado totalmente por todas las autoridades de regulación del agua y compañías operadoras, pues su cálculo es aún cuestionado debido principalmente a:

- La exactitud de la base de datos en la que ecuación general de cálculo del UARL es cuestionable.
- Los datos requeridos para el cálculo del UARL frecuentemente no están disponibles.
- El ILI es muy elemental y carece de una explicación física.

Finalmente es necesario reiterar que la importancia de este indicador no radica en su valor numérico, sino como instrumento de comparación entre distintos sistemas de abastecimientos.

2.5. Estrategias de reducción de pérdidas técnicas.

En este apartado se revisará la bibliografía existente de las estrategias de reducción y control de pérdidas técnicas en los sistemas de distribución de agua potable, que al ser aplicadas repercutan en una disminución de las pérdidas técnicas y por consiguiente en la mejora de los parámetros de presión y caudal de la red y de los diversos indicadores de gestión del sistema de distribución. Esto se debe a que el concepto de pérdidas técnicas, o reales, en un sistema de distribución de agua potable está estrechamente ligado a las presiones y caudales del sistema.

La reducción y control de pérdidas técnicas se puede realizar a través de la ejecución de una metodología compuesta por cuatro actividades fundamentales, presentadas en la tabla 10: el *control activo de fugas* para la localización de fugas no reportadas, la *gestión de la presión*, la *gestión de infraestructura* y la *velocidad y calidad de las reparaciones*, cuya interacción permite mejorar el rendimiento de la red y de los índices de fugas.

Tabla 10
Estrategias para la reducción y control de pérdidas técnicas [1]

Concepto		Método
Mejora de las Pérdidas Totales	Pérdidas Reales	a) Control Activo de fugas b) Gestión de la presión c) Gestión de Infraestructura d) Velocidad y calidad de las reparaciones
	Pérdidas Aparentes	Gestión de la medición

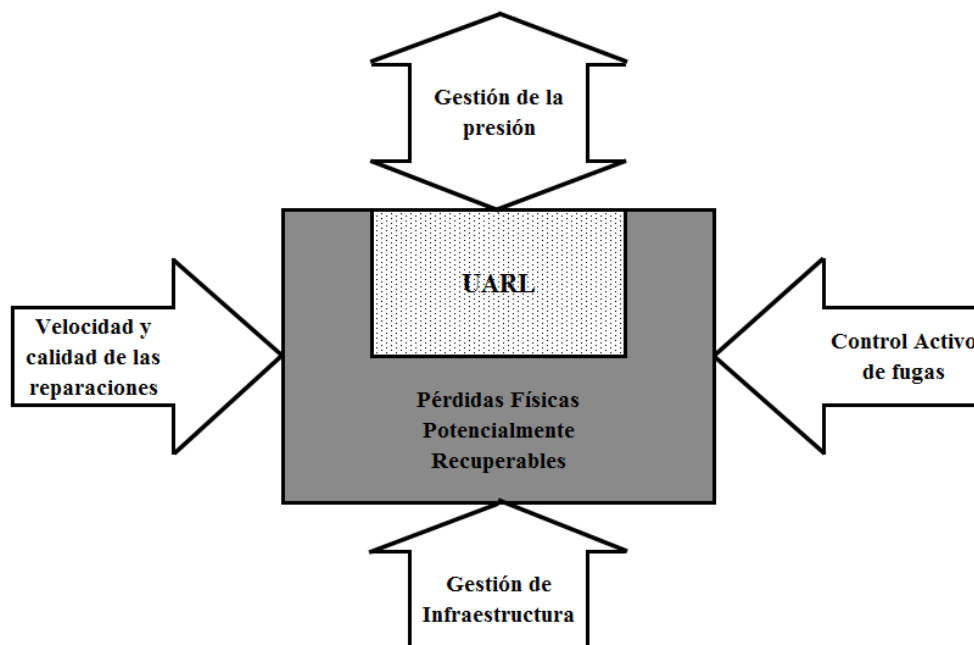


Figura 5. Estrategias de reducción y control de pérdidas técnicas.
(Fuente: Farley M. y Trow S, Losses in Water Distribution Networks, 2003)

Estas cuatro actividades inciden en las causas y efectos de las pérdidas técnicas y son aplicadas con el objetivo de alcanzar y mantener un nivel en el que los componentes de pérdidas de agua sean lo mínimos posibles en condiciones de factibilidad técnica, económica y financiera

Sin embargo, las 4 actividades mencionadas en la tabla 10 están diseñadas para ser aplicadas en una red de distribución sectorizada que cuente con un sistema de macromedición distrital. Que permitan medir los caudales suministrados a los diferentes sectores o distritos durante las 24 horas o durante la noche.

Sectorización hidráulica de la red de distribución.

La sectorización hidráulica de la red de distribución de agua potable es una estrategia de reducción y control de pérdidas técnicas y comerciales, que consiste en la división de la red de distribución en sectores de menor longitud de red, homogéneos, aislados e independientes.

Esta actividad se cumple en dos etapas: una primera etapa de oficina, para la recopilación, análisis de la información existente y planeamiento. Luego una segunda etapa en terreno, de materialización de la sectorización planteada.

El desarrollo de la actividad de oficina esta orientado a definir y proponer las unidades de sectorización. La actividad en campo comprende la ejecución de acciones operativas, el desarrollo programado de obras civiles, y la consecuente materialización en terreno de la sectorización hidráulica propuesta en oficina.

Diseño de la sectorización hidráulica.

El diseño de la sectorización hidráulica se define en base a la información técnica obtenida de planos exactos de la red de distribución, que permita conocer: la configuración y longitud de la red de distribución, localización de las zonas industriales, residenciales y comerciales. Adicionalmente apoyado en los resultados de la modelación y el conocimiento de la operación del sistema.

Los principales aspectos que deben de ser considerados en el diseño de los sectores hidráulicos son [2]:

a. Identificación general del sistema de distribución en el que se aplicará la sectorización hidráulica.

Inicialmente, se identifican las fuentes de suministro, las zonas aferentes a plantas de tratamiento o tanques de almacenamiento y las zonas de presión que conforman los sectores naturales del sistema.

Esta tarea inicial permite establecer sectores hidráulicos dentro de los límites de una sola zona de presión. Evitando problemas de insuficiencia en la red de distribución y garantizando buenas condiciones de presión en las horas de mayor consumo. Posteriormente, se debe analizar la configuración del sistema de distribución e identificar las válvulas de control de la red matriz (acueductos) existentes.

b. Definición del número de sectores hidráulicos que dividirán la red de distribución.

Con base en las características de la red se define el número de sectores hidráulicos que se desea obtener y el número promedio de usuarios que tendrá cada sector. Procurando relacionar la macromedición y la micromedición al nivel de sectores; analizando las variables de costos de instrumentación de la red, los rendimientos y la periodicidad de la actividad de lectura de micromedidores.

Lambert (1998) manifiesta que en el caso de utilizar la medición de caudales nocturnos para identificar nuevas fugas originadas en una unidad de sectorización hidráulica, el tamaño óptimo debe estar entre 500 y 1000 acometidas [5].

c. Definición de la longitud de red de las unidades de la sectorización hidráulica.

La longitud de red que comprenderá un sector hidráulico debe definirse en base a los costos de establecimiento y mantenimiento de sector y el tamaño de las fugas que puedan ser identificadas.

La longitud de red de una unidad de sectorización hidráulica específica no debe extenderse a todos los sistemas de distribución. Este valor depende de una serie de factores tales como diámetro medio de la red, tipo de malla, condiciones de rugosidad interna de las tuberías, presión de servicio y consumos.

En todo caso, solamente la experiencia indicara la longitud de red óptima, sin embargo es necesario recordar que el tamaño de la red comprendida en un sector hidráulico no debe ser muy grande, teniendo en consideración

probables cambios en las características de consumo y demás condiciones de la red a lo largo del tiempo [9].

d. Delimitación de las unidades de la sectorización hidráulica.

En base a la información anterior, se procede a delimitar la red matriz conformando una malla abierta continua con las tuberías de diámetros mayores, procurando evitar el cierre de válvulas de diámetros superiores al mínimo definido para la red matriz.

Los límites de cada unidad de la sectorización hidráulica deben elegirse de tal manera que en lo posible conformen áreas de forma regular, siempre que la topología de la red y la configuración urbanística lo permita. Con trazos rectos que no dividan manzanas para facilitar la identificación de los usuarios, y que seccionen la menor cantidad posible de tuberías de la red; considerando las zonas de estratos socio-económicos y las características físicas existentes que impliquen el empleo del menor número de válvulas entre sectores.

En las zonas urbanas los límites deben adecuarse a las construcciones u obras importantes tales como calles, grandes avenidas, carreteras, canales o líneas férreas. En las zonas no urbanizadas los límites deben ajustarse a los

accidentes geográficos tales como ríos y cambios topográficos que orientarán en el futuro la distribución urbanística, evitando que sean atravesados.

e. Limitación del número de tuberías de abastecimiento de las unidades de la sectorización hidráulica.

Los sectores hidráulicos deben tener el menor número posible de entradas y salidas. Las tuberías de abastecimiento serán de diámetros suficientes para entregar el caudal requerido por cada unidad de sectorización hidráulica, sin desmejorar las condiciones de servicio (caudal y presión) que prevalecían antes de la suspensión de los abastecimientos menores.

Materialización de la sectorización hidráulica.

La materialización de la sectorización hidráulica requiere la ejecución de acciones operativas orientadas a la verificación en campo de las condiciones necesarias para definir la sectorización hidráulica. Siendo las principales actividades a realizarse las siguientes [2 y 4]:

a. Verificación de la topología de la red de distribución.

La verificación en campo de la topología de la red permite establecer si ésta tiene relación con los límites propuestos en oficina para la sectorización

hidráulica de la red. Verificación que permite identificar la existencia de accesorios y empates entre las diferentes tuberías, diámetros y materiales, conocer el alineamiento real y la localización en detalle de la red de distribución.

b. Investigación de las válvulas en la red de distribución.

La actividad de investigación de válvulas procura la verificación en terreno de todas las válvulas existentes en la red de distribución. La verificación de una válvula consiste en la localización e inspección de la válvula, su operación, la verificación de su condición (abierta o cerrada) y estado operativo (constatando la existencia de eventuales escapes), la nivelación de la cámara de válvula (en caso de ser necesario), y el registro de la información referente a la válvula investigada.

c. Ejecución de obras complementarias de la sectorización hidráulica.

Las obras complementarias para la sectorización hidráulica son aquellas necesarias para materializar las sectorización. Estas deben de considerar:

- Proyectar la instalación de válvulas nuevas donde hagan falta, o renovación de válvulas inoperables o defectuosas; que permitan el seccionamiento de la red del sector hidráulico en tramos de pequeña

longitud (inferiores a 1000 m.) y que permitan aislar las unidades de sectorización sin ocasionar alteraciones de las condiciones de servicio en las unidades de sectorización adyacentes.

- Proyectar la instalación de hidrantes, con sus respectivas válvulas de alimentación, en cada tubería de abastecimiento.
- Instalación de tapones o empates sobre las tuberías para adaptar la red a las condiciones de sectorización definidas en oficina.
- Plantear el retiro de servicio de tuberías muy antiguas que dificulten la sectorización.

d. Ejecución de obras de optimización hidráulica de la red.

En algunos casos será necesario acometer obras de optimización hidráulica de la red a corto y mediano plazo, principalmente de suministro e instalación de tuberías de refuerzo para mejorar la capacidad de transporte, entre las que se sugiere:

- Proponer obras en la malla secundaria para completar circuitos locales a nivel de manzanas y la eliminación de los puntos muertos de la red.
- Complementar y reforzar las tuberías primarias, y eliminar problemas de interrupción de la red primaria interrumpida o la existencia de una red secundaria en su lugar.

- Reforzar la red secundaria, para que a partir de la única entrada de una unidad de sectorización, sea posible abastecer la red bajo buenas condiciones de presión en las horas de máximo consumo y de consumo mínimo nocturno.

Macromedición de caudales y presiones.

La macromedición de caudales y presiones comprende el registro de datos de estos parámetros en las diferentes unidades de sectorización hidráulica, mediante el uso de equipos diseñados para estos fines; tales como caudalímetros y registradores de presión, respectivamente.

Esta actividad se realiza a través de un sistema de medición, cuyo objetivo general es determinar el volumen de agua suministrada a los usuarios desde las plantas de tratamiento y tanques de almacenamiento a través de las redes del sistema de distribución.

Los objetivos específicos de la medición de estos parámetros son la obtención de las características del plano de presiones en la red de distribución, y la cuantificación de caudales a las distintas zonas o sectores de la red de distribución. Información requerida para la simulación hidráulica, y para la cuantificación y detección de las pérdidas técnicas (fugas) y pérdidas comerciales (submedición o consumos fraudulentos) existentes.

Sistema de macromedición.

La medición de caudales y presiones debe tener en cuenta que el sistema de medición a utilizar (puntos y equipos) debe estar conformado al mínimo costo posible, de manera que se garantice la exactitud de los cálculos del volumen suministrado y de los índices que se necesitan obtener, es decir, el orden de magnitud del error de medición debe ser menor que el orden de magnitud del parámetro a determinar.

Para el diseño de un sistema de macromedición es necesario cumplir con las siguientes actividades básicas:

- Evaluar el sistema existente de medición de caudales y presiones en las estaciones de captación, plantas de tratamiento, tanques de almacenamiento y redes matrices de distribución.
- Establecer una escala de prioridades para la implantación de equipos nuevos y renovación de equipos existentes.
- Determinar la ubicación apropiada y el tipo de equipo de medición que debe instalarse en cada punto del sistema de medición en función de la capacidad de medición, y de los costos de adquisición y mantenimiento. En

esta tarea de se debe incluir la revisión de los requerimientos para la instalación de los equipos⁵.

- Definir los protocolos, procedimientos, duración y frecuencia de las mediciones⁶.
- Capacitación del personal técnico encargado de la instrumentación de los equipos de medición y el manejo de datos.

Control activo de fugas.

El objetivo fundamental del control activo de fugas es limitar la duración global de las fugas detectables no comunicadas, para lo cual se debe establecer una metodología que considere la detección y localización de estas.

Los métodos que pueden ser utilizados para realizar un Control Activo de Fugas se pueden clasificar en diversas formas, dependiendo de la técnica utilizada tenemos los *métodos de detección indirecta*, y los *métodos de detección directa y localización*. A continuación se hace una revisión de los métodos empleados para realizar cada una de ellas.

⁵ En el anexo 4 pueden ser revisadas las recomendaciones generales para el diseño de un sistema de macromedición, referente a la ubicación de los puntos, y las consideraciones generales para elección de equipos de medición de caudal y su instalación.

⁶ Los protocolos y procedimientos para la medición de caudal y presión en una red de distribución de agua potable on presentadas en el anexo 5.

Métodos de detección indirecta de fugas.

Los métodos de detección indirecta de fugas son métodos volumétricos basados en las mediciones de caudal, de manera continua o intermitente, con intención de identificar el caudal atribuido a fugas, tales como:

- Medición temporal y/o permanente del caudal suministrado a la red de distribución.
- Mediciones del caudal nocturno suministrado a sectores hidráulicos durante cortos períodos de tiempo.

La medición temporal y/o permanente del caudal suministrado a la red de distribución se realiza a través de un equipo medidor de caudal instalado en el abastecimiento del sector hidráulico sujeto a medición. La medición temporal se realiza durante un período mínimo de 24 horas, para poder obtener tanto los caudales diarios como los nocturnos que permitan establecer las variables que intervienen en el estudio de los parámetros de comparación y desempeño de pérdidas físicas.

La medición del caudal durante cortos períodos de tiempo se realiza a través del registro de la variación del caudal nocturno durante la ejecución de pruebas de "Step Test". Una prueba de "Step Test" ("prueba de paso" según

su traducción del inglés) es una prueba de subdivisión nocturna⁷ en la que se obtiene la medición del caudal nocturno suministrado a los sectores hidráulicos que dividen la red de distribución.

El primer paso lógico para una prueba de Step Test consiste en el establecimiento del área de prueba. Esta implica conocer el número de predios en el área, determinar el número de consumidores que registran consumo de agua potable durante la noche, y estimar el número de usuarios no-domésticos no-medidos, tomando nota de su aproximado consumo nocturno.

Luego se procede al reconocimiento del área de prueba, para lo cual se prepara de un plano del área que muestre el nombre de las calles y trazado de las tuberías, las válvulas a ser operadas durante el Step Test (registrando si su operación de cierre es horario o anti-horario), las válvulas de frontera (cuyo cierre sirve para aislar el área del resto de la red de distribución), las válvulas de circulación (cuyo cierre aísla circuitos para crear bifurcaciones en la red de distribución), y las válvulas no incluidas para evitar que estas sean operadas por error durante la prueba.

⁷ La subdivisión nocturna consiste en aislar, del resto de la red de distribución, sectores hidráulicos de corta longitud de red mediante el cierre secuencial de sus válvulas de abastecimiento durante cortos períodos de tiempo.

Una vez se tenga lista la información de campo y oficina requerida se procede a la ejecución de la prueba, normalmente entre las 00h00 y las 05h00. Con esto se garantiza que no ocurran variaciones sensibles de consumo durante el período de medición; pues durante este período de tiempo el consumo de agua está limitado a usos puntuales en viviendas e industrias. Los consumos domésticos e industriales pueden ser obtenidos mediante técnicas estadísticas o con un programa de lectura de los consumos registrados en los medidores de los grandes consumidores, respectivamente.

Detección directa y localización de fugas.

En la actualidad existe una gran diversidad de equipos utilizados para la detección directa y localización de fugas, basados en la captación del ruido generado por la fuga o basados en la alteración que sufren las propiedades del terreno por la presencia de fugas. Siendo los equipos que más se han desarrollado aquellos que utilizan las características acústicas de una fuga para detectar su presencia.

Los equipos de detección directa de fugas (*registradores acústicos de ruido*) tienen la labor de limitar la zona de búsqueda; mientras que los equipos de localización (*geófonos y correladores acústicos*) permiten identificar el lugar exacto de la fuga. En la práctica el uso de ambos tipos de equipos es

complementario, pues la detección directa (o prelocalización) ayuda a mejorar el rendimiento de la localización.

Gestión de la presión.

La gestión de la presión en los sistemas de distribución de agua potable es una de las estrategias fundamentales en un programa de reducción y control de pérdidas técnicas. Debido a que la presión excesiva es el desencadenante de las nuevas fugas que surgen en los sistemas de distribución de agua potable; en los sitios donde las presiones de servicio son altas y la infraestructura está en mal estado; la gestión de la presión logra una reducción efectiva de las fugas existentes en la red.

Es posible predecir, con mayor fiabilidad que antes, la reducción de los caudales de fuga y el volumen diario de fugas que puede ser lograda llevando a cabo una adecuada gestión de la presión en la red de distribución. El cálculo puede ser realizado utilizando la teoría de Mays⁸, que manifiesta que la ecuación global para el caudal de fuga es:

$$\text{Caudal de fuga} = A \cdot \text{presión}^{0.5} + B \cdot \text{presión}^{1.5} + C \cdot \text{presión}^{2.5}$$

⁸ La bibliografía existente de la relación entre el caudal de fuga y la presión de servicio ha sido recopilada y presentada en el anexo 6.

En esta ecuación, los tres términos del lado derecho representan respectivamente, las fugas a través de agujeros de área fija (0.5), los agujeros donde el área varía linealmente con la presión (1.5) y agujeros donde el área varía con el cuadrado de la presión. Los valores A, B y C dependen del número y tamaño de cada tipo de fuga existente en la red.

Por lo tanto se hace necesario realizar estudios en partes seleccionadas del sistema de distribución para determinar si se pueden realizar todas las reducciones posibles en las presiones de operación sin producir discontinuidad en el abastecimiento durante los periodos de demanda máxima, todo esto con el objetivo de realizar un control efectivo de las fugas.

La reducción de la presión de operación aplicada como estrategia para la reducción de pérdidas técnicas involucra proyectos que requieren la instalación de válvulas reguladoras de presión. Pues, las válvulas reguladoras de presión son posiblemente una de las opciones más económicas y técnicamente adecuadas para los programas de manejo de la presión cuyo objetivo es reducir las pérdidas técnicas.

La instalación de una válvula reguladora de presión⁹ en un sistema de distribución de agua potable reduce la presión de entrada a un valor predeterminado aguas abajo, independiente de las variaciones de flujo o de presión de entrada. Estas válvulas se instalan, se mantienen fácilmente y pueden reacondicionarse para suministrar modulación basada en el flujo avanzado o basado en el control remoto.

Si la gestión de la presión es adecuadamente diseñada y monitoreada, además de reducir las fugas (sean estas roturas o fugas de fondo), se obtendrán presiones de servicio más estables que evitarán que la red de distribución soporte esfuerzos que ocasionen fatiga en la infraestructura del sistema. Consecuentemente permitirá obtener un incremento del tiempo de vida útil de la infraestructura del sistema de distribución.

El costo de una eficiente gestión de la presión puede ser analizado tomando en cuenta los diversos factores que influyen en las condiciones de la infraestructura y su potencialidad a presentar roturas y fugas. Esta condición está en función de: la edad del sistema, el tipo de material de las redes, el tipo de uniones entre tuberías, las condiciones del terreno y la carga superficial.

⁹ En la sección de anexos puede ser revisada una recopilación bibliográfica referente a válvulas reguladoras de presión (Anexo 7).

Gestión de infraestructura.

La gestión de la infraestructura de todos los sistemas de distribución de agua potable requiere tareas de mantenimiento (reparación) y en algunos casos de una renovación (reemplazo) de la infraestructura defectuosa.

Mantenimiento de redes.

Existen dos tipos de mantenimiento de redes, el correctivo o actividad de reparación que sigue a una rotura en el sistema de distribución, el cual no es programado previamente; y el preventivo, que es una inspección de un elemento programado para evitar que se produzca su fallo.

Mientras que el mantenimiento correctivo necesita de un tiempo de respuesta desde que se produce la avería hasta la reparación de la avería; el mantenimiento preventivo solamente necesita del tiempo dedicado a la operación o inspección durante el cual el elemento está operativo.

Renovación de la infraestructura.

La renovación de la infraestructura debe realizarse cuando un sistema presenta una frecuente ocurrencia de nuevas fugas en un sector o cuando los niveles de corrosión y fugas de fondo alcanzan índices altos, pues, es más

económico reemplazar la tubería que repararla. Es necesario mencionar que la renovación de redes para reducir fugas hasta un nivel deseado debe hallar un equilibrio entre el costo de la investigación y análisis de datos y el costo de la renovación.

Estudios comparativos entre los costos de mantenimiento y los costos de renovación de tuberías demuestran que una vez que una tubería empieza a necesitar mantenimiento, este aumenta exponencialmente en el tiempo; de tal forma que los costos de mantenimiento pronto exceden los costos de reposición.

Los costos de renovación de la infraestructura son tan altos que se requiere que esta sea selectiva. Una metodología apropiada para analizar y planificar la renovación de tuberías es aquella que relacione el historial existente de roturas para predecir el estado de las redes si no se reemplazan las tuberías. Por lo tanto, antes de planificar un proyecto de renovación de redes se debe estudiar los factores del origen de las fugas, de tal forma que las sustituciones y reparaciones sean justificadas.

En sistemas de distribución con una infraestructura que trabaja en varias condiciones de operación, compuesta por tuberías de diversos materiales y

estados, es posible realizar evaluaciones entre sectores mediante un indicador que describa el estado de la infraestructura. En 1998, Lambert propone un indicador denominado *factor del estado de la infraestructura (FEI)*. Este indicador, utilizado en el Reino Unido, tiene en cuenta la presión de funcionamiento y la densidad de acometidas en el cálculo de las fugas de fondo en condiciones promedio [5].

Velocidad y calidad de las reparaciones de fugas.

Una vez que una fuga ha sido localizada, su reparación rápida es esencial para una adecuada gestión de la infraestructura. Sin embargo, tan importante como la celeridad de la reparación es la calidad de la mano de obra y materiales empleados en la reparación de esta. Pues, una reparación de poca calidad implicará que la fuga probablemente ocurra luego de varios días u horas de que el sistema de distribución sea presurizado luego del trabajo.

Por lo tanto, se requiere de personal especializado y experimentado en el uso de accesorios de reparación, así como también la disponibilidad de materiales adecuados para el trabajo de reparaciones de fugas.

2.6. Revisión del capítulo.

En este capítulo se ha presentado una revisión general del concepto de pérdidas técnicas de agua potable, así como las alternativas que dispone una empresa u operadora de servicios de agua potable para su evaluación mediante la medición de caudales nocturnos; y de las estrategias para su reducción que permitan alcanzar y mantener un estado óptimo de funcionamiento de la red de distribución.

La interacción de las estrategias de reducción de pérdidas técnicas presentadas (sectorización operacional de la red de distribución, el control activo de fugas, la gestión de la presión, la gestión de la infraestructura, y la velocidad y calidad de las reparaciones) permite desarrollar una impresionante labor de mejora en el rendimiento global volumétrico de la red de distribución. Sin embargo, la importancia y eficiencia de cada una de ellas variará dependiendo del tipo de red y de las posibilidades económicas y técnicas disponibles; y por supuesto del objetivo que se persiga en cada caso.

CAPITULO 3

3. METODOLOGIA DE REDUCCION DE PERDIDAS TECNICAS APLICADA AL SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AA.PP. DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La metodología de reducción de pérdidas técnicas de agua potable aplicada al sistema de distribución de agua potable del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil, consideró dos actividades básicas: la investigación de pérdidas y la implementación de medidas correctivas; con el objetivo de cumplir las metas parciales de reducción gradual anual del nivel de pérdidas técnicas.

La investigación de pérdidas incluyó las estrategias de sectorización hidráulica de la red de distribución, y la medición del caudal suministrado a la red de distribución. La sectorización hidráulica permitió delimitar zonas de la red para conformar sectores homogéneos de menor longitud de red, aislados e independientes; en cada uno de los cuales se realizó un control activo de fugas.

El control activo de fugas comprendió la detección y la localización de fugas. La detección de fugas se consistió en el registro del caudal nocturno (relacionado con las fugas existentes) suministrado a cada sector hidráulico definido en la red de distribución de la zona de estudio; actividad realizada mediante la ejecución de pruebas de consumo nocturno denominadas "Step Test".

La información obtenida en la detección de fugas fue utilizada para el cálculo de indicadores de pérdidas técnicas para cada sector hidráulico. El cálculo de estos indicadores consideró el consumo nocturno del sector, la longitud de la red de distribución y la presión de servicio.

La comparación entre los indicadores obtenidos permitió la identificación de los sectores hidráulicos donde las pérdidas de agua potable eran mayores. A continuación se evaluaron las causas del origen de estos (mal estado de las redes, presiones de servicio elevadas, conexiones clandestinas, fugas, etc) y se planteó la implementación de medidas correctivas.

La implementación de medidas correctivas consideró de manera individual o conjunta las estrategias gestión de la presión, y la gestión de la infraestructura (mantenimiento y renovación). Siendo el caso extremo el cambio total de las redes de distribución de agua potable del sector.

3.1. Sectorización hidráulica de la red de distribución de agua potable.

La implementación de la sectorización hidráulica de la red de distribución de la zona del suburbio Oeste se realizó en dos etapas correspondientes al planeamiento en oficina y de materialización en campo de la sectorización planteada.

La *etapa de planeamiento* incluyó el conocimiento de la zona de estudio a través de la información del estado físico y operacional de la red, como planos de la red y diagramas de esquinas. Luego de la cual se procedió al diseño de los sectores, actividad en la que se definieron sus abastecimientos y sus límites.

La *etapa de materialización* en campo incluyó las actividades de adecuación de las redes de distribución a la sectorización diseñada, el levantamiento de la información necesaria para actualizar el catastro de redes, la normalización de la presión de servicio por encima del valor mínimo, y el cumplimiento de la meta de continuidad de servicio las 24 horas.

Planeamiento de la sectorización hidráulica de la red de distribución de AA.PP.

La etapa de planeamiento de la sectorización hidráulica de la red de distribución del suburbio oeste comprendió el diseño de los límites de la sectorización hidráulica para definir las unidades de sectorización considerando la configuración y longitud de la red de distribución, y la posibilidad de suministro para cada sector proyectado; apoyado en la información técnica recopilada.

La información técnica recopilada fue aquella referente al estado físico y operacional del sistema de distribución, tal como planos actualizados, planos de antiguos proyectos de expansión y renovación de redes, planos esquineros, y planos de la subdivisión operacional de la red de distribución.

El análisis de la información técnica permitió determinar que el tipo red de distribución existente correspondía a una red mixta, con zonas malladas y ramificadas, perfectamente delimitadas, zonificadas y parcialmente sectorizadas. La zonificación operacional existente dividía la red de distribución en extensas áreas denominadas distritos, con sus respectivas

subdivisiones o subdistritos¹⁰, y estaba en función del material y la edad de las tuberías en operación. Es necesario mencionar que la infraestructura fue instalada en proyectos de expansión y renovación de redes ejecutados durante los últimos 30 años¹¹.

La propuesta de sectorización hidráulica del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil planteó la división de la red de distribución en 46 sectores hidráulicos¹², para los cuales se diseñaron los límites hidráulicos y se determinó sus abastecimientos.

La bibliografía revisada sugiere que un sector hidráulico debe tener el menor número posible de abastecimientos, siendo el diámetro de la tubería de entrada compatible con el consumo esperado del sector hidráulico. De tal forma que las redes de distribución internas y externas al sector deben tener buenas condiciones de presión de servicio aún en las horas de gran consumo, y que el sector debe poder aislarse del resto de la red de distribución cerrando válvulas de paso.

¹⁰ Véase en la sección de anexos los planos de la subdivisión operacional de la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil, anterior al año 2005 (Anexo 8).

¹¹ Véase en la sección de anexos un plano que resume las edades de la infraestructura instalada en la red de distribución de agua potable en el suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil (Anexo 9).

¹² Véase en la sección de anexos la propuesta de sectorización hidráulica de la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil (Anexo 10).

Un análisis técnico determinó que las condiciones de servicio existentes posibilitaban la obtención de presiones bajas, e incluso negativas en algunos puntos, lo que impondría que a estos puntos no les llegue agua. Por lo que en la definición de los abastecimientos de los sectores hidráulicos fue necesario asignar más de una alimentación a varios de estos, con la finalidad de tener uniformidad de presiones en los puntos interiores en cada sector.

Los límites de los sectores hidráulicos se diseñaron utilizando polígonos de trazos rectos para conformar áreas de forma regular, adecuando los límites de los sectores a la topología de la red de distribución y configuración urbanística, seccionando la menor cantidad posible de tuberías.

Materialización de la sectorización hidráulica de la red de distribución de AA.PP.

En la etapa de materialización de la sectorización hidráulica de la red de distribución de AA.PP. del Suburbio Oeste se ejecutaron los trabajos de campo y las obras requeridas para definir físicamente sobre la red de distribución los límites de los sectores hidráulicos, diseñados en la etapa de planeamiento.

Los trabajos de campo desarrollados en la etapa de materialización de la sectorización hidráulica fueron:

- Localización de válvulas existentes en la red de distribución
- Identificación de las válvulas defectuosas
- Verificación de las condiciones de servicio en los sectores hidráulicos
- Comprobación de la hermeticidad de los sectores hidráulicos
- Investigación de los límites de la sectorización

I. Localización de las válvulas existentes en la red de distribución.

El desarrollo de esta tarea requirió ubicar e identificar en campo las válvulas existentes en la red de distribución, junto con la determinación de las obras necesarias para adaptar la red de distribución a la sectorización planteada. Durante la ejecución de la tarea de localización de válvulas se procedió a ubicar y verificar el estado de operación de las válvulas de frontera y abastecimiento correspondientes a los 46 sectores hidráulicos diseñados.

La verificación del estado de operación de las válvulas realizado por el personal de sectorización consistió en la apertura y cierre de éstas, utilizando

una llave T¹³, para comprobar su adecuado funcionamiento; lográndose la identificación de las válvulas inoperables o defectuosas.

La información obtenida durante el desarrollo de esta actividad fue registrada en el formato "*Inventario de válvulas de sectorización*"¹⁴, que junto con un esquema de ubicación de cada válvula, aporta al catastro de la red de distribución los datos mencionados continuación:

- Sector hidráulico al que pertenece la válvula.
- Dirección de localización de la válvula y su nomenclatura, esta última definida en el esquinero de catastro correspondiente.
- Diámetro, número de vueltas y el sentido de apertura (horario u antihorario) de la válvula maniobrada. Especificando el mecanismo actuador de la válvula, sea este de volante o cabezal, e indicando la llave T utilizada en la operación de la válvula.
- El tipo de control (seccionamiento o salida radial), la función que cumple la válvula en la red de distribución (abastecimiento, de frontera o interna) y el estado que indica la condición en que se encontró la válvula: abierta o cerrada.
- El tipo de protección en la que se encuentra la válvula: cámara o cajetín.

¹³ Véase en la sección de anexos la información referente a la llave T utilizada para maniobrar válvulas (Anexo 11).

¹⁴ Véase en la sección de anexos el formato utilizado para el catastro de válvulas verificadas e instaladas en la sectorización hidráulica (Anexo 12).

Al final del trabajo todas las válvulas localizadas quedaron identificadas en campo. Para lo cual se marcó con pintura de tráfico sobre las tapas de las cámaras de válvula o sobre el pavimento (para válvulas en cajetín) la letra de identificación o nomenclatura existente en el esquinero de catastro de redes correspondiente a cada válvula.

Adicionalmente fueron elaborados reportes dirigidos al departamento de distribución y mantenimiento de redes con información de las válvulas cubiertas con pavimento, válvulas que estaban cerradas y quedaron abiertas, y válvulas que necesitan reparación o que debían ser reemplazadas.

II. Identificación de válvulas defectuosas.

La identificación de las válvulas defectuosas se realizó revisando cada válvula con un geófono desde el extremo de una llave T ubicada en el cabezal del vástago de la válvula. De este modo fue posible identificar ruidos de escape provocados por el paso de agua.

Los criterios técnicos utilizados por el personal de sectorización del Territorio CTP en el desarrollo de esta tarea fueron los siguientes:

- Si existiera ruido, se debe verificar si el mismo procede de una fuga del empaque o de una fuga proveniente por el asiento de la válvula. Este

último problema es provocado por la acumulación excesiva de materiales depositados en el asiento y compuerta de la válvula, que impide muchas veces el cierre total de la misma.

- Si la válvula tiene una fuga a través de la empaquetadura, esta debe ajustarse, o cambiarse, si esto no surge efecto la válvula puede tener una fuga por el asiento, es decir, entre la compuerta y el cuerpo de la válvula.
- Si se constata que la fuga ocurre en el asiento de una válvula tipo compuerta, puede eliminarse en algunos casos abriendo parcialmente la válvula y cerrando nuevamente, repitiendo sucesivamente hasta que no se consiga escuchar el sonido de fuga en el geófono. La apertura y el cierre sucesivos provocan el aumento de velocidad y turbulencia en el agua, pudiendo ocurrir de esa forma, la limpieza interna y la eliminación del problema de retención de materiales.

III. Verificación de las condiciones de servicio.

La verificación de las condiciones de servicio de los 46 sectores hidráulicos consistió en la apertura de las válvulas de abastecimiento y de las válvulas de frontera con sectores hidráulicos adyacentes. Actividad que se realiza con la finalidad de elaborar planos piezométricos del sector hidráulico en estudio y permite comprobar que la red de distribución correspondiente a un sector

hidráulico en estudio tenga buenas condiciones de servicio aún en las horas de mayor consumo.

La elaboración de los planos piezométricos se realizó mediante el registro de presiones de servicio en las acometidas de los predios y en los puntos de presión instalados en la red de distribución. La información registrada en los planos piezométricos se utilizó para identificar aquellas zonas con problemas de abastecimiento que causen bajas presiones de servicio.

Una vez obtenidos planos piezométricos uniformes y con presiones de servicio mayores a la presión de servicio mínima de 5 m.c.a. (valor definido por ECAPAG para el cumplimiento de metas de continuidad de servicio en el año 2006) se prosiguió con la siguiente actividad que corresponde a la comprobación de la hermeticidad del sector hidráulico en estudio.

IV. Comprobación de la hermeticidad de los sectores hidráulicos.

La comprobación de la hermeticidad de los sectores hidráulicos se realizó mediante una prueba de "Cero Presión" (ZPT por las siglas en inglés de Zero Pressure Test) para cada sector hidráulico. Esta prueba consiste en cerrar (durante cortos períodos de tiempo) las válvulas de abastecimiento de un sector hidráulico y las válvulas de frontera con sectores hidráulicos

adyacentes para verificar si la presión interna del sector hidráulico baja a cero.

Las pruebas de "Cero Presión" se realizan durante la noche (12 pm a 4 am), en la que se verifica la caída completa de la presión dentro del sector. El procedimiento a seguir en esta prueba consiste en:

- Colocar un manómetro en un punto de aforo sobre la red de distribución.
- Chequear la presión de servicio existente antes de operar las válvulas.
- Cerrar todas las válvulas de abastecimiento y frontera del sector.
- Verificar la presión registrada en el manómetro. Si las válvulas han quedado bien cerradas, la presión leída en el manómetro será cero. Si no se consigue una caída del 95% o incluso si solo se registra una caída del 50% de la presión, se debe investigar la posibilidad de que existan válvulas de frontera que no cierren bien. Una caída del 25% de la presión puede significar que hay tuberías de abastecimiento que no están catastradas en el plano, e inclusive se debe verificar que existan válvulas que no cierren hacia la derecha sino hacia la izquierda.
- Se deberán chequear todas las válvulas con un geófono. Si se escucha paso de agua en alguna, se debe operar la válvula repetidas veces hasta que no se escuche el paso del agua.

- Una vez chequeadas todas las válvulas se vuelve al sitio del manómetro y se comprueba que la presión haya caído a cero.

En aquellos casos en los que la presión de servicio del sector hidráulico en proceso de materialización no bajó a cero, se procedió a investigar los límites de la sectorización hidráulica.

V. Investigación de los límites de la sectorización hidráulica.

La investigación de los límites de los 46 sectores hidráulicos diseñados consistió en la investigación de interconexiones no catastradas con sectores hidráulicos adyacentes, la verificación de válvulas que permiten el paso de agua al interior del sector hidráulico en estudio y mantienen la red de distribución presurizada, y la inspección de la configuración de la red de distribución utilizando un equipo de video inspección portátil¹⁵.

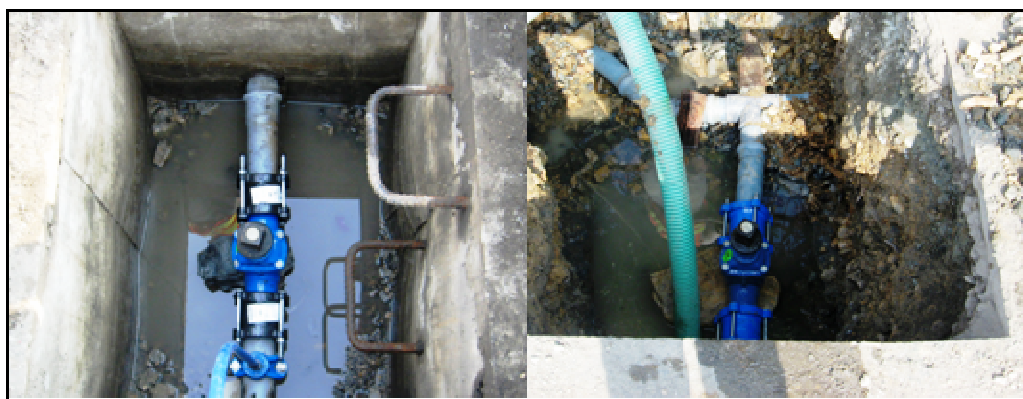
La investigación de interconexiones no catastradas se realizó consultando los planos de proyectos antiguos para luego tratar de localizar el punto de interconexión realizando excavaciones (sondeos). En algunos casos, los

¹⁵ En la sección de anexos puede ser revisada información referente al sistema de video inspección portátil utilizado en la etapa de materialización de la sectorización hidráulica (Anexo 13).

registros de la presión de servicio revelaron probables puntos de localización de las interconexiones no catastradas.

La investigación de los límites de la sectorización determinó un número importante de obras para la definición de los límites necesarias para adaptar la red de distribución a la sectorización planteada. Los principales tipos de obras propuestas en la etapa de materialización de la sectorización hidráulica de la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste fueron:

- Instalación de válvulas en sitios donde sean necesarias y en reemplazo de válvulas inoperables o defectuosas.
- Taponamientos y empates para adaptar la red de distribución a los límites definidos en el diseño de la sectorización.



Fotografías 1 y 2. Reemplazo (izquierda) e instalación (derecha) de válvulas de $\phi 90\text{mm}$ tipo compuerta.
(Fuente: Departamento de Sectorización, Subgerencia de Agua No Contabilizada, Interagua C. Ltda.)



Fotografías 3 y 4. Empate (izquierda) y taponamiento (derecha) ejecutados para adaptar la red de distribución de AA.PP. a los límites de la sectorización hidráulica
(Fuente: Departamento de Sectorización, Subgerencia de Agua No Contabilizada, Interagua C. Ltda.)

El cumplimiento del proceso lógico conformado por las diferentes actividades desarrolladas en la etapa de materialización garantizó que los 48 sectores hidráulicos definidos en la red de distribución del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil, cumplan con presiones de servicio uniformes y superiores a 5 m.c.a., y puedan independizarse del resto de la red de distribución por medio de maniobras de sus válvulas de abastecimiento y de frontera con los sectores hidráulicos adyacentes.

Al finalizar el proceso de sectorización hidráulica de la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil se conformó una ficha técnica para cada sector hidráulico con la siguiente información:

1. Esquema de funcionamiento hidráulico del sector, en el que se registra gráficamente las válvulas de abastecimiento y fronteras.
2. Límites actualizados de los sectores hidráulicos.
3. Listado de válvulas de abastecimiento y frontera del sector hidráulico.
4. Puntos de aforo de presión sobre la red de distribución.
5. Planos de catastro y esquineros actualizados de la red de distribución.

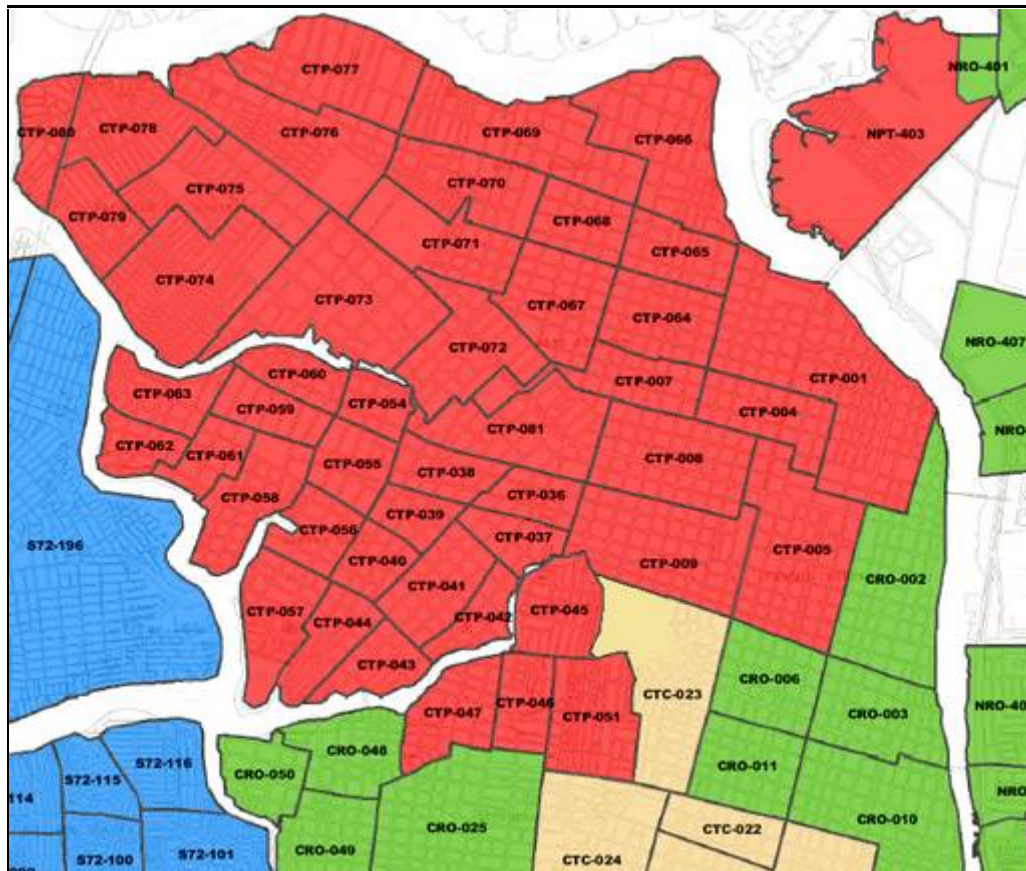


Figura 6. Sectorización hidráulica de la red de distribución de AA.PP. del Suburbio Oeste.
(Fuente: Departamento de Sectorización, Subgerencia de Agua No Contabilizada, Interagua C. Ltda.)

3.2. Macromedición de caudal y presión en la red de distribución de agua potable.

La macromedición de caudal y presión en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil se realizó a través de un sistema de macromedición mediante el cual se obtienen, procesan y analizan los datos de distribución, relativo a caudales y presiones en cuatro puntos significativos del sistema de distribución de agua potable orientado a cumplir con los objetivos específicos mencionados a continuación:

- Registro de los caudales suministrados a la red de distribución de agua potable del Territorio CTP, información necesaria para realizar:
 1. Determinación de la distribución de los caudales entregados a los diferentes distritos de medición del sistema de distribución.
 2. Determinación de los consumos horarios (máximo, mínimo y promedio) de los sectores hidráulicos en los que está dividida la red de distribución.
 3. Cálculo de los indicadores del nivel de pérdidas físicas de los sectores hidráulicos.

- Registro de las presiones de servicio para determinar las características del plano de presión de la red de distribución de agua potable del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil. Información necesaria para:

1. Obtener los datos necesarios para el diseño y calibración del modelo de simulación hidráulica de la red de distribución de agua potable utilizado para evaluar el comportamiento hidráulico del sistema y formular mejoras en la operación técnica de la red de distribución.
2. Monitorear que la calidad del servicio prestado a los usuarios sea conforme a las normas y parámetros de calidad establecidos por la entidad reguladora y confirmar los resultados de la sectorización.

Sistema de macromedición de caudal y presión en la red de distribución de AA.PP.

El sistema de macromedición de caudal y presión en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil está conformado por cuatro puntos para la medición permanente de caudales suministrados a la red de distribución y presiones de servicio, y dos puntos exclusivamente para el registro de presiones de servicio.

El protocolo de operaciones aplicado en el sistema de macromedición incluye la identificación de los puntos de macromedición a través de códigos, la localización de los puntos de macromedición en el catastro de redes del sistema de distribución, la conformación de distritos de medición, y la definición de la duración de la campaña de mediciones.

El código de identificación de cada punto de macromedición está compuesto por tres términos. El primero representa la inicial de la zona de distribución seguido por la de su abastecimiento; el segundo indica el sector hidráulico donde geográficamente está instalado; y el tercer término corresponde a la nomenclatura de identificación en el sistema de macromedición de toda la ciudad de Guayaquil. La tabla 12 detalla la ubicación, código de identificación y parámetros de medición de los puntos que conforman el sistema de macromedición.

Tabla 11
Puntos que conforman el sistema de macromedición de caudal y presión en la red de distribución del suburbio oeste.

Zona	Abastecimiento	Ubicación	Código de identificación	Parámetros de medición
Centro	Reservorio Tres Cerritos - Portete	Av. Barcelona	FNC-CTP-M34	Caudal y presión
		Calle 38 y R. Avilés	CTP-064-M40	Caudal y presión
		Calle 33 y R. Avilés	CTP-007-M41	Caudal y presión
		Calle 27 y Chambers	CTP-081-M42	Caudal y presión
		Calle 28 y calle J	CTP-073-M26	Presión
		Calle 25 y calle Ch	CTP-055-M95	Presión

Para las mediciones de caudal y presión en la red de distribución de AA.PP. de la zona de estudio se agruparon los 46 sectores hidráulicos, definidos en el proceso de sectorización, en tres distritos de medición. Cada uno de ellos

vinculados a los puntos del sistema de macromedición donde se realiza la medición de caudal suministrado al grupo de sectores hidráulicos que los conforman.¹⁶

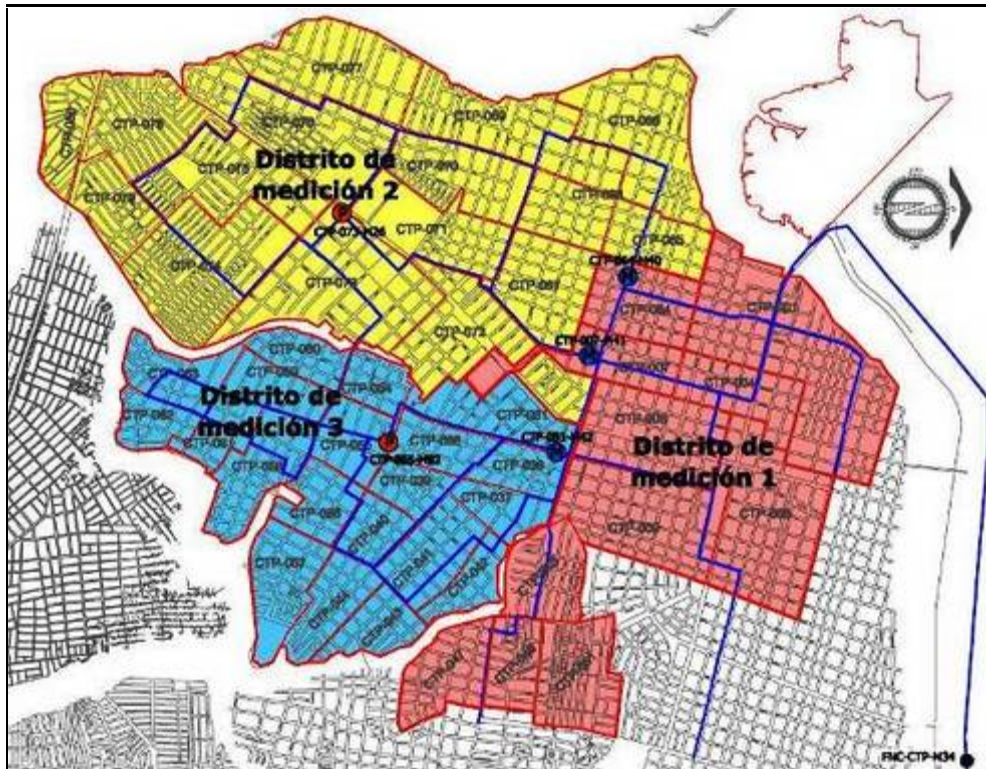


Figura 7. Distritos de medición planteados para la macromedición de caudal y presión en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil
(Fuente: Departamento de Modelación y S.I.G., Subgerencia de Agua Potable, Interaqua C. Ltda.)

¹⁶ La información de los distritos de medición definidos para la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de guayaquil puede ser revisada en el anexo 14.

En la figura mostrada en la página anterior puede observarse gráficamente la ubicación de los puntos del sistema de macromedición de caudal y presión existentes, y la configuración de los tres distritos de medición definidos en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste.

El punto de macromedición FNC-CTP-M34 (punto de macromedición de Frontera Norte-Centro), ubicado en la Av. Barcelona; realiza la medición del caudal suministrado a los 48 sectores hidráulicos que dividen la red de distribución de agua potable del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.

En los puntos de macromedición CTP-064-M40 y CTP-007-M41 se realiza el registro de la presión de servicio y la medición del caudal suministrado al distrito de medición 2. Mientras que el punto de macromedición CTP-081-M42 se registran los parámetros de caudal y presión del distrito de medición 3.

La medición del parámetro de caudal suministrado a la red de distribución correspondiente al distrito de medición 1 se realiza de manera indirecta restando los caudales registrados por los puntos de macromedición CTP-064-M40, CTP-007-M41 y CTP-081-M42 del caudal registrado en el punto de macromedición FNC-CTP-M34.

En los puntos CTP-073-M26 y CTP-055-M95 se monitorea las presiones de servicio de los sectores hidráulicos correspondientes a los distritos de medición 2 y 3, respectivamente. El monitoreo de las presiones registradas en estos dos puntos de macromedición es utilizado para la verificación del cumplimiento de metas de presiones mínimas de servicio y detectando maniobras en las válvulas de la red u operaciones no reportadas que causen afectación de servicio, actividades realizadas en conjunto por Interagua y ECAPAG desde el año 2006.

Equipos instalados en el sistema de macromedición de caudal y presión en la red de distribución de AA.PP.

Los equipos de medición de caudal y presión instalados en el sistema de macromedición del Territorio CTP fueron seleccionados en función de la eficiencia requerida para los equipos, las características hidráulicas del sistema de distribución (longitud de red existente y valores estimados de caudales a ser medidos), las condiciones hidráulicas necesarias para la ubicación de los puntos de medición propuestos.

Tabla 12
Equipos instalados en el sistema de macromedición de caudal y presión en la red de distribución del suburbio oeste.

Punto de macromedición	Código de Identificación	Tipo de caudalímetro	Modelo de caudalímetro	Equipo registrador
Av. Barcelona	FNC-CTP-M34	Ultrasónico de sonda externa	Prosonic flow 90 / Endress+Hauser	Datalogger Metrolog
Calle 38 y R. Avilés	CTP-064-M40	Ultrasónico de sonda externa	Polysonics DCT6088 / Thermo	Datalogger Metrolog
Calle 33 y R. Avilés	CTP-007-M41	Ultrasónico de sonda externa	Polysonics DCT6088 / Thermo	Datalogger LoLog LL
Calle 27 y Chambers	CTP-081-M42	Ultrasónico de sonda externa	Polysonics DCT6088 / Thermo	Datalogger LoLog LL
Calle 25 y calle Ch	CTP-007-M41	-	-	Datalogger LoLog LL
Calle 27 y Chambers	CTP-081-M42	-	-	Datalogger LoLog LL

Los caudalímetros instalados para la medición permanente del caudal suministrado a la red de distribución en los 4 puntos del sistema de macromedición son caudalímetros ultrasónicos¹⁷ con sensores de fijación externa¹⁸. Equipos que al mínimo costo posible garantizan la exactitud del volumen suministrado y de los índices que se necesitan establecer para cada etapa de desarrollo del proyecto de reducción de pérdidas físicas.

¹⁷ Véase en la sección de anexos el principio de funcionamiento de los caudalímetros ultrasónicos (Anexo 15).

¹⁸ Las especificaciones técnicas de los caudalímetros ultrasónicos Endress+Hauser modelo Proline Prosonic Flow 90 y Thermo modelo DCT6088 se detallan en el anexo 16.

La elección del tipo de caudalímetro ultrasónico con sensores de fijación externa tipo "clamp-on" fue sustentado en el hecho que, para tuberías constituidas de material homogéneo, los sensores pueden hallarse en el exterior de la tubería y no estar necesariamente en contacto con el fluido. Pues los equipos con sensores externos no requieren perforación de la tubería debido a que las ondas sonoras pueden atravesar la materia sin causarle efectos perjudiciales.

Los datos registrados por los equipos de macromedición se almacenan en equipos de almacenamiento de datos (data loggers)¹⁹. Los data-loggers instalados en los seis puntos del sistema de macromedición son equipos LoLog LL y LoLog Flash de RADCOM Technologies y Metrolog P de TECHNOLOG. Ambos modelos poseen dos canales simultáneos de entrada universal para almacenamiento de datos de caudal y/o presión.

El ingreso de los datos de caudal a estos equipos se realiza a través de un canal que recibe señales analógicas (4–20mA) por un puerto serial de cuatro pines con conector militar desde el equipo transmisor del caudalímetro ultrasónico a través de un cable conector de 10 vías.

¹⁹ Las especificaciones técnicas de los equipos de almacenamiento de datos (data-loggers) LoLog y Metrolog P se detallan en el anexo 17.

Obras civiles previas a la instalación de equipos de medición en el sistema de macromedición.

La instalación de los equipos de medición del sistema de macromedición del suburbio oeste implicó la ejecución previa de las obras civiles que faciliten la instalación de los equipos de medición de caudal y presión; así como su puesta en funcionamiento, calibración, operación y mantenimiento.

La obra civil²⁰ ejecutada en cada punto de macromedición consiste en la construcción de una cámara de hormigón armado ubicada sobre la alineación de la tubería. Las dimensiones de cada cámara de macromedición están en función del diámetro de la tubería sobre la que se realizará la medición, considerando que permitan el ingreso de personal para la instalación, mantenimiento y calibración de los equipos de medición.

Como complemento de la cámara de macromedición se construye un armario de hormigón armado ubicado sobre la acera; dentro del cual se instala un armario de seguridad que alberga la instrumentación de los equipos de medición: transmisor del caudalímetro, fuentes de alimentación tanto

²⁰ En la sección de anexos se adjuntan gráficos que muestran la cámara tipo II y los accesorios hidráulicos utilizados en los puntos de medición construidas para el sistema de macromedición de la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil (Anexo 18).

principal como alterna, y las unidades de almacenamiento (data-logger) y transmisión de datos (RTU) en el caso de que exista.

Adicionalmente se realiza la instalación de una tubería de hierro galvanizado de 2" de diámetro utilizada para instalar los cables conectores de los sensores ultrasónicos con el equipo transmisor y la fuente de energía; y la instalación de una tubería de 20mm (1/2") de PEAD desde el punto de aforo instalado en la tubería hasta punto de conexión con el data-logger en el armario de instrumentación.

En la figura mostrada a continuación se presenta un esquema de las instalaciones mencionadas en los párrafos anteriores.

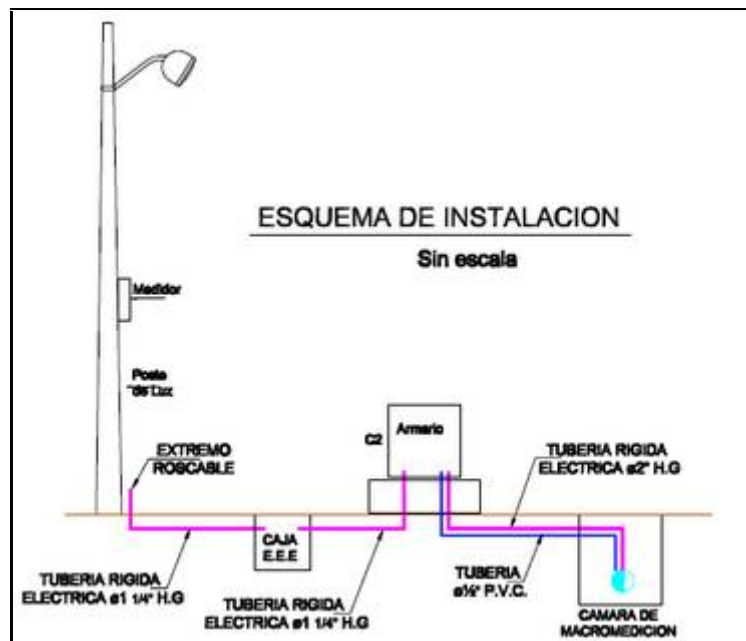
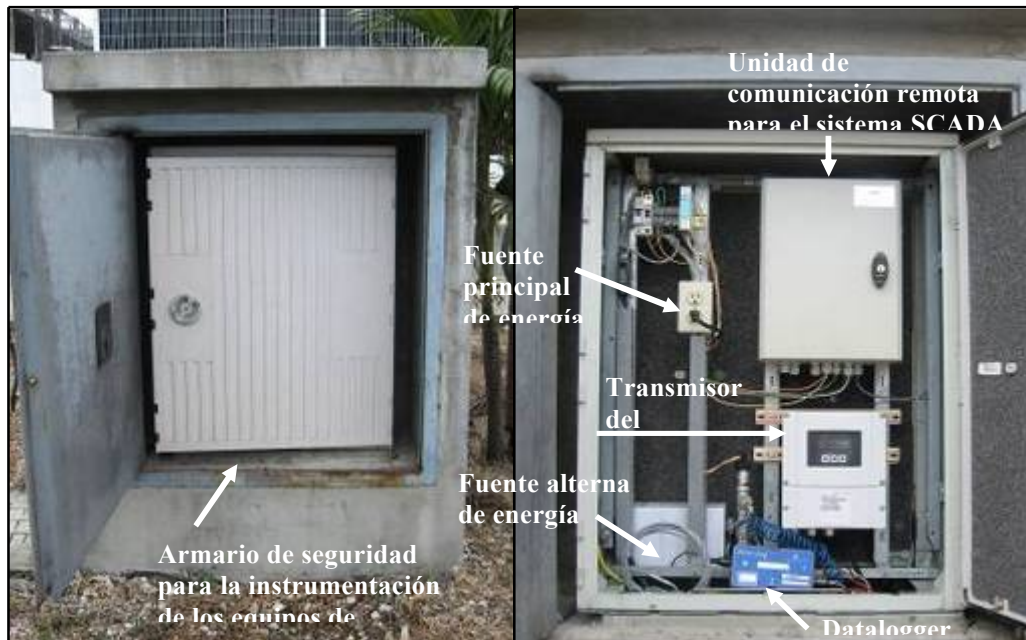


Figura 8. Esquema de instalación para puntos de macromedición
(Fuente: Departamento de Modelación y S.I.G., Subgerencia de Agua Potable, Interagua C. Ltda.)



Fotografía 5. Armario de hormigón armado que alberga la instrumentación de los equipos de medición y cámara de macromedición del punto FNC-CTP-M34 ubicado en la Av. Barcelona (Fuente: Departamento de Modelación y S.I.G., Subgerencia de Agua Potable, Interagua C. Ltda.)



Fotografías 6 y 7. Armario de seguridad (izquierda) e instrumentación de los equipos de medición (derecha) instalados en el punto de macromedición FNC-CTP-M34 ubicado en la Av. Barcelona (Fuente: Departamento de Modelación y S.I.G., Subgerencia de Agua Potable, Interagua C. Ltda.)

Instalación de los equipos de almacenamiento de datos en el sistema de macromedición.

La instalación de los equipos de almacenamiento de datos (data-loggers) en los diferentes puntos del sistema de macromedición de la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil se realizó siguiendo las recomendaciones e indicaciones existentes en los manuales de operación, instalación y mantenimiento de los equipos.

En los puntos de macromedición FNC-CTP-M34, CTP-064-040, CTP-007-041 y CTP-081-042 los data-loggers están ubicados dentro de los armarios de instrumentación, los que le brindan la protección necesaria para evitar que el equipo sufra averías o sea manipulado; y a la vez accesibles para la programación y descarga de datos. En los puntos de macromedición CTP-055-M95 y CTP-073-M26 los equipos están ubicados dentro de cámaras de válvulas, y sujetos sobre la pared de las mismas.

Puesto que el ingreso de agua hasta el data-logger es a través del puerto de caudal, se necesita de un conjunto de accesorios de conexión utilizados entre el puerto de caudal y el punto de aforo. Este conjunto de accesorios está compuesto por un reductor galvanizado de 1/2" a 3/8", manguera helicoidal con conector rápido de 3/8" hembra tipo Quick-fit y tipo bushing de 3/8"

macho. Una vez instalado el equipo, se debe mantener la manguera helicoidal lo menos estirada posible y revestida en caso de ser necesario. Los detalles de este tipo de conexión son mostrados en las figuras 9 y 10.

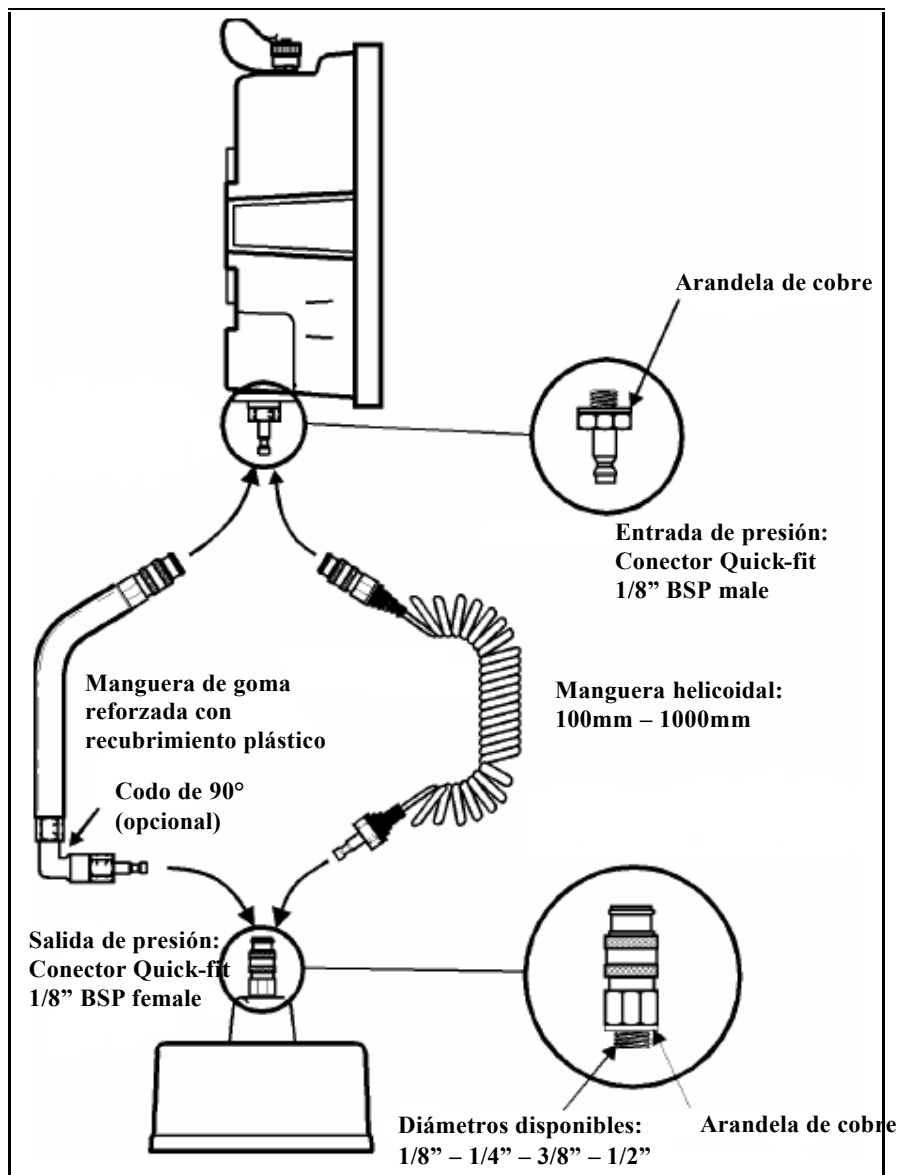


Figura 9. Esquema de conexión para entrada de medición de presión de servicio en data-logger
(Fuente: Manual de instalación y operación de Data Logger Metrolog, TECHNOLOG)

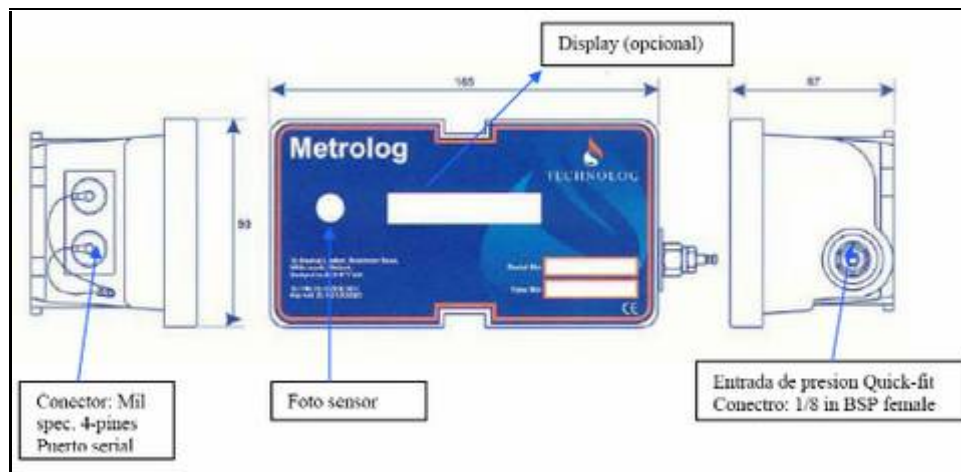
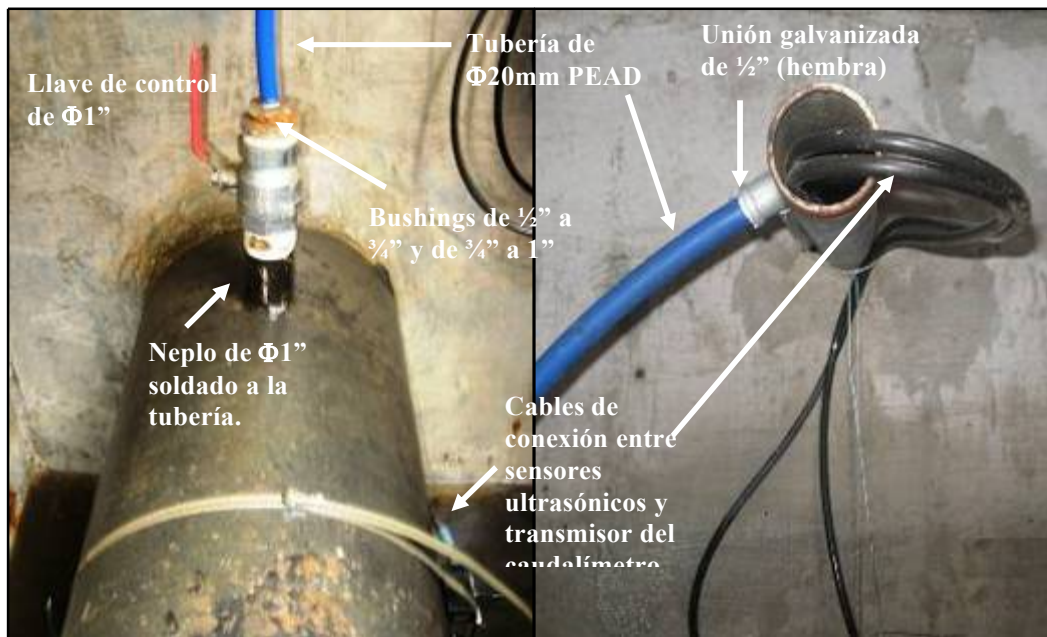


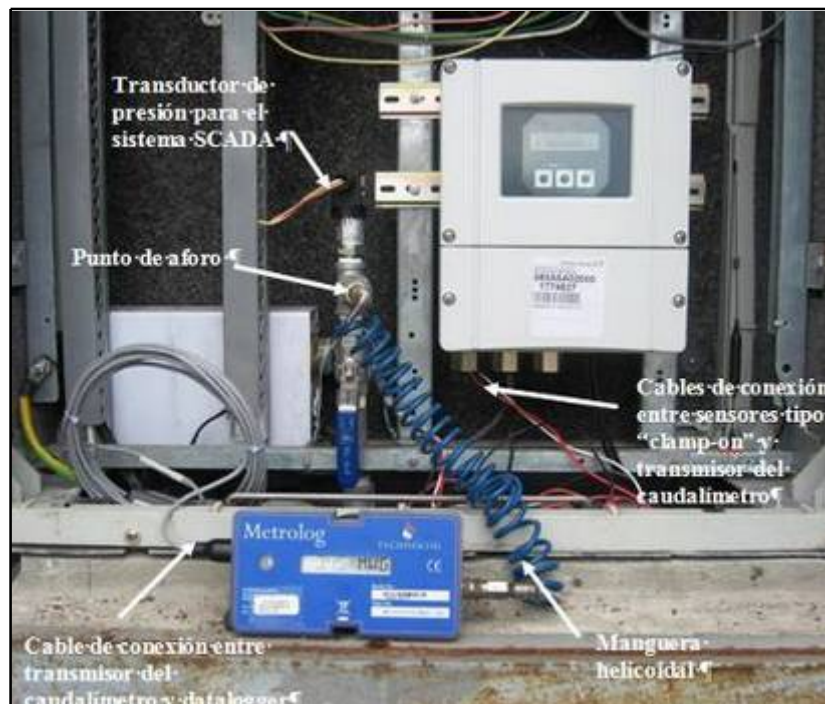
Figura 10. Esquema de puertos de entrada y salida de datos en data logger Metrolog P.
(Fuente: Manual de instalación y operación de Data Logger Metrolog, TECHNOLOG)

En los puntos de macromedición de caudal y presión, la manguera helicoidal es conectada a una llave de control instalada dentro del armario de instrumentación, la cual es una extensión del punto de aforo instalado en la tubería. Para el caso de los puntos de macromedición de presión, la manguera helicoidal está conectada directamente a la llave de control del punto de aforo.

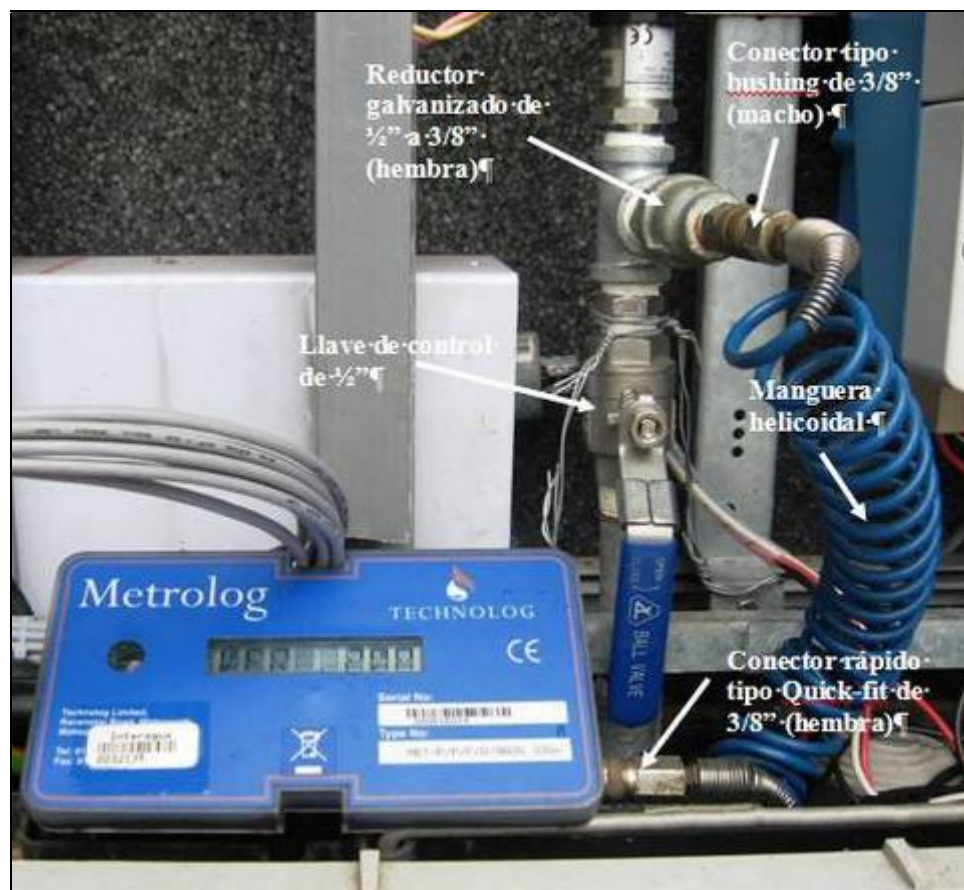
El conjunto de accesorios que conforman el punto de aforo son: una llave de control de 1/2", tubería de $\Phi 20\text{mm}$ de PEAD, uniones galvanizadas de 1/2" (hembra), conector tipo bushing de 1/2" a 3/4", conector tipo bushing de 3/4" a 1 pulgada, llave de control de 1 pulgada.



Fotografías 8 y 9. Accesorios de conexión entre punto de aforo y el armario de instrumentación. Punto de macromedición CTP-064-M40 ubicado en calle 38 y R. Avilés.



Fotografía 10. Conexión de instrumentación de equipos de medición con sensores ultrasónicos y punto de aforo del punto de macromedición FNC-CTP-M34 ubicado en la Av. Barcelona



Fotografía 11. Conjunto de accesorios de conexión utilizados entre el puerto de caudal del data-logger y el punto de aforo. Punto de macromedición FNC-CTP-M34 ubicado en la Av. Barcelona.

Instalación de los caudalímetros ultrasónicos con sensores de fijación externa en el sistema de macromedición.

La instalación de los caudalímetros ultrasónicos con sensores de fijación externa se realizó cumpliendo los requerimientos y recomendaciones del fabricante para la ubicación exacta del punto de medición, instalación de los equipos de medición y montaje de los sensores externos.

Inicialmente se debió configurar el caudalímetro a través del teclado integrado al equipo de transmisión para acceder al menú de configuración y desde una computadora portátil utilizando el software suministrado por el fabricante del equipo.

La ubicación de los sensores de fijación externa en tramos de tubería adecuados para la instalación de los caudalímetros ultrasónicos garantizó que el sitio de montaje de los sensores ultrasónicos mantenga un flujo constante a través de la tubería y no sea un punto alto del sistema de distribución, eliminando el riesgo de acumulación de aire que afecte la exactitud de las mediciones. Adicionalmente se garantizó que los tramos de tubería seleccionados para la instalación de los sensores de fijación externa cumplieran las longitudes rectas mínimas aguas arriba y aguas abajo libres de accesorios, de tal forma que las condiciones de flujo no se afecten.

La instalación o montaje de los sensores externos de los caudalímetros ultrasónicos se realizó cumpliendo las indicaciones de montaje para el método "V" y el método "Z"²¹. Métodos que garantizan la exactitud de las mediciones de caudal para tuberías de diámetros desde $\Phi 100\text{mm}$ hasta $\Phi 400\text{mm}$ y tuberías de diámetros mayores a $\Phi 600\text{mm}$, respectivamente.

²¹ La información referente a los métodos de instalación de los sensores de fijación externa de los caudalímetros ultrasónicos es detallada en el anexo 19.

En los métodos de montaje "V" y "Z" los sensores de ultrasonidos son instalados a los lados de la tubería, en orientación horizontal y en un rango de 120° cercana a las posiciones correspondientes a las 3 horas y 9 horas. Evitando la pérdida de señal causada por la sedimentación en la parte baja de la tubería o por aire acumulado en la parte alta de la tubería.

Mediante un adecuado montaje de los sensores externos de los caudalímetros ultrasónicos se garantizó la exactitud de las mediciones. Cumpliendo el espaciado necesario entre los sensores, de tal modo que el tiempo de tránsito de la señal sea registrado efectivamente.

El espaciado entre los sensores de ultrasonidos fue determinado a través de herramientas de software en función de parámetros como los diámetros externo e interno, el material de fabricación, el tipo y espesor del revestimiento de la tubería, definiendo la posición exacta de la instalación de los sensores de ultrasonidos.

Para los caudalímetros Thermo Polysonics DCT-6088 el espaciado fue calculado por el software para pc UltraScan. Mientras que en el caso del caudalímetro Endress+Hauser Proline Prosonic Flow 90 el espaciado fue calculado por un software incluido en el equipo transmisor.

Los sensores fueron adheridos a la superficie de la tubería mediante un compuesto adherente, y fijados utilizando abrazaderas de acero inoxidable. Garantizando que los sensores sean montados perpendicularmente a la superficie de la tubería y alineados al eje central de la tubería.

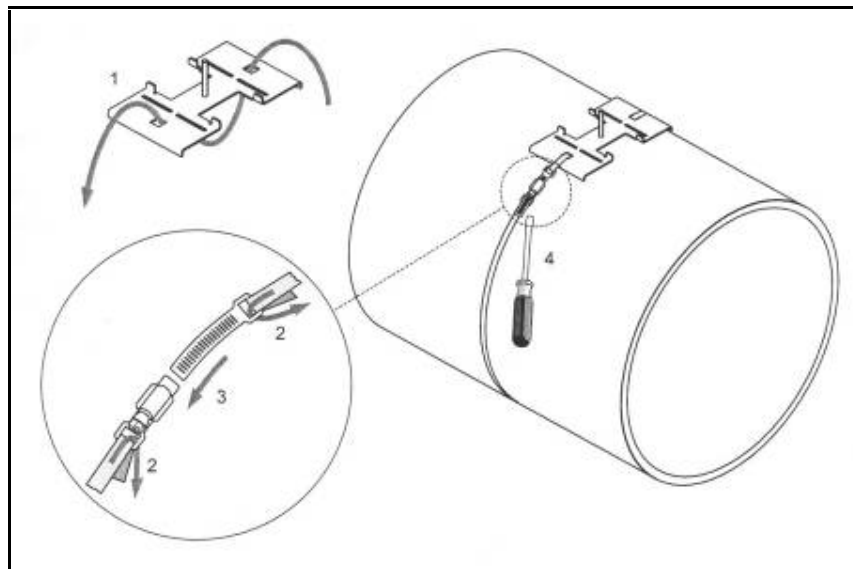


Figura 11. Esquema de instalación de abrazaderas inoxidables para fijar sensores de caudalímetro ultrasónico en tuberías de diámetro mayor a 500mm.
(Fuente: Manual de instalación y operación de caudalímetro Endress+Hauser Prosonic Flow 92)

Previamente al montaje de los sensores a la superficie de la tubería, estas fueron limpiadas con un cepillo de cerdas metálicas para remover cualquier suciedad, grasa, óxido, pérdida de recubrimiento de la superficie de la tubería, o cualquier material que pueda dificultar o imposibilitar la exactitud de la medición.



Fotografía 11. Instalación de sensores tipo "clamp-on" sobre una tubería de 350mm AC según método de instalación en "V", para un caudalímetro ultrasónico Polysonics DCT6088 (Thermo). Punto de macromedición CTP-064-M40 ubicado en calle 38 y R. Avilés.

Para cada punto del sistema de macromedición de caudal y presión en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil se elaboró una ficha técnica²² que resume la información de la ubicación del punto de macromedición; junto con información de los equipos de medición de caudal y de almacenamiento de datos, e información de las características físicas del sitio de instalación de los equipos.

²² Las fichas técnicas de los puntos del sistema de macromedición para la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil puede ser revisada en el anexo 20.

Gestión de la información obtenida de la macromedición de caudal y presión en la red de distribución de AA.PP.

La información generada por la actividad de macromedición incluye los valores de los caudales entregados a los diferentes distritos de medición del sistema de distribución y el registro de las presiones de servicio en puntos representativos de la red de distribución.

La gestión de la información obtenida en la macromedición implicó el cumplimiento de un conjunto de actividades básicas que consisten en el registro, monitoreo de los datos almacenados en los data-loggers, procesamiento, y elaboración de reportes gráficos.

El monitoreo de los puntos de macromedición de caudal y presión incluyó la descarga semanal de la información registrada por los data-loggers. Información que debió ser validada o desechada por el personal encargado de las mediciones, seguido por su almacenamiento en archivos digitales.

La información almacenada fue procesada en MS-Excel. Esta actividad consistió en la exclusión de los datos obtenidos durante los períodos de afectación de servicio, en los que se alteran las condiciones normales de consumo.

Posteriormente se procedió a la elaboración de un cuadro de resultados y un reporte gráfico con las mediciones promedias cada hora.

Véase a continuación ejemplos de información de caudal registrado en el punto de macromedición FNC-CTP-M34 durante períodos de 30 días y 72 horas, el procesamiento de datos en MS-Excel y obtención de la curva de modulación horaria para el mes de marzo del 2008.

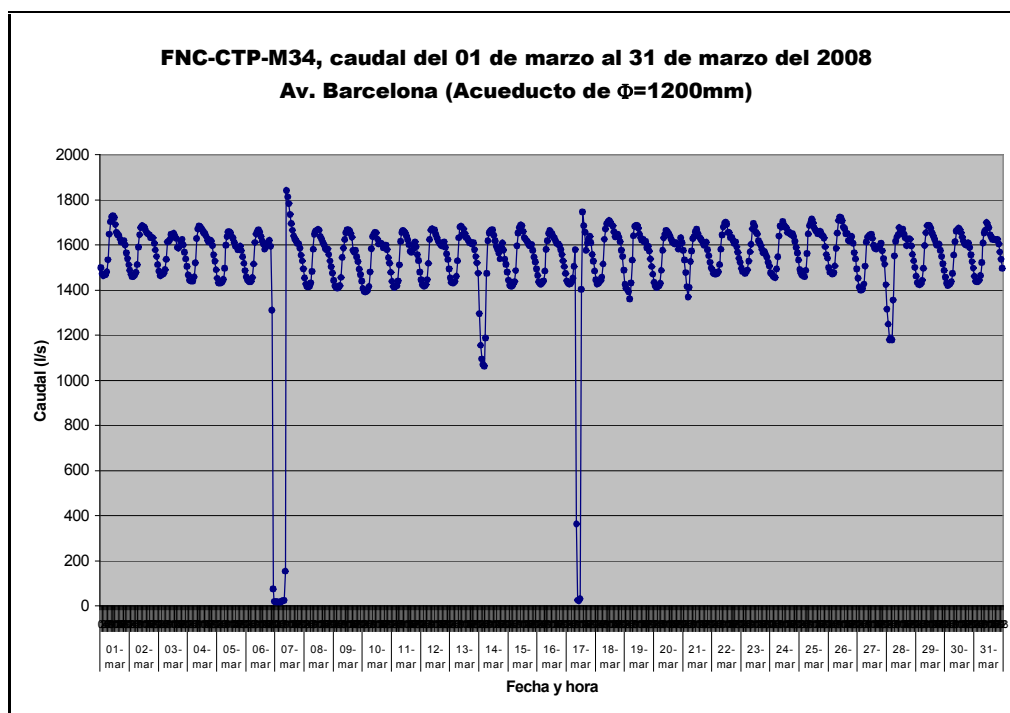


Figura 12. Gráfico obtenido con los datos brutos de caudal registrados durante el período del 01 al 31 de marzo del 2008 en el punto de macromedición FNC-CTP-M34.
(Fuente: Departamento de Modelación y S.I.G., Subgerencia de Agua Potable, Interagua C. Ltda.)

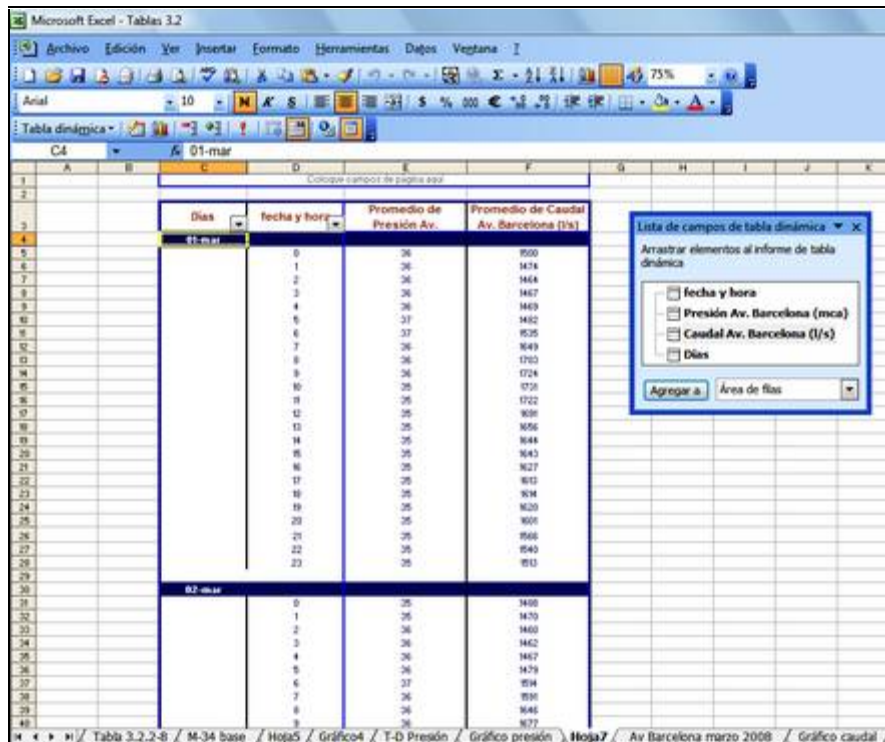


Figura 13. Procesamiento en MS-Excel de los datos de caudal y presión registrados en el punto de macromedición FNC-CTP-M34 para el período del 01 al 31 de marzo del 2008 (Fuente: Departamento de Modelación y S.I.G., Subgerencia de Agua Potable, Interagua C. Ltda.)

La información obtenida como producto de la medición de caudales y presiones fue utilizada para la elaboración de reportes mensuales de la distribución de los caudales entregados a los diferentes distritos de medición del sistema de distribución del monitoreo, caudales mínimos nocturnos, análisis de pruebas de step test, cálculo de los indicadores de pérdidas físicas del sistema de distribución de agua potable, monitoreo de las presiones mínimas en la red de distribución y a nivel de usuarios durante el 95% del tiempo de servicio, y calibración del modelo hidráulico.

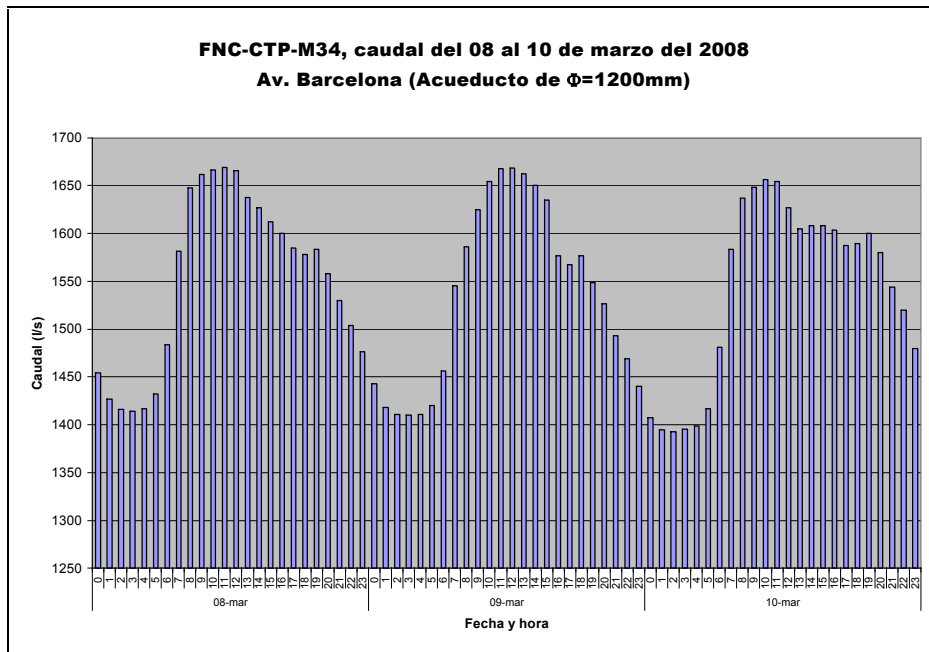


Figura 14. Ejemplo de curva de caudal registrado para 72 horas en el punto de macromedición FNC-CTP-M34 (Fuente: Departamento de Modelación y S.I.G., Subgerencia de Agua Potable, Interagua C. Ltda.)

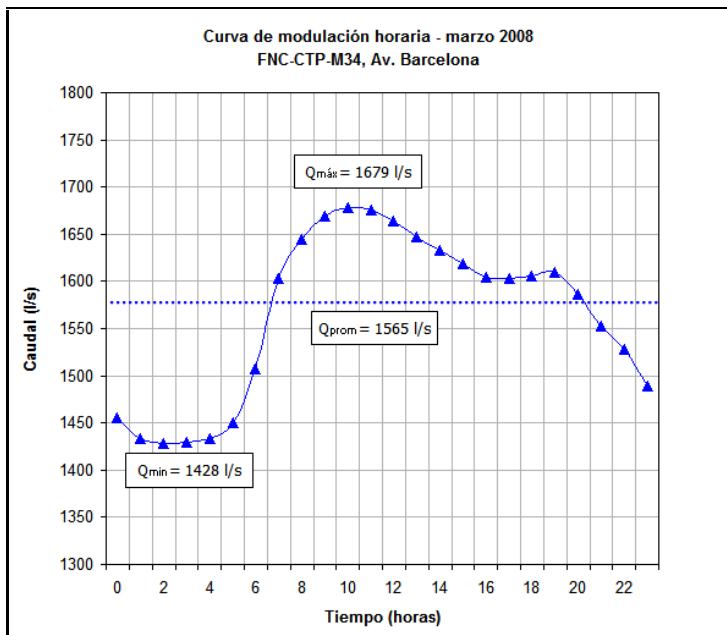


Figura 15. Ejemplo de curva de modulación horaria para el mes de marzo obtenida de los registros de caudal en el punto de macromedición FNC-CTP-M34 (Fuente: Departamento de Modelación y S.I.G., Subgerencia de Agua Potable, Interagua C. Ltda.)

3.3. Control activo de fugas en la red de distribución de AA.PP.

El control activo de fugas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil consistió en la aplicación de técnicas de detección para determinar las zonas con mayor índice de existencia de fugas no visibles, para luego proceder a su prelocalización y/o localización exacta y reparación.

Es necesario realizar una diferenciación entre la simple "detección" de la fuga y la "localización" exacta de la misma. La *detección* es la ubicación de una fuga o fugas en una sección o zona de la red, siendo una actividad que se lleva a cabo de manera rutinaria en toda la red de distribución. La *localización* es la identificación de la ubicación de la fuga en la red de distribución, para su posterior reparación, actividad que se puede realizar independientemente de una previa detección de fugas.

3.1.1. Detección de fugas en la red de distribución de AA.PP.

La detección de fugas realizada en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil consistió en la medición del caudal nocturno a través de la ejecución de pruebas de “*Step Test*”. Mediante estas pruebas se determinó el caudal relacionado con las fugas existentes en la red de distribución.

Posteriormente, esta información fue utilizada para el cálculo de indicadores del nivel de pérdidas técnicas de agua potable, los que permitieron identificar las zonas de la red de distribución donde las pérdidas de agua potable eran mayores.

Protocolo de operaciones para pruebas de Step Test.

El protocolo de operaciones para pruebas de “*Step Test*” en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil está compuesto por un conjunto de tareas previas y de pasos lógicos a ser ejecutados antes y durante el desarrollo de la prueba, respectivamente.

Las tareas previas, que fueron revisadas y/o ejecutadas cuidadosamente antes del inicio de cada prueba, son listadas a continuación:

- i. Programar las pruebas de step test para ser realizadas entre las 23h00 y 05h00; teniendo en cuenta de que no se hayan alterado las condiciones del servicio durante los días anteriores.
- ii. Notificar la interrupción del servicio a los usuarios ubicados dentro de los sectores hidráulicos que serán incluidos en la prueba; adicionalmente serán notificados la policía y los bomberos.
- iii. Identificar a los grandes consumidores existentes dentro de los sectores hidráulicos que serán incluidos en la prueba. Adicionalmente se debe conocer la ubicación y lectura actual de sus medidores.
- iv. Preparar un programa de la prueba, el que incluya un listado de las válvulas que serán maniobradas, la secuencia de operación de las mismas; identificadas en un plano de los sectores hidráulicos incluidos en la prueba. Es esencial revisar cuidadosamente cualquier programa nuevo durante el día antes de proceder a ejecutar una prueba nocturna.

- v. Verificar que las válvulas incluidas en el programa del proceso de la prueba estén operables, en buenas condiciones de funcionamiento y pueden ser cerradas herméticamente.

- vi. Instalar equipos registradores de presión tanto dentro como fuera de los sectores hidráulico hidráulica que serán incluidos en la prueba. Esta actividad permitirá obtener información del comportamiento hidráulico de la red de distribución al ser instalados en:
 - Puntos de control en tuberías adyacentes a los límites entre sectores hidráulicos, principalmente donde haya sospecha de que el cierre de las válvulas de frontera pueda ocasionar bajas presiones.
 - Puntos más desfavorables de la red de distribución para conocer los reflejos de los cierres secuenciales de las válvulas en esos puntos.

- vii. Asegurarse que el personal de campo tenga el equipo necesario para la ejecución de la prueba; esto es, llaves para válvulas, llaves para tapas de cajetín, manómetros.

- viii. Garantizar la seguridad del personal de campo durante la ejecución de la prueba; revisando que cuenten con chalecos fluorescentes, linternas y radios receptores-transmisores.

La secuencia general de pasos lógicos ejecutada durante el desarrollo de las pruebas de "Step Test" realizadas en la red distribución de AA.PP. del suburbio oeste fue la siguiente:

- a) Verificar la normalidad de las condiciones de servicio. Chequeando que dentro de los sectores incluidos en la prueba no se estén realizando reparaciones de daños, que no haya incendios, fugas visibles muy grandes o cualquier otra condición inusual que pueda provocar resultados no representativos.

La presentación de cualquier condición no usual durante la prueba de "Step Test" invalida ésta. Si se suspende la prueba del sector por este motivo, debe esperarse hasta la semana siguiente para su realización.

- b) Cerrar todas las válvulas de frontera con sectores hidráulicos adyacentes previo a la prueba; para el caso que los sectores hidráulicos a ser medidos no sean independientes.
- c) Cerrar las válvulas de abastecimiento del sector hidráulico. Si la prueba incluye dos o más sectores trabaja desde el punto más alejado de la red hacia la ubicación del equipo de medición, es decir, se debe iniciar la prueba con el cierre de las válvulas de abastecimiento del sector más

alejado del caudalímetro, registrando la hora de la operación y el detalle de cada válvula. El tiempo de cierre entre cada sector hidráulico debe ser lo suficientemente prolongado para que el caudalímetro registre el impacto de la maniobra en la red de distribución.

- d) Verificar si el sector hidráulico está efectivamente aislado de la red de distribución restante después de cerrar las válvulas de frontera y de abastecimiento. Comprobando que las presiones del sector bajen hasta cero en los registradores de presión internos, y registrando alteraciones de presión en los registradores externos al sector hidráulico medido.
- e) Adicionalmente se debe escuchar cada válvula cerrada para verificar si necesita un ajuste o verificar si su cierre no es hermético.
- f) Abrir las válvulas en el orden contrario al de cierre, la operación de cada válvula debe de ser lenta para evitar roturas.

La información de las válvulas maniobradas se registra en un formato de "Operación de válvulas"²³, en el que se anota la siguiente información:

²³ El formato "Operación de válvulas" puede ser revisado en la sección de anexos (Anexo 21).

- La dirección de localización de la válvula y nomenclatura de la válvula.
- Diámetro y número de vueltas de la válvula maniobrada, llave T utilizada en la operación de la válvula, descripción que indica las dimensiones del cabezal de la válvula.
- Detalles de hora de la maniobra de cada válvula, tanto del cierre como de su apertura.
- Información general de la válvula, tales como el tipo de protección de la válvula (cámara o cajetín), tipo de válvula (compuerta, de mariposa, de globo o inversa), la función de la válvula (abastecimiento, frontera o de seccionamiento para el caso de válvulas de acueductos).

Documentación de pruebas de Step Test.

Las pruebas de "Step Test" (cierre secuencial de válvulas) fueron documentadas, elaborando informes que reunieron toda la información recolectada a lo largo del desarrollo de cada prueba, tal como:

- Plano a escala adecuada mostrando los límites de los sectores hidráulicos sujetos a prueba, la ubicación de las válvulas de abastecimiento y de frontera empleadas para delimitar los sectores hidráulicos.

- Formatos de "Operación de Válvulas" con información de la hora de cierre y apertura de las válvulas de abastecimiento y de frontera a maniobradas durante el desarrollo de la prueba.
- Informe del estado de las válvulas de abastecimiento y de frontera maniobradas, información que contiene las válvulas encontradas cerradas durante la ejecución de la prueba y de las válvulas defectuosas.
- Ubicación de los puntos en que se registran presiones durante el desarrollo de la prueba de Step Test.
- Plano piezométrico elaborado con las presiones registradas manualmente luego de cada maniobra realizada durante la prueba.

Evaluación de pruebas de Step Test.

La evaluación de las pruebas de "Step Test" consistió en el cálculo del caudal nocturno correspondiente a cada sector hidráulico incluido en la prueba; y de indicadores de pérdidas técnicas que posibiliten el análisis del nivel de fugas existente en la red de distribución.

Cálculo del caudal nocturno.

El cálculo del caudal nocturno se realizó mediante el análisis de los registros gráficos de los datos de caudal y presión obtenidos en los puntos de macromedición.

Durante una prueba de "Step Test" se obtienen valores de caudal que se mantienen constantes durante cortos períodos de tiempo, y cuyas variaciones están vinculadas a cada maniobra en la red de distribución. Realizando la resta entre dos registros constantes consecutivos se obtiene el valor del caudal nocturno correspondiente a cada sector hidráulico (ver figura 17).

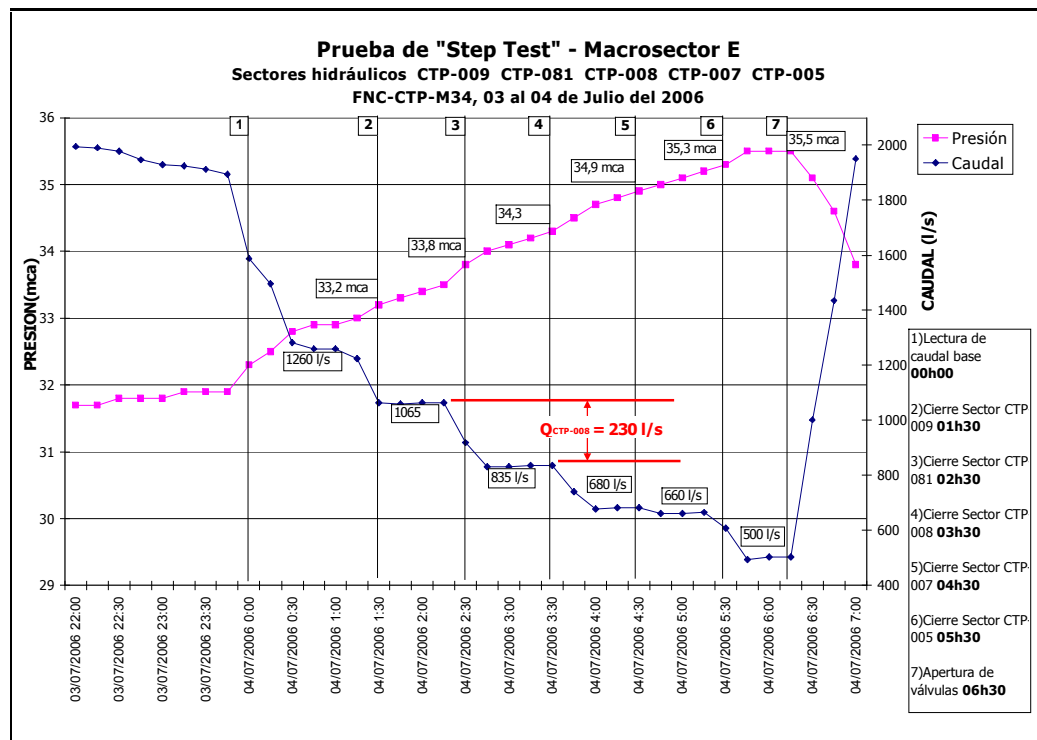


Figura 16. Informe gráfico de datos de caudal y presión registrados durante el desarrollo de una prueba de Step Test, informe utilizados para el cálculo del caudal nocturno de varios sectores hidráulicos. Punto de macromedición FNC-CTP-M34 ubicado en la Av. Barcelona.

Cálculo de indicadores de pérdidas técnicas.

Los caudales nocturnos suministrados a la red de distribución de los 48 sectores hidráulicos definidos en la zona de estudio, fueron utilizados para el cálculo de indicadores de pérdidas técnicas de agua potable. Estos indicadores permitieron cuantificar el nivel de fugas, y evaluar la eficiencia de la red de distribución.

Los indicadores de pérdidas técnicas que fueron aquellos denominados índices lineales de fugas. Expresados en función del *Volumen por unidad de tiempo por longitud de tuberías del sistema*. Estos fueron calculados como el cociente entre el caudal nocturno determinado en las pruebas de Step Test y la longitud de la red de distribución de la unidad de sectorización hidráulica. Expresado en litros/segundo/Km de redes del sistema (l/s/km).

Pero, debido a la falta de uniformidad de las presiones registradas para sectores hidráulicos adyacentes, se determinó que comparar el nivel de pérdidas entre varios sectores hidráulicos ("Benchmark") utilizando este índice era inadecuado. Entonces se calcularon indicadores en función del caudal por unidad de tiempo por longitud de tuberías del sistema por presión de la red (expresado en litros/segundo/Km de redes del sistema/bar). Es decir, el indicador anteriormente explicado dividido para la presión de servicio

registrada en la red de distribución instantes antes del cierre de las válvulas de abastecimiento de la unidad de sectorización hidráulica.

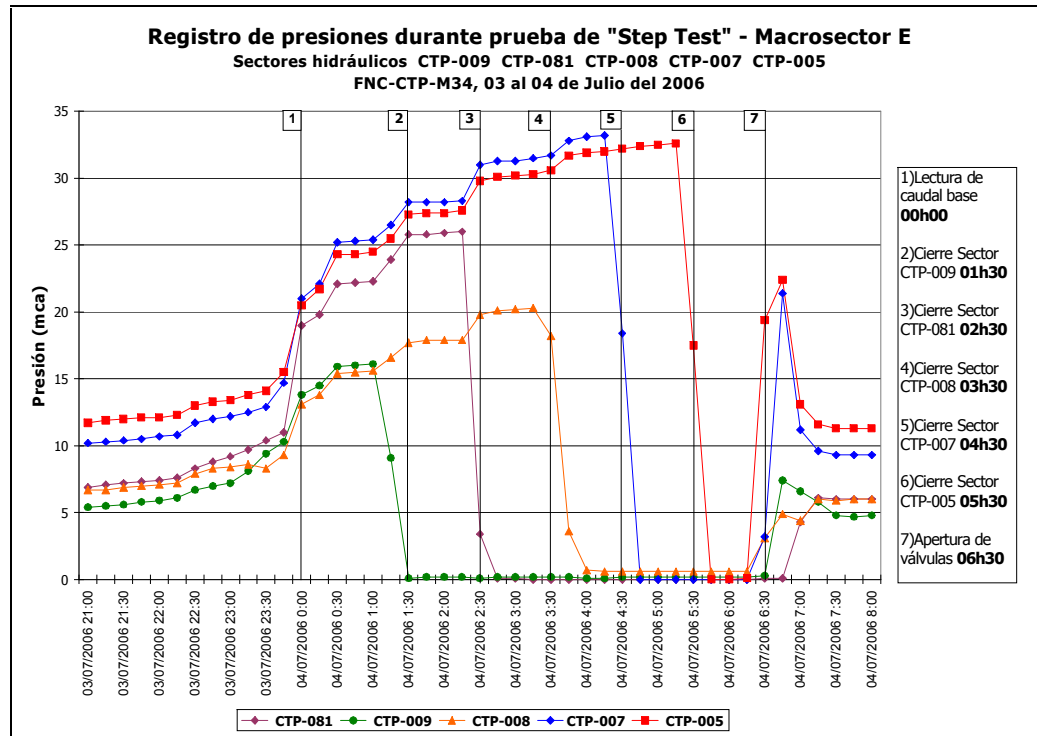


Figura 17. Informe gráfico de presiones de servicio en los sectores hidráulicos medidos en una prueba de Step Test, informe utilizados para verificar la hermeticidad de cada sector y el impacto del cierre de cada sector hidráulico en los sectores adyacentes.

Desarrollo de la detección de fugas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.

Para el desarrollo de la detección de fugas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil se configuraron 7 macrosectores hidráulicos. Cada macrosector hidráulico agrupó sectores

hidráulicos situados en extensas zonas malladas de la red de distribución; abastecidas por una o varias tuberías de conducción, con válvulas límite que permanecen abiertas y que son cerradas solamente para realizar mediciones.

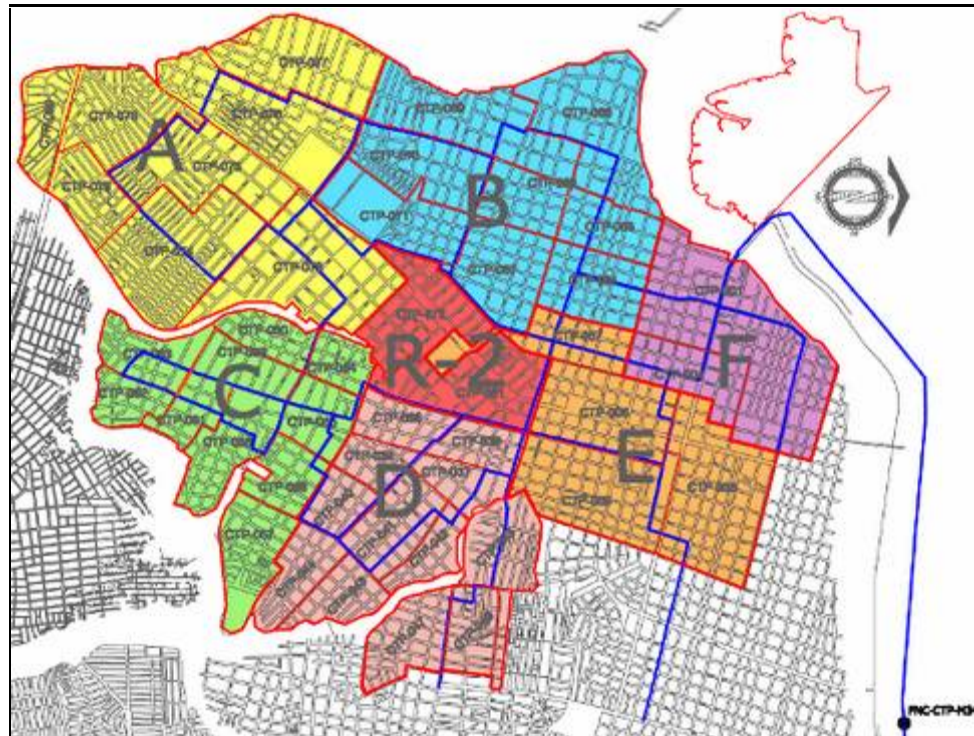


Figura 18. Macrosectores hidráulicos configurados en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.
(Fuente: Departamento de sectorización, Subgerencia de Agua No Contabilizada, Interagua C. Ltda.)

Los datos de caudal correspondientes a las pruebas de "Step Test" de los 46 sectores hidráulicos agrupados en los 7 macrosectores hidráulicos²⁴, inicialmente fueron registrados en el punto de macromedición FNC-CTP-M34.

²⁴ En la sección de anexos puede ser revisada la información de los 7 macrosectores hidráulicos configurados en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil para la detección de fugas (Anexo 21).

Posteriormente, debido a que los datos de caudal obtenidos para los sectores más alejados del punto de medición eran poco confiables, se habilitaron los puntos de macromedición CTP-064-M40, CTP-007-M41 y CTP-081-M42.

La puesta en funcionamiento de estos 3 puntos de macromedición ubicados en el sistema de conducción de AA.PP. obligó a modificar la configuración de los 7 macrosectores hidráulicos configurados en la red de distribución de AA.PP. de la zona de estudio; cambios que son mostrados en la figura 19.

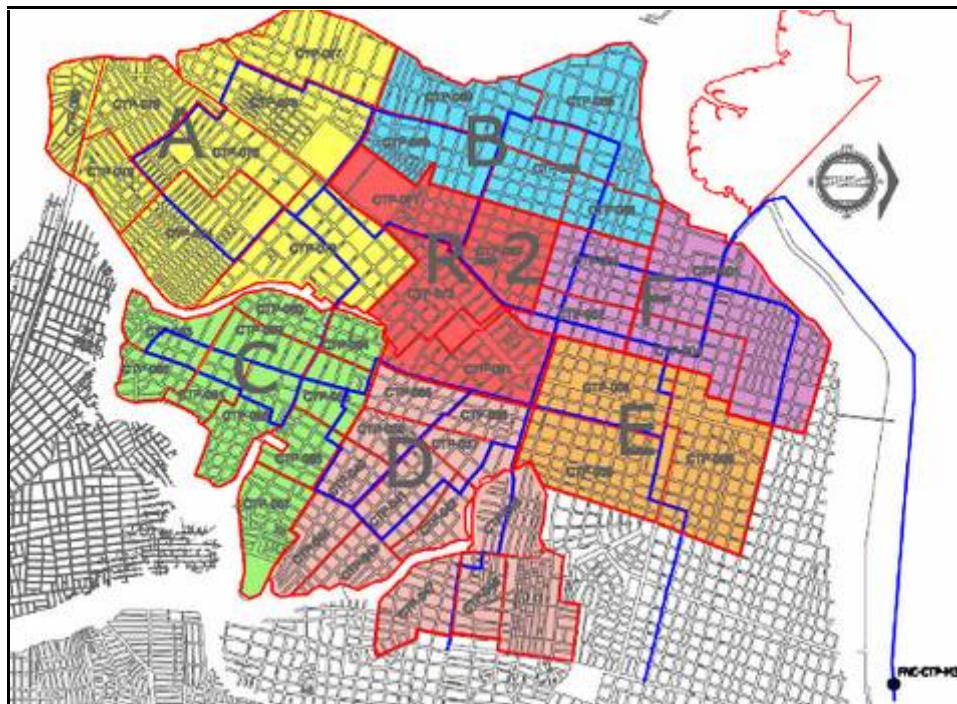


Figura 19. Modificación de la configuración de los macrosectores hidráulicos definidos para la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.
(Fuente: Departamento de sectorización, Subgerencia de Agua No Contabilizada, Interagua C. Ltda.)

El indicador de pérdidas técnicas empleado para el análisis del nivel de pérdidas técnicas y eficiencia de la red de distribución de los macrosectores fue el índice lineal de fugas, que relacionó el volumen por unidad de tiempo por longitud de tuberías del sistema (en unidades de l/s/Km).

Se definieron inicialmente los valores de indicadores de pérdidas técnicas menores a 1.00 l/s/km como aquellos correspondientes a redes de distribución en buenas condiciones. Este valor se adoptó como referencia en función de la información obtenida de sistemas de distribución de excelente gestión en países como Francia, Alemania, USA, Gran Bretaña y Japón; donde los indicadores de pérdidas tienen un valor entre 0.023 l/s/Km y 0.116 l/s/Km. Siendo este último equivalente a un único grifo doméstico ($Q=0.1$ l/s) fluyendo continuamente en un área abastecida por aproximadamente 1 km de tubería principal.

Sin embargo, un balance hidráulico realizado para la red de distribución de la zona de estudio determinó los caudales de consumo óptimos para cada sector hidráulico. Estos caudales fueron utilizados para calcular los valores de indicadores de pérdidas técnicas correspondientes al nivel de fugas más bajo que la red de distribución de estos sectores podía alcanzar.

En función de esta hipótesis, se pudo establecer un criterio según el cual cada vez que se tenía un indicador de pérdidas mayor al determinado se realizó una investigación a fin de determinar las causas de ese alto consumo²⁵. Valores máximos a estos orientaron a tomar decisiones de intervenir en un sector hidráulico específico, es decir, dirigir los recursos necesarios para la localización y reparación de fugas.

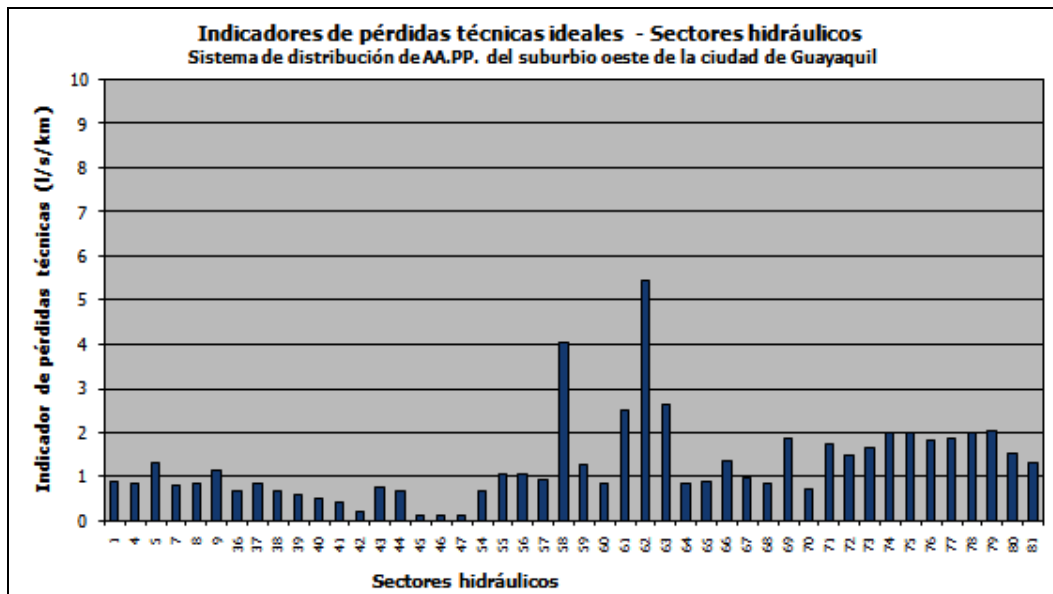


Figura 20. Índices lineales de fugas óptimos calculados para los sectores hidráulicos de la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.

(Fuente: Departamento de sectorización, Subgerencia de Agua No Contabilizada, Interagua C. Ltda.)

²⁵ Los valores de referencia del caudal de consumo e indicador de pérdidas técnicas pueden ser revisados en el Anexo 23.

Debido a la falta de uniformidad de las presiones de servicio registradas en sectores hidráulicos adyacentes o pertenecientes a un mismo macrosector, se definió que se utilice el indicador de pérdidas técnicas que relaciona el volumen por unidad de tiempo por longitud de tuberías del sistema por presión de la red (en unidades de l/s/Km/bar).

Para realizar la comparación del nivel de fugas entre varios sectores hidráulicos, los indicadores de pérdidas técnicas (expresados en l/s/km/bar) calculados fueron representados gráficamente en diagramas de barras (ver figura 20 de ejemplo). Este tipo de gráficos facilitó la identificación de los sectores hidráulicos en los cuales sea rentable implementar estrategias para la reducción del nivel de fugas.

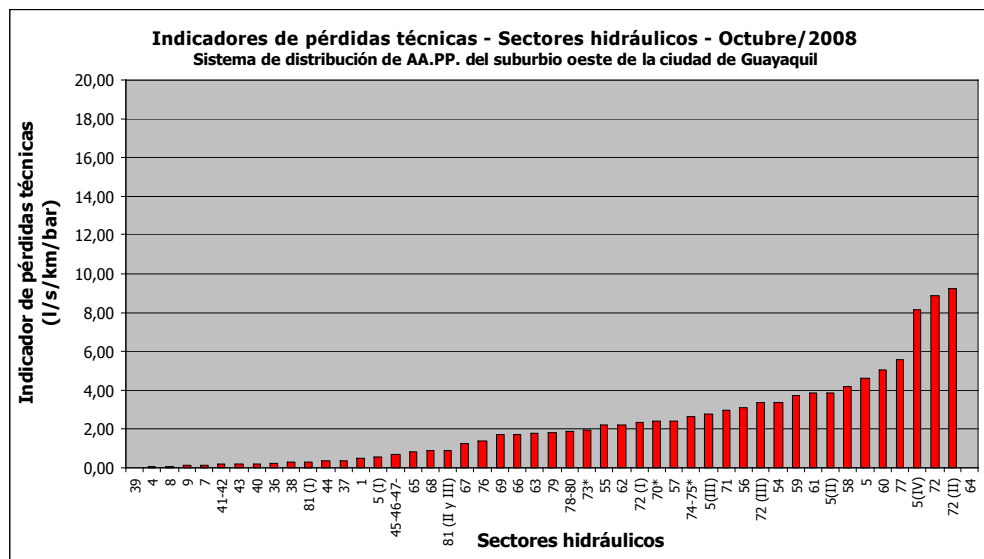


Figura 21. Identificación de sectores hidráulicos con mayores indicadores de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil calculados para octubre del 2008. (Fuente: Departamento de sectorización, Subgerencia de Agua No Contabilizada, Interagua C. Ltda.)

El criterio de actualización de datos propuesto sugería que los indicadores de pérdidas técnicas sean actualizados luego de la implementación de estrategias de reducción en los sectores definidos previamente como prioritarios, y cada seis meses para aquellos sectores no prioritarios.

Durante el período aplicación de la metodología de reducción de pérdidas técnicas que es analizado en esta tesis de grado (24 meses), se actualizaron periódicamente los valores de indicadores de pérdidas técnicas. De este modo fue posible garantizar que los recursos siempre fueran utilizados en los sectores hidráulicos con mayor nivel de fugas.

En la sección de anexos²⁶ pueden ser revisadas las tablas (actualizadas periódicamente) con los valores de caudal nocturno y presión obtenidos en pruebas de "Step Test", y de los indicadores de pérdidas técnicas de los sectores hidráulicos definidos en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.

²⁶ En el anexo 24 se muestran las tablas que contienen los valores de indicadores de pérdidas técnicas y caudal nocturno correspondientes al período comprendido entre noviembre del 2006 y octubre del 2008.

3.1.2. Localización de fugas en la red de distribución de AA.PP.

La localización de fugas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil consistió en la ubicación exacta de fugas visibles y no visibles, su control y análisis estadístico; con el propósito de reducir a un mínimo económico los volúmenes de agua correspondientes a las fugas. Esta actividad se realizó posterior al análisis de los indicadores de pérdidas técnicas generados por la detección de pérdidas técnicas.

Previo al inicio de la aplicación de estrategias de reducción de pérdidas técnicas la empresa contaba con un programa "pasivo" de localización de fugas, es decir, la ubicación, localización precisa y posterior reparación de fugas se realizaba luego del reporte de los usuarios. Por lo que previo al inicio de esta actividad fue necesario realizar un estudio de la organización existente, en el que se revisaron:

- La efectividad de la detección de fugas que la empresa estaba realizando.
- La información existente respecto a las fugas detectadas y al número de fugas reparadas.

- La eficiencia en el mantenimiento correctivo de la red, analizando la capacidad de respuesta y la demora en la reparación de las fugas reportadas.

Como resultado del análisis de los factores antes mencionados y existiendo la necesidad de obtener resultados inmediatos que requieran esfuerzos mínimos respecto a la detección y localización de las fugas no visibles, fue necesaria la creación de un departamento de búsqueda de fugas, encargado de desarrollar básicamente las siguientes actividades:

- a. Adquisición de equipos compatibles con las necesidades locales.
- b. Selección y capacitación de personal técnico.
- c. Definición de metodologías para la localización de fugas.

El departamento de búsqueda de fugas se conformó por 4 cuadrillas encargadas de investigar fugas. Las cuadrillas estaban compuestas por 1 técnico-operario y dos obreros, todas ellas supervisadas por un técnico-coordinador.

Los técnicos fueron seleccionados de los distintos departamentos de operaciones existentes en la empresa. En el proceso de selección de personal se sugirió que los obreros seleccionados provengan de las cuadrillas de

reparaciones de redes, que cuenten con experiencia en tareas de operaciones de válvulas, o en la detección de fugas utilizando equipos.

El técnico-coordinador asumió las responsabilidades de organización del personal a su cargo, recibir los requerimientos de búsqueda de fugas en coordinación con los departamentos de Sectorización y Distribución, generar reportes de las fugas detectadas para su pronta reparación, y de plantear mejoras en el proceso de prospección junto con capacitación adicional del personal en caso de ser necesaria.

Equipos empleados para búsqueda de fugas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste.

Los equipos de detección directa y localización de fugas empleados en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil fueron equipos de detección electroacústica.

Estos equipos captan el sonido producido por la vibración en la tubería y en el terreno próximo del agua cuando sale de una tubería presurizada. Las vibraciones varían en frecuencia y velocidad según factores como el diámetro y espesor de la tubería, el tipo de material, las dimensiones, la forma de la rotura, etc.

La tabla 14 muestra los equipos de detección directa (prelocalización) y localización que fueron utilizados por el personal de búsqueda de fugas²⁷.

Tabla 13
Equipos de detección directa y localización de fugas empleados en la red de distribución de AA.PP. Del suburbio oeste de Guayaquil

Equipo	Modelo
Geófono	G-Mic
Geófono	X-Mic
Geófono	Sewerin A-100
Correlador acústico	MicroCorr 6
Correlador acústico multidireccional	Sound Sens

Metodologías de trabajo aplicadas para la localización de fugas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste.

Para el desarrollo de la actividad de localización de fugas se aplicaron metodologías trabajo en función del equipo empleado para su ubicación en la red de distribución, y según el tipo de fuga.

Las metodologías de localización de fugas empleadas según el equipo empleado dividió esta actividad en dos tareas: la prelocalización y localización. Mientras que, según el tipo de fuga, se aplicaron metodologías

²⁷ Las características principales de estos equipos pueden ser revisadas en la sección de anexos (Anexo 25).

para fugas visibles, producidas por escapes que afloran a la superficie; y fugas no visibles.

Metodología de trabajo con geófonos.

La localización de fugas con geófonos se realizó en dos fases distintas: la prelocalización y la localización propiamente dicha.

La *prelocalización* de un punto de fuga se realizó con la ayuda de la varilla de exploración. Para ello, se escucharon todas las partes accesibles (generalmente válvulas o llaves de las conexiones domiciliarias) al tramo de tubería que se encontraba en la proximidad del punto supuesto de fuga.

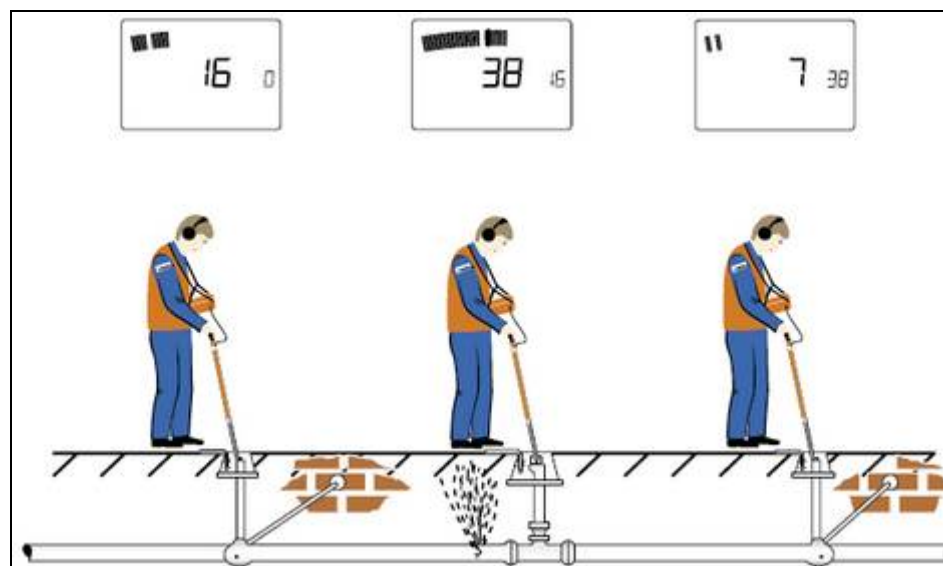


Figura 22. Prelocalización de una fuga con la utilización de la varilla de contacto.
(Fuente: Manual de usuario para geófono SEWERIN modelo A100)

En la figura anterior los resultados de las prelocalizaciones son mostrados como valores numéricos relativos y permitieron ubicar los daños cerca de algún punto específico.

La *localización* exacta de una fuga se realizó con la ayuda del micrófono de campana. Para la tarea de localización se escuchó a distancias cortas, con la mayor exactitud posible, sobre la superficie del suelo en dirección al trazado de la tubería. Así hasta obtener un punto con intensidad de sonido libre de interferencias.

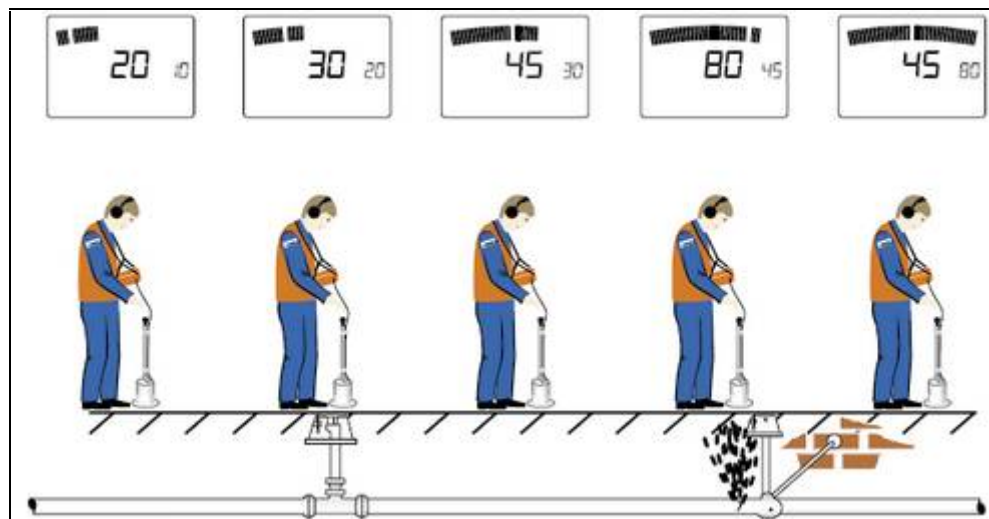


Figura 23. Localización de una fuga con la utilización de micrófono de campana.
(Fuente: Manual de usuario para geófono SEWERIN modelo A100)

La investigación que se realizó en terreno consistió en las siguientes tareas:

- Utilizar un geófono con varilla de contacto para recorrer la red de distribución. Escuchando y visualizando una probable señal de fuga en

todos los puntos de contacto con la red (válvulas, hidrantes y conexiones domiciliarias).

Tomar lectura de fuga en cada llave de cierre de las conexiones domiciliarias en condición de cierra. Pues el ruido registrado por el equipo puede deberse a una fuga o al consumo de la vivienda.

- Comparar el ruido registrado con el de las conexiones domiciliarias próximas.

Si el ruido es intenso únicamente sobre la conexión domiciliaria inicialmente escuchada, se debió comparar el ruido existente en el trazado de la guía domiciliaria del predio y sobre el alineamiento de la tubería próximo al collarín; confirmando la existencia de fuga en acometida o en collarín, respectivamente.

En aquellos casos en los que el ruido de fuga persistía en el área próxima al collarín investigado, la fuga debió ser localizada con exactitud realizando una prospección en terreno sobre todo alineamiento de la tubería; y reportada como fuga en tubería.

A continuación se presenta un caso hipotético de prelocalización y localización de una fuga con la utilización de un geófono, cuya secuencia (mostrada en la figura 24) puede ser la siguiente:

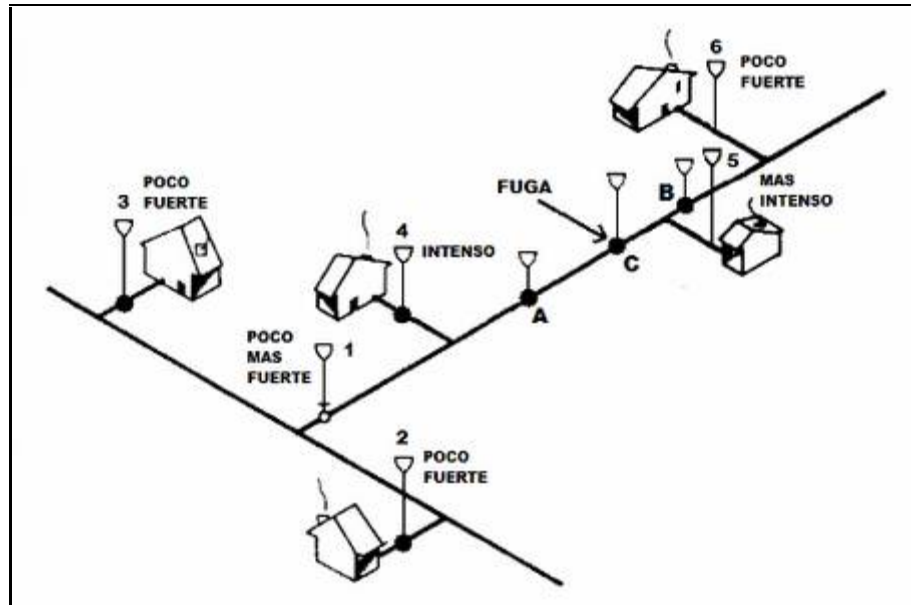


Figura 24. Esquema de prelocalización y localización de fugas no visibles con el empleo de geófonos (Fuente: CEPIS, 1980)

- a) La varilla de exploración del geófono se aplica en la válvula 1 y luego en los medidores de las casas 2 y 3. En estos sitios se escucha un ruido ligero, que se oye en el punto 1 un poco más fuerte que en los otros dos.
- b) Como el sonido en 1 es más fuerte, se aplica el geófono en los puntos 4, 5, y 6, encontrándose que es intenso en 4, más intenso en 5 y ligero o poco fuerte en 6. Esto hace suponer que la fuga queda comprendida entre los puntos 4 y 5, pero más cerca de este último.
- c) Entonces se hace uso del micrófono de suelo del geófono, aplicándolo sobre la superficie del terreno correspondiente al alineamiento de la tubería en varios puntos (A, B y C) localizados a lo largo de esta.

- d) Se realiza esta tarea hasta que en uno de ellos como el C, situado cerca de la casa 5, el ruido registrado por el geófono es más intenso que en A y B. La fuga con estas condiciones, estará ubicada en el punto C.

Metodología de trabajo con correladores acústicos.

La metodología de trabajo con el correlador electroacústico consistió en realizar inicialmente una prelocalización para establecer los probables puntos de fugas a lo largo de la red. Puntos que luego de una localización fueron ubicados con exactitud.

La fase de *prelocalización* consistió en realizar un reconocimiento general de la red de distribución. Se instalaron los sensores o hidrófonos en contacto físico con los puntos accesibles de las tuberías (accesorios). Los datos producidos en cada punto de contacto físico fueron interpretados y evaluados con el propósito de identificar las áreas con fugas, o para excluir las áreas exentas de fugas.

Durante el reconocimiento general, es posible detectar deficiencias en las tuberías, tales como: altas velocidades, válvulas defectuosas, y restricciones al flujo de cualquier especie.

Una vez detectada la existencia de una fuga se prosiguió con la segunda parte del trabajo que fue la *localización*. Para cumplir esta actividad se seleccionaron los puntos de contacto físico cercanos a la fuga prelocalizada; estableciendo nuevos puntos de contacto de manera que la fuga se encuentre entre esos puntos. Con los resultados de la correlación se procedió a ubicar la fuga mediante las distancias proporcionadas por el equipo, y finalmente se confirma su localización exacta mediante una inspección rápida con geófono.

Metodología de búsqueda de fugas semi-visibles.

La búsqueda de fugas semi-visibles consideró que estas generalmente se manifiestan con infiltraciones en cámaras de electricidad, telecomunicaciones, aguas servidas, aguas lluvias y en elementos propios de la red de distribución de agua potable.

En los sectores hidráulicos en los que se concentraron los problemas de fugas, la investigación que se realizó en terreno consistió en las siguientes tareas:

- Identificar las manifestaciones de agua propias de las fugas semi-visibles.

Esta actividad consistió en examinar el estado de los alcantarillados y

elementos propios de la red (válvulas, ventosas y desagües) levantando las tapas de cámaras.

- Constatar que el agua de infiltración proviene de la red de agua potable. Analizando el agua de infiltración con reactivos químicos para determinar la presencia de cloro residual.
- Precisar la localización exacta de la fuga mediante una inspección rápida con el geófono.

Metodología de búsqueda de fugas no visibles.

La búsqueda de fugas no visibles se desarrolló inspeccionando todas las tuberías y acometidas de la zona investigada con geófonos²⁸.

Reportes de localización de fugas.

La actividad de localización de fugas incluyó la preparación de reportes de las fugas encontradas en cada uno de los sectores hidráulicos investigados. Elaborados con el objetivo de notificar y solicitar la reparación de las mismas al área de mantenimiento de redes.

²⁸ En el anexo 26 se puede revisar información referente a las bases teóricas para la localización de fugas no visibles.

Para el desarrollo de la actividad de búsqueda de fugas visibles y no visibles en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste se clasificaron las fugas según su ubicación en cuatro tipos: fugas en acometida, fuga en medidor, fuga en tubería, y fuga en collarín.

El formato "Reporte de localización de fugas" utilizado ²⁹incluyó:

- La nomenclatura del sector hidráulico investigado y el nombre del técnico-operador responsable (encargado de la localización).
- La cuantificación y ubicación del número de fugas encontradas, discriminando entre fugas en acometida, fugas en medidor, fugas en la red (tubería, collarín y accesorio) datos de diámetro y material de la tubería investigada, fugas en válvulas y fugas en hidrantes.
- La metodología con la cual se investigó el sector, esto es, indicando la utilización de geófono o correlador acústico.
- Presión de servicio en la red del sector hidráulico investigado; registrada en el transcurso del desarrollo de la actividad de búsqueda de fugas.
- Fechas de trabajo y de ingreso del reporte, con el respectivo código de reclamo que se genera al ser ingresada a la base de datos de la empresa.

²⁹ El formato "Reporte de localización de fugas" puede ser revisado en la sección de anexos (Anexo 27).

Adicionalmente los resultados obtenidos por la actividad de búsqueda de fugas se resumen en planos que muestran la localización de las fugas reportadas, razón por la cual se requieren de planos de catastro de la red de distribución completo y actualizado previo al desarrollo de esta actividad.

3.4. Gestión de la infraestructura de la red de distribución de agua potable.

La gestión de la infraestructura realizada en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil consistió en el mantenimiento y la renovación de la red de distribución en sectores hidráulicos con infraestructura defectuosa.

Mantenimiento de la red de distribución de AA.PP.

El mantenimiento de la red de distribución de AA.PP. en el suburbio oeste implicó la ejecución de mantenimientos preventivos y correctivos. Tareas realizadas por personal especializado, mediante el empleo de accesorios de reparación adecuados para garantizar la calidad de las reparaciones.

El mantenimiento preventivo de la red de distribución de AA.PP. consistió en la reparación masiva de las fugas no visibles, semivisibles y visibles reportadas por el personal de búsqueda de fugas. Esta actividad se realizó como resultado de los análisis previos de los indicadores de pérdidas técnicas obtenidos en la detección de fugas, la que definió sectores hidráulicos prioritarios en los que se realizaron búsquedas sistemáticas de fugas.

El mantenimiento correctivo consistió en la reparación de las fugas visibles reportadas por los usuarios a través de una central telefónica de atención al cliente; la que mantiene un flujo de comunicación permanente con el departamento de mantenimiento de redes. Debido a que estas necesitan de un tiempo de respuesta mínimo desde que se produce la avería hasta su reparación se realizaron en un tiempo inferior a 24 horas a partir del momento en que fueron conocidas por el personal de mantenimiento.

Los trabajos de mantenimiento inicialmente fueron realizados por el personal de mantenimiento de redes de la empresa. Sin embargo, con la introducción de las mejoras en el proceso de localización de fugas, la demanda de reparaciones se incrementó y las necesidades a corto plazo fueron satisfechas mediante el empleo de contratistas. La fiscalización garantizó el cumplimiento de normas apropiadas, y el empleo de accesorios de calidad adecuada.

Los trabajos de mantenimientos preventivos y correctivos realizados en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste fueron clasificados como reparación de fugas en la red de distribución, guías domiciliarias y medidores.

- Las reparaciones de fugas en guías domiciliarias incluyeron los daños en los diferentes accesorios de estas, tales como: collarines, tubería de la acometida, llaves de corte, neplós, uniones y llaves de control.
- Las reparaciones de fugas en la red de distribución incluyeron los daños en tubería (tubería partida, perforada y rajada), fugas en accesorios de unión, empaques, uniones simples, uniones gibault, válvulas, hidrantes y tapones.

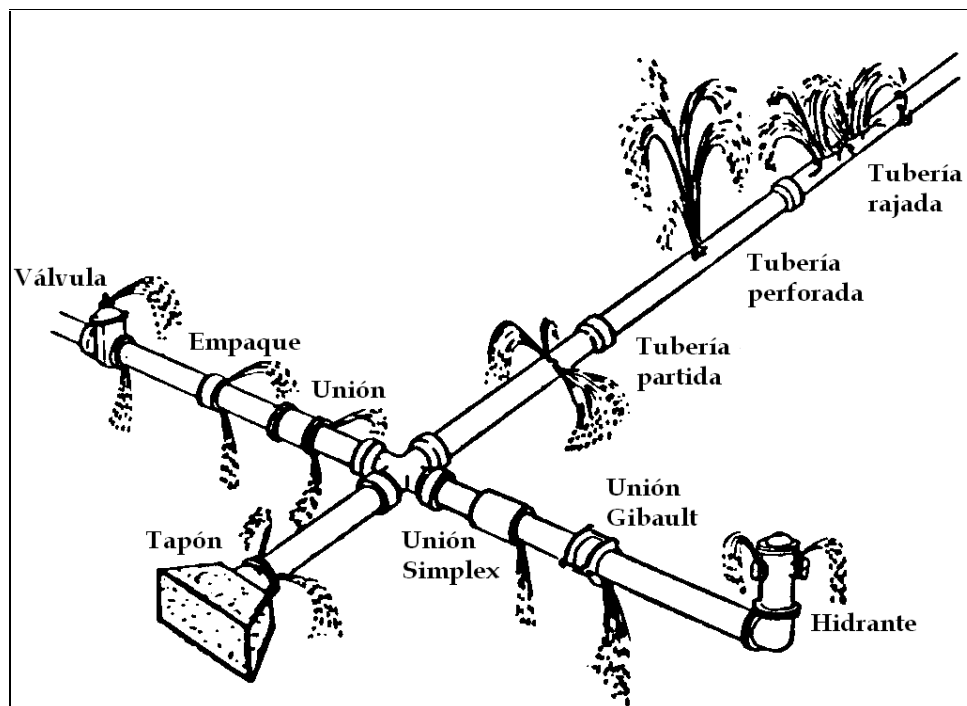


Figura 25. Tipos de daños reparados en mantenimientos preventivos y correctivos, incluidos en la clasificación de fugas en la red de distribución de AA.PP.

(Fuente: Subgerencia de Agua Potable, Interagua C. Ltda.)

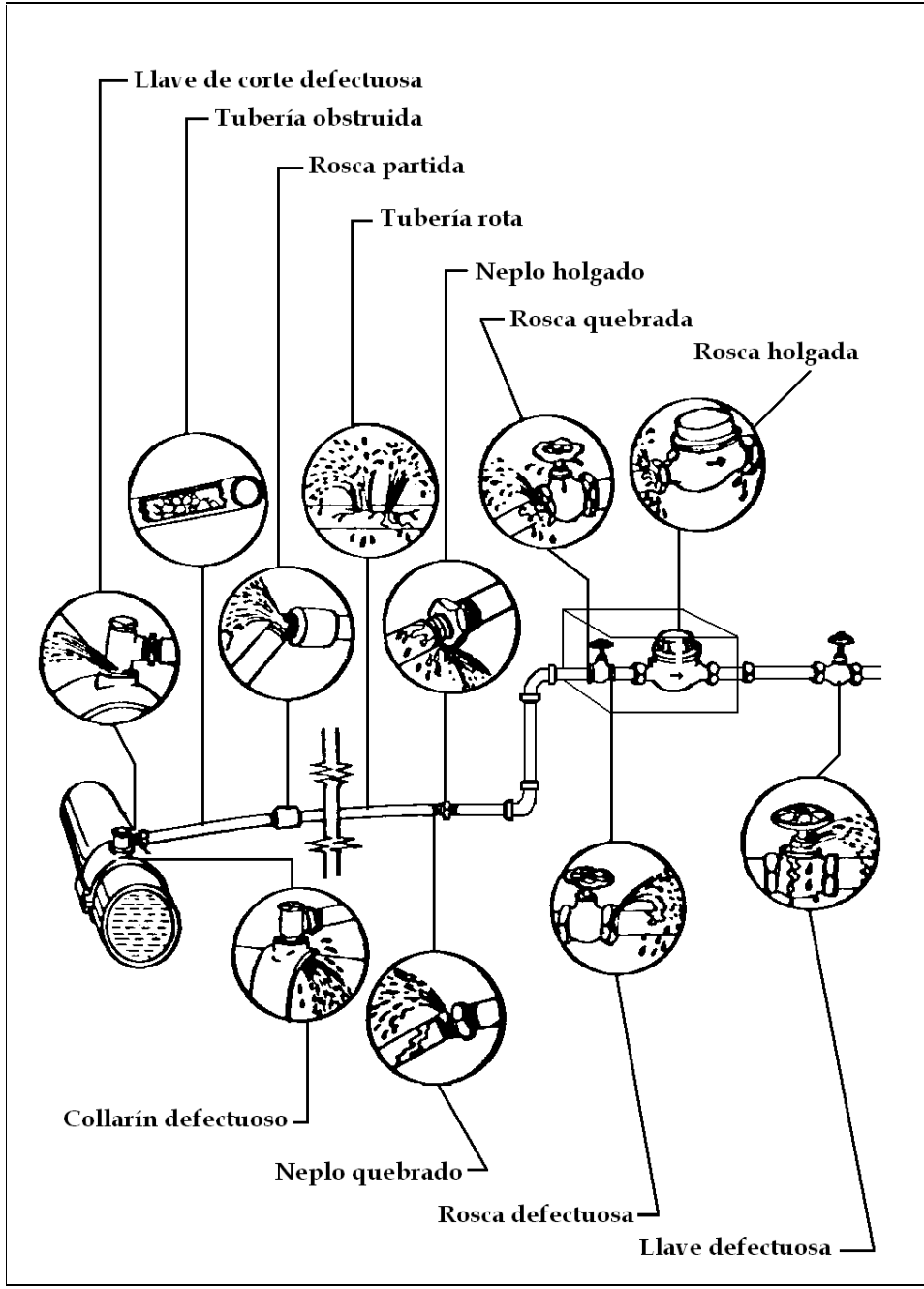


Figura 26. Tipos de daños reparados en mantenimientos preventivos y correctivos, incluidos en la clasificación de fugas en guías domiciliarias (Fuente: Subgerencia de Agua Potable, Interagua C. Ltda.)

Renovación de la red de distribución de AA.PP.

La renovación de la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil consistió en el reemplazo de tuberías de distribución y guías domiciliarias en los sectores hidráulicos con mayores indicadores de pérdidas técnicas. Siendo el objetivo de esta estrategia la disminución del nivel de pérdidas técnicas, mejorando la eficiencia del sistema de distribución, y permitiendo entregar un servicio de abastecimiento de AA.PP. bajo condiciones óptimas de calidad de agua y presión.

Para orientar la renovación de redes se definió una metodología con base en los indicadores de pérdidas técnicas, edad de las tuberías, material de la red de distribución, y frecuencia de daños. Esta metodología permitió seleccionar los sectores hidráulicos prioritarios excluyendo los sectores en donde las altas presiones eran la causa de las fugas.

El análisis de los resultados de las pruebas de Step Test (método utilizado para la medición del caudal nocturno asociado a fugas) y de los indicadores de pérdidas técnicas de los 47 sectores hidráulicos configurados en la red de distribución de la zona de estudio; permitió identificar a los sectores hidráulicos prioritarios para aplicar estrategias de reducción de pérdidas técnicas.

Esta información fue confrontada con los valores estadísticos de los mantenimientos preventivos y correctivos realizados, y con las inspecciones con cámara de video (CCTV) efectuadas a la red de distribución de los sectores seleccionados. Demostrando el mal estado de la red de distribución, y siendo necesaria la renovación total de las redes de distribución de agua potable de los sectores considerados prioritarios.

3.5. Gestión de la presión en la red de distribución de AA.PP.

El objetivo de la gestión de la presión en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil fue la reducción de las presiones de servicio en la red, para obtener la disminución de los volúmenes de las pérdidas técnicas a través de la reducción de los caudales de fuga.

La aplicación de la gestión de la presión como estrategia de reducción de pérdidas comprendió la disminución y la regulación de la presión de servicio en los sectores hidráulicos con presiones mayores a 10 m.c.a., registradas en horario de máximo consumo (09h00 a 11h00). Garantizando el suministro de caudal requerido por los usuarios del sector a una presión de servicio que está dentro de los valores definidos por la entidad reguladora ECAPAG.

La disminución de la presión de servicio consistió en la regulación manual de válvulas de mariposa y el cierre de válvulas de compuerta correspondientes a puntos de abastecimiento de aquellos sectores con más de una válvula de abastecimiento y presiones superiores a la definida por ECAPAG³⁰.

La regulación de la presión de servicio realizada en la red de distribución de AA.PP. comprendió el diseño y la posterior ejecución de las obras civiles requeridas para la puesta en funcionamiento de estaciones reguladoras de presión; que mantengan presiones de servicio menores a 10 m.c.a, independientemente de las oscilaciones de demanda del sector.

Dimensionamiento y selección de las válvulas reguladoras de presión de la estación reguladora de presión.

Los parámetros considerados en el dimensionamiento hidráulico de las válvulas reguladoras de presión fueron los valores de caudal en condiciones de máxima y mínima demanda; y las presiones de servicio en el punto de aplicación de la regulación de presión y en los puntos más desfavorables de la red de distribución del sector hidráulico.

³⁰ Para el segundo quinquenio de la concesión de los servicios de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Guayaquil, ECAPAG definió una presión mínima de 10 m.c.a. a nivel de usuario para el horario de máxima demanda.

El procedimiento utilizado para el dimensionamiento de las válvulas reguladoras de presión es mencionado a continuación:

(a) *Determinación de los datos hidráulicos del sector:* caudal de diseño, presión de entrada y salida requerida, y de la velocidad máxima correspondiente al material de la tubería existente³¹.

El valor del caudal de diseño utilizado fue el correspondiente a la demanda bruta estimada³², resultante de la mayoración³³ de la demanda neta estimada por el departamento de Modelación y SIG. La presión de servicio considerada como presión de entrada fue la registrada durante 7 días en un punto de aforo ubicado cerca del punto de aplicación de la regulación de presión.

Adicionalmente se realizó el registro de la presión de servicio en el punto más desfavorable de la red de distribución del sector hidráulico a ser regulado.

³¹ Para tuberías de PVC se estima una velocidad máxima de 5 m/s.

³² La elección de la demanda bruta estimada como caudal de diseño obedece a la imposibilidad de obtener mediciones de caudal mínimo nocturno y caudal máximo horario que sean válidas

³³ El factor de mayoración utilizado en la determinación de la demanda bruta es de 1.3; valor que considera un porcentaje de ANC del 70% y una eficiencia de la red de distribución del 30%.

(b) *Estimación del diámetro mínimo de la válvula reguladora de presión.* El valor del diámetro de la válvula reguladora está en función del diámetro preliminar que cumpla las restricciones de velocidad máxima y coeficiente de cavitación mínimo. En este ítem se tiene en consideración que el diámetro de una VRP no debe ser mayor al diámetro de la tubería existente.

(c) *Análisis de cavitación³⁴,* realizado para garantizar que la válvula seleccionada no presente cavitación. En este análisis se verifica que la presión de salida sea mayor que un tercio de la presión de entrada, y que la válvula seleccionada no exceda la velocidad de salida máxima correspondiente al material de la tubería. Adicionalmente se utilizó la carta de cavitación publicada en el catálogo del proveedor de las válvulas reguladoras³⁵.

(d) *Cálculo de las pérdidas de carga a presentarse en los accesorios.* Los valores de pérdida de carga para cada accesorio a utilizarse en este

³⁴ En la sección de anexos puede ser revisada una recolocación bibliográfica referente al fenómeno de cavitación (Anexo 28).

³⁵ En el anexo 29 se muestra la carta para análisis de cavitación proporcionada por el fabricante de válvulas reguladoras de presiones Singer Valve Inc.

cálculo están tabulados en manuales de diseño. Tee=1.27, Codo 90°=0.8, válvula de compuerta=0.39, válvula de aire=0.40.

(e) *Cálculo de las pérdidas de carga a presentarse en la estación reguladora de presión.* Este cálculo incluye las pérdidas de carga a presentarse en los accesorios, filtros y las pérdidas de carga presentadas en las válvulas reguladoras de presión en condición totalmente abierta³⁶.

Inicio de operaciones de la estación reguladora de presión ERP-CTP-001.

Como actividad preliminar al inicio de operaciones de la estación reguladora de presión se debió realizar una prueba de hermeticidad del sector; para descartar posibles interconexiones con sectores hidráulicos adyacentes de distinta presión. Esta prueba incluyó la revisión de las válvulas de frontera con sectores adyacentes, y la verificación de la caída a cero de las presiones internas luego del cierre manual de la válvula de abastecimiento del sector.

Una vez puesta en funcionamiento la estación reguladora de presión se realizaron monitoreos regulares de las presiones de servicio en todo el sector hidráulico; de tal manera que se puedan obtener datos necesarios para

³⁶ La pérdida de carga en las válvulas reguladoras fue calculada en función del coeficiente de cavitación máximo tabulado para el diámetro de válvula seleccionado

evaluar los resultados de las modificaciones en la presión y garantizar la estabilidad de la presión de servicio regulada.

El monitoreo de la presión de servicio se realizó mediante la instalación de registradores de presión en puntos de aforo. En caso de no disponer de equipos registradores de presión, el monitoreo debió de realizarse mediante el registro manual de la presión en puntos de aforo, acometidas e hidrantes.

3.6. Revisión del capítulo.

En este capítulo se revisaron las diferentes estrategias que componen la metodología de reducción de pérdidas técnicas, y que aplicadas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil incidieron en la disminución del nivel de fugas y la consecuente mejora del desempeño de la red de distribución.

Inicialmente se revisó la sectorización hidráulica, que dividió la red de distribución en 47 sectores homogéneos, aislados e independientes entre sí. Posteriormente se describió la estrategia del control activo de fugas, compuesto por la detección y localización de las pérdidas técnicas en la red de distribución. Finalmente se revisaron las actividades desarrolladas durante

el período de implementación de las estrategias de gestión de la infraestructura y gestión de la presión de servicio.

Tabla 14
Aplicación de las estrategias de reducción de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil. (Subgerencia de distribución de AA.PP., Interagua, 2008)

Año	Mes	Control activo de fugas		Gestión de la infraestructura			Gestión de la presión	
		Detección de pérdidas técnicas	Localización de fugas	Mantenimiento de red	Deshabilitación de red antigua	Renovación de red	Disminución de presión	Regulación de presión
2006	Septiembre	x		x				
	Octubre	x		x				
	Noviembre	x	x		x	x		
	Diciembre	x	x	x	x			
2007	Enero	x	x	x	x			
	Febrero	x		x	x			
	Marzo	x	x		x			
	Abril	x	x		x			
	Mayo	x	x	x	x		x	
	Junio	x	x	x	x			
	Julio	x	x	x	x			
	Septiembre	x	x	x	x			
	Octubre	x	x			x	x	
	Noviembre	x	x	x			x	
	Diciembre	x		x	x			
2008	Enero	x						
	Febrero	x			x	x		
	Marzo	x			x	x		
	Abril	x			x	x		
	Mayo	x			x	x		
	Junio	x						x
	Julio							x
	Agosto			x				
	Septiembre	x		x				
	Octubre	x		x				

Tabla 15
Desagregación por sector hidráulico de las estrategias de reducción de pérdidas técnicas aplicadas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.
(Subgerencia de distribución de AA.PP., Interagua, 2008)

Sector hidráulico	Control activo de fugas		Gestión de la infraestructura			Gestión de la presión	
	Detección de fugas	Localización de fugas	Mantenimiento de red	Deshabilitación de red antigua	Renovación de red	Disminución de presión	Regulación de presión
CTP-001	x	x	x			x	x
CTP-004	x	x		x		x	
CTP-005	x	x	x	x		x	
CTP-007	x	x		x		x	
CTP-008	x	x	x		x	x	
CTP-009	x	x	x		x		
CTP-054	x	x	x	x			
CTP-055	x	x	x				
CTP-056	x	x	x				
CTP-057	x	x	x				
CTP-058	x						
CTP-059	x	x	x				
CTP-060	x	x	x				
CTP-061	x						
CTP-062	x	x	x				
CTP-063	x	x	x				
CTP-064	x	x				x	
CTP-065	x	x	x			x	
CTP-066	x	x	x			x	
CTP-067	x	x		x		x	
CTP-068	x	x		x		x	
CTP-069	x	x	x	x		x	
CTP-070	x	x		x			
CTP-071	x	x		x			
CTP-072	x	x	x	x		x	
CTP-073	x	x	x	x		x	
CTP-074	x	x	x	x		x	
CTP-075	x	x	x	x		x	
CTP-076	x	x	x			x	
CTP-077	x	x	x				
CTP-078	x						
CTP-079	x						
CTP-080	x						
CTP-081	x		x	x	x		

La tabla 22 muestra la aplicación de las estrategias de reducción de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil; y la tabla 23, la desagregación de estas. Aplicadas durante el período de tiempo que es analizado en esta tesis, esto es, desde septiembre del 2006 a octubre del 2008.

En la detección de pérdidas técnicas se realizaron pruebas de "Step Test" en las que se determinó el consumo nocturno asociado a fugas, utilizando la sectorización hidráulica de manera conjunta con la medición de la presión de servicio y del caudal suministrado a la red de distribución. Esta actividad proporcionó un conocimiento más detallado de la ubicación y el nivel de las pérdidas en la red de distribución; y adicionalmente permitió obtener un indicador de desempeño para cada uno de los sectores evaluados.

El indicador de pérdidas técnicas definido para la red de distribución de la zona de estudio es determinado en función del caudal nocturno medido en pruebas de "Step Test", la longitud de la red de distribución y la presión de servicio. Este indicador permitió realizar comparaciones del nivel de pérdidas técnicas entre sectores hidráulicos con infraestructuras que trabajan en distintas condiciones de operación, y compuestas por tuberías de diversos materiales y estados. Posibilitando la toma de decisiones con respecto a la

priorización de sectores en los cuales realizar búsqueda de fugas, gestión de la infraestructura y gestión de la presión.

La localización de fugas consistió en la utilización de equipos de detección directa (geófonos y correladores electroacústicos) para la localización de fugas visibles y no visibles en los sectores hidráulicos considerados prioritarios.

La gestión de la infraestructura comprendió el mantenimiento preventivo y correctivo de las fugas localizadas por el personal de búsqueda de fugas, la renovación de la red de distribución, y la deshabilitación de redes antiguas que aún se mantenían en servicio.

La renovación de redes consistió en la ejecución de proyectos en los sectores hidráulicos CTP-008, CTP-009 y CTP-081. Estos proyectos comprendieron la instalación de redes de PEAD (Polietileno de Alta Densidad) para termofusión, y la utilización de tubería de 20mm PEAD junto con silletas (collarines) para las acometidas domiciliarias.

Tabla 16
Proyectos de renovación de redes en el Suburbio Oeste de la ciudad de
Guayaquil.
(Subgerencia de distribución de AA.PP., Interagua, 2008)

RUBRO	CTP-008	CTP-009	CTP-081
Suministro e instalación de tuberías de PEAD en diámetros entre $\Phi 90\text{mm}$ y $\Phi 200\text{mm}$	15.300 m	20.100 m	13.070 m
Suministro e instalación de 1.344 acometidas en tubería de $\Phi 20\text{mm}$ PEAD	1.433	1.773	1.202

En la gestión de la presión de servicio se realizó la disminución y regulación de la presión de servicio en los sectores hidráulicos con presiones mayores a 10 m.c.a.

La disminución de la presión de servicio consistió en la regulación manual de válvulas de mariposa y el cierre de válvulas en aquellos sectores con más de una válvula de abastecimiento. Y para la regulación de la presión de servicio diseñó e instaló una estación reguladora de presión.

La tabla 18 muestra las operaciones efectuadas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil para obtener la disminución de la presión de servicio en varios sectores hidráulicos definidos en la zona de estudio.

Tabla 17
Disminución de presión de servicio en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de Guayaquil - Mayo del 2007

CTP-001	Regulación de válvula de 600mm
	Cambio de punto de abastecimiento
CTP-004	Cierre de 1 válvula de abastecimiento
CTP-005	Regulación de 3 válvulas de abastecimiento
CTP-007	Cierre de 1 válvula de abastecimiento
CTP-008	Cierre de 2 válvulas de abastecimiento
CTP-064	Cierre de 3 válvulas de abastecimiento
CTP-065	Cierre de 2 válvulas de abastecimiento
CTP-066	Cierre de 4 válvulas de abastecimiento
CTP-067	Cierre de 2 válvulas de abastecimiento
CTP-068	Cierre de 1 válvula de abastecimiento
CTP-069	Cierre de 3 válvulas de abastecimiento
CTP-073	Cierre de 2 válvulas de abastecimiento
CTP-074	Cierre de 11 válvulas de abastecimiento
CTP-075	Cierre de 7 válvulas de abastecimiento

La regulación de la presión de servicio realizada consistió en la puesta en marcha de la estación de regulación ERP-CTP-001 para el sector hidráulico CTP-001³⁷. La figura 43 muestra la estación de doble by-pass instalada en calle 38 y Portete³⁸, con dos válvulas reguladores de presión de 150mm modelo 106 PG (de globo) PN10, un estabilizador de flujo modelo 26, y un piloto de calibración modelo 160 del fabricante Singer Valve Inc.

³⁷ La memoria de cálculo para el dimensionamiento de las válvulas reguladoras de presión de la estación ERP-CTP-001 está detallada en la sección de anexos (Anexo 30)

³⁸ En la sección de anexos se muestra una impresión completa de la vista superior de la estación reguladora de presión ERP-CTP-001 (Anexo 31)

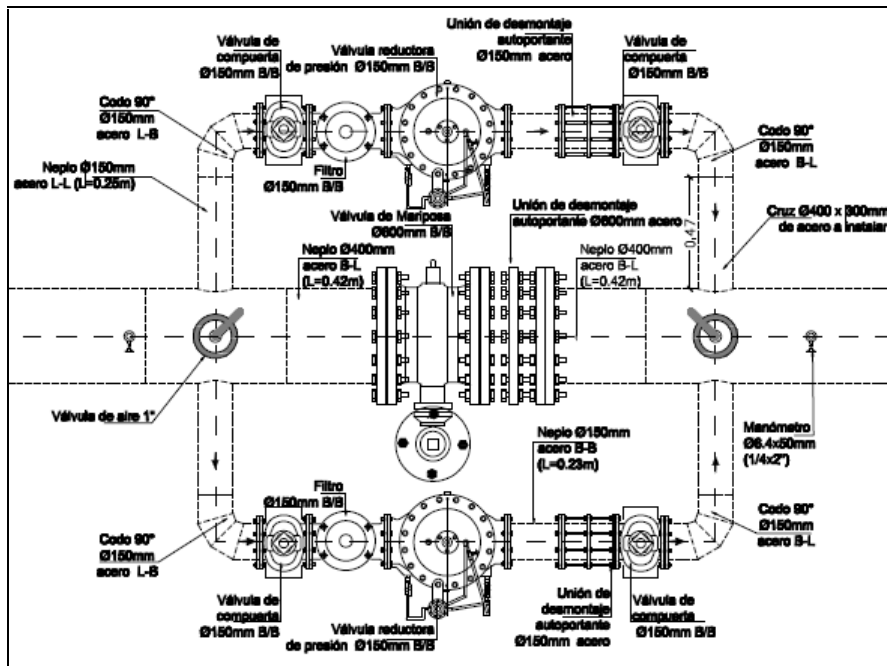


Figura 27. Accesorios proyectados para la estación reguladora de presión ERP-CTP-001 (Fuente: Subgerencia de Distribución de agua potable, Interagua)

CAPITULO 4

4. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE REDUCCION DE PÉRDIDAS TECNICAS.

Los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología de reducción de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil son analizados a través de la evolución en el tiempo de los indicadores relacionados con las pérdidas técnicas y de las mejoras en la gestión del sistema de distribución. En este capítulo se analiza la evolución en el tiempo de estos a lo largo del período comprendido entre los meses de septiembre del 2006 y octubre del 2008.

4.2. Evolución de las pérdidas técnicas.

Los principales resultados de la aplicación de la metodología de reducción de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil son aquellos relacionados con la evolución de los siguientes parámetros:

- Reducción del caudal mínimo nocturno en 659 l/s; entre septiembre del 2006, cuando este indicador registró 1953 l/s, a octubre del 2008. Esto significa una reducción de aproximadamente 34% en el valor del caudal mínimo nocturno.
- Reducción del índice lineal de fugas calculado para la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.
- Reducción de los indicadores de pérdidas técnicas (expresados en l/s/km/bar) calculados para los sectores hidráulicos definidos en la red de distribución de la zona de estudio.
- Reducción del volumen de agua potable suministrado a la red de distribución en un 33.7% con respecto al valor suministrado en agosto del 2006; mes en el que alcanzó la continuidad de servicio en las zonas centro y sur de la ciudad.
- Evolución de los índices de consumo que relacionan el consumo máximo horario y el consumo mínimo nocturno con el consumo promedio horario.

A continuación se presenta la evolución de los indicadores citados.

Reducción del caudal mínimo nocturno suministrado a la red de distribución.

El caudal mínimo nocturno suministrado a la red de distribución es el mejor indicador del nivel de pérdidas técnicas debido a que las pérdidas por fugas alcanzan su máximo valor durante la noche. Cuando la presión es alta, los consumos intencionados domésticos e industriales son esporádicos, y la curva de modulación horaria es casi constante.

Esto determina que el análisis de los resultados obtenidos de la aplicación de estrategias de reducción de pérdidas técnicas en una unidad de sectorización hidráulica sea realizado a través del monitoreo de los caudales nocturnos de a lo largo de períodos sucesivos.

Se debe tener en cuenta que los caudales nocturnos brutos no pueden ser correlacionados estrictamente con caudales de fugas; pues incluyen los consumos intencionados y no medidos, sean estos domésticos o industriales. Sin embargo el monitoreo y análisis directo del caudal mínimo nocturno proporciona información adecuada para conocer la evolución del nivel de pérdidas en la red de distribución.

La evolución del caudal mínimo nocturno suministrado a la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil se muestra en la

figura 37; donde se presentan los caudales mínimos nocturnos obtenidos para los meses de octubre del 2006 a junio del 2008.

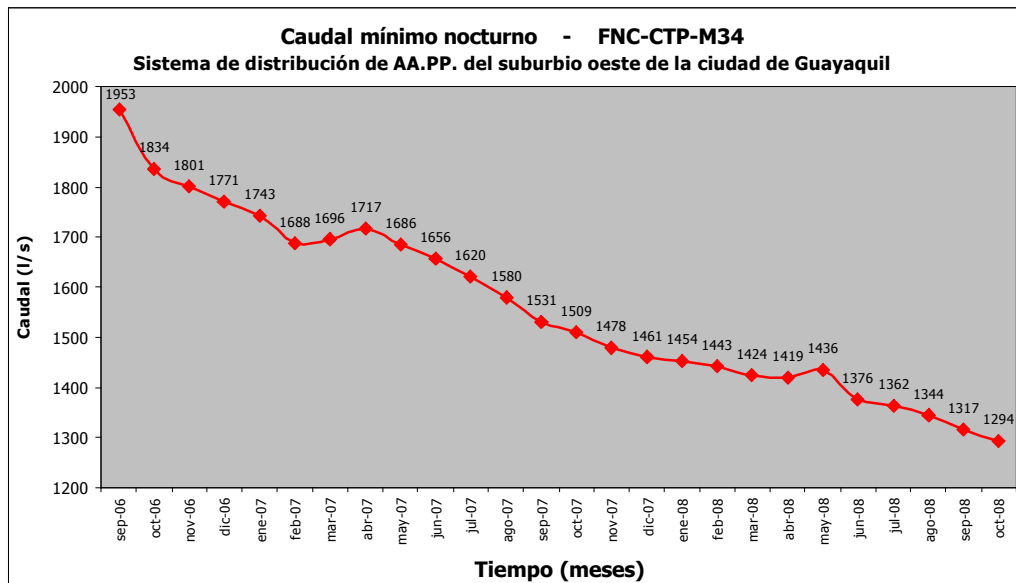


Figura 28. Evolución del caudal mínimo nocturno suministrado a la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil para el período comprendido entre enero del 2006 y octubre del 2008. (Fuente: Subgerencia de Distribución de agua potable, Interagua, 2008)

Como se observa en el gráfico anterior, a partir de septiembre del 2006 cuando el caudal mínimo nocturno fue igual a 1953 l/s, se inició una reducción progresiva del caudal mínimo nocturno que continuó hasta octubre del 2008, cuando alcanzó 1294 l/s. Con dos incrementos debido a cambios en el control operacional del sistema de acueductos de la ciudad.

Estos valores se estimaron como el caudal promedio mínimo registrado en el punto de macromedición FNC-CTP-M34 (ubicado en la Av. Barcelona) entre la 01h00 y 05h00, cuando los consumos horarios son casi constantes.

De los datos obtenidos para cada mes se excluyeron aquellos períodos de tiempo en los que se realizaron afectaciones de servicio en la red de distribución de la zona de estudio, que generaron condiciones que alteraron el patrón normal de consumo. Afectaciones ocasionadas debido al cierre de válvulas para la reparación de fugas en la red de distribución o pruebas programadas de step test.

Reducción del indicador de pérdidas técnicas (l/s/km) definido para la red de distribución.

El indicador de pérdidas técnicas (denominado índice lineal de fugas) definido para la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil permite comparar el nivel de pérdidas técnicas de agua potable a lo largo del tiempo.

Este indicador de pérdidas técnicas (expresado en unidades de l/s/km) es calculado a partir de los datos obtenidos en la medición del caudal nocturno suministrado a la red de distribución, relacionando el volumen perdido a

través de fugas con la longitud de la red de distribución. Es necesario mencionar que valores de indicadores de pérdidas técnicas menores a 1.00 l/s/km³⁹ corresponden a redes de distribución en buenas condiciones.

La evolución del indicador de pérdidas técnicas calculado para la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil, ha sido la siguiente:

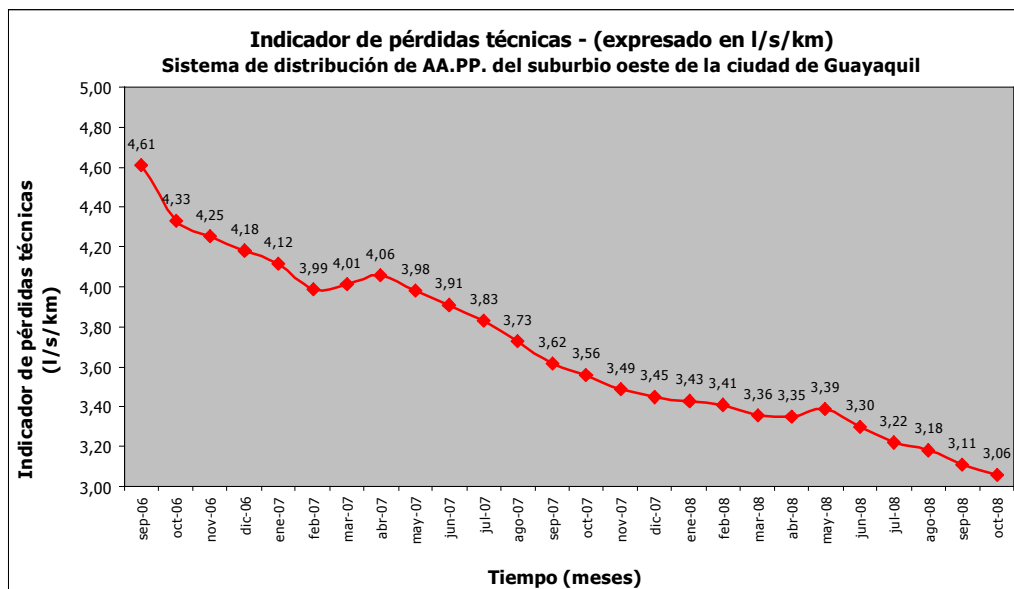


Figura 29. Evolución del caudal mínimo nocturno suministrado a la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil para el período comprendido entre enero del 2006 y octubre del 2008. (Fuente: Subgerencia de Distribución de agua potable, Interagua, 2008)

³⁹ Valor de referencia definido en función de la información obtenida de sistemas de distribución de excelente gestión en países como Francia, Alemania, USA, Gran Bretaña y Japón; donde los indicadores de pérdidas tienen un valor entre 0.023 l/s/Km y 0.116 l/s/Km.

Como se observa en el gráfico anterior, a partir de octubre del 2006 cuando el indicador de pérdidas técnicas fue igual a 4.61 l/s/km, se inició una reducción progresiva del nivel de fugas hasta octubre del 2008; cuando el indicador de pérdidas disminuyó hasta el valor de 3.06 l/s/km.

Reducción de los indicadores de pérdidas técnicas (l/s/km/bar) correspondientes a los sectores hidráulicos.

Los indicadores de pérdidas técnicas calculados para los sectores hidráulicos en los que se dividió la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil, permiten cuantificar el nivel de fugas en cada sector hidráulico; así como realizar comparaciones entre sectores hidráulicos con diferentes condiciones de servicio, y monitorear su evolución en el tiempo.

Este indicador de pérdidas técnicas (expresado en unidades de l/s/km/bar) es calculado a partir de los datos de caudal obtenidos en las pruebas de "Step Test"; relacionando el volumen perdido a través de fugas con la longitud de la red de distribución y la presión de servicio.

Los gráficos a continuación, presentan los valores de los indicadores de pérdidas técnicas correspondientes a los sectores hidráulicos de la red de

distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil obtenidos para los meses de octubre del 2006 y octubre del 2008.

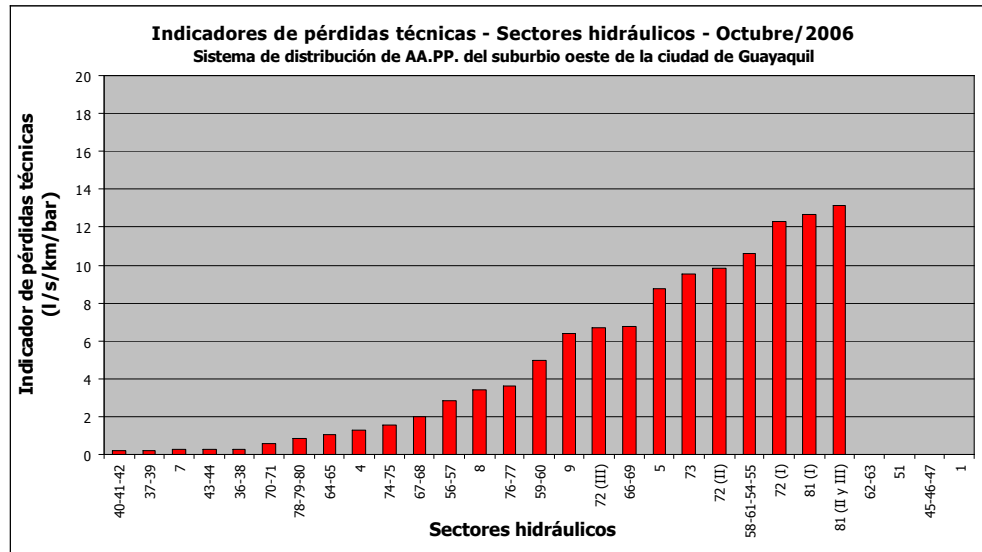


Figura 30. Indicadores de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil calculados para octubre del 2006.
(Fuente: Departamento de sectorización, Subgerencia de Agua No Contabilizada, Interagua C. Ltda.)

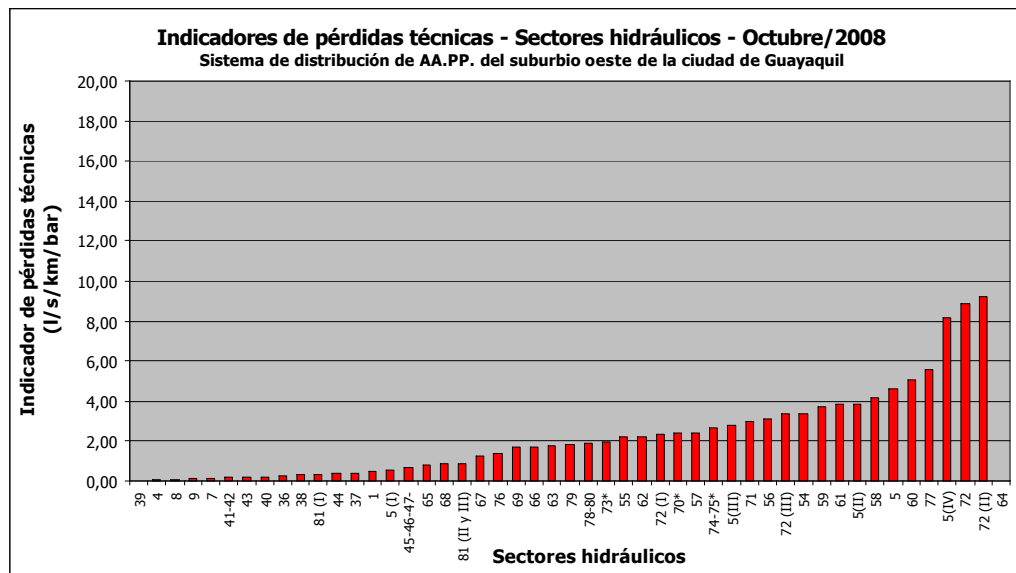


Figura 31. Indicadores de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil calculados para octubre del 2008.
(Fuente: Departamento de sectorización, Subgerencia de Agua No Contabilizada, Interagua C. Ltda.)

La comparación de estos gráficos, junto con la información presentada en la tabla 23 (mostrada en el apartado 3.6), permite comprobar la efectividad de la metodología de reducción de pérdidas técnicas implementada en aquellos sectores considerados como prioritarios⁴⁰.

Es así que tenemos que en los sectores hidráulicos en los que se realizó una gestión de la infraestructura basada en la renovación de redes (sectores CTP-008, CTP-009 y CTP-081), el indicador de pérdidas técnicas disminuyó hasta en un 98%. En los sectores hidráulicos en los que se deshabilitó red antigua (sectores CTP-073 y CTP-072-I), la disminución del indicador de pérdidas fue de aproximadamente 80%; y en aquellos en los que se realizaron mantenimientos correctivos (como en el sector CTP-005) el beneficio fue de aproximadamente 50% en la disminución del indicador de pérdidas técnicas.

Reducción del volumen suministrado a la red de distribución.

El resultado más importante de la aplicación de la metodología de reducción de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil es la disminución del volumen suministrado a la red de distribución.

⁴⁰ En la sección de anexos pueden ser revisados los gráficos de los indicadores de pérdidas técnicas calculados para los sectores hidráulicos de la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil entre los meses de octubre del 2006 y octubre del 2008 (Anexo 32).

La figura 41 registra como el volumen suministrado a la red de distribución de la zona de estudio disminuyó progresivamente desde los 5'195.000 m³ suministrados en agosto del 2006 (mes en que se alcanzó la continuidad de servicio para las zonas centro y sur de la ciudad), hasta alcanzar 3'858.000m³ en octubre del 2008. Es decir, una reducción de 1'337.000 m³, equivalente a 25.7 puntos porcentuales.

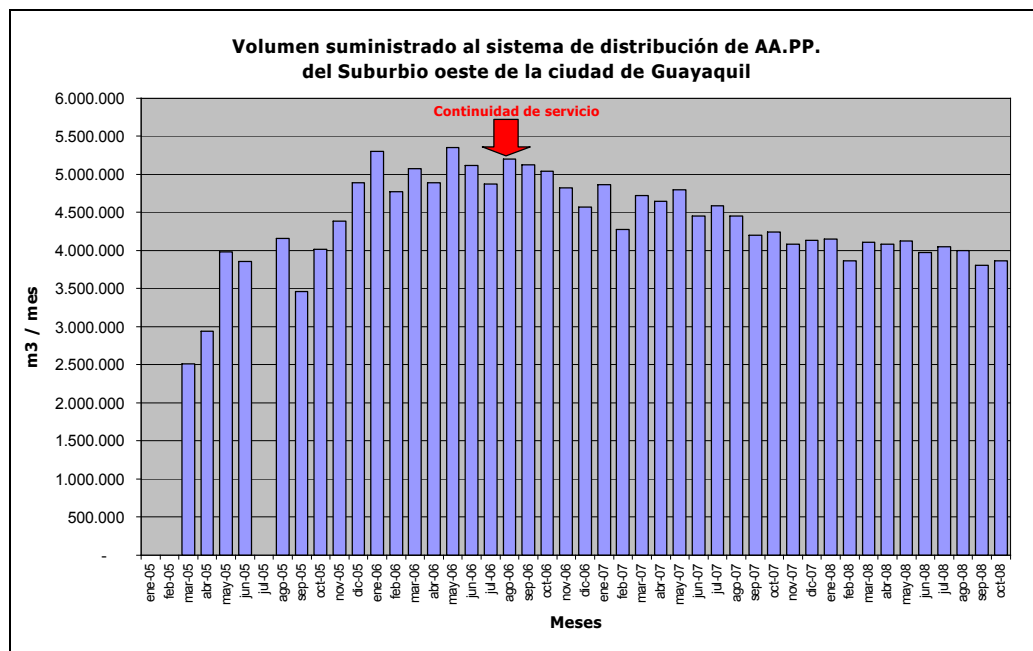


Figura 32. Evolución del caudal mínimo nocturno suministrado a la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil para el período comprendido entre enero del 2005 y octubre del 2008. (Fuente: Subgerencia de Distribución de agua potable, Interagua, 2008)

EL valor del caudal suministrado a la red de distribución en octubre del 2008, luego de la implementación de las diferentes estrategias incluidas en la metodología de reducción de pérdidas técnicas; es igual al valor registrado

para junio del 2005. Mes en el cual tan solo 19 sectores hidráulicos de un total de 46, contaban con continuidad de servicio las 24 horas del día; equivalente al 35% de la red de distribución.

Evolución de los índices de consumo.

Los índices de consumo permiten un conocimiento "a priori" del estado de la red de distribución mediante valores orientadores de la existencia de fugas. Los índices de consumo más utilizados son el Índice de Consumo Máximo Horario (ICMH) y del Índice de Consumo Mínimo Nocturno (ICMN).⁴¹

Su cálculo se hace a partir de los consumos horarios obtenidos a través del análisis gráfico y estadístico de los datos registrados durante la medición del caudal suministrado a la red de distribución, realizada de manera continua durante un tiempo mínimo de 24 horas.

Los valores correspondientes a los consumos horarios e índices de consumo horarios correspondientes a la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil son presentados en la tabla 24, mostrada a continuación.

⁴¹ Los valores referenciales a utilizarse en los coeficientes de consumo fueron mostrados en la tabla, ubicada en el apartado 2.4.

Tabla 18
Indices de consumo horarios
Sistema de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil

Indicador	Octubre 2006	Octubre 2007	Octubre 2008
Consumo Máximo Horario (CMH)	1990 l/s	1712 l/s	1562 l/s
Consumo Promedio Horario (ICMN)	1924 l/s	1625 l/s	1456 l/s
Consumo Mínimo Nocturno (CMN)	1834 l/s	1512 l/s	1299 l/s
Indice de Consumo Máximo Horario (ICMH)	1,03	1,05	1,07
Indice de Consumo Mínimo Nocturno (ICMN)	0,95	0,93	0,89

La evolución de los índices de consumo horarios permitió obtener una mayor modulación de la curva de consumo obtenida para el caudal suministrado a la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil. Evidenciado en el aumento de la diferencia existente entre los consumos máximos y mínimos horarios respecto al consumo promedio horario.

A continuación se muestran las curvas de modulación horaria obtenidas para los meses de octubre del 2006, 2007 y 2008; gráficos que permiten observar lo manifestado en el párrafo anterior⁴².

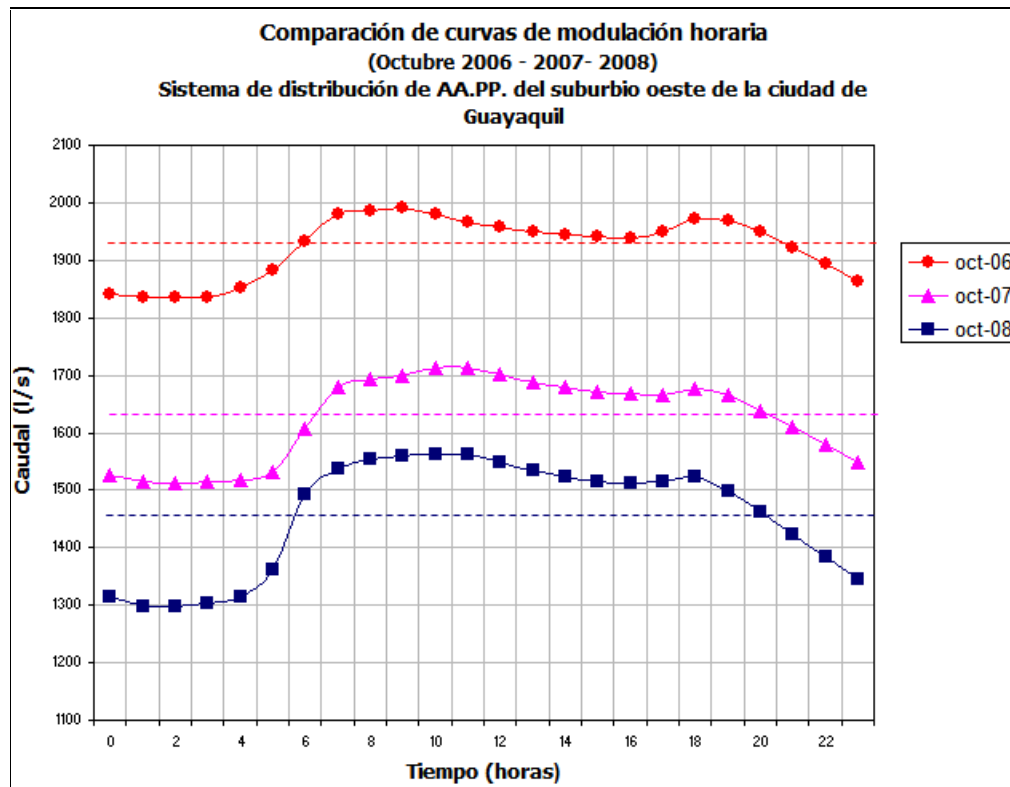


Figura 33. Evolución de las curvas de modulación horaria registradas para el mes de octubre del los años 2006, 2007 y 2008.

(Fuente: Subgerencia de Distribución de agua potable, Interagua, 2008)

⁴² En la sección de anexos se puede revisar las curvas de modulación horaria obtenidas a partir de los datos registrados en el punto de macromedición FNC-CTP-M34 entre octubre 2006 y octubre del 2008 (Anexo 33).

4.3. Gestión del sistema de distribución de AA.PP.

Además de la evolución positiva de los indicadores de pérdidas técnicas, la aplicación de la metodología aplicada permitió maximizar el aprovechamiento de la infraestructura disponible, racionalizar el gasto. Obteniéndose una serie de mejoras en la gestión del sistema de distribución de AA.PP.; entre las que se pueden mencionar:

Reducción del Índice de Agua No Contabilizada en el sistema de distribución de AA.PP. de la ciudad de Guayaquil.

En las décadas anteriores a la concesión del servicio de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Guayaquil, la falta de una adecuada operación y mantenimiento del sistema de distribución de agua potable provocó un elevado Índice de Agua No Contabilizada, el cual en agosto del 2001 oscilaba alrededor del 80%.

El IANC es calculado a partir de la relación entre el volumen facturado y el volumen suministrado al sistema de distribución de AA.PP. de la ciudad, promediado para un período de 12 meses. El volumen suministrado corresponde al volumen medido a la salida de la planta de tratamiento La

Toma, menos los desperdicios técnicos por mantenimientos y lavado de tanques.



Figura 34. Evolución del volumen suministrado al sistema de distribución de AA.PP. de la ciudad de Guayaquil, para el periodo comprendido entre enero del 2001 y octubre del 2008
Fuente: Gerencia de Distribución de agua potable y alcantarillado, Interagua C. Ltda.)

La aplicación de la metodología de reducción de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. tanto en la zona de estudio (suburbio oeste) como en el resto de zonas de la ciudad de Guayaquil, permitió la reducción progresiva del Índice de Agua No Contabilizada (IANC) hasta alcanzar el 65% en el mes de octubre del 2008. Reducción verificable en la figura 44, que muestra la evolución del IANC entre agosto del 2001 y octubre del 2008.

Gráfico que señala el cumplimiento de un determinado valor de IANC como meta en el tiempo, confirmando la disminución de la relación entre los términos volumen de pérdidas y volumen suministrado al sistema de distribución al finalizar el año 2008.



Figura 35. Evolución del Índice de Agua No Contabilizada en el sistema de distribución de AA.PP. de la ciudad de Guayaquil para el período comprendido entre enero del 2001 y octubre del 2008. (Fuente: Gerencia de Distribución de agua potable y alcantarillado, Interagua C. Ltda.)

Esto ha permitido alcanzar el objetivo principal de la concesión: operar, mantener y administrar eficientemente el servicio de distribución de agua potable de la ciudad de Guayaquil. Reduciendo los costos globales de producción y distribución de agua, mejorando los niveles de mantenimiento del sistema, garantizando un adecuado abastecimiento de agua potable, y aumentando el periodo de servicio de las redes del sistema de AA.PP. existentes. Cumpliendo los cinco principios básicos de racionalidad gerencial (cantidad, calidad, continuidad, confiabilidad y menor costo posible).

Optimización operacional del sistema de distribución.

La aplicación de la metodología de reducción de pérdidas técnicas resultó en la optimización operacional del sistema de distribución, mejorando el control

operacional de la red de distribución, la calidad y la continuidad del suministro.

La continuidad del suministro garantizó a los usuarios un abastecimiento continuo durante las 24 horas del día, con presiones dentro del rango establecido. Es decir, por encima del valor mínimo (5 m.c.a.) en condiciones de máxima demanda en las zonas extremas de la red de distribución.

El control operacional de la red de distribución proporcionó mayor flexibilidad en la operación de la red de distribución, permitiendo realizar mantenimientos e intervenciones en la red de distribución sin afectar un porcentaje importante del total de usuarios del sistema.

Mediante la disponibilidad de válvulas (en buenas condiciones de operación) instaladas en la red de distribución, se logra colocar fuera de servicio solo aquella parte de la red que se desea aislar. Reduciendo el número de usuarios en el área de influencia que corresponde al punto de red intervenido y minimizando el tiempo requerido para el drenaje de las tuberías, de manera que se puedan iniciar los trabajos de mantenimiento lo más rápido posible.

Mejorar la calidad del suministro a los usuarios implicó garantizar una adecuada circulación de agua, menor pérdida de carga, mejor distribución de presiones, desaparición del agua sucia en los grifos de los usuarios, y regularizar las presiones de servicio en todo el sistema de distribución; posibilitando mejorar la calidad del servicio para ampliar la cobertura y satisfacer la demanda de agua de la población.

Análisis de daños localizados y reparados en la red de distribución.

Con base en las campañas de localización y reparación sistemática de fugas realizadas entre el 2006 y 2008, fue posible realizar la desagregación de los daños y el análisis estadístico de las fugas localizadas y reparadas.

La tabla 15 presenta los resultados de la búsqueda de fugas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste durante los años 2006, 2007 y los seis primeros meses del año 2008⁴³. Esta muestra el total de fugas reportadas, la longitud de la red de distribución investigada, y la relación entre estas. Y las clasifica según su origen en fugas en: medidor, acometida, collarín, y tubería.

⁴³ La información referente a las fugas localizadas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil, durante los años 2006, 2007 y 2008 es mostrada en el anexo 33.

Tabla 19
Fugas localizadas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de Guayaquil

Parámetros	2006	2007	2008
Total de fugas	1137	1454	419
Km investigados	311	316	100
Fugas/Km	3,7	4,6	4,2

La desagregación de los daños reparados en reparadas en los mantenimientos preventivos y correctivos se realizó según el tipo de fuga en: fugas visibles y no visibles. Y adicionalmente agrupó a estas en: fugas en medidor, guía domiciliaria y fuga en la red de distribución⁴⁴.

Conformación del Sistema de Información Geográfica.

La aplicación de las estrategias de sectorización hidráulica de la red de distribución y de gestión de la infraestructura, incluidas en la metodología de reducción de pérdidas técnicas, suministró información de la topología de la red de distribución utilizada para la conformación y actualización de la información de redes del Sistema de Información Geográfico correspondiente a la zona de estudio.

⁴⁴ Las cifras de las fugas reparadas en mantenimientos correctivos y preventivos en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste durante los años 2006 y 2007 son mostrados en la sección de anexos (Anexo 34).

El Sistema de Información Geográfico (SIG) se planteó como una solución tecnológica conformada por un sistema de hardware y software con las aplicaciones necesarias para soportar la recopilación, administración, manipulación y graficación de información técnica estandarizada de la red de distribución; tal como: interconexiones, válvulas de aislamiento, válvulas de aire, hidrantes, características de las tuberías (diámetros, materiales, profundidad, ubicación), y accesorios de unión.

A su vez el SIG permitió obtener información correspondiente a:

- a. La configuración de la red de distribución.
- b. La longitud de la red de distribución para cada sector hidráulico, y su desagregación por diámetros y materiales.
- c. Las áreas correspondientes a cada sector hidráulico formadas por las poligonales divisorias de los límites de la sectorización.
- d. El número de conexiones registradas en el catastro comercial correspondientes a cada sector hidráulico⁴⁵.
- e. La longitud de las redes de conducción principal que conforman el sistema de acueductos de la red de distribución de la zona de estudio⁴⁶.

⁴⁵ Las características físicas de los sectores hidráulicos definidos en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil puede ser revisada en el anexo 35.

⁴⁶ En el anexo 36 es posible revisar la desagregación por material y diámetro de las redes de conducción y distribución del sistema de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.

Modelación matemática de la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.

La modelación matemática de la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil permitió simular, con la mayor exactitud posible, el comportamiento real de la red de distribución. Reproduciendo en el software WaterGems las condiciones de caudal y presiones en toda la red de distribución; a partir de las características de la red de distribución, patrones de demanda e información operacional de la red de distribución.

La construcción del modelo matemático necesitó información recopilada en el Sistema de Información Geográfica (topología, diámetros y materiales de tuberías), curvas de patrones de demanda, e información operacional de la red de distribución: estado de las válvulas de seccionamiento, abastecimiento y frontera entre sectores hidráulicos.

La calibración del modelo matemático obtenido implicó el ajuste de los parámetros que introducen mayor incertidumbre al modelo: rugosidad de las tuberías, pérdidas menores debidas a depósitos en las paredes de las tuberías, demanda en los nudos y nivel de fugas. Para lo cual se utilizaron los resultados suministrados por la macromedición (mediciones continuas de caudal y presión) y detección de fugas en la red de distribución.

Las simulaciones realizadas en el modelo matemático de la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil permitieron la obtención de los Índices de Agua No Contabilizada correspondientes a cada uno de los tres distritos de medición definidos en la red de distribución de la zona de estudio, e identificar los tramos de la red de distribución donde existen deficiencias en el servicio ocasionadas por bajas presiones en la red, y donde las presiones elevadas pueden producir roturas en las tuberías.

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones Generales.

La metodología aplicada para la reducción de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. del Suburbio Oeste de la ciudad de Guayaquil fue constituida por un conjunto de estrategias que influyeron en las causas y efectos de los componentes de las pérdidas técnicas.

Estas estrategias involucraron actividades para el diagnóstico y análisis de las pérdidas, y la implementación de soluciones a través de la detección, localización y reparación de fugas, y control de la presión.

Dedicando los mayores esfuerzos hacia los sectores donde la incidencia de las pérdidas técnicas era más alta. Lográndose por lo tanto resultados importantes a corto plazo; reduciendo el nivel de pérdidas técnicas al menor costo posible, y el tiempo de existencia de fugas a un mínimo viable desde criterios técnicos y económicos.

Conclusiones Específicas.

Teniendo en cuenta las diferentes estrategias que componen la metodología de reducción de pérdidas técnicas aplicada en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil se mencionan a continuación conclusiones específicas correspondientes a cada una de estas.

Sectorización hidráulica.

1. La implementación y mantenimiento de la sectorización hidráulica de la red de distribución exigió coordinación e integración de las áreas de operación, mantenimiento, obras y catastro).
2. El diseño de los límites de la sectorización hidráulica hizo evidente la falta de información catastral de la red de distribución, y la inexistencia de la cantidad y ubicación adecuada de válvulas para obtener sectores hidráulicos de corta longitud de red.
3. La materialización de la sectorización hidráulica fue una actividad progresiva y permanente en el tiempo. Inicialmente se trabajó con sectores de mayor área, cuya configuración requirió pocas obras puntuales para lograr el aislamiento. Pero con el tiempo fue necesario

tener que afinar la sectorización, hasta obtener la conformación de sectores de menores dimensiones.

4. Los principales problemas constatables durante la localización de válvulas, en la etapa de materialización de la sectorización hidráulica, fueron:
 - a. Las cámaras de válvulas estaban cubiertas de pavimento. En ese caso, para su localización debió utilizarse el catastro de la válvula junto con un detector electrónico de cuerpos metálicos.
 - b. Las cámaras de válvulas estaban obstruidas con escombros o basura, materiales que debieron ser retirados.
 - c. Existían válvulas cuyos extremos del vástago estaban desplazados o sin cabezal y, además de eso desgastados.
 - d. Se detectó válvulas con fugas a través de la empaquetadura, las que fueron ajustadas o cambiadas.

5. En la actividad de verificación de las condiciones de servicio en los sectores hidráulicos se determinó que los problemas más frecuentes que provocaban bajas presiones en la red de distribución de la zona de estudio eran las fugas no visibles y problemas de capacidad hidráulica de la red.

6. Los problemas de capacidad hidráulica, que provocaban pérdidas de carga, eran originados principalmente por: válvulas cerradas, tramos de red interrumpidos, accesorios con corrosión interna o escoriaciones, redes de diámetros insuficientes o un número insuficiente de entradas de abastecimientos para satisfacer las demandas de consumo.

7. Para solucionar los problemas de capacidad hidráulica de la red de distribución se propuso la ejecución de las obras mencionadas a continuación:
 - Empates sobre tuberías para mejorar las condiciones hidráulicas de los sectores hidráulicos.
 - Eliminación de los "puntos muertos" en la red de distribución.
 - Obras de refuerzo al abastecimiento en los sectores hidráulicos que necesitaban mejorar las presiones de servicio.
 - Instalación de nuevos tramos de tuberías para complementar y reforzar de la red de distribución u obtener el cierre de mallas.
 - Reemplazo de accesorios metálicos y retiro de válvulas antiguas "perdidas" que presentaban excesiva corrosión interna o escoriaciones.

8. El producto final de la actividad de sectorización hidráulica fue la obtención de la división de la red de distribución de agua potable en pequeñas zonas de distribución que permitan ubicar las áreas de red con mayores problemas, posibilitando que estas sean investigadas con la finalidad de obtener la información necesaria para el análisis y reducción de las pérdidas existentes.

9. Como beneficio adicional de la implementación de la sectorización hidráulica de la red de distribución se obtuvo la mejora del control operacional; beneficiando las actividades de mantenimiento de redes.

Detección de pérdidas técnicas.

1. De manera general, la detección de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. de la zona de estudio consistió en el monitoreo del caudal nocturno suministrado a la red de distribución y determinación de caudales de fuga medidos en pruebas de "Step Test". Identificando de esta manera aquellos sectores con consumos no normales, como los producidos por las fugas.

2. Las pruebas de "Step Test" permitieron identificar aquellos sectores con consumos no normales, como los producidos por las fugas. De esta

manera se pudo lograr una localización de fugas efectiva, rápida y económica; concentrando los esfuerzos solamente en aquellas áreas donde estas predominan. Además, monitoreos regulares del caudal obtenido en las pruebas de Step Test mostraron cambios en la red de distribución debido a un incremento de las fugas.

3. La medición de los caudales de fugas, mediante las pruebas de Step Test, fue influenciada por: los cambios en la presión que se originaron del aislamiento temporal del sector o sectores sujetos a prueba, y por las fugas existentes en las instalaciones internas de los predios. Pues durante el desarrollo de estas pruebas las acometidas de los usuarios no fueron interrumpidas.
4. Los caudales obtenidos a través del análisis de los datos registrados en las pruebas de step test no son rigurosamente exactos ni representan con mucha precisión la cantidad de agua perdida en un segmento de la red de distribución, pues:
 - a) La magnitud de la pérdida de agua por fugas durante las horas de consumo mínimo nocturno es mayor que la pérdida de agua ocurrida en otras horas debido a la reducción de la presión media por aumento de la demanda durante el día.

b) Puede ser que las presiones externas sufran la influencia de la elevación de la presión en la red de distribución como consecuencia de la reducción de caudal ocasionada por el cierre del abastecimiento de cada sector hidráulico medido. Esta influencia debe tenerse en cuenta al analizar los gráficos de los registradores de presión instalados externamente al sector hidráulico.

Los dos errores son compensatorios, razón por la cual se asume que el proceso de determinación de las pérdidas de agua mediante pruebas de step Test lleva a una precisión razonable.

5. Para el análisis del nivel de pérdidas de los 47 sectores hidráulicos configurados en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste se definió el uso del índice lineal de fugas. Utilizado para comparar el caudal nocturno alcanzado durante las pruebas de "Step Test" con el menor índice de consumo nocturno esperado.

Proporcionando el probable valor de caudal correspondiente a fugas no visibles y tomar decisiones de intervenir en un sector hidráulico.

6. Para comparar el nivel de pérdidas técnicas entre los sectores hidráulicos se definió un indicador de pérdidas técnicas que está en función del volumen de pérdidas ocasionado por las fugas y de los factores de

longitud y presión de la red. Utilizado para identificar los sectores hidráulicos con mayor nivel de pérdidas técnicas.

7. El uso del Índice de Agua No contabilizada (IANC) como indicador de pérdidas fue descartado debido a que incluye las pérdidas aparentes (o comerciales).
8. Durante el proceso de detección de fugas fue imposible la obtención del caudal nocturno para cada sector hidráulico de manera individual. En muchos casos los sectores hidráulicos carecían de fronteras hidráulicas definidas, y fueron agrupados en pares o pequeños grupos.
9. En el caso de aquellos sectores hidráulicos que presentaron valores de indicadores de pérdidas técnicas elevados, obtenidos de manera conjunta con uno o varios sectores adyacentes, no fueron considerados como prioritarios hasta obtener datos individualmente.
10. El uso del caudal mínimo nocturno, expresado en litros/segundo, permitió monitorear el nivel de fugas alcanzado luego de la implementación de las diferentes estrategias de reducción de pérdidas técnicas.

Localización de fugas en la red de distribución.

1. Durante los años 2006 y 2007, la localización sistemática de fugas en la red de distribución constituyó una de las estrategias prioritarias para reducir y mantener en forma eficiente el nivel de pérdidas técnicas de agua potable en la red de distribución del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.
2. Si bien inicialmente se cumplían los objetivos en cuanto a la localización de fugas no visibles existentes en la red de distribución, los resultados respecto a la localización de fugas importantes eran nulos.
3. El análisis de los posibles factores que incidían negativamente en los resultados concluyó que no solo el ruido ambiental era la causa determinante de la pérdida de efectividad en la localización, sino también la baja presión de servicio existente en la red de distribución al momento de la prospección.
4. Para solucionar los inconvenientes relacionados con la presión de servicio se definió una presión mínima de 10 m.c.a. como la adecuada para el trabajo de localización de fugas. Para garantizar esta condición, al iniciar

cada jornada de búsqueda de fugas, se realizaron maniobras de válvulas de la red de distribución; mejorándose notablemente los resultados.

5. El empleo de geófonos se sustentó en la posibilidad de poder emplear numerosos equipos al disponer de bajos costos de mano de obra; haciendo que esta actividad sea efectiva en términos técnicos (capacidad de localización de fugas) y en términos económicos.
6. Las metodologías definidas para la localización de fugas implicaron escuchar con la varilla de exploración del geófono las válvulas, hidrantes, llaves de conexiones domiciliarias y sobre la superficie del suelo sobre el trazado de la tubería.
7. Se establecieron diferencias entre la percepción de los sonidos de fugas escuchados en las partes accesibles de tuberías y la de superficies sobre las tuberías. En las válvulas o en contactos directos con las tuberías se percibió un ruido de timbre claro, mientras en las superficies del suelo el ruido fue más grave o sordo. En superficies de suelo blandas se debió clavar la varilla de exploración del geófono para percibir el ruido de fuga.

8. El uso de geófonos fue más efectivo en redes compuestas por tuberías metálicas que en tuberías no metálicas; pues las tuberías de PVC, PEAD, y asbesto cemento son malos conductores del sonido. Debiendo realizarse las inspecciones directamente sobre el trazado de la tubería utilizando el micrófono de campana, dejando el uso de la varilla de exploración exclusivamente para la revisión de válvulas defectuosas.

9. Fue muy común, generalmente en tuberías metálicas antiguas, escuchar ruidos típicos de fugas, y luego abrir excavaciones y no encontrar fugas. La causa de esto, en muchos casos, estuvo relacionada con obstrucciones parciales en las tuberías, que causaban un ruido semejante al provocado por una fuga.

10. La experiencia del operador influyó en la rapidez de la localización de una fuga, puesto que aun cuando existían afloramientos de agua o manchas de humedad, no significó que la fuga estuviera cerca.

11. La experiencia obtenida en la actividad de búsqueda de fugas demuestra que durante el desarrollo de la actividad de localización de fugas mediante la utilización de geófonos, es extremadamente difícil ubicar una fuga por referencia a la intensidad del sonido en diferentes puntos. Generalmente,

la mejor forma de obtener la ubicación final fue mediante el uso de un equipo de correlación electroacústica.

12. La localización de fugas empleando un equipo de correlación electroacústica pudo realizarse con solo dos hombres y un vehículo equipado con herramientas convencionales de operación de la red de distribución. Obteniendo una alta efectividad de localización, pero con un rendimiento relativamente bajo en comparación a la utilización de geófonos, pues el tiempo empleado para localizar una fuga fue relativamente prolongado.

13. Los inconvenientes hallados al emplear equipos de correlación acústica para la localización de fugas estuvieron relacionados con la presión de servicio en la red de distribución, además de la disminución de la efectividad de localización al aumentar el diámetro de las tuberías o la separación entre sensores.

14. Empíricamente se establecieron valores para cada uno de los factores mencionados en el párrafo anterior: presiones de servicio mínima requerida de 1.5 bares, aplicación del método de localización para tuberías de diámetros menores a 300mm; y distancia de separación entre

sensores no mayor a 100 m para el caso de tuberías metálicas, y menor a 30 m para tuberías no metálicas.

15. Generalmente, los gráficos de resultados obtenidos por los equipos de correlación electroacústica mostraron las fugas de mayor intensidad, las cuales no necesariamente fueron las de mayor volumen de pérdida en el tramo investigado. Pues cada fuga produjo una señal diferente y debieron identificarse en orden de predominio. Cuando existió más de una fuga, la señal predominante se localizó primero y, después de reparar esta, se localizaron las restantes.

16. La revisión estadística de la información obtenida durante la búsqueda de fugas en la red de distribución de AA.PP. de la zona de estudio muestra que el mayor porcentaje de fugas (65%) fueron localizadas en collarines; correspondiendo el porcentaje restante a fugas en acometidas (17%), tuberías y accesorios (10%), y medidores (8%).

Gestión de la infraestructura.

1. A partir de los registros de mantenimientos de la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil, obtenidos durante los años 2006 y 2007, se obtuvo información del número de daños clasificados según el tipo de daño (red de distribución, guía domiciliaria, y medidor).
2. La revisión de la información obtenida muestra que la mayor proporción de las pérdidas técnicas estaban localizadas en los elementos que conforman las conexiones domiciliarias (acometidas y collarines), más que en las tuberías principales; con porcentajes correspondientes de 55% y 35%, respectivamente.
3. El análisis de estos resultados permite afirmar que las fugas en guías domiciliarias, a pesar de presentar pequeños caudales de fuga, constituyen un importante componente de las pérdidas técnicas existentes en la red de distribución de la zona de estudio. Además de demostrar que las pérdidas técnicas están estrechamente relacionados con el número de predios servidos.

4. Las fugas en la red de distribución reparadas en los mantenimientos ejecutados correspondieron a roturas de tuberías, fugas en uniones, empaques de válvulas, perforaciones domiciliarias no clausuradas, y en accesorios de la red de distribución. Defectos provocados generalmente por antigüedad de las tuberías, corrosividad del suelo, materiales de mala calidad, asentamiento imperfecto de las tuberías, altas presiones, golpes de ariete, y condiciones de instalación de las tuberías.

5. La actividad de deshabilitación de redes antiguas, incluida en la estrategia de gestión de la infraestructura, consistió principalmente en el taponamiento de redes informales en los puntos de conexión con la red catastrada. Estas redes antiguas estaban conformadas por tuberías entre $\Phi 50\text{mm}$ y $\Phi 300\text{mm}$ instaladas en proyectos antiguos o instaladas por usuarios, y que nunca fueron retiradas de servicio.

6. Durante la ejecución de los trabajos de taponamientos propuestos para la deshabilitación de redes antiguas, se comprobó que la instalación de estas se realizó sin tener en cuenta el cumplimiento de normas y especificaciones técnicas básicas para la instalación de tuberías, lo cual fue generalmente causante de numerosas fugas.

7. La renovación de la red de distribución de AA.PP. en los sectores hidráulicos CTP-008, CTP-009 y CTP-081 permitió la mejora del rendimiento del sistema de distribución, la obtención de planos piezométricos uniformes con presiones de servicio mayores a 15 m.c.a. y la disminución del nivel de pérdidas técnicas.

8. La incidencia de nuevas fugas en ciertos sectores hidráulicos aumentó con la reducción de la cantidad de fugas existentes, debido al incremento de presiones en la red. Esto implicó que al someter una red de distribución de AA.PP. a una nueva condición de presión existió una tendencia a que se produzcan nuevas fugas en los puntos flojos de la red. Sin embargo, parece que el incremento en la velocidad de surgimiento de nuevas fugas, debido a la propia reducción del volumen de agua perdido por este concepto, no fue verdaderamente significativo.

Gestión de la presión.

1. La gestión de la presión en la red de distribución de la zona de estudio, mediante reducciones continuas y permanentes de las presiones de servicio, permitió la reducción del volumen de agua potable suministrado.

Disminuyendo los volúmenes de las pérdidas técnicas sin comprometer los valores mínimos de servicio.

2. Como beneficio adicional de la gestión de la presión se obtuvo la disminución de la frecuencia de las fugas nuevas; interviniendo no solamente en el efecto de las fugas, sino también en su causa.
3. Desde el punto de vista económico, la disminución del nivel de pérdidas técnicas mediante la gestión de la presión, representó un ahorro en los costos de reparación debido a la reducción de la frecuencia de nuevas fugas y en los costos de producción al disminuir el volumen de agua desperdiciada.

Recomendaciones.

Una vez terminado el programa inicial de la metodología de reducción de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil deberá seguir una etapa de control en la que se continuarán las metas de reducción y se buscará mantener el nivel de pérdidas alcanzado.

Sin embargo, no se debe considerar suficiente realizar grandes esfuerzos en el sentido de detectar, localizar y reparar fugas; haciendo necesaria evaluación de resultados permanentemente.

Para lograr este objetivo se debe iniciar una etapa de afinamiento de la información de las pérdidas técnicas, en la que se debe continuar con la metodología propuesta de prueba, medición, registro y evaluación de los resultados; con el fin de obtener cifras más exactas (y menores) de las pérdidas técnicas.

Recomendaciones para la sectorización hidráulica:

- Las válvulas que definen la sectorización hidráulica deben ser operadas periódicamente. Esta operación además de verificar la hermeticidad de la válvula y garantizar que en una maniobra real la válvula funcionará adecuadamente, ayuda a remover los materiales depositados entre el asiento de la válvula, la guía de la compuerta y la compuerta de la válvula.
- Paralelamente deben de revisarse la condición de apertura o cierre de las válvulas de abastecimiento y frontera. Confirmando que las válvulas de

abastecimiento permanezcan abiertas, y que las válvulas de frontera permanezcan cerradas herméticamente para evitar el paso de agua entre sectores adyacentes.

- Adicionalmente se debe verificar que las válvulas no tengan los extremos del vástago desplazados o sin cabezal. Es necesario recordar que la operación de una válvula en estas condiciones puede producir desgastes del extremo del vástago.

Recomendaciones para la detección de pérdidas técnicas:

- Debido a que los valores de los caudales suministrados a la red de distribución de AA.PP. (máximo horario, promedio y mínimo nocturno) son aún elevados para un área totalmente residencial, se justifica una investigación más profunda de las pérdidas técnicas.
- Para esto, en función de los resultados obtenidos en la macromedición de caudales y detección de fugas en sectores hidráulicos, se deben definir puntos de medición adicionales en tuberías de conducción y en puntos de abastecimiento a sectores hidráulicos, para lecturas de caudalímetros permanentes y no permanentes.

- Se debe tener en cuenta que los caudales nocturnos obtenidos en mediciones distritales y pruebas de "Step Test" son caudales brutos, y no pueden ser correlacionados estrictamente con caudales de las pérdidas. Pues es casi seguro que incluirán las fugas intradomiciliarias y el consumo nocturno no medido, correspondiente este último a pérdidas comerciales.
- Para los sectores hidráulicos pequeños en los que es posible cerrar todas las acometidas se evita la estimación de los consumos domésticos e industriales y de las fugas pertenecientes a las instalaciones internas de los predios, aumentando la fiabilidad de los datos y permitiendo evaluar el caudal instantáneo de todas las fugas existentes en el sector.
- Para las unidades de sectorización hidráulica de mayor extensión los aparatos de medición deben ser instalados de forma permanente, mientras que para las unidades de sectorización hidráulica de menor extensión, la medición será periódica y realizada a través de equipos portátiles.

Recomendaciones para la búsqueda de fugas:

- Debido a la sensibilidad de los geófonos empleados en la localización de fugas, estos captan prácticamente todos los ruidos del medio (pasos de personas que se aproximan, ruidos de vehículos, transformadores eléctricos, cables de alta tensión, bombas de agua). Por lo tanto, deben utilizarse estos equipos en el período nocturno, quedando como tarea del operador el distinguir estos ruidos de aquellos causados por fugas.
- Para el desarrollo de la actividad de localización de fugas es esencial contar con un equipo de inspectores capacitados para enfocar lógicamente los problemas y utilizar equipos modernos para hacer menos difícil las tareas de localización de fugas.
- Es importante mencionar que el técnico-operario solo debe dedicarse a la tarea de búsqueda de fugas, desplazándose en forma permanente sin retirar los auriculares de sus oídos y sin distraerse en operaciones o anotaciones que distraigan sus sentidos. En algunos casos es necesaria la utilización del equipo de correlación electroacústica de fugas para verificar con más exactitud la ubicación de la misma.

- Previo al trabajo de localización de fugas es necesario conocer el alineamiento de la tubería. Para identificar el alineamiento de tuberías no metálicas se sugiere utilizar equipos que emitan vibraciones sonoras a través del agua en la tubería. Para tuberías metálicas puede utilizarse equipos de inducción magnética.
- La selección y espaciamiento de los puntos de contacto físico para los sensores del correlador electroacústico depende de las condiciones locales, debiendo ser definidos en base a la experiencia y juicio de los operadores.
- Esta actividad no debe prolongarse más de una hora, tiempo suficiente para encontrar la anomalía. Sin embargo, en algunas ocasiones es necesario prolongar la búsqueda de ciertas fugas muy difíciles de encontrar; pues una fuga mínima empeora con el tiempo y provoca importantes daños.
- Los planos de localización de las fugas reportadas por el personal de búsqueda de fugas se convierten en herramientas de decisión para determinar sectores críticos que pudieran requerir renovación.

- Para una óptima correlación es necesario que durante el trabajo de prelocalización y localización se cumplan las siguientes condiciones:
 - a) Que ambos micrófonos (sensores) “escuchen” el sonido de la fuga, estos deben acoplarse directamente a la tubería a través de accesorios como válvulas, hidrantes o válvulas de aire.
 - b) Introducir lo más exactamente posible la distancia entre los transmisores. La distancia máxima entre sensores es variable y depende del material y del diámetro de la tubería.
 - c) Introducir los datos de diámetro y material del tramo a analizar (en caso de desconocimiento de los mismos es posible calcular la velocidad del sonido).

- Es recomendable que el mismo personal que trabajó en la localización de una fuga, asista a la excavación y reparación de la misma. La utilidad de este procedimiento se debe a dos hechos:
 - a) El operador que localizó la fuga tiene la oportunidad de observar cuál es la fuente del ruido que produce la señal que su geófono detectó. Esto le permitirá en el futuro tener una idea de la magnitud de las fugas que localice.

b) El operador verifica que las excavaciones se realicen efectivamente en el lugar señalado. En el caso de realizar la excavación y no encontrar nada, el operador será de gran apoyo para orientar nuevas excavaciones.

Recomendaciones para la gestión de la infraestructura:

- Es importante tener presente que es imposible encontrar y reparar todas las fugas localizadas y reportadas, pues puede resultar antieconómico reparar un gran número de fugas pequeñas.
- Durante las obras de reparación de fugas debe tenerse gran cuidado para evitar el ingreso de material a las tuberías. Debiendo protegerse los extremos abiertos, retirando las piedras y escombros que haya ingresado al interior de tuberías, y realizando posteriormente lavados frecuentes de las redes a través de válvulas de desagüe.
- Es necesario definir especificaciones técnicas para el suministro de materiales, junto con normas de diseño y construcción para obras de instalación de tuberías de conducción, distribución y conexiones domiciliarias, así como también para la ejecución de obras de

mantenimiento (reparaciones). De tal forma que garanticen que las tuberías resistirán mejor a los factores externos y que estos no afecten las condiciones de estanqueidad de las mismas.

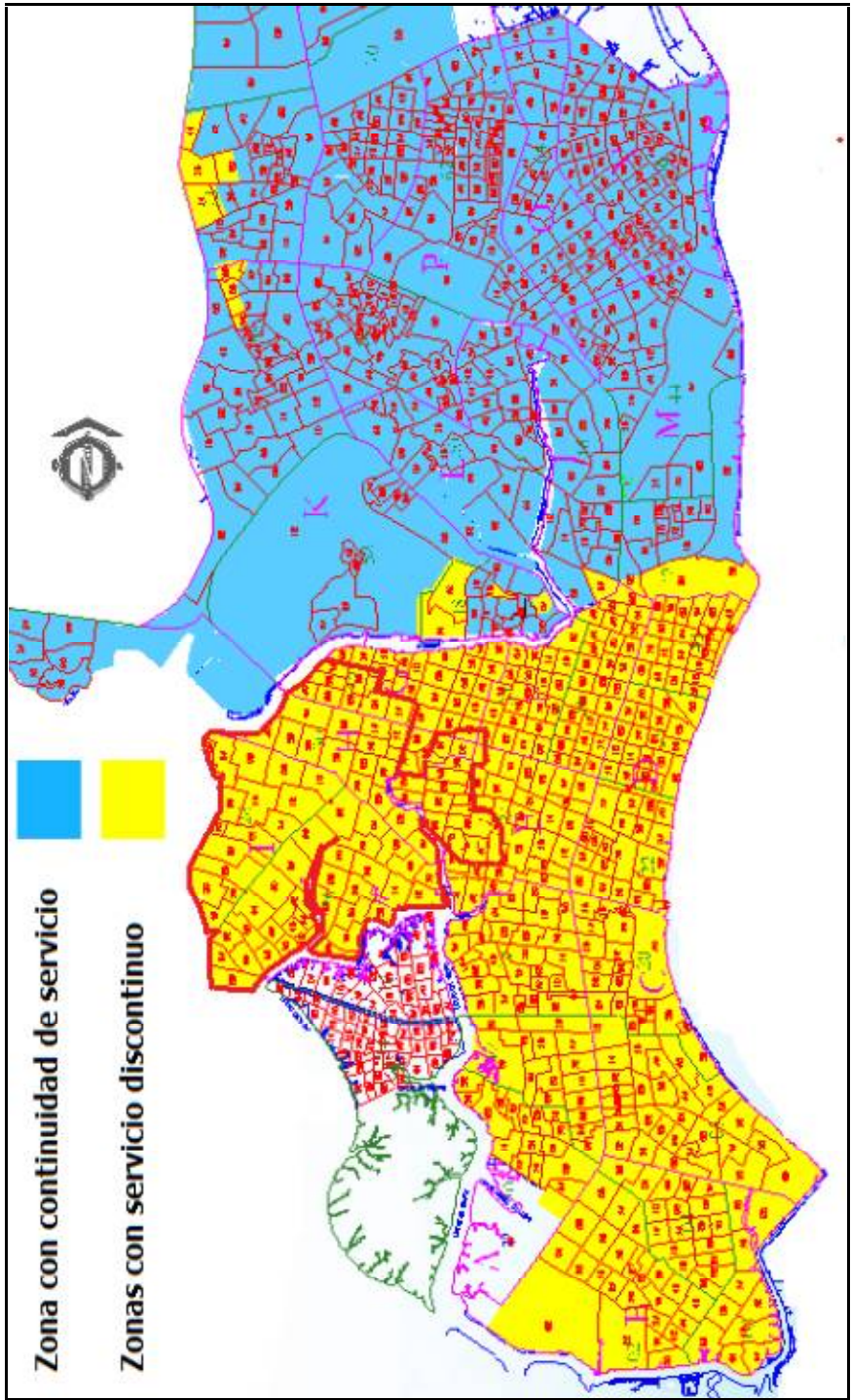
Recomendaciones para la gestión de la presión:

- Como actividad preliminar al inicio de operaciones de una estación reguladora de presión se debe de realizar una prueba de hermeticidad del sector para descartar posibles interconexiones con sectores de distinta presión. Esta prueba debe incluir la revisión de las válvulas de frontera con sectores adyacentes, y la verificación de la caída a cero de las presiones internas luego del cierre manual de la válvula de abastecimiento del sector.
- Adicionalmente el sector hidráulico deberá de ser inspeccionado para localizar y reparar todas las fugas existentes. Luego de haber reparado las fugas localizadas hasta alcanzar el nivel más bajo de fugas posible, teniendo en cuenta el nivel económico de reparación de fugas, se procede a la puesta en marcha de la válvula reguladora de presión.

- Una vez puestas en marcha las válvulas reguladoras de presión se debe realizar un monitoreo regular de las presiones de servicio en todo el sector hidráulico, de tal manera que se puedan evaluar los resultados de las modificaciones en la presión y se garantice la estabilidad de la presión de servicio regulada.
- El monitoreo de la presión de servicio del sector hidráulico se debe realizar mediante la instalación de registradores de presión en puntos de aforo. En caso de no disponer de equipos registradores de presión, el monitoreo debe de realizarse mediante el registro manual de la presión en acometidas o hidrantes.
- Se debe revisar la factibilidad de implementar la modulación de la presión de salida de la estación reguladora de presión. Esto permitirá controlar y variar la presión de servicio en función de la demanda para las 24 horas del día; reduciendo a un mínimo el valor de la presión de servicio en la red de distribución durante la noche.

Anexo 1
Plano de continuidad de servicio de AA.PP. en la ciudad de Guayaquil previo al inicio de la sectorización hidráulica en el año 2005.

(Fuente: Subgerencia de Agua No Contabilizada, Interagua C. Ltda., 2004)

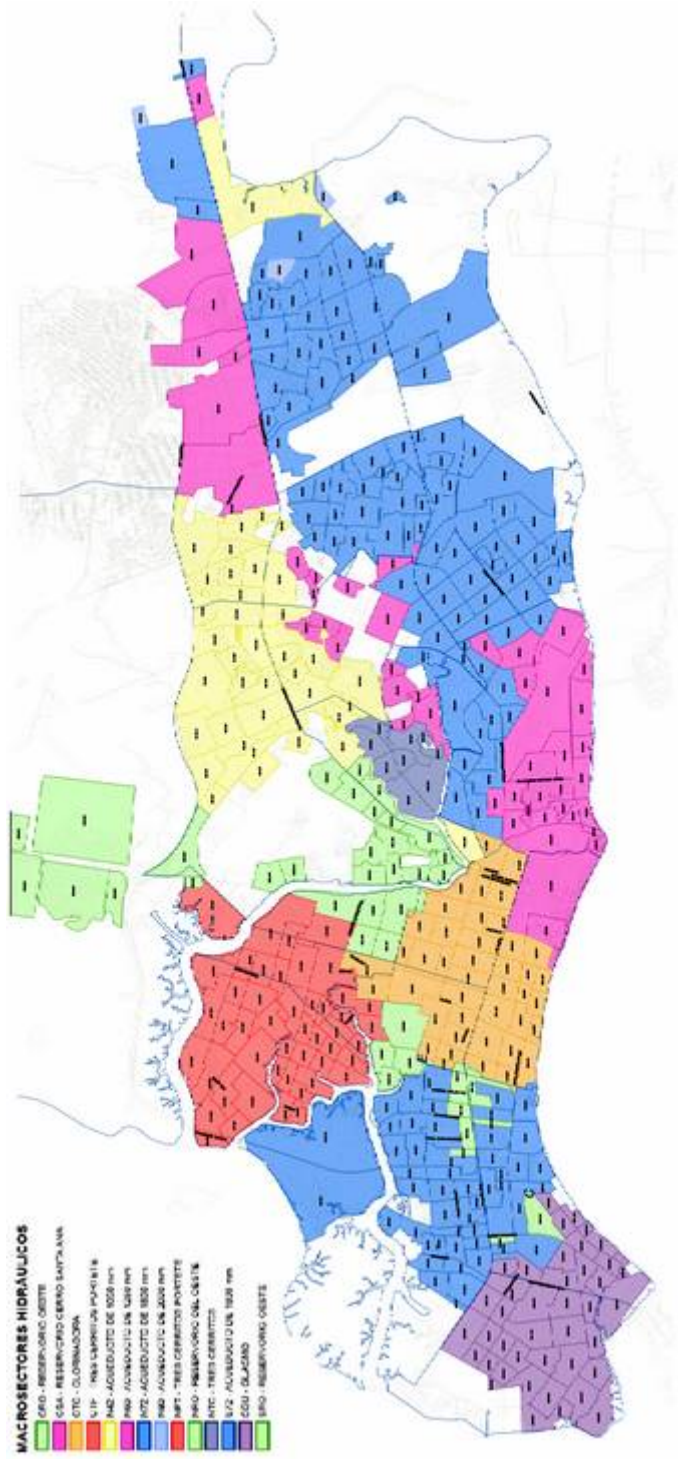


Anexo 2
Balance hidráulico realizado en el año 2004 para el sistema de distribución de AA.PP. de la ciudad de Guayaquil
(Fuente: Subgerencia de Agua No Contabilizada, Interagua C. Ltda., 2004)

NORTE						
Volumen de entrada al sistema (miles de m ³)	Consumo Facturado (m ³)		Facturación con medición (m ³)		Agua contabilizada	
	Pérdidas (m ³)	Pérdidas aparentes (m ³)	5289	4475		AC (%)
12420	7131	2929	Submedición	814	5289	43
			Subestimación	129		
	Clandestinos	1178	7131	57,4		
	Pérdidas reales	1623			Pérdidas reales (%)	23,6
	4201		4201			

CENTRO Y SUR						
Volumen de entrada al sistema (miles de m ³)	Consumo Facturado (m ³)		Facturación con medición (m ³)		Agua contabilizada	
	Pérdidas (m ³)	Pérdidas aparentes (m ³)	1844	595		AC (%)
15180	13336	3607	Submedición	1249	1844	12
			Subestimación	40		
	Clandestinos	2276	13336	87,9		
	Pérdidas reales	1291			Pérdidas reales (%)	23,8
	9729		9729			

Anexo 3
Esquema de división del sistema de distribución de AA.PP. de la ciudad de Guayaquil en macrosectores hidráulicos, propuesto en el "Plan Los Angeles"
(Fuente: Subgerencia de Agua No Contabilizada, Interagua C. Ltda., 2004)



Anexo 4

Diseño de un sistema de macromedición [2].

Consideraciones para la definición de los puntos de macromedición.

La definición de los puntos de un sistema de macromedición de caudal y presión en una red de distribución de AA.PP. se realiza en dos etapas.

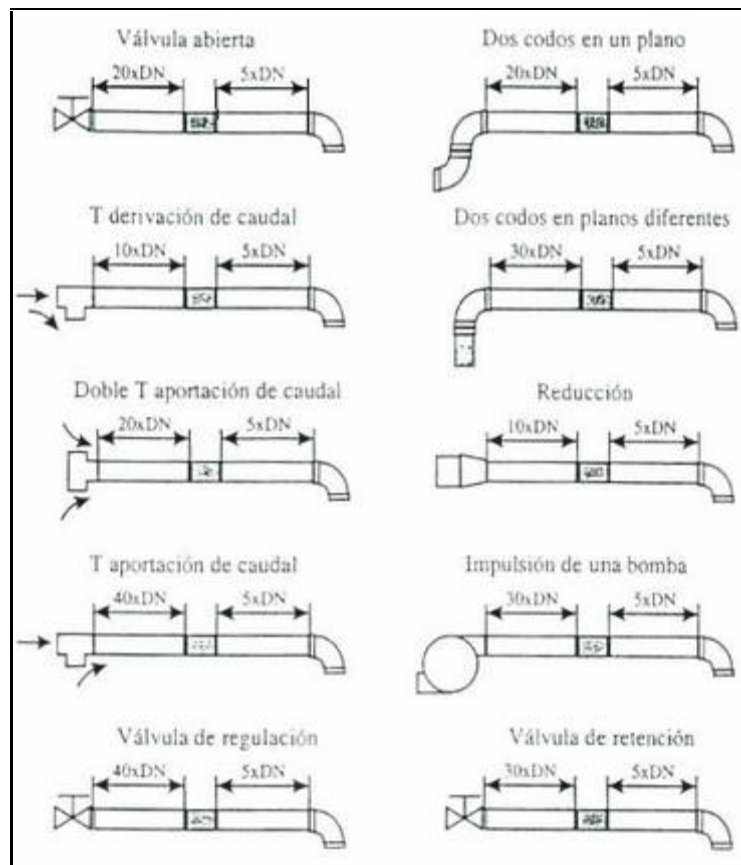
La primera etapa se desarrolla durante el proceso de sectorización, en la que se define los abastecimientos que permitan tener un plano de presiones de servicio uniforme dentro de los parámetros de servicio definidos por la entidad prestadora o reguladora del servicio, con el menor número de entradas (abastecimientos) y salidas para cada unidad de sectorización hidráulica.

En la segunda etapa se define en terreno el punto exacto de medición, escogiendo el sitio más adecuado para la instalación de los equipos de medición.

La definición de los puntos de medición de caudal se realiza bajo ciertos criterios que garantizan las condiciones óptimas requeridas que el desempeño de los equipos de medición se desarrolle al nivel necesario para una medición

de precisión. Las principales condiciones que debe cumplir la ubicación de un punto de medición son [2]:

- Las longitudes rectas mínimas aguas arriba y aguas abajo deben cumplir con las especificaciones definidas por el fabricante del equipo.
- La velocidad del agua en el punto de medición debe ser superior a la mínima admisible. Es óptima si es superior a 0.3 m/s.



Distancias requeridas aguas arriba y aguas abajo para la instalación de caudalímetros
(Fuente: Arregui de la Cruz F., La medición de agua en abastecimientos urbanos, 2006)

Una vez confirmada la ubicación del punto de medición se procede a la ejecución de la obra, la instalación de los equipos y su puesta a punto para la medición; que incluye la cámara impermeable y la perforación en la tubería.

Adicional al punto de medición sobre la tubería donde se localiza la cámara de las sondas intrusivas o extrusivas, se debe seleccionar la ubicación de la cámara donde se localizarán los aparatos de medición propiamente dichos y los soportes de energía.

La medición de presión debe estar orientada a obtener datos que permitan determinar las pérdidas de carga en la red de distribución, los valores de las máximas presiones en horas de mínima demanda y las presiones mínimas en horas de máxima demanda.

La ubicación de los puntos de medición de presión en un sistema de macromedición se define según los siguientes criterios [2]:

- Entradas y salidas de las unidades de sectorización hidráulica medidas.
- Sobre la red menor de distribución, en tuberías alejadas de los puntos de entrada y salida de las unidades de sectorización hidráulica medidas.
- Puntos en la red donde se presentan las presiones máximas y mínimas.

Consideraciones generales para la instalación de equipos de macromedición.

Los equipos de medición de caudal y presión son colocados de acuerdo al procedimiento de instalación proporcionado por el fabricante de los equipos de medición. Sin embargo, a continuación se recomiendan ciertos criterios generales de instalación de equipos de medición de caudal [1].

- a. Respetar las longitudes rectas antes y después del medidor. Este requerimiento difiere para cada tipo de equipo, pero en la práctica se puede considerar una longitud estándar de 10 diámetros aguas arriba y 5 diámetros aguas abajo.
- b. Debe considerarse la instalación de válvulas en cada extremo del medidor, esto facilitará el desmontaje del equipo para su mantenimiento.
- c. Es imprescindible la instalación de un by-pass que permita el flujo de agua cuando el medidor sea removido. En algunos tipos de equipos el mantenimiento puede realizarse en línea, es decir, el equipo no necesita ser desmontado. En este caso se remueve una cubierta bridada que contiene las partes funcionales del equipo, para ser reemplazada temporalmente por una brida ciega.

d. Para el acceso al medidor es necesaria la construcción de una cámara. Para los equipos pequeños la cámara puede tener dimensiones no muy grandes que permitan tener libre solo la parte principal del equipo. Para los equipos de dimensiones mayores, es usual la construcción de una cámara que incluya el acceso completo a la tubería. Los medidores ultrasónicos y electromagnéticos modernos están diseñados para estar cubiertos, pues su instrumentación puede ser instalada en un armario.

e. En los lugares donde el acceso sea complicado, la descarga de los datos registrados pueden ser realizada instalando instrumentación de lectura remota.

El adecuado funcionamiento de los equipos de medición de caudal muchas veces se puede afectar debido a que los sistemas de tuberías raramente cumplen con las condiciones ideales de instalación sugerida por el fabricante; e inclusive a influencias externas como la humedad, la interferencia eléctrica, las vibraciones y los cambios en la temperatura ambiente.

Estos diversos efectos que provocan errores importantes en la medición se denominan "*efectos de instalación*". Siendo los más importantes los efectos

mecánicos producidos por los cambios en el perfil de velocidades debido a cambios en la sección transversal u obstrucciones.

Adicionalmente los accesorios como codos, reductores o secciones en T producen turbulencias en el fluido; por lo que colocados a distancias inadecuadas respecto a un equipo de medición, afectan la exactitud de las mediciones.

Todos estos factores afectan el desempeño de los equipos de medición y suponen una limitación importante al instalar un equipo, pues, se necesita cumplir estrictamente las recomendaciones que proporcionan los fabricantes referentes a tramos rectos de tubería, tanto aguas arriba como aguas abajo del mismo. Aunque las recomendaciones varían para cada fabricante, se pueden conservar las distancias que se muestran en la sección de anexos.

Selección de un equipo de medición de caudal.

La elección de un equipo de medición de caudal es complicada, pues, obedece criterios y factores muy variados. Su éxito depende de que el usuario defina todos los parámetros de medida y de aplicación, es decir, de las especificaciones que debe tener el equipo.

En general, un equipo de medición de caudal debe combinar la precisión para un amplio rango de medidas y la facilidad de instalación a bajo costo. Sin embargo a pesar de que actualmente se dispone de cientos de diseños basados en varios principios de funcionamiento que presentan beneficios y ventajas particulares, no hay una única tecnología que satisfaga las múltiples necesidades que demanda la actividad de medición.

La medición de caudal se realiza partiendo de la medida de la velocidad de circulación del fluido por el interior de una tubería, teniendo en cuenta la sección del mismo. Sin embargo, los medidores de caudal pueden clasificarse en dos grandes grupos: los caudalímetros propiamente dichos y los contadores de agua.

Los caudalímetros propiamente dichos obtienen una aproximación del caudal circulante por las tuberías mediante algún tipo de medición indirecta. Los contadores de agua no realizan una medición del caudal instantáneo que circula por las tuberías, sino que realizan una integración del caudal a lo largo del tiempo obteniendo los volúmenes totales del fluido que ha pasado a través de ellos.

La tabla a continuación muestra una clasificación simplificada de los distintos tipos de caudalímetros disponibles para la medición de caudales.

Clasificación simplificada de distintos tipos de caudalímetros [11].

Principio de medida	Caudalímetro
Presión diferencial	Diafragma (Placa-orificio)
	Tobera
	Tubo Venturi
Área variable	Rotámetro
Velocidad	Turbina
	Caudalímetros de ultrasonido (cuerdas)
	Caudalímetros de inserción (puntual)
Tensión inducida	Magnéticos
Torbellino	Vortex
	Torbellino (Swirl)

Al final, el estudio de selección definirá técnica y económicamente los equipos a partir de los datos de comportamiento hidráulico en los sitios de medición, los tipos de equipos que se utilizan y los costos de adquisición.

Anexo 5

Protocolo y procedimientos para la medición de caudal y presión [2].

Antes de iniciar las mediciones de caudal y presión se deben realizar una serie de actividades de preparación resumidas en un protocolo de operaciones que se debe diligenciar para garantizar que el desarrollo de las actividades de medición tenga validez.

Las actividades incluidas en este protocolo de operaciones de preparación para las mediciones son las siguientes [2]:

- Elaboración de un esquema de funcionamiento, de las entradas y salidas de las unidades de sectorización hidráulica, en las que se detalle sus entradas y salidas.
- Registros de presión de servicio en las unidades de sectorización hidráulica, para verificar que los niveles de presión sean satisfactorios.
- Pruebas de aislamiento, en las que la presión en cada unidad de sectorización hidráulica debe bajar hasta 0 m.c.a. después de cerrar sus válvulas de frontera y de abastecimiento.

En el protocolo de operaciones también se incluye la recopilación de información referente a la medición y la sectorización hidráulica; esta información debe cumplir con la siguiente documentación:

- Cronograma de las mediciones, en el que se detallará la duración de las mediciones, y la fecha de instalación y desinstalación de los equipos.
- Plano de localización de los puntos de medición.
- Código de identificación de cada punto de medición de caudal y de presión. Es recomendable que el código sea de cuatro cifras, los dos primeros serán del sector y los dos últimos del punto de medición.
- Datos detallados de los puntos de medición de caudales y presiones referentes a equipos instalados; junto con las fechas, horas y parámetros de calibración.
- Listado de válvulas de frontera a verificar "cerradas" durante las mediciones.
- Datos físicos de la unidad de sectorización hidráulica a medir. Longitud de red, datos comerciales, cota altimétrica, etc.

Luego de cumplir con el protocolo de operaciones de medición se dará inicio a los aforos de la campaña de mediciones. Para un *sector hidráulico* la medición de caudales se realiza durante una semana y permite comparar el

volumen distribuido con el volumen consumido, por lo que los puntos de aislamiento y abastecimiento deben ser permanentes.

Si las condiciones hidráulicas y de operación del sector hidráulico no permiten disponer de un número reducido de entradas y salidas, debe de proponerse obras de optimización de la red de distribución. Mientras se ejecutan las adecuaciones necesarias en la red, las necesidades de medición del sector se obtendrán a partir de la suma de las mediciones independientes realizadas a nivel de subsectores.

En un *subsector hidráulico* la medición de caudales se realiza sobre un mínimo de cuatro días hábiles, en los que se debe incluir dos días hábiles y un fin de semana. Los subsectores pueden ser medidos de manera *permanente o temporal*, dependiendo del volumen distribuido y de la dificultad para realizar las mediciones (número de puntos de abastecimiento).

La medición de caudales en los *distritos hidráulicos* se puede realizar durante períodos de 24 o 48 horas, tiempo en el que el distrito debe ser aislado temporalmente del resto de la red de distribución mediante el cierre de válvulas de frontera. Debido a la condición de aislamiento del distrito, necesaria durante la ejecución de las mediciones, se debe probar la

estanqueidad del mismo. Actividad en la que se deberá incluir la identificación y verificación de sus válvulas de frontera y de abastecimiento.

En los casos en los que el distrito está aislado permanentemente o en su abastecimiento exista una Estación Reguladora de Presión (ERP), la medición se realizará sobre el único punto de abastecimiento existente o en la alimentación que corresponda a la ERP, respectivamente.

Para todos los casos, el retiro de los equipos se hará 24 horas después de haber cumplido el período de mediciones requerido (2, 4 o 7 días) a partir de la misma hora de inicio, siempre que las mediciones y las condiciones de operación sean certificadas como válidas durante el tiempo de medición requerido.

Se debe monitorear continuamente todos los puntos de medición instalados, en los que se debe incluir los puntos de medición de caudal y presión instalados en los abastecimientos así como los instalados al final de la red de distribución de la unidad de sectorización hidráulica en investigación.

Anexo 6

Relación entre el caudal de fuga y la presión de servicio

Anteriormente, se asumía que el caudal a través de una fuga seguía la fórmula del orificio, según la cual el caudal de fuga es proporcional a la raíz cuadrada de la presión: $Q_f = C_d A_f \sqrt{2gP}$

Donde:

Q_f es el caudal de salida a través del orificio de la fuga en [m³/s]

C_d es el coeficiente de descarga: un factor adimensional menor a 1

A_f es el área del orificio de la fuga, expresada en [m²]

g es la constante gravitacional expresada en [m/s²]

P es la presión en [mca]

Pero en la práctica, la curva de la relación presión-caudal no sigue esta fórmula para la mayoría de áreas de fuga.

Como resultado de investigaciones se determinó que si el área del orificio y/o el coeficiente de descarga C_d varían con la presión, el caudal a través de un orificio no será proporcional a la raíz cuadrada, entonces la ecuación puede ser expresada por: $Q_f = k_f P^x$ o $Q_f = P^{N1}$

Donde:

x o N_1 es el exponente de fuga

P es la presión en [mca]

k_f es el coeficiente de fuga

Este fenómeno es mencionado por Jeffcoate y Saravanapavan en el libro "La reducción y el control del agua no contabilizada", en el que se hace referencia a investigaciones experimentales que demuestran que la relación entre la variación de presión y el caudal de fuga no sigue la forma de una curva de raíz cuadrada y tampoco la de una línea recta, pues al elevar al doble la presión, la fuga se incrementa en aproximadamente 2.5 a 3 veces.

Los valores del exponente N_1 pueden ser obtenidos en pruebas de campo en sectores del sistema de distribución, a través de la reducción de la presión en pruebas de step test durante el período de consumo nocturno. Análisis de más de 150 pruebas de campo en varios países han confirmado que el exponente N_1 está generalmente entre 0.5 y 1.5, y ocasionalmente alcanzar valores de 2.5.

Tabla A
Valores de potencia N1 para la relación presión-caudal [12]

País	Número de sectores analizados	Valor promedio de N1	Rango de valores de N1
Reino Unido (1970s)	17	1.13	0.70 a 1.68
Japón (1979)	20	1.15	0.63 a 2.12
Brasil (1998)	13	1.15	0.52 a 2.79
Reino Unido (2003)	75	1.01	0.36 a 2.95
Chipre (2005)	15	1.47	0.64 a 2.83
Brasil (2006)	17	1.40	0.73 a 2.42
TOTAL	157	1.14	0.36 a 2.95

En 1994, Mays publicó un artículo que enunciaba la teoría FAVAD (Fixed and Variable Area Discharge Paths) sobre los trayectos de descarga de área fija y variable, en el que demostró que el área transversal de algunos tipos de fugas (orificios, roturas en tuberías y fugas en juntas y accesorios) varían con la presión, mientras que la velocidad del flujo seguía variando con la raíz cuadrada de la presión (5).

Esto daba lugar a diferentes tipos de fugas en las cuales el caudal (velocidad por área) varía con la presión:

- Para áreas fijas, como orificios en las paredes de tubos metálicos, el caudal varía con la potencia de 0.5 en la presión.
- Para áreas que pueden variar a lo largo de un eje, típico de fugas en accesorios y juntas, el caudal varía con la potencia de 1.5 en la presión.
- Para áreas que pueden variar a lo largo de dos ejes, como grietas en tuberías plásticas, el caudal varía con la potencia de 2.5 en la presión.

En base a la teoría FAVAD la ecuación global para el caudal de fugas sería:

$$Q_{fuga} = A \cdot P^{0.5} + B \cdot P^{1.5} + C \cdot P^{2.5}$$

Donde los valores A, B y C dependerán del número y tamaño de cada tipo de fuga existente en la red.

Es así que tenemos que la tabla B presenta las pérdidas de agua potable que se producen con una presión de servicio de 5 atmósferas (1 atmósfera = 1.013 bar).

Tabla B
Caudal de fuga a través de orificios de diferentes diámetros

Orificio Diámetro	Litros por		Metros cúbicos al	
	Minutos	Horas	Día	Mes
0,5 mm	0,33	20	0,48	14,4
1,0 mm	0,97	58	1,39	41,6
1,5 mm	1,82	110	2,64	79
2,0 mm	3,16	190	4,56	136
2,5 mm	5,09	305	7,30	218
3,0 mm	8,15	490	11,75	351
3,5 mm	11,30	680	16,30	490
4,0 mm	14,80	890	21,40	640
4,5 mm	18,20	1100	26,40	790
5,0 mm	22,30	1340	32,00	960
5,5 mm	26,00	1560	37,40	1120
6,0 mm	30,00	1800	43,20	1300
6,5 mm	34,00	2050	49,10	1478
7,0 mm	39,30	2360	56,80	1700

En función de la teoría elaborada por Mays se puede considerar que el caudal de una fuga será más elevado cuanto mayor sea la presión interna de la tubería, razón por la cual las pérdidas técnicas por fugas alcanzan su máximo valor durante la noche cuando la presión es alta.

Es necesario mencionar que los valores de caudal de fuga presentados en la tabla B cambian en función de la variación de la presión de servicio.

Se reducen : Con presión de servicio de 4 atmósferas a 89%

Con presión de servicio de 3 atmósferas a 77%

Con presión de servicio de 2 atmósferas a 63%

Con presión de servicio de 1 atmósferas a 45%

Se aumentan: Con presión de servicio de 6 atmósferas a 110%

Con presión de servicio de 7 atmósferas a 118%

Con presión de servicio de 8 atmósferas a 127%

Con presión de servicio de 9 atmósferas a 134%

Con presión de servicio de 10 atmósferas a 141%

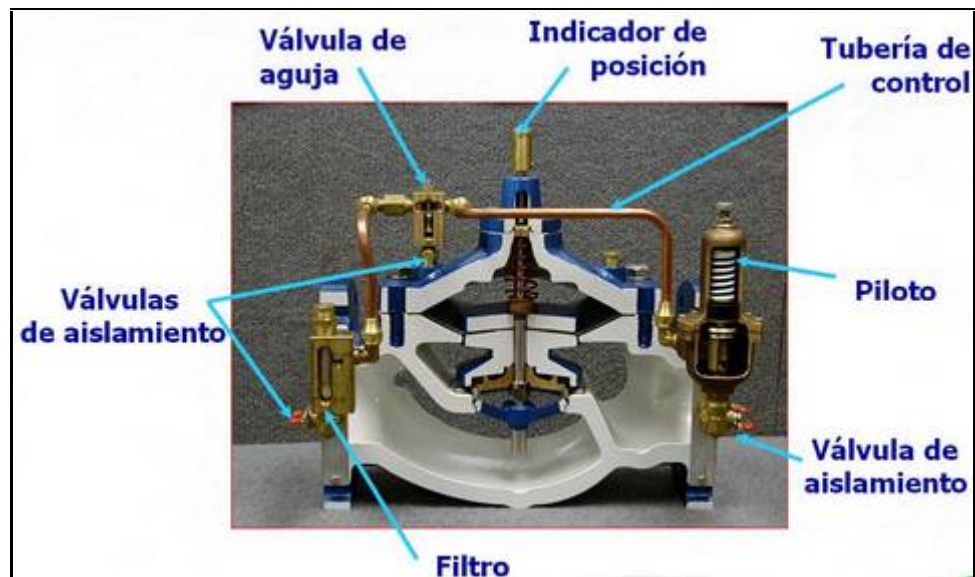
Anexo 7

Válvulas reguladoras de presión

Las válvulas reguladoras de presión son válvulas que mediante un dispositivo permiten crear una pérdida de carga capaz de modular una presión de entrada con la finalidad de regular la presión de salida dentro de parámetros preestablecidos sin que el caudal que pasa a través de ella sea una variable dependiente.

Una válvula reguladora de presión opera de tal modo que a medida que la presión aguas arriba aumenta, la válvula cerrará, creando más pérdida de carga a través de la válvula, hasta que se obtenga la presión preseleccionada. Inversamente, a medida que la presión aguas arriba disminuye, la válvula se abrirá; de tal modo que si la presión agua arriba disminuye hasta un punto inferior al de la presión preseleccionada, la válvula estará totalmente abierta.

Los accesorios de operación de una válvula reguladora de presión son el piloto de regulación, válvulas de aislamiento, filtro autolimpiante, válvula de aguja (estabilizador de flujo), tuberías de control, e indicador de posición. Salvo el piloto, el resto de los componentes no necesita mantenimiento.



Accesorios del sistema de pilotaje de una válvula reguladora de presión
(Fuente: Catálogo completo de productos, Singer Valve)

El piloto de regulación es el sensor especializado que permite evaluar la magnitud de una variable (presión, nivel) y devolver una señal al sistema que permite el adecuado funcionamiento de la válvula a las necesidades requeridas.

La válvula de regulación puede estar abierta totalmente, cerrada herméticamente o parcialmente abierta en función de la calibración del piloto, que determina las características de funcionamiento de la válvula, controlando la presión en el bonete, de tal modo que:

1. Cuando la presión aguas abajo sube al valor máximo calibrado en el piloto, éste se cierra parcialmente presurizando la cámara del diafragma

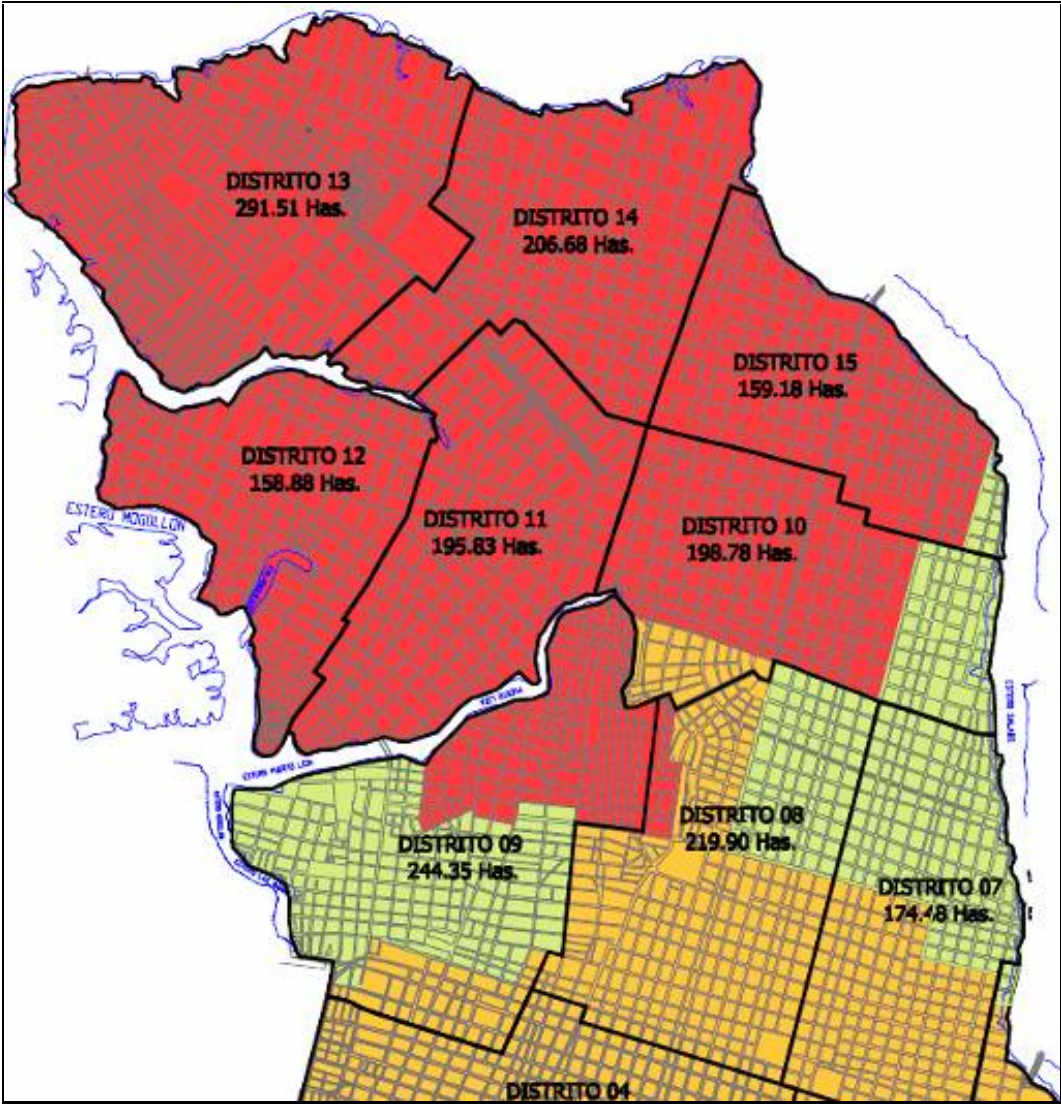
(el bonete) y cerrándose parcialmente la válvula principal. Pues, el flujo proveniente aguas arriba está dirigido al bonete de la válvula (a través de la restricción fija y la válvula de agua) manteniendo la válvula cerrada.

2. Cuando existe demanda, el piloto de regulación registra la disminución de presión aguas abajo y permite la apertura de la válvula. Esto se debe a que el flujo a través del piloto es mayor que el flujo a través de la restricción fija, por lo que la presión del bonete se reduce y el diafragma de la válvula se abre.
3. Bajo condiciones de flujo, el piloto reacciona a pequeños cambios en la presión para modular la presión del bonete y la posición de la válvula, manteniendo una presión constante aguas abajo.

Es necesario mencionar que la posición de la válvula sigue la posición del piloto, es decir, cuando el piloto se cierra, la válvula se mantiene cerrada; y cuando el piloto se abre, la válvula se mantiene abierta. Y la velocidad de apertura de la válvula reguladora de presión está determinada por la calibración de la válvula de aguja (o estabilizador de flujo).

Anexo 8

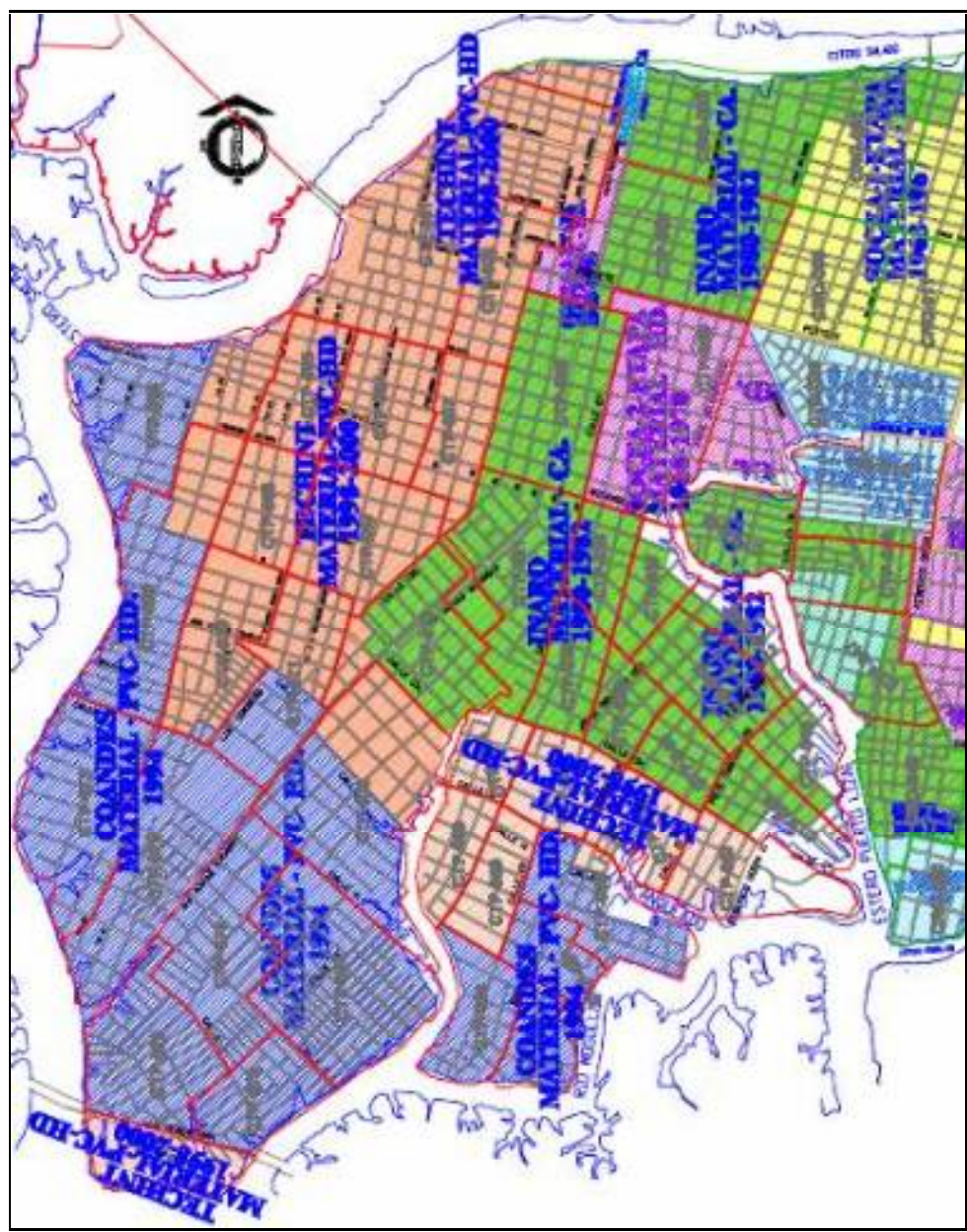
División operacional de la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil anterior al año 2005.
(Fuente: Subgerencia de Agua No Contabilizada, Interagua C. Ltda., 2004)



Anexo 9

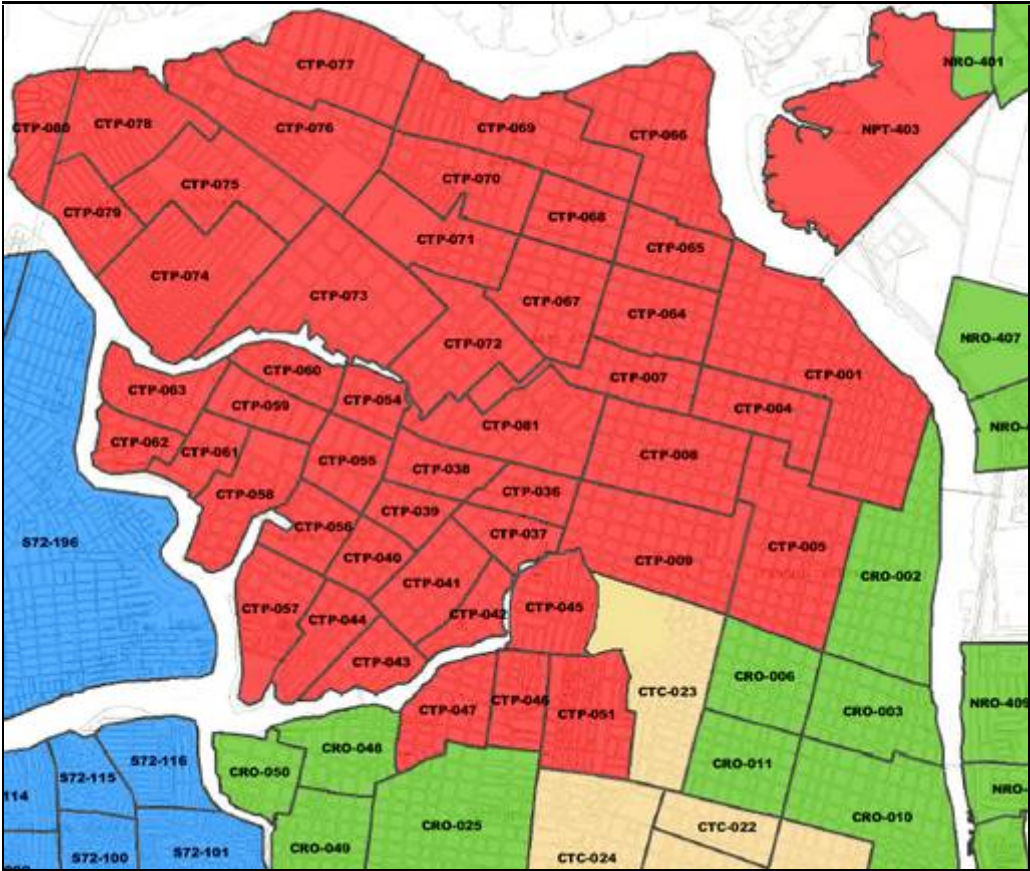
Edades y materiales de las redes de AA.PP. en servicio en el suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.

(Fuente: Subgerencia de Agua No Contabilizada, Interagua C. Ltda., 2004)



Anexo 10

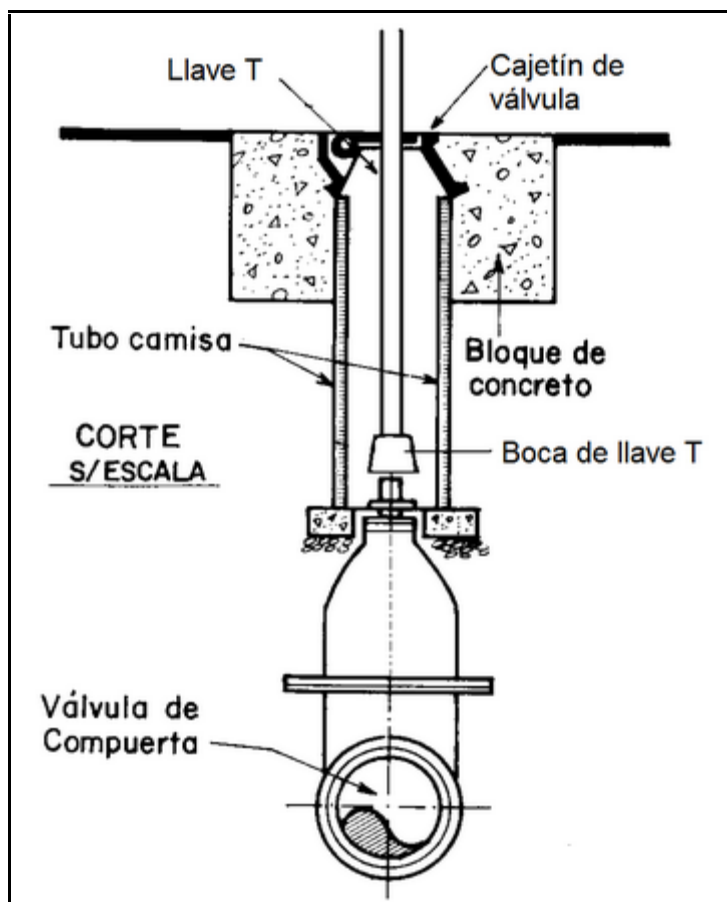
Propuesta de sectorización hidráulica de la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.
(Fuente: Subgerencia de Agua No Contabilizada, Interagua C. Ltda., 2004)



Anexo 11

Llave T

La llave T es utilizada para operar válvulas, su extremo de boca puede tener diversas dimensiones; esto posibilita operar válvulas con cabezal de vástago de tamaño grande, mediano y pequeño. Este último correspondiente a válvulas con vástagos sin cabezal.



Anexo 12

Formato de catastro de válvulas de sectorización utilizado para la red de distribución del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil.

(Fuente: Subgerencia de Agua No Contabilizada, Interagua C. Ltda.)


GERENCIA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
SUBGERENCIA DE AGUA POTABLE
DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE - TERRITORIO CTP
INVENTARIO DE VALVULAS DE SECTORIZACION

ESQUINERO	MACROSECTOR	
	SECTOR	

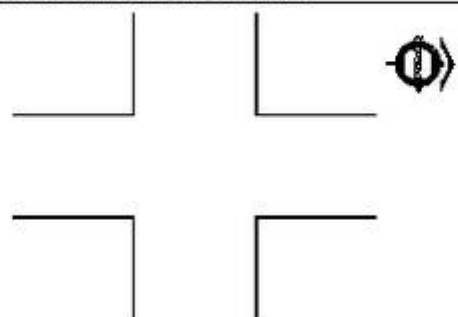
INFORMACION DE LA VALVULA

DIRECCION	NOMENCLATURA							
COSTADO	NE	NO	SE	SO	N	S	E	O
DIAMETRO	_____			No. VUELTAS	_____			
SENTIDO APERTURA	HORARIO _____		ANTIHORARIO _____					
TIPO DE CONTROL	SECCIONAMIENTO _____			SALIDA RADIAL _____				
FUNCION DE LA VALVULA	ABASTECIMIENTO _____		FRONTERA _____		INTERNA _____			
ESTADO	ABIERTA _____		CERRADA _____		REGULADA _____			
TIPO VALVULA	COMPUERTA _____		MARIPOSA _____		GLOBO _____			
ACTUADOR DE VALVULA	VOLANTE _____			CABEZAL _____				

INFORMACION DE LA PROTECCION DE LA VALVULA

PROTECCION DE VALVULA	CAMARA _____	CAJETIN _____	
TIPO DE TAPA CAMARA	METALICA _____	CONCRETO _____	
ESCALERAS EN CAMARA	SI _____	NO _____	
ALTURA DE CAMARA	ALTA _____	BAJA _____	REGULAR _____

ESQUEMA DE UBICACION DE LA VALVULA


OBSERVACIONES:

Anexo 13

Sistema de video-inspección portátil.

Equipo de video utilizado para inspeccionar interiormente tuberías de diámetros entre 3" y 24" desde un acceso a la red libre de presión hidráulica.

El equipo está compuesto por una cámara con lámparas tipo LED (Diodos de emisión de luz) conectada a un sistema de circuitos a través de un cable semi-rígido, y un monitor LCD anti resplandor.

El equipo es contenido en una unidad de transporte móvil de aproximadamente 40 libras. Las imágenes captadas por la cámara de video son transmitidas directamente en el monitor del equipo, formando un circuito cerrado. El equipo incluye conexiones para VCR, posibilitando la grabación de las inspecciones realizadas.

La cámara es contenida en un molde de policarbonato, que le proporciona protección contra impactos y resistencia al agua. Dentro de la protección también es incluida una sonda de transmisión de 512Hz que posibilita la localización de la cámara al interior de tuberías. La longitud estándar del cable es de 90m, medida que determina el alcance de inspección del equipo.



Cámara de video-inspección portátil Sekeer utilizada durante la materialización de la sectorización hidráulica de la red de AA.PP. del Suburbio Oeste.
(Fuente: Subgerencia de Agua No Contabilizada, Interagua C. Ltda.)

Anexo 14

Información de los distritos de medición definidos para la macromedición de caudal y presión en la red de distribución del suburbio oeste.

(Fuente: Subgerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)

Información del distrito de medición 1 definido para la macromedición de caudal y presión en la red de distribución del suburbio oeste.

Macrosector Hidráulico	Sectores Hidráulicos incluidos	Longitud de red (km)	Area (Ha)	No. de usuarios
Distrito de medición 1	11 sectores hidráulicos CTP-001 CTP-004 CTP-005 CTP-007 CTP-008 CTP-009 CTP-045 CTP-046 CTP-047 CTP-051 CTP-064	151	345	14136

Información del distrito de medición 2 para la macromedición de caudal y presión en la red de distribución del suburbio oeste.

Macrosector Hidráulico	Sectores Hidráulicos incluidos	Longitud de red (km)	Area (Ha)	No. de usuarios
Distrito de medición 2	16 sectores hidráulicos CTP-065 CTP-066 CTP-067 CTP-068 CTP-069 CTP-070 CTP-071 CTP-072 CTP-073 CTP-074 CTP-075 CTP-076 CTP-077 CTP-078 CTP-079 CTP-080	158	545	20543

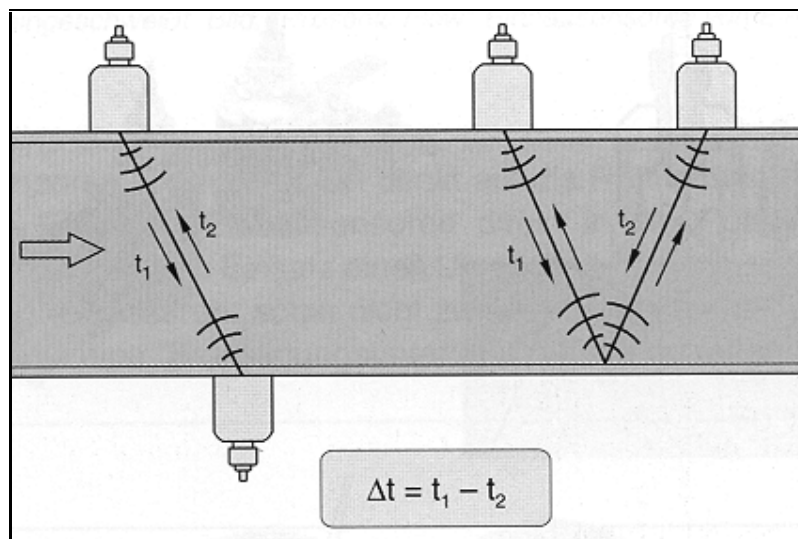
Información del distrito de medición 3 para la macromedición de caudal y presión en la red de distribución del suburbio oeste.

Macrosector Hidráulico	Sectores Hidráulicos incluidos	Longitud de red (km)	Area (Ha)	No. de usuarios	
Distrito de medición 3	20 sectores hidráulicos	CTP-036	114	343	14066
		CTP-037			
		CTP-038			
		CTP-039			
		CTP-040			
		CTP-041			
		CTP-042			
		CTP-043			
		CTP-044			
		CTP-054			
		CTP-055			
		CTP-056			
		CTP-057			
		CTP-058			
		CTP-059			
		CTP-060			
		CTP-061			
		CTP-062			
		CTP-063			
		CTP-081			

Anexo 15

Principio de funcionamiento del caudalímetro ultrasónico

El principio de funcionamiento de un caudalímetro ultrasónico está basado en la modificación del tiempo de tránsito que sufre una señal de ultrasonido por la velocidad del flujo.



Medición del caudal por ultrasonidos a partir del tiempo de tránsito de la señal
(Fuente: Departamento de Modelación y S.I.G., Subgerencia de Agua Potable, Interagua)

El equipo mide la diferencia del tiempo de tránsito (ΔT) entre una onda proveniente del sensor A dirigiéndose al sensor B, y una onda proveniente del sensor B dirigiéndose al sensor A. En un fluido en circulación, las ondas sonoras procedentes de cada sensor necesitan intervalos de tiempo distintos para llegar al otro sensor. Si la distancia entre los dos sensores es conocida,

la diferencia en los tiempos de tránsito de la señal es directamente proporcional a la velocidad del fluido.

Si la velocidad de circulación del fluido en la conducción es nula, ambos tiempos, t_1 y t_2 , son exactamente iguales. Cuando el fluido posee cierta velocidad esto deja de ser cierto. El tiempo t_1 reduce su valor, puesto que el fluido circula en el mismo sentido en el que son emitidas las ondas sonoras, lo que aumenta su velocidad absoluta de propagación (ambas velocidades se suman).

Por otro lado, el tiempo t_2 aumenta por tener que propagarse en contra del sentido de circulación del fluido (a la velocidad del sonido c , hay que restarle la del fluido). Esta diferencia de tiempo es la que se utiliza para calcular la velocidad del flujo y consecuentemente el caudal, que viene dado por la

ecuación $Q = K \times \frac{t_1 - t_2}{t_1 \times t_2}$, donde:

t_1 = Tiempo de tránsito de la señal t_1 en el sentido de la corriente

t_2 = Tiempo de tránsito de la señal t_2 contra la corriente

K = Constante = f (longitud del camino acústico, razón entre las distancias radiales y axiales de los sensores, distribución de velocidades, sección transversal)

Los sensores actúan indistintamente como receptores y emisores. Para actuar como emisores se excitan mediante pulsos eléctricos que seguidamente se convierten en una señal acústica. Cuando ejercen como receptores el proceso es el contrario.

Anexo 16

Especificaciones técnicas de los caudalímetros ultrasónicos de sonda externa instalados en el sistema de macromedición de caudal y presión del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil

(Fuente: Sugerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)

Especificaciones técnicas del caudalímetro ultrasónico de sonda externa
Endress+Hauser modelo Proline Prosonic Flow 90.

Datos técnicos		
Ingreso de datos	Velocidad de flujo	0.15 m/s
	Estado de ingreso	U=3...30 V DC
Salida de datos	Señal de salida activa	4-20mA
Suministro de energía	Voltaje suministrado al transmisor	85...260 V AC, 45...65 Hz
		20...55 V AC, 45...65 Hz
		16...62 V DC
	Sensores energizados por el transmisor	
Consumo de energía	AC: < 18 VA (incluido sensores)	
	DC: > 10 W (incluido sensores)	
Características de desempeño		
Máximo error de medición (Para velocidad de flujo > 0.3 m/s y número de Reynolds > 10000)	Tuberías DN < 50	±0.5% de la lectura o ±0.1% de la escala total de valores
	Tuberías 50 < DN < 200	±0.5% de la lectura o ±0.05% de la escala total de valores
	Tuberías DN < 200	±0.5% de la lectura o ±0.02% de la escala total de valores
Condiciones de operación		
Instalación	Operación	Orientación vertical y horizontal
	Longitud de cables conectores	Cables recubiertos de 5 m, 10 m, 15m y 30 m
Temperatura ambiente	Transmisor	-20° C a +60° C
	Sensores	-20° C a +80° C
Interfase	Elementos de pantalla	Pantalla de cristal líquido (LCD) iluminada, dos líneas con 16 caracteres
	Elementos de operación	Operación local de 3 teclas (-, +, E)
	Operación remota	Operación vía protocolo HART
Características físicas		
Grado de protección	Transmisor	IP 67 (NEMA 4X)
	Sensores	IP 68 (NEMA 4X)
Peso	Transmisor	6.0 kg
	Sensores	2.8 kg

Especificaciones técnicas de caudalímetro ultrasónico de sonda externa
Thermo modelo Polysonics DCT6088

Características de desempeño	
Velocidad de flujo	0 a 12 m/s
Exactitud	±1% de la velocidad o ±0.0152 m/s
Sensibilidad	0.3 m/s a cualquier velocidad de flujo
Linealidad	±1% de escala, salida digital
Diámetro de tubería	25mm a 5000mm (1pulgada a 200 pulgadas)
Material de tubería	Aluminio, asbestos, acero al carbón, acero inoxidable, hierro fundido, hierro dúctil, fibra de vidrio, PVC, Polietileno de baja y alta densidad
Revestimiento	Ebonita, mortero, poliéster, polietileno, polipropileno, poliestireno, goma, alquitrán epóxico, teflón
Comunicación	
Salidas	4-20mA, 12-bit, 5 kV opto-isolado, puerto serial RS232
Fuente de poder	90 a 132 Vac y 190 a 250 Vac, 50/60 Hz (estandar), 12 a 24 Vdc (opcional)
Teclado	19 teclas con acción táctil
Pantalla	40 caracteres, 2 líneas, alfanumérico, LCD
Datalogger	30000 registros, programables a intervalos de 1 segundo
Transmisión	5 A, SPDT, programable
Programación	A través del programa Ultrascan (suministrado junto con el equipo) o a través del teclado integrado
Rango de temperatura	Transductores: -40° C a +100° C Transmisor: -40° C a +60° C
Límite de humedad	0 a 100% de humedad relativa
Características físicas	
Transmisor	NEMA 4X (IP 65), revestimiento retardante al fuego, fibra de vidrio reforzado con poliéster (estándar)
Transductores	Diseño encapsulado con cable de 9m de longitud estándar
Peso	Aproximadamente 12 lbs (5.4 kg)

Anexo 17

Especificaciones técnicas de los equipos de almacenamiento de datos (data-loggers) instalados en el sistema de macromedición de caudal y presión del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil

(Fuente: Sugerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)

Especificaciones técnicas de data-loggers LoLog LL y LoLog Flash de RADCOM Technologies

Medición de presión	Entrada de presión:	Transductor interno de presión
	Rangos de presión:	0-5 bar, 0-10 bar, 0-15 bar y 0-20 bar.
	Exactitud:	0.5% del rango
Medición de caudal	Entrada de caudal:	Señales analógicas (4–20 mA)
Memoria	Capacidad:	16.000 lecturas en el bloque principal durante operación continua
		8.192 lecturas en el bloque secundario.
	Frecuencia:	Intervalo de registro programable desde 1 segundo hasta 60 minutos
	Almacenamiento:	Continuo - cíclico o en bloque de datos.
	Modos de registro:	Por conteo o por tiempo – suceso. Registro de máximos y mínimos para cada intervalo de registro principal.
Comunicación	Digital:	Pulso uni- o bi-direccional
		Sensor tipo REED (pulso libre de tensión)
		Conector abierto de frecuencia máxima 64 Hz
	Serial:	Interfase RS232 para programación/interrogación con PC o con terminal portátil de lectura (TPL) a 9.600 b.p.s. Software de análisis de datos (ficheros manuales e históricos de lugar) bajo entorno Windows®
Características físicas	Suministro de energía:	Batería de litio con autonomía mínima de 5 años.
		Batería reemplazable al final de su vida útil.
		Sensor de presión interno alimentado por la batería del registrador.
	Construcción:	Carcasa de aleación de aluminio
	Dimensiones:	140 mm x 85 mm x 35 mm.
	Peso:	0.5 kg.
	Temperatura de trabajo:	- 10 °C hasta + 50 °C
	Protección	IP 68 (sumergible)

(Fuente: Manual de operación de LoLog, RADCOM Technologies, 2000)

Especificaciones técnicas de data-logger Metrolog P de TECHNOLOG

Puertos de entrada	Presión y/o Caudal	
Medición de caudal	Entrada de caudal	Tipo contador
Medición de presión	Entrada de presión:	Sensor interno
	Rangos de presión (absoluta):	0 - 100 mca o 0 - 200 mca
	Exactitud:	0.5% del rango
Memoria	Capacidad	32K
	Frecuencia:	Programable desde 1 segundo hasta 24 horas
	Almacenamiento:	Rotativo o en bloque
	Modos de registro:	Por conteo o por tiempo – suceso.
	143 días de disponibilidad de datos de caudal registrados a intervalos de 15 minutos:	
	260 días de disponibilidad de datos de presión registrados a intervalos de 15 minutos:	
Características físicas	Suministro de energía	Batería interna de litio
		Duración entre 3 y 5 años
	Temperatura de trabajo	-20 a +50° C
	Protección	IP 68 (sumergible)
Comunicación	Software PMAC- Lite. Configurar, parametrizar y descargar del logger los datos en un pc	
	Puerto de comunicaciones serial 4-pines, conector militar	

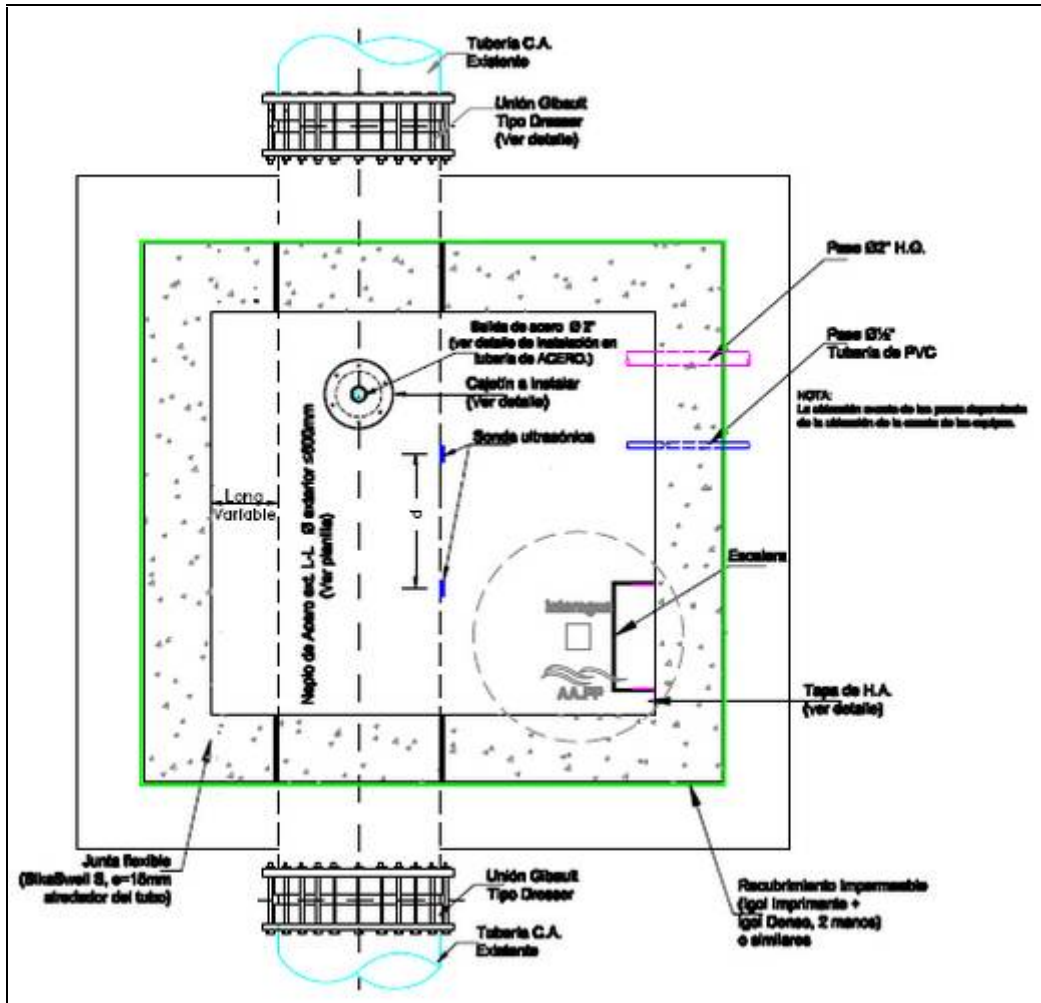
(Fuente: Manual de operación de datalogger Metrolog P, TECHNOLOG)

Anexo 18

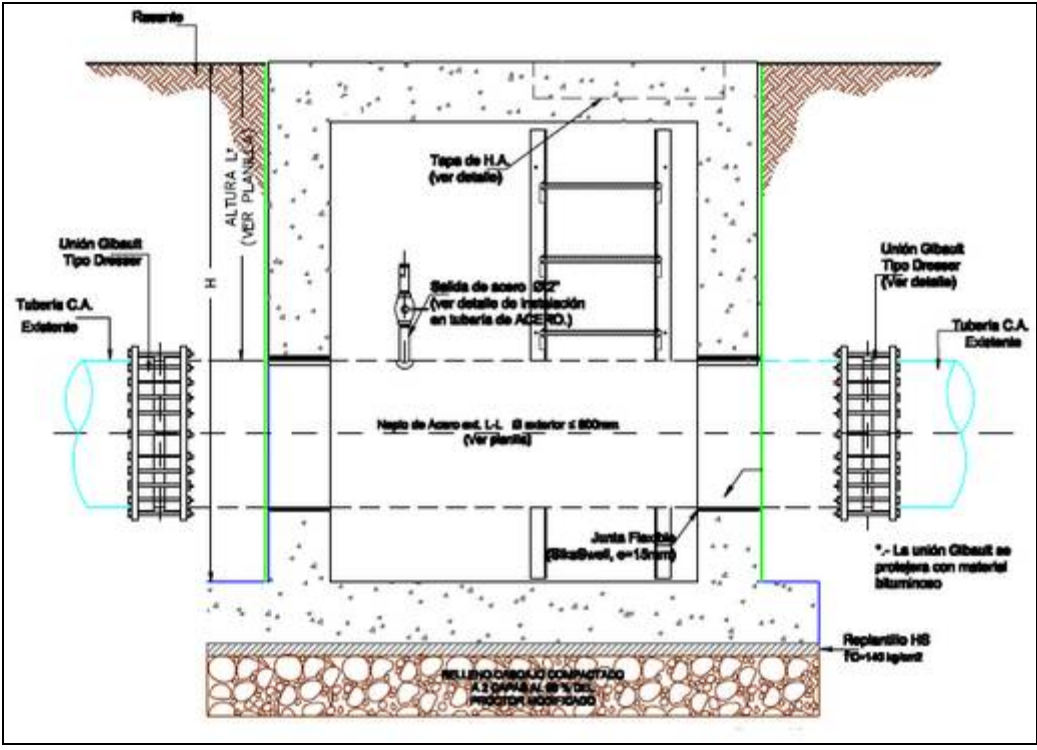
Cámara de medición (tipo II) y accesorios - Sistema de macromedición de caudal y presión del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil

(Fuente: Sugerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)

Vista superior - Cámara de medición (tipo II) y accesorios



Vista superior - Cámara de medición (tipo II) y accesorios

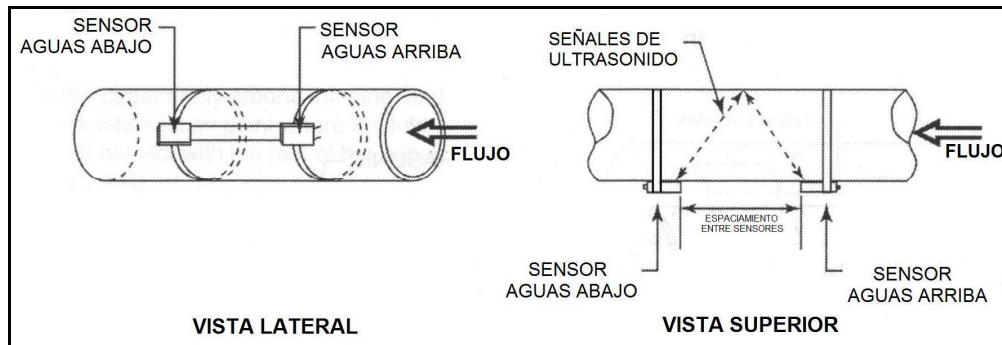


Anexo 19

Métodos de montaje de sensores de fijación externa "tipo clamp-on" para caudalímetros ultrasónicos

Los sensores de fijación externa de los caudalímetros ultrasónicos deben ser instalados tomando en consideración la dirección del flujo y en función del método de montaje o instalación de los sensores ultrasónicos (V, W, o Z) requerido. Garantizando que los sensores sean instalados perpendicularmente a la superficie de la tubería y alineados al eje central de la tubería.

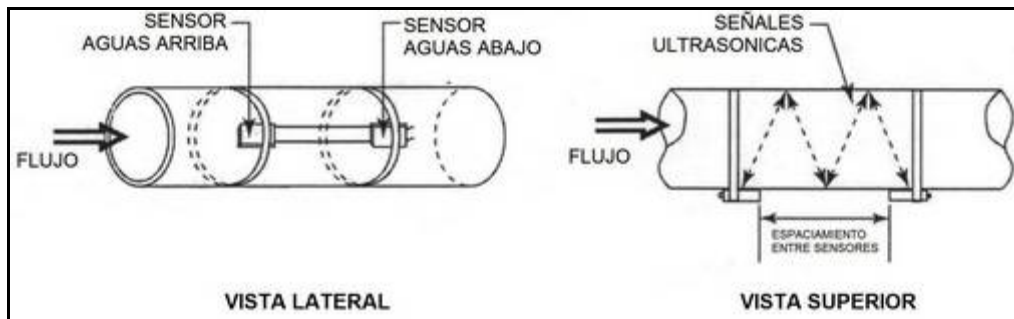
El **método V** es considerado el método estándar para las tuberías de diámetros entre 4" y 16" ($\Phi 101.6\text{mm}$ a $\Phi 106.4\text{mm}$). En este método ambos sensores ultrasónicos son montados en el mismo lado de la tubería, por lo que, usualmente brinda una lectura más precisa que el método Z debido a que el utiliza una trayectoria de señal más larga.



Método de instalación V para sensores de fijación externa de caudalímetro ultrasónico.

(Fuente: Guía de usuario de caudalímetro Thermo modelo Polysonics DCT6088, Thermo Electrón)

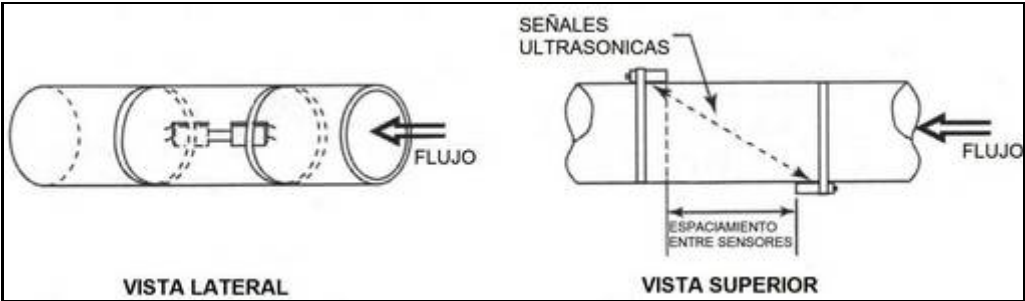
El **método W** es utilizado para mejorar el rendimiento del caudalímetro ultrasónico en tuberías metálicas con diámetro externo de 4" ($\phi 100\text{mm}$) o menos. Con este método las ondas de sonido atraviesan el fluido cuatro veces y rebotan tres veces las paredes de la tubería. Como en el método v, ambos transductores son montados en el mismo lugar de la tubería.



Método de instalación W para sensores de fijación externa de caudalímetro ultrasónico.

(Fuente: Guía de usuario de caudalímetro Thermo modelo Polysonics DCT6088, Thermo Electrón)

El **método Z** es utilizado primordialmente en tuberías de diámetros mayores a $\phi 600\text{mm}$, o en aplicaciones donde el método V no funciona debido a la atenuación de las señales provocadas por la excesiva presencia de aire o sólidos, adherencias en la superficie externa de la tubería, recubrimiento en mal estado, o tuberías de grandes diámetros. En este método las señales ultrasónicas son transmitidas directamente, pues, atraviesan el líquido una sola vez.



Método de instalación Z para sensores de fijación externa de caudalímetro ultrasónico.

(Fuente: Guía de usuario de caudalímetro Thermo modelo Polysonics DCT6088, Thermo Electrón)

Anexo 20

Ficha técnica de equipos de medición de caudal instalados en el sistema de macromedición de caudal y presión del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil

(Fuente: Sugerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)

Ficha técnica de equipos de medición instalados en el punto de macromedición FNC-CTP-M34 - Av. Barcelona

Información del punto de macromedición	Dirección	Av. Barcelona
	Código de identificación	FNC-CTP-M-34
	Parámetro de medición	Caudal y Presión
	Cota	5.63 m.
Información del equipo de medición de caudal	Tipo de Caudalímetro	Ultrasónico de sonda externa
	Modelo de Caudalímetro	Proline Prosonic Flow 90 (Endress+Hauser)
	Nº de Serie de Caudalímetro	980A6A02000
	Fecha de Instalación del Caudalímetro	26/10/2007
Características físicas de la tubería	Perímetro de la Tubería	3842 mm
	Diámetro exterior de la Tubería	1222 mm
	Diámetro interior de la Tubería	1200 mm
	Espesor de la Tubería	11.45 mm
	Material de la Tubería	Acero al carbón
Información de la instalación del equipo de medición de caudal	Tipo de Instalación	Método Z
	Espaciamiento entre Transductores	622.51mm
	Señal de 4 - 20 mA	0 - 3000 ltr/s
	Señal	100%
	Margen	120%
Información del equipo de almacenamiento de datos	Tipo de logger (analógico o digital)	Analógico
	Modelo de logger	Metrolog
	Nº de Serie de logger	80616014
	Fecha de Instalación del logger	2007

Ficha técnica de equipos de medición instalados en el punto de macromedición CTP-064-M40 - calle 38 y R. Avilés.

Información del punto de macromedición	Dirección	Calle 38 y Rosendo Avilés
	Código de identificación	CTP-064-M-40
	Parámetro de medición	Caudal y Presión
	Cota	2.6 m.
Información del equipo de medición de caudal	Tipo de Caudalímetro	Ultrasónico de sonda externa
	Modelo de Caudalímetro	Thermo Polysonics DCT6088
	Nº de Serie de Caudalímetro	B02KB012
	Fecha de Instalación del Caudalímetro	2006
Características físicas de la tubería	Perímetro de la Tubería	1266 mm
	Diámetro exterior de la Tubería	402.98 mm
	Diámetro interior de la Tubería	390.98 mm
	Espesor de la Tubería	6 mm
	Material de la Tubería	Acero al carbón
Información de la instalación del equipo de medición de caudal	Tipo de Instalación	Método V
	Espaciamiento entre Transductores	336.01 mm
	Señal de 4 - 20 mA	0 - 200 l/s
	Señal	27%
	Margen	128%
Información del equipo de almacenamiento de datos	Tipo de logger (analógico o digital)	Analógico
	Modelo de logger	Metrolog
	Nº de Serie de logger	80529037
	Fecha de Instalación del logger	2006

Ficha técnica de equipos de medición instalados en el punto de macromedición CTP-007-M41 - calle 33 y R. Avilés.

Información del punto de macromedición	Dirección	Calle 33 y Rosendo Avilés
	Código de identificación	CTP-007-M-41
	Parámetro de medición	Caudal y Presión
	Cota	4.53 m.
Información del equipo de medición de caudal	Tipo de Caudalímetro	Ultrasónico de sonda externa
	Modelo de Caudalímetro	Thermo Polysonics DCT6088
	Nº de Serie de Caudalímetro	B03CB011
	Fecha de Instalación del Caudalímetro	2006
Características físicas de la tubería	Perímetro de la Tubería	3244 mm
	Diámetro exterior de la Tubería	1032 mm
	Diámetro interior de la Tubería	1000 mm
	Espesor de la Tubería	16 mm
	Material de la Tubería	Acero al carbón
Información de la instalación del equipo de medición de caudal	Tipo de Instalación	Método V
	Espaciamiento entre Transductores	336.01 mm
	Señal de 4 - 20 mA	0 - 900 l/s
	Señal	71%
	Margen	92%
Información del equipo de almacenamiento de datos	Tipo de logger (analógico o digital)	Analógico
	Modelo de logger	Lo-Log-LL
	Nº de Serie de logger	3668
	Fecha de Instalación del logger	2006

Ficha técnica de equipos de medición instalados en el punto de macromedición CTP-081-M42 - calle 27 y Chambers.

Información del punto de macromedición	Dirección	Calle 27 y Chambers
	Código de identificación	CTP-081-M-42
	Parámetro de medición	Caudal y Presión
	Cota	4.23 m.
Información del equipo de medición de caudal	Tipo de Caudalímetro	Ultrasónico de sonda externa
	Modelo de Caudalímetro	Thermo Polysonics DCT6088
	Nº de Serie de Caudalímetro	B02KB013
	Fecha de Instalación del Caudalímetro	2006
Características físicas de la tubería	Perímetro de la Tubería	1804 mm
	Diámetro exterior de la Tubería	574.958 mm
	Diámetro interior de la Tubería	550.958 mm
	Espesor de la Tubería	12 mm
	Material de la Tubería	Acero al carbón
Información de la instalación del equipo de medición de caudal	Tipo de Instalación	Método V
	Espaciamiento entre Transductores	484.21 mm
	Señal de 4 - 20 mA	0 - 500 l/s
	Señal	80%
	Margen	105%
Información del equipo de almacenamiento de datos	Tipo de logger (analógico o digital)	Analógico
	Modelo de logger	Lo-Log-FLASH
	Nº de Serie de logger	3669
	Fecha de Instalación del logger	2006

Anexo 22

Macrosectores hidráulicos definidos en la red de distribución de AA.PP.
del suburbio oeste de Guayaquil

(Fuente: Sugerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)

Macrosectores hidráulicos definidos en la red de distribución de AA.PP.
del suburbio oeste de Guayaquil - Configuración inicial

Macrosector Hidráulico	Sectores Hidráulicos	Longitud de red (km)	Area (Ha)	No. de conexiones
Macrosector A	CTP-073 CTP-074 CTP-075 CTP-076 CTP-077 CTP-078 CTP-079 CTP-080	71,46	299	11781
Macrosector B	CTP-064 CTP-065 CTP-066 CTP-067 CTP-068 CTP-069 CTP-070 CTP-071	77,40	240	8667
Macrosector C	CTP-054 CTP-055 CTP-056 CTP-057 CTP-058 CTP-059 CTP-060 CTP-061 CTP-062 CTP-063	41,81	170	7133
Macrosector D	CTP-036 CTP-037 CTP-038 CTP-039 CTP-040 CTP-041 CTP-042 CTP-043 CTP-044 CTP-045 CTP-046 CTP-047	89,22	193	9015
Macrosector E	CTP-005 CTP-007 CTP-008 CTP-009	49,43	155	5780
Macrosector F	CTP-001 CTP-004	46,11	105	4073
Macrosector R-2	CTP-072 CTP-081	16,72	72	2296

Macrosectores hidráulicos definidos para la red de distribución de AA.PP.
del suburbio oeste de Guayaquil - Configuración final

Macrosector Hidráulico	Sectores Hidráulicos	Longitud de red (km)	Area (Ha)	No. de conexiones
Macrosector A	CTP-073 CTP-074 CTP-075 CTP-076 CTP-077 CTP-078 CTP-079 CTP-080	71,46	299	11781
Macrosector B	CTP-065 CTP-066 CTP-068 CTP-069 CTP-070	46,83	156	5746
Macrosector C	CTP-054 CTP-055 CTP-056 CTP-057 CTP-058 CTP-059 CTP-060 CTP-061 CTP-062 CTP-063	41,81	170	7133
Macrosector D	CTP-036 CTP-037 CTP-038 CTP-039 CTP-040 CTP-041 CTP-042 CTP-043 CTP-044 CTP-045 CTP-046 CTP-047 CTP-051	103,40	222	9978
Macrosector E	CTP-005 CTP-008 CTP-009	39,90	137	5043
Macrosector F	CTP-001 CTP-004 CTP-007 CTP-064	67,10	148	5759
Macrosector R-2	CTP-067 CTP-071 CTP-072 CTP-081	35,84	131	4268

Anexo 23

Caudales de consumo e indicadores de pérdidas técnicas referenciales al nivel más bajo de fugas de los sectores hidráulicos definidos en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de Guayaquil

(Fuente: Sugerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)

MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	INDICADOR DE PERDIDAS 1 (L/s/Km)
MACROSECTOR A	80	4,86	7,32	1,51
	79	4,85	9,87	2,03
	78	8,22	16,55	2,01
	77	7,39	13,75	1,86
	76	9,26	16,73	1,81
	75	8,92	17,85	2,00
	74	13,64	27,24	2,00
	73	16,08	26,30	1,64
MACROSECTOR B	65	7,62	6,73	0,88
	66	11,64	15,61	1,34
	69	9,38	17,68	1,89
	68	6,97	5,99	0,86
	70*	11,32	8,05	0,71
MACROSECTOR C	81	9,59	12,75	1,33
	55	6,25	6,76	1,08
	56	5,55	5,80	1,05
	57	5,19	4,96	0,95
	54	4,34	3,00	0,69
	59	3,71	4,80	1,29
	60	4,96	4,11	0,83
	58	4,76	19,21	4,04
	61	2,13	5,38	2,52
	62	1,40	7,65	5,46
	63	3,21	8,41	2,62
MACROSECTOR D	36	5,76	4,00	0,69
	37	4,29	3,58	0,83
	38	6,25	4,27	0,68
	39	4,96	2,92	0,59
	40	5,17	2,69	0,52
	41	14,41	5,76	0,40
	42	14,41	2,92	0,20
	43	6,01	4,52	0,75
	44	7,95	5,32	0,67
	45	50,68	7,15	0,14
	46	50,68	6,26	0,12
47	50,68	6,84	0,14	
51	50,68	-	-	
MACROSECTOR E	5	13,94	18,26	1,31
	8	15,31	13,01	0,85
	9	20,10	23,34	1,16
MACROSECTOR F	1	36,51	32,01	0,88
	4	9,61	7,99	0,83
	7	9,54	7,51	0,79
MACROSECTOR R-2	64	11,45	9,90	0,86
	67	12,45	11,90	0,96
	71	6,67	11,58	1,74
	72	8,80	13,07	1,49

Anexo 24

Resultados de la detección de pérdidas técnicas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de Guayaquil

(Fuente: Sugerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)

Detección de pérdidas técnicas - Noviembre del 2006

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
31/08/2006	MACROSECTOR A	78-79-80	17,52	15	1,0	0,86
		74-75	22,55	45	1,3	1,54
		76-77	14,76	90	1,7	3,59
		73	14,76	295	2,1	9,52
28/08/2006	MACROSECTOR B	70-71	18,3	12	1,2	0,55
		66-69	21,02	228	1,6	6,78
		67-68	19	60	1,6	1,97
		64-65	19	60	3	1,05
18/09/2006	MACROSECTOR C	62-63	4,61	ND	ND	ND
		59-60	8,64	30	0,7	4,96
		56-57	14,45	45	1,1	2,83
		58-61-54-55	18,83	220	1,1	10,62
21/09/2006	MACROSECTOR D	45-46-47-51	50,68	ND	ND	ND
		43-44	13,99	8	2,2	0,26
		40-41-42	19,84	9	2,2	0,21
		37-39	9,72	5	2,3	0,22
		36-38	12,31	8	2,3	0,28
18/10/2006	MACROSECTOR E	9	12,46	95	1,2	6,36
		8	12,74	65	1,5	3,4
		7	9,43	5	2,1	0,25
		5	9,37	180	2,2	8,73
25/09/2006	MACROSECTOR F	1	34,5	ND	ND	ND
		4	9,8	20	1,6	1,27
25/10/2006	MACROSECTOR R-2	72 (I)	6,46	95	1,2	12,26
		72 (II)	2,04	10	0,5	9,81
		72 (III)	1,5	5	0,5	6,66
		81 (I)	2,82	15	0,5	12,7
		81 (II)	7,25	90	1,3	13,1

Detección de pérdidas técnicas - Diciembre del 2006

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
21/11/2006	MACROSECTOR A	78-79-80	17,52	15	1,0	0,86
		74-75	22,55	45	1,3	1,54
		76-77	14,76	90	1,7	3,59
		73	14,76	295	2,1	9,52
28/08/2006	MACROSECTOR B	70-71	18,3	12	1,2	0,55
		66-69	21,02	228	1,6	6,78
		67-68	19	60	1,6	1,97
		64-65	19	60	3,0	1,05
18/09/2006	MACROSECTOR C	62-63	4,61	ND	ND	ND
		59-60	8,64	30	0,7	4,96
		56-57	14,45	45	1,1	2,83
		58-61-54-55	18,83	220	1,1	10,62
21/09/2006	MACROSECTOR D	45-46-47-51	50,68	ND	ND	ND
		43-44	13,99	8	2,2	0,26
		40-41-42	19,84	9	2,2	0,21
		37-39	9,72	5	2,3	0,22
		36-38	12,31	8	2,3	0,28
18/10/2006	MACROSECTOR E	9	12,46	95	1,2	6,36
		8	12,74	65	1,5	3,4
		7	9,43	5	2,1	0,25
		5	9,37	180	2,2	8,73
25/09/2006	MACROSECTOR F	1	34,5	ND	ND	ND
		4	9,8	20	1,6	1,27
25/10/2006	MACROSECTOR R-2	72 (I)	6,46	95	1,2	12,26
		72 (II)	2,04	10	0,5	9,81
		72 (III)	1,5	5	0,5	6,66
14/12/2006	MACROSECTOR R-2	81 (I)	2,82	20	0,6	11,84
		81 (II)	6,24	45	1,2	6,01
		81 (250mm)	1,01	30	1,5	19,74

Detección de pérdidas técnicas - Enero del 2007

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
21/11/2006	MACROSECTOR A	78-79-80	17,52	15	1,0	0,86
		74-75	22,55	45	1,3	1,54
		76-77	14,76	90	1,7	3,59
		73	14,76	295	2,1	9,52
28/08/2006	MACROSECTOR B	70-71	18,3	12	1,2	0,55
		66-69	21,02	228	1,6	6,78
		67-68	19	60	1,6	1,97
		64-65	19	60	3,0	1,05
18/09/2006	MACROSECTOR C	62-63	4,61	ND	ND	ND
		59-60	8,64	30	0,7	4,96
		56-57	14,45	45	1,1	2,83
		58-61-54-55	18,83	220	1,1	10,62
21/09/2006	MACROSECTOR D	45-46-47-51	50,68	ND	ND	ND
		43-44	13,99	8	2,2	0,26
		40-41-42	19,84	9	2,2	0,21
		37-39	9,72	5	2,3	0,22
		36-38	12,31	8	2,3	0,28
18/10/2006	MACROSECTOR E	9	12,46	95	1,2	6,36
		8	12,74	65	1,5	3,4
		7	9,43	5	2,1	0,25
		5	9,37	180	2,2	8,73
25/09/2006	MACROSECTOR F	1	34,5	ND	ND	ND
		4	9,8	20	1,6	1,27
29/01/2007	MACROSECTOR R-2	72 (I)	6,46	63	1,9	5,13
		72 (II)	2,04	22	1,2	8,99
		72 (III)	1,5	4	0,6	4,44
14/12/2006	MACROSECTOR R-2	81 (I)	2,82	20	0,6	11,84
		81 (II)	6,24	45	1,2	6,01
		81 (250mm)	1,01	30	1,5	19,74

Detección de pérdidas técnicas - Febrero del 2007

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
21/11/2006	MACROSECTOR A	78-79-80	17,52	15	1,0	0,86
		74-75	22,55	45	1,3	1,54
		76-77	14,76	90	1,7	3,59
		73	14,76	295	2,1	9,52
28/08/2006	MACROSECTOR B	70-71	18,3	12	1,2	0,55
		66-69	21,02	228	1,6	6,78
		67-68	19	60	1,6	1,97
		64-65	19	60	3,0	1,05
09/02/2007	MACROSECTOR C	62-63	4,61	9	0,4	4,88
		59-60	8,67	26	0,4	7,50
		58-61	6,89	22	0,5	6,39
02/03/2007	MACROSECTOR C	56-57	14,43	31	1,1	1,95
		54-55	10,59	70	1,2	5,51
21/09/2006	MACROSECTOR D	45-46-47-51	50,68	ND	ND	ND
		43-44	13,99	8	2,2	0,26
		40-41-42	19,84	9	2,2	0,21
		37-39	9,72	5	2,3	0,22
		36-38	12,31	8	2,3	0,28
18/10/2006	MACROSECTOR E	9	12,46	95	1,2	6,36
		8	12,74	65	1,5	3,4
		7	9,43	5	2,1	0,25
		5	9,37	180	2,2	8,73
25/09/2006	MACROSECTOR F	1	34,5	ND	ND	ND
		4	9,8	20	1,6	1,27
29/01/2007	MACROSECTOR R-2	72 (I)	6,46	63	1,9	5,13
		72 (II)	2,04	22	1,2	8,99
		72 (III)	1,5	4	0,6	4,44
14/12/2006	MACROSECTOR R-2	81 (I)	2,82	20	0,6	11,84
		81 (II)	6,24	45	1,2	6,01
		81 (250mm)	1,01	30	1,5	19,74

Detección de pérdidas técnicas - Marzo del 2007

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
21/11/2006	MACROSECTOR A	78-79-80	17,52	15	1,0	0,86
		74-75	22,55	45	1,3	1,54
		76-77	14,76	90	1,7	3,59
		73	14,76	295	2,1	9,52
28/08/2006	MACROSECTOR B	70-71	18,3	12	1,2	0,55
		66-69	21,02	228	1,6	6,78
		67-68	19	60	1,6	1,97
		64-65	19	60	3,0	1,05
09/02/2007	MACROSECTOR C	62-63	4,61	9	0,4	4,88
		59-60	8,67	26	0,4	7,50
		58-61	6,89	22	0,5	6,39
02/03/2007	MACROSECTOR C	56-57	14,43	31	1,1	1,95
		54-55	10,59	70	1,2	5,51
21/09/2006	MACROSECTOR D	45-46-47-51	50,68	ND	ND	ND
		43-44	13,99	8	2,2	0,26
		40-41-42	19,84	9	2,2	0,21
		37-39	9,72	5	2,3	0,22
		36-38	12,31	8	2,3	0,28
29/03/2007	MACROSECTOR E	9	13,7	95	1,2	5,78
		8	13,84	60	0,6	7,23
		7	9,91	5	1,8	0,28
		5	14,61	60	0,9	4,56
25/09/2006	MACROSECTOR F	1	34,5	ND	ND	ND
		4	9,8	20	1,6	1,27
29/01/2007	MACROSECTOR R-2	72 (I)	6,46	63	1,9	5,13
		72 (II)	2,04	22	1,2	8,99
		72 (III)	1,5	4	0,6	4,44
14/12/2006	MACROSECTOR R-2	81 (I)	2,82	20	0,6	11,84
		81 (II)	6,24	45	1,2	6,01
		81 (250mm)	1,01	30	1,5	19,74

Detección de pérdidas técnicas - Abril del 2007

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
03/05/2007	MACROSECTOR A	78-79-80	16,62	30	1,1	1,64
		74-75	24,27	55	1,4	1,62
		76-77	16,23	72	1,6	2,77
		73	14,76	158	1,7	6,30
30/04/2007	MACROSECTOR B	70-71	18,42	35	1,3	1,46
		66-69	20,48	57	1,8	1,55
		67-68	19,55	41	1,8	1,17
		65	7,91	ND	ND	ND
09/02/2007	MACROSECTOR C	62-63	4,61	9	0,4	4,88
		59-60	8,67	26	0,4	7,50
58-61		6,89	22	0,5	6,39	
02/03/2007		56-57	14,43	31	1,1	1,95
		54-55	10,59	70	1,2	5,51
21/09/2006		MACROSECTOR D	45-46-47-51	50,68	ND	ND
	43-44		13,99	8	2,2	0,26
	40-41-42		19,84	9	2,2	0,21
	37-39		9,72	5	2,3	0,22
	36-38		12,31	8	2,3	0,28
29/03/2007	MACROSECTOR E	9	13,7	95	1,2	5,78
		8	13,84	60	0,6	7,23
		7	9,91	5	1,8	0,28
		5	14,61	60	0,9	4,56
25/09/2006	MACROSECTOR F	1	34,5	ND	ND	ND
		4	9,8	20	1,6	1,27
29/01/2007	MACROSECTOR R-2	72 (I)	6,46	63	1,9	5,13
		72 (II)	2,04	22	1,2	8,99
		72 (III)	1,5	4	0,6	4,44
14/12/2006		81 (I)	2,82	20	0,6	11,84
		81 (II)	6,24	45	1,2	6,01
		81 (250mm)	1,01	30	1,5	19,74

Detección de pérdidas técnicas - Mayo del 2007

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
03/05/2007	MACROSECTOR A	78-79-80	16,62	30	1,1	1,64
		74-75	24,27	55	1,4	1,62
		76-77	16,23	72	1,6	2,77
		73	14,76	158	1,7	6,30
30/04/2007	MACROSECTOR B	70-71	18,42	35	1,3	1,46
		66-69	20,48	57	1,8	1,55
		67-68	19,55	41	1,8	1,17
		65	7,91	ND	ND	ND
09/02/2007	MACROSECTOR C	62-63	4,61	9	0,4	4,88
		59-60	8,67	26	0,4	7,50
58-61		6,89	22	0,5	6,39	
02/03/2007		56-57	14,43	31	1,1	1,95
		54-55	10,59	70	1,2	5,51
21/09/2006		MACROSECTOR D	45-46-47-51	50,68	ND	ND
	43-44		13,99	8	2,2	0,26
	40-41-42		19,84	9	2,2	0,21
	37-39		9,72	5	2,3	0,22
	36-38		12,31	8	2,3	0,28
29/03/2007	MACROSECTOR E	9	13,7	95	1,2	5,78
		8	13,84	60	0,6	7,23
		7	9,91	5	1,8	0,28
		5	14,61	60	0,9	4,56
25/09/2006	MACROSECTOR F	1	34,5	ND	ND	ND
		4	9,8	20	1,6	1,27
29/01/2007	MACROSECTOR R-2	72 (I)	6,46	63	1,9	5,13
		72 (II)	2,04	22	1,2	8,99
		72 (III)	1,5	4	0,6	4,44
14/12/2006		81 (I)	2,82	20	0,6	11,84
		81 (II)	6,24	45	1,2	6,01
		81 (250mm)	1,01	30	1,5	19,74

Detección de pérdidas técnicas - Junio del 2007

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
03/05/2007	MACROSECTOR A	78-79-80	16,62	30	1,1	1,64
		74-75	24,27	55	1,4	1,62
		76-77	16,23	72	1,6	2,77
		73	14,76	158	1,7	6,30
30/04/2007	MACROSECTOR B	70-71	18,42	35	1,3	1,46
		66-69	20,48	57	1,8	1,55
		67-68	19,55	41	1,8	1,17
28/06/2006		65	7,91	5	1,6	0,40
09/02/2007	MACROSECTOR C	62-63	4,61	9	0,4	4,88
		59-60	8,67	26	0,4	7,50
		58-61	6,89	22	0,5	6,39
02/03/2007		56-57	14,43	31	1,1	1,95
		54-55	10,59	70	1,2	5,51
21/06/2006	MACROSECTOR D	45-46-47-51	50,68	ND	ND	ND
		43-44	13,96	8	2,0	0,29
		38	6,25	0	2,3	0,00
		39-40	10,13	5	2,3	0,21
		41-42	14,41	8	2,3	0,24
28/06/2006		36-37	10,05	9	2,2	0,41
29/03/2007	MACROSECTOR E	9	13,7	95	1,2	5,78
		8	13,84	60	0,6	7,23
		7	9,91	5	1,8	0,28
		5	14,61	60	0,9	4,56
25/09/2006	MACROSECTOR F	1	34,5	ND	ND	ND
		4	9,8	5	2,0	0,26
29/01/2007	MACROSECTOR R-2	72 (I)	6,46	63	1,9	5,13
		72 (II)	2,04	22	1,2	8,99
		72 (III)	1,5	4	0,6	4,44
14/12/2006		81 (I)	2,82	20	0,6	11,84
		81 (II)	6,24	45	1,2	6,01
		81 (250mm)	1,01	30	1,5	19,74

Detección de pérdidas técnicas - Julio del 2007

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
03/05/2007	MACROSECTOR A	78-79-80	16,62	30	1,1	1,64
		74-75	24,27	55	1,4	1,62
		76-77	16,23	72	1,6	2,77
		73	14,76	158	1,7	6,30
30/04/2007	MACROSECTOR B	70-71	18,42	35	1,3	1,46
		66-69	20,48	57	1,8	1,55
		67-68	19,55	41	1,8	1,17
28/06/2006		65	7,91	5	1,6	0,40
09/02/2007	MACROSECTOR C	62-63	4,61	9	0,4	4,88
		59-60	8,67	26	0,4	7,50
		58-61	6,89	22	0,5	6,39
02/03/2007		56-57	14,43	31	1,1	1,95
		54-55	10,59	70	1,2	5,51
21/06/2006	MACROSECTOR D	45-46-47-51	50,68	ND	ND	ND
		43-44	13,96	8	2,0	0,29
		38	6,25	0	2,3	0,00
		39-40	10,13	5	2,3	0,21
		41-42	14,41	8	2,3	0,24
28/06/2006		36-37	10,05	9	2,2	0,41
29/03/2007	MACROSECTOR E	9	13,7	95	1,2	5,78
		8	13,84	60	0,6	7,23
		7	9,91	5	1,8	0,28
		5	14,61	60	0,9	4,56
25/09/2006	MACROSECTOR F	1	34,5	ND	ND	ND
		4	9,8	5	2,0	0,26
01/08/2007	MACROSECTOR R-2	72 (I)	6,46	48	1,9	3,91
		72 (II)	2,04	26	1,3	9,80
		72 (III)	1,50	4	1,0	2,66
14/12/2006		81 (I)	2,82	20	0,6	11,84
		81 (II)	6,24	45	1,2	6,01
		81 (250mm)	1,01	30	1,5	19,74

Detección de pérdidas técnicas - Agosto del 2007

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
03/05/2007	MACROSECTOR A	78-79-80	16,62	30	1,1	1,64
		74-75	24,27	55	1,4	1,62
		76-77	16,23	72	1,6	2,77
		73	14,76	158	1,7	6,30
30/04/2007	MACROSECTOR B	70-71	18,42	35	1,3	1,46
		66-69	20,48	57	1,8	1,55
		67-68	19,55	41	1,8	1,17
28/06/2006		65	7,91	5	1,6	0,40
09/02/2007	MACROSECTOR C	62-63	4,61	9	0,4	4,88
		59-60	8,67	26	0,4	7,50
		58-61	6,89	22	0,5	6,39
02/03/2007		56-57	14,43	31	1,1	1,95
		54-55	10,59	70	1,2	5,51
21/06/2006	MACROSECTOR D	45-46-47-51	50,68	ND	ND	ND
		43-44	13,96	8	2,0	0,29
		38	6,25	0	2,3	0,00
		39-40	10,13	5	2,3	0,21
		41-42	14,41	8	2,3	0,24
28/06/2006		36-37	10,05	9	2,2	0,41
29/03/2007	MACROSECTOR E	9	13,7	95	1,2	5,78
		8	13,84	60	0,6	7,23
		7	9,91	5	1,8	0,28
		5	14,61	60	0,9	4,56
25/09/2006	MACROSECTOR F	1	34,5	ND	ND	ND
		4	9,8	5	2,0	0,26
01/08/2007	MACROSECTOR R-2	72 (I)	6,46	48	1,9	3,91
		72 (II)	2,04	26	1,3	9,80
		72 (III)	1,50	4	1,0	2,66
14/12/2006		81 (I)	2,82	20	0,6	11,84
		81 (II)	6,24	45	1,2	6,01
		81 (250mm)	1,01	30	1,5	19,74

Detección de pérdidas técnicas - Septiembre del 2007

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS 2 (L/s/Km/Bar)
03/05/2007	MACROSECTOR A	78-79-80	16,62	30	1,1	1,64
		76-77	16,23	72	1,6	2,77
74-75		24,27	55	1,6	1,42	
02/10/2007		73	14,76	120	1,7	4,78
30/04/2007	MACROSECTOR B	70-71	18,42	35	1,3	1,46
		66-69	20,48	57	1,8	1,55
27/06/2007		67-68	19,55	41	1,8	1,17
03/10/2007	MACROSECTOR C	65	7,91	5	1,6	0,40
		54	4,34	29	2,0	3,34
55		6,25	25	2,2	1,82	
59		3,71	25	1,8	3,74	
60		4,96	35	1,4	5,04	
02/03/2007		56-57	14,43	31	1,1	1,95
09/02/2007		58-61	6,89	22	0,5	6,39
28/06/2007	MACROSECTOR D	62-63	4,61	9	0,4	4,88
		36-37	10,05	9	2,2	0,41
		38	6,25	0	2,3	0,00
		39-40	10,13	5	2,3	0,21
		41-42	14,41	8	2,3	0,24
43-44		13,96	8	2,0	0,29	
19/09/2007	MACROSECTOR E	45-46-47-51	50,68	ND	ND	ND
		5 (I)	3,34	10	1,2	2,50
		5(II)	7,23	20	0,6	4,61
5(III)		3,87	25	2,5	2,58	
04/10/2007		5	14,44	ND	ND	ND
	8	12,63	55	1,1	3,96	
25/09/2006	MACROSECTOR F	9	13,33	75	1,7	3,31
		1	34,5	ND	ND	ND
28/06/2007		4	9,8	5	2,0	0,26
7		9,91	5	1,8	0,28	
01/08/2007	MACROSECTOR R-2	64	11,45	ND	ND	ND
		72 (I)	6,46	48	1,9	3,91
		72 (II)	2,04	26	1,3	9,80
72 (III)		1,50	4	1,0	2,66	
14/12/2006		81 (I)	2,82	20	0,6	11,84
		81 (II)	6,24	45	1,2	6,01
		81 (250mm)	1,01	30	1,5	19,74

Detección de pérdidas técnicas - Octubre del 2007

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
03/05/2007	MACROSECTOR A	78-79-80	16,62	30	1,1	1,64
		76-77	16,23	72	1,6	2,77
74-75		24,27	55	1,6	1,42	
02/10/2007		73	14,76	120	1,7	4,78
30/04/2007	MACROSECTOR B	70-71	18,42	35	1,3	1,46
		66-69	20,48	57	1,8	1,55
27/06/2007		67-68	19,55	41	1,8	1,17
		65	7,91	5	1,6	0,40
03/10/2007	MACROSECTOR C	54	4,34	29	2,0	3,34
		55	6,25	25	2,2	1,82
59		3,71	25	1,8	3,74	
60		4,96	35	1,4	5,04	
02/03/2007		56-57	14,43	31	1,1	1,95
09/02/2007		58-61	6,89	22	0,5	6,39
	62-63	4,61	9	0,4	4,88	
28/06/2007	MACROSECTOR D	36-37	10,05	9	2,2	0,41
		38	6,25	0	2,3	0,00
		39-40	10,13	5	2,3	0,21
		41-42	14,41	8	2,3	0,24
		43-44	13,96	8	2,0	0,29
	45-46-47-51	50,68	ND	ND	ND	
19/09/2007	MACROSECTOR E	5 (I)	3,34	10	1,2	2,50
		5(II)	7,23	20	0,6	4,61
5(III)		3,87	25	2,5	2,58	
11/10/2007		5	14,44	70	1,1	4,41
04/10/2007		8	12,63	55	1,1	3,96
	9	13,33	75	1,7	3,31	
18/10/2007	MACROSECTOR F	1	37,13	39	2,5	0,42
		4	9,61	1	2,3	0,05
7		9,54	3	2,5	0,13	
28/06/2007		64	11,45	ND	ND	ND
01/08/2007	MACROSECTOR R-2	72 (I)	6,46	48	1,9	3,91
		72 (II)	2,04	26	1,3	9,80
		72 (III)	1,50	4	1,0	2,66
14/12/2006		81 (I)	2,82	20	0,6	11,84
		81 (II)	6,24	45	1,2	6,01
		81 (250mm)	1,01	30	1,5	19,74

Detección de pérdidas técnicas - Noviembre del 2007

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
03/05/2007	MACROSECTOR A	78-79-80	16,62	30	1,1	1,64
		76-77	16,23	72	1,6	2,77
74*-75*		24,27	55	1,6	1,42	
02/10/2007		73	14,76	120	1,7	4,78
30/04/2007	MACROSECTOR B	70*-71	18,42	35	1,3	1,46
		66*-69*	20,48	57	1,8	1,55
27/06/2007		67-68	19,55	41	1,8	1,17
		65	7,91	5	1,6	0,40
03/10/2007	MACROSECTOR C	54	4,34	29	2,0	3,34
		55	6,25	25	2,2	1,82
59		3,71	25	1,8	3,74	
60		4,96	35	1,4	5,04	
02/03/2007		56-57	14,43	31	1,1	1,95
09/02/2007		58-61	6,89	22	0,5	6,39
	62-63	4,61	9	0,4	4,88	
28/06/2007	MACROSECTOR D	36-37	10,05	9	2,2	0,41
		38	6,25	0	2,3	0,00
		39-40	10,13	5	2,3	0,21
		41-42	14,41	8	2,3	0,24
		43-44	13,96	8	2,0	0,29
	45-46-47-51	50,68	ND	ND	ND	
19/09/2007	MACROSECTOR E	5 (I)	3,34	10	1,2	2,50
		5(II)	7,23	20	0,6	4,61
5(III)		3,87	25	2,5	2,58	
08/11/2007		5	14,44	52	1,0	3,60
		8	12,63	50	0,8	4,95
	9	13,33	5	2,3	0,16	
18/10/2007	MACROSECTOR F	1*	37,13	39	2,5	0,42
		4	9,61	1	2,3	0,05
7		9,54	3	2,5	0,13	
28/06/2007		64	11,45	ND	ND	ND
01/08/2007	MACROSECTOR R-2	72 (I)	6,46	48	1,9	3,91
		72 (II)	2,04	26	1,3	9,80
		72 (III)	1,50	4	1,0	2,66
14/12/2006		81 (I)	2,82	20	0,6	11,84
		81 (II)	6,24	45	1,2	6,01
	81 (250mm)	1,01	30	1,5	19,74	

Detección de pérdidas técnicas - Diciembre del 2007

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
27/12/2007	MACROSECTOR A	78-80	13,08	37	1,5	1,89
		79	4,85	17	1,9	1,84
		76-77	16,65	120	1,9	3,79
02/10/2007		74*-75*	24,27	55	1,6	1,42
73		14,76	120	1,7	4,78	
03/01/2008	MACROSECTOR B	65	7,62	13	2,0	0,85
		66	11,64	40	2,0	1,72
		69	9,38	32	2,0	1,71
30/04/2007		67-68	19,55	41	1,8	1,17
	70*-71	18,42	35	1,3	1,46	
02/01/2008	MACROSECTOR C	55	6,25	32	2,3	2,23
		56	5,55	38	2,2	3,11
		57	5,19	30	2,4	2,41
03/10/2007		54	4,34	29	2,0	3,34
		59	3,71	25	1,8	3,74
		60	4,96	35	1,4	5,04
26/12/2007		58-61	6,89	53	1,4	5,49
	62	1,4	5	1,6	2,23	
	63	3,21	8	1,4	1,78	
28/06/2007	MACROSECTOR D	36-37	10,05	9	2,2	0,41
		38	6,25	0	2,3	0,00
		39-40	10,13	5	2,3	0,21
		41-42	14,41	8	2,3	0,24
		43-44	13,96	8	2,0	0,29
		45-46-47-51	50,68	ND	ND	ND
19/09/2007	MACROSECTOR E	5 (I)	3,34	10	1,2	2,50
		5(II)	7,23	20	0,6	4,61
		5(III)	3,87	25	2,5	2,58
08/11/2007		5	14,44	52	1,0	3,60
		8	12,63	50	0,8	4,95
	9	13,33	5	2,3	0,16	
18/10/2007	MACROSECTOR F	1*	37,13	39	2,5	0,42
		4	9,61	1	2,3	0,05
		7	9,54	3	2,5	0,13
28/06/2007		64	11,45	ND	ND	ND
01/08/2007	MACROSECTOR R-2	72 (I)	6,46	48	1,9	3,91
		72 (II)	2,04	26	1,3	9,80
		72 (III)	1,50	4	1,0	2,66
14/12/2006		81 (I)	2,82	20	0,6	11,84
		81 (II)	6,24	45	1,2	6,01
	81 (250mm)	1,01	30	1,5	19,74	

Detección de pérdidas técnicas - Enero del 2008

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
27/12/2007	MACROSECTOR A	78-80	13,08	37	1,5	1,89
		79	4,85	17	1,9	1,84
		76-77	16,65	120	1,9	3,79
02/10/2007		74*-75*	24,27	55	1,6	1,42
73		14,76	120	1,7	4,78	
03/01/2008	MACROSECTOR B	65	7,62	13	2,0	0,85
		66	11,64	40	2,0	1,72
		69	9,38	32	2,0	1,71
30/04/2007		67-68	19,55	41	1,8	1,17
		70*-71	18,42	35	1,3	1,46
23/01/2008		68	6,97	12	2,0	0,86
02/01/2008	MACROSECTOR C	55	6,25	32	2,3	2,23
		56	5,55	38	2,2	3,11
		57	5,19	30	2,4	2,41
03/10/2007		54	4,34	29	2,0	3,34
		59	3,71	25	1,8	3,74
26/12/2007		60	4,96	35	1,4	5,04
		58-61	6,89	53	1,4	5,49
		62	1,4	5	1,6	2,23
		63	3,21	8	1,4	1,78
28/06/2007		MACROSECTOR D	36-37	10,05	9	2,2
	38		6,25	0	2,3	0,00
	39-40		10,13	5	2,3	0,21
	41-42		14,41	8	2,3	0,24
	43-44		13,96	8	2,0	0,29
	45-46-47-51		50,68	ND	ND	ND
19/09/2007	MACROSECTOR E	5 (I)	3,34	10	1,2	2,50
		5(II)	7,23	20	0,6	4,61
		5(III)	3,87	25	2,5	2,58
08/11/2007		5	14,44	52	1,0	3,60
		8	12,63	50	0,8	4,95
		9	13,33	5	2,3	0,16
18/10/2007	MACROSECTOR F	1*	37,13	39	2,5	0,42
		4	9,61	1	2,3	0,05
		7	9,54	3	2,5	0,13
28/06/2007		64	11,45	ND	ND	ND
01/08/2007	MACROSECTOR R-2	72 (I)	6,46	48	1,9	3,91
		72 (II)	2,04	26	1,3	9,80
		72 (III)	1,50	4	1,0	2,66
14/12/2006		81 (I)	2,82	20	0,6	11,84
		81 (II)	6,24	45	1,2	6,01
		81 (250mm)	1,01	30	1,5	19,74

Detección de pérdidas técnicas - Febrero del 2008

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
27/12/2007	MACROSECTOR A	78-80	13,08	37	1,5	1,89
		79	4,85	17	1,9	1,84
		76-77	16,65	120	1,9	3,79
		74-75*	22,55	97	1,6	2,69
28/02/2008		73*	16,08	53	1,7	1,94
03/01/2008	MACROSECTOR B	65	7,62	13	2,0	0,85
		66	11,64	40	2,0	1,72
		69	9,38	32	2,0	1,71
30/04/2007		67	12,45	41	1,8	1,83
23/01/2008		68	6,97	12	2,0	0,86
30/04/2007		70*	11,32	35	1,3	2,38
02/01/2008	MACROSECTOR C	55	6,25	32	2,3	2,23
		56	5,55	38	2,2	3,11
		57	5,19	30	2,4	2,41
03/10/2007	MACROSECTOR C	54	4,34	29	2,0	3,34
		59	3,71	25	1,8	3,74
		60	4,96	35	1,4	5,04
26/12/2007	MACROSECTOR C	58-61	6,89	53	1,4	5,49
		62	1,4	5	1,6	2,23
		63	3,21	8	1,4	1,78
28/06/2007	MACROSECTOR D	36-37	10,05	9	2,2	0,41
		38	6,25	0	2,3	0,00
		39-40	10,13	5	2,3	0,21
		41-42	14,41	8	2,3	0,24
		43-44	13,96	8	2,0	0,29
		45-46-47-51	50,68	ND	ND	ND
26/02/2008	MACROSECTOR E	5 (I)	3,30	4	2,2	0,55
		5 (II)	3,80	22	1,5	3,86
		5 (III)	3,06	6	0,7	2,80
		5 (IV)	4,07	40	1,2	8,18
22/11/2007	MACROSECTOR E	5	14,44	52	1,0	3,60
		8	12,63	50	0,8	4,95
		9	13,33	5	2,3	0,16
18/10/2007	MACROSECTOR F	1*	37,13	39	2,5	0,42
		4	9,61	1	2,3	0,05
		7	9,54	3	2,5	0,13
28/06/2007		64	11,45	ND	ND	ND
21/02/2008	MACROSECTOR R-2	71	6,67	34	1,7	3,00
01/08/2007		72 (I)	6,46	48	1,9	3,91
		72 (II)	2,04	26	1,3	9,80
		72 (III)	1,50	4	1,0	2,66
14/12/2006		81 (I)	2,82	20	0,6	11,82
		81 (II)	6,24	45	1,2	6,01
		81 (250mm)	1,01	30	1,5	19,80

Detección de pérdidas técnicas - Marzo del 2008

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)	
27/12/2007	MACROSECTOR A	78-80	13,08	37	1,5	1,89	
		79	4,85	17	1,9	1,84	
13/03/2008		76	9,26	ND	1,5	ND	
		77	7,39	62	1,5	5,59	
28/02/2008		74-75*	22,55	97	1,6	2,69	
		73*	16,08	53	1,7	1,94	
03/01/2008		MACROSECTOR B	65	7,62	13	2,0	0,85
			66	11,64	40	2,0	1,72
69			9,38	32	2,0	1,71	
23/01/2008			68	6,97	12	2,0	0,86
30/04/2007	70*		11,32	35	1,3	2,38	
	55		6,25	32	2,3	2,23	
02/01/2008	MACROSECTOR C	56	5,55	38	2,2	3,11	
		57	5,19	30	2,4	2,41	
		03/10/2007	54	4,34	29	2,0	3,34
59			3,71	25	1,8	3,74	
18/03/2008		60	4,96	35	1,4	5,04	
		58	4,76	20	1	4,20	
		61	2,13	9	1,1	3,84	
26/12/2007		62	1,40	5	1,6	2,23	
		63	3,21	8	1,4	1,78	
28/06/2007		MACROSECTOR D	36-37	10,05	9	2,2	0,41
	38		6,25	0	2,3	0,00	
	39-40		10,13	5	2,3	0,21	
	41-42		14,41	8	2,3	0,24	
	43-44		13,96	8	2,0	0,29	
	45-46-47-51		50,68	ND	ND	ND	
26/02/2008	MACROSECTOR E	5 (I)	3,30	4	2,2	0,55	
		5(II)	3,80	22	1,5	3,86	
5(III)		3,06	6	0,7	2,80		
22/11/2007		5(IV)	4,07	40	1,2	8,18	
		5	13,94	60	1,2	3,59	
20/03/2008		8	12,63	82	1,0	6,49	
		9	13,33	5	2,3	0,16	
08/11/2007		MACROSECTOR F	1*	37,13	39	2,5	0,42
20/03/2008	4		9,61	1	2,3	0,05	
	7		9,54	3	2,5	0,13	
18/10/2007	64		11,45	ND	ND	ND	
28/06/2007							

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
27/03/2008	MACROSECTOR R-2	67	12,45	33	2,1	1,26
21/02/2008		71	6,67	34	1,7	3,00
27/03/2008		72	8,80	133	1,7	8,89
01/08/2007		72 (I)	6,46	48	1,9	3,91
		72 (II)	2,04	26	1,3	9,80
		72 (III)	1,50	4	1,0	2,66
27/03/2008		81 (I)	4,45	4	2,7	0,33
18/03/2008		81 (II y III)	9,59	36	2,0	1,88

Detección de pérdidas técnicas - Abril del 2008

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)	
27/12/2007	MACROSECTOR A	78-80	13,08	37	1,5	1,89	
		79	4,85	17	1,9	1,84	
24/04/2008		76	9,26	18	1,4	1,39	
13/03/2008		77	7,39	62	1,5	5,59	
28/02/2008		74-75*	22,55	97	1,6	2,69	
		73*	16,08	53	1,7	1,94	
03/01/2008		MACROSECTOR B	65	7,62	13	2,0	0,85
			66	11,64	40	2,0	1,72
69			9,38	32	2,0	1,71	
23/01/2008			68	6,97	12	2,0	0,86
30/04/2007	70*		11,32	35	1,3	2,38	
	55		6,25	32	2,3	2,23	
02/01/2008	MACROSECTOR C	56	5,55	38	2,2	3,11	
		57	5,19	30	2,4	2,41	
		03/10/2007	54	4,34	29	2,0	3,34
18/03/2008		59	3,71	25	1,8	3,74	
		60	4,96	35	1,4	5,04	
		58	4,76	20	1,0	4,20	
26/12/2007		61	2,13	9	1,1	3,84	
		62	1,40	5	1,6	2,23	
		63	3,21	8	1,4	1,78	
28/06/2007		MACROSECTOR D	36-37	10,05	9	2,2	0,41
	38		6,25	0	2,3	0,00	
	39-40		10,13	5	2,3	0,21	
	41-42		14,41	8	2,3	0,24	
	43-44		13,96	8	2,0	0,29	
	45-46-47-51		50,68	ND	ND	ND	
26/02/2008	MACROSECTOR E	5 (I)	3,30	4	2,2	0,55	
		5(II)	3,80	22	1,5	3,86	
		5(III)	3,06	6	0,7	2,80	
22/11/2007		5(IV)	4,07	40	1,2	8,18	
20/03/2008		5	13,94	60	1,2	3,59	
		8	12,63	82	1,0	6,49	
08/11/2007		9	13,33	5	2,3	0,16	
20/03/2008		1*	37,13	39	2,5	0,42	
18/10/2007	MACROSECTOR F	4	9,61	1	2,3	0,05	
		7	9,54	3	2,5	0,13	
28/06/2007		64	11,45	ND	ND	ND	

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
27/03/2008	MACROSECTOR R-2	67	12,45	33	2,1	1,26
21/02/2008		71	6,67	34	1,7	3,00
27/03/2008		72	8,80	133	1,7	8,89
01/08/2007		72 (I)	6,46	48	1,9	3,91
		72 (II)	2,04	26	1,3	9,80
		72 (III)	1,50	4	1,0	2,66
27/03/2008		81 (I)	4,45	4	2,7	0,33
18/03/2008		81 (II y III)	9,59	19	2,3	0,86

Detección de pérdidas técnicas - Mayo del 2008

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)	
27/12/2007	MACROSECTOR A	78-80	13,08	37	1,5	1,89	
		79	4,85	17	1,9	1,84	
24/04/2008		76	9,26	18	1,4	1,39	
13/03/2008		77	7,39	62	1,5	5,59	
28/02/2008		74-75*	22,55	97	1,6	2,69	
		73*	16,08	53	1,7	1,94	
03/01/2008		MACROSECTOR B	65	7,62	13	2,0	0,85
			66	11,64	40	2,0	1,72
69			9,38	32	2,0	1,71	
23/01/2008			68	6,97	12	2,0	0,86
30/04/2007	70*		11,32	35	1,3	2,38	
	55		6,25	32	2,3	2,23	
02/01/2008	MACROSECTOR C	56	5,55	38	2,2	3,11	
		57	5,19	30	2,4	2,41	
		03/10/2007	54	4,34	29	2,0	3,34
18/03/2008		59	3,71	25	1,8	3,74	
		60	4,96	35	1,4	5,04	
		58	4,76	20	1,0	4,20	
26/12/2007		61	2,13	9	1,1	3,84	
		62	1,40	5	1,6	2,23	
		63	3,21	8	1,4	1,78	
28/06/2007		MACROSECTOR D	36-37	10,05	9	2,2	0,41
	38		6,25	0	2,3	0,00	
	39-40		10,13	5	2,3	0,21	
	41-42		14,41	8	2,3	0,24	
	43-44		13,96	8	2,0	0,29	
	45-46-47-51		50,68	ND	ND	ND	
26/02/2008	MACROSECTOR E	5 (I)	3,30	4	2,2	0,55	
		5(II)	3,80	22	1,5	3,86	
		5(III)	3,06	6	0,7	2,80	
22/11/2007		5(IV)	4,07	40	1,2	8,18	
20/03/2008		5	13,94	60	1,2	3,59	
		8	12,63	82	1,0	6,49	
08/11/2007		9	13,33	5	2,3	0,16	
20/03/2008		1*	37,13	39	2,5	0,42	
18/10/2007	MACROSECTOR F	4	9,61	1	2,3	0,05	
		7	9,54	3	2,5	0,13	
28/06/2007		64	11,45	ND	ND	ND	

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
27/03/2008	MACROSECTOR R-2	67	12,45	33	2,1	1,26
21/02/2008		71	6,67	34	1,7	3,00
27/03/2008		72	8,80	133	1,7	8,89
01/08/2007		72 (I)	6,46	48	1,9	3,91
		72 (II)	2,04	26	1,3	9,80
		72 (III)	1,50	4	1,0	2,66
27/05/2008		72 (II)	2,04	22	2,2	4,90
		72 (III)	1,50	3	1,6	1,25
27/03/2008		81 (I)	4,45	4	2,7	0,33
18/03/2008		81 (II y III)	9,59	19	2,3	0,86

Detección de pérdidas técnicas - Junio del 2008

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
27/12/2007	MACROSECTOR A	78-80	13,08	37	1,5	1,89
		79	4,85	17	1,9	1,84
24/04/2008		76	9,26	18	1,4	1,39
13/03/2008		77	7,39	62	1,5	5,59
28/02/2008		74-75*	22,55	97	1,6	2,69
		73*	16,08	53	1,7	1,94
03/01/2008	MACROSECTOR B	65	7,62	13	2,0	0,85
		66	11,64	40	2,0	1,72
		69	9,38	32	2,0	1,71
23/01/2008		68	6,97	12	2,0	0,86
30/04/2007		70*	11,32	35	1,3	2,38
02/01/2008	MACROSECTOR C	55	6,25	32	2,3	2,23
		56	5,55	38	2,2	3,11
		57	5,19	30	2,4	2,41
03/10/2007		54	4,34	29	2,0	3,34
		59	3,71	25	1,8	3,74
		60	4,96	35	1,4	5,04
18/03/2008		58	4,76	20	1,0	4,20
		61	2,13	9	1,1	3,84
26/12/2007		62	1,40	5	1,6	2,23
		63	3,21	8	1,4	1,78
10/07/2008	MACROSECTOR D	36	5,76	4	2,5	0,28
		37	4,29	4	2,5	0,37
		38	6,25	0	2,3	0,00
28/06/2007		39-40	10,13	5	2,3	0,21
		41-42	14,41	8	2,3	0,24
		43-44	13,96	8	2,0	0,29
		45-46-47-51	50,68	ND	ND	ND
26/02/2008	MACROSECTOR E	5 (I)	3,30	4	2,2	0,55
		5(II)	3,80	22	1,5	3,86
		5(III)	3,06	6	0,7	2,80
22/11/2007		5(IV)	4,07	40	1,2	8,18
17/06/2008		5	13,94	77	1,2	4,60
	8	15,31	3	2,5	0,08	
	9	20,10	5	2,5	0,10	
04/06/2008	MACROSECTOR F	1	36,51	78	2,6	0,82
18/10/2007		4	9,61	1	2,3	0,05
		7	9,54	3	2,5	0,13
28/06/2007		64	11,45	ND	ND	ND

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
27/03/2008	MACROSECTOR R-2	67	12,45	33	2,1	1,26
21/02/2008		71	6,67	34	1,7	3,00
27/03/2008		72	8,80	133	1,7	8,89
01/08/2007		72 (I)	6,46	48	1,9	3,91
		72 (II)	2,04	26	1,3	9,80
		72 (III)	1,50	4	1,0	2,66
27/03/2008		81 (I)	4,45	4	2,7	0,33
18/03/2008		81 (II y III)	9,59	19	2,3	0,86

Detección de pérdidas técnicas - Julio del 2008

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
27/12/2007	MACROSECTOR A	78-80	13,08	37	1,5	1,89
		79	4,85	17	1,9	1,84
24/04/2008		76	9,26	18	1,4	1,39
13/03/2008		77	7,39	62	1,5	5,59
28/02/2008		74-75*	22,55	97	1,6	2,69
		73*	16,08	53	1,7	1,94
03/01/2008	MACROSECTOR B	65	7,62	13	2,0	0,85
		66	11,64	40	2,0	1,72
69		9,38	32	2,0	1,71	
23/01/2008		68	6,97	12	2,0	0,86
30/04/2007	70*	11,32	35	1,3	2,38	
02/01/2008	MACROSECTOR C	55	6,25	32	2,3	2,23
		56	5,55	38	2,2	3,11
		57	5,19	30	2,4	2,41
03/10/2007		54	4,34	29	2,0	3,34
		59	3,71	25	1,8	3,74
18/03/2008		60	4,96	35	1,4	5,04
		58	4,76	20	1,0	4,20
		61	2,13	9	1,1	3,84
26/12/2007		62	1,40	5	1,6	2,23
		63	3,21	8	1,4	1,78
10/07/2008	MACROSECTOR D	36	5,76	4	2,5	0,28
28/06/2007		37	4,29	4	2,5	0,37
		38	6,25	0	2,3	0,00
		39-40	10,13	5	2,3	0,21
		41-42	14,41	8	2,3	0,24
		43-44	13,96	8	2,0	0,29
		45-46-47-51	50,68	ND	ND	ND
26/02/2008	MACROSECTOR E	5 (I)	3,30	4	2,2	0,55
		5(II)	3,80	22	1,5	3,86
5(III)		3,06	6	0,7	2,80	
22/11/2007		5(IV)	4,07	40	1,2	8,18
17/06/2008		5	13,94	77	1,2	4,60
		8	15,31	3	2,5	0,08
		9	20,10	5	2,5	0,10
04/06/2008		MACROSECTOR F	1	36,51	78	2,6
18/10/2007	4		9,61	1	2,3	0,05
	7		9,54	3	2,5	0,13
28/06/2007	64		11,45	ND	ND	ND

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
27/03/2008	MACROSECTOR R-2	67	12,45	33	2,1	1,26
21/02/2008		71	6,67	34	1,7	3,00
27/03/2008		72	8,80	133	1,7	8,89
01/08/2007		72 (I)	6,46	48	1,9	3,91
		72 (II)	2,04	26	1,3	9,80
		72 (III)	1,50	4	1,0	2,66
27/03/2008		81 (I)	4,45	4	2,7	0,33
18/03/2008		81 (II y III)	9,59	19	2,3	0,86

Detección de pérdidas técnicas - Agosto del 2008

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
27/12/2007	MACROSECTOR A	78-80	13,08	37	1,5	1,89
		79	4,85	17	1,9	1,84
24/04/2008		76	9,26	18	1,4	1,39
13/03/2008		77	7,39	62	1,5	5,59
28/02/2008		74-75*	22,55	97	1,6	2,69
		73*	16,08	53	1,7	1,94
03/01/2008	MACROSECTOR B	65	7,62	13	2,0	0,85
		66	11,64	40	2,0	1,72
69		9,38	32	2,0	1,71	
23/01/2008		68	6,97	12	2,0	0,86
30/04/2007	70*	11,32	35	1,3	2,38	
02/01/2008	MACROSECTOR C	55	6,25	32	2,3	2,23
		56	5,55	38	2,2	3,11
		57	5,19	30	2,4	2,41
03/10/2007		54	4,34	29	2,0	3,34
		59	3,71	25	1,8	3,74
18/03/2008		60	4,96	35	1,4	5,04
		58	4,76	20	1,0	4,20
		61	2,13	9	1,1	3,84
26/12/2007		62	1,40	5	1,6	2,23
		63	3,21	8	1,4	1,78
10/07/2008	MACROSECTOR D	36	5,76	4	2,5	0,28
28/06/2007		37	4,29	4	2,5	0,37
		38	6,25	0	2,3	0,00
		39-40	10,13	5	2,3	0,21
		41-42	14,41	8	2,3	0,24
		43-44	13,96	8	2,0	0,29
		45-46-47-51	50,68	ND	ND	ND
26/02/2008	MACROSECTOR E	5 (I)	3,30	4	2,2	0,55
		5(II)	3,80	22	1,5	3,86
5(III)		3,06	6	0,7	2,80	
22/11/2007		5(IV)	4,07	40	1,2	8,18
17/06/2008		5	13,94	77	1,2	4,60
		8	15,31	3	2,5	0,08
		9	20,10	5	2,5	0,10
04/06/2008		MACROSECTOR F	1	36,51	78	2,6
18/10/2007	4		9,61	1	2,3	0,05
	7		9,54	3	2,5	0,13
28/06/2007	64		11,45	ND	ND	ND

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
27/03/2008	MACROSECTOR R-2	67	12,45	33	2,1	1,26
21/02/2008		71	6,67	34	1,7	3,00
27/03/2008		72	8,80	133	1,7	8,89
01/08/2007		72 (I)	6,46	48	1,9	3,91
		72 (II)	2,04	26	1,3	9,80
		72 (III)	1,50	4	1,0	2,66
27/03/2008		81 (I)	4,45	4	2,7	0,33
18/03/2008		81 (II y III)	9,59	19	2,3	0,86

Detección de pérdidas técnicas - Septiembre del 2008

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
27/12/2007	MACROSECTOR A	78-80	13,08	37	1,5	1,89
		79	4,85	17	1,9	1,84
24/04/2008		76	9,26	18	1,4	1,39
13/03/2008		77	7,39	62	1,5	5,59
28/02/2008		74-75*	22,55	97	1,6	2,69
		73*	16,08	53	1,7	1,94
03/01/2008	MACROSECTOR B	65	7,62	13	2,0	0,85
		66	11,64	40	2,0	1,72
		69	9,38	32	2,0	1,71
23/01/2008		68	6,97	12	2,0	0,86
30/04/2007		70*	11,32	35	1,3	2,38
02/01/2008	MACROSECTOR C	55	6,25	32	2,3	2,23
		56	5,55	38	2,2	3,11
		57	5,19	30	2,4	2,41
03/10/2007		54	4,34	29	2,0	3,34
		59	3,71	25	1,8	3,74
		60	4,96	35	1,4	5,04
18/03/2008		58	4,76	20	1,0	4,20
		61	2,13	9	1,1	3,84
26/12/2007		62	1,40	5	1,6	2,23
		63	3,21	8	1,4	1,78
10/07/2008	MACROSECTOR D	36	5,76	4	2,5	0,28
		37	4,29	4	2,5	0,37
02/10/2008		43	6,01	3	2,5	0,20
		44	7,95	7	2,5	0,35
28/06/2007		38	6,25	0	2,3	0,00
		39-40	10,13	5	2,3	0,21
		41-42	14,41	8	2,3	0,24
02/10/2008		45-46-47-51*	50,68	55	1,6	0,68
26/02/2008	MACROSECTOR E	5 (I)	3,30	4	2,2	0,55
		5(II)	3,80	22	1,5	3,86
		5(III)	3,06	6	0,7	2,80
22/11/2007		5(IV)	4,07	40	1,2	8,18
		5	13,94	77	1,2	4,60
17/06/2008		8	15,31	3	2,5	0,08
		9	20,10	5	2,5	0,10
26/09/2008	MACROSECTOR F	1	36,51	60	3,3	0,50
18/10/2007		4	9,61	1	2,3	0,05
		7	9,54	3	2,5	0,13
28/06/2007		64	11,45	ND	ND	ND

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
27/03/2008	MACROSECTOR R-2	67	12,45	33	2,1	1,26
21/02/2008		71	6,67	34	1,7	3,00
27/03/2008		72	8,80	133	1,7	8,89
01/08/2007		72 (I)	6,46	48	1,9	3,91
		72 (II)	2,04	26	1,3	9,80
		72 (III)	1,50	4	1,0	2,66
27/03/2008		81 (I)	4,45	4	2,7	0,33
18/03/2008		81 (II y III)	9,59	19	2,3	0,86

Detección de pérdidas técnicas - Octubre del 2008

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)	
20/11/2008	MACROSECTOR A	80	4,86	11	2,0	1,13	
		79	4,85	26	2,5	2,14	
		78	8,22	92	2,5	4,48	
13/03/2008		77	7,39	62	1,5	5,59	
24/04/2008		76	9,26	18	1,4	1,39	
27/11/2008		75	8,92	9	1,7	0,59	
		74	13,64	79	2,1	2,76	
		73	16,08	70	2,0	2,18	
03/01/2008		MACROSECTOR B	65	7,62	13	2,0	0,85
			66	11,64	40	2,0	1,72
69	9,38		32	2,0	1,71		
23/01/2008	68		6,97	12	2,0	0,86	
30/04/2007	70*		11,32	35	1,3	2,38	
18/03/2008	81		9,59	19	2,3	0,86	
02/01/2008	MACROSECTOR C	55	6,25	32	2,3	2,23	
		56	5,55	38	2,2	3,11	
		57	5,19	30	2,4	2,41	
03/10/2007		54	4,34	29	2,0	3,34	
		59	3,71	25	1,8	3,74	
		60	4,96	35	1,4	5,04	
13/11/2008		58	4,76	35	1,0	7,35	
		61	2,13	11	2,1	2,46	
		62	1,40	6	2	2,14	
		63	3,21	10	1,7	1,83	
10/07/2008	MACROSECTOR D	36	5,76	4	2,5	0,28	
37		4,29	4	2,5	0,37		
23/10/2008		38	6,25	6	2,9	0,33	
		39	4,96	0	2,9	0,00	
		40	5,17	3	2,9	0,20	
02/10/2008		41-42	14,41	7	3,0	0,16	
		43	6,01	3	2,5	0,20	
02/10/2008		44	7,95	7	2,5	0,35	
02/10/2008		45-46-47-51*	50,68	55	1,6	0,68	
26/02/2008		MACROSECTOR E	5 (I)	3,30	4	2,2	0,55
	5(II)		3,80	22	1,5	3,86	
	5(III)		3,06	6	0,7	2,80	
22/11/2007	5(IV)		4,07	40	1,2	8,18	
17/06/2008	5		13,94	77	1,2	4,60	
	8		15,31	3	2,5	0,08	
	9		20,10	5	2,5	0,10	

FECHA DE PRUEBA DE STEP TEST	MACROSECTOR HIDRAULICO	SECTOR HIDRÁULICO	LONGITUD DE REDES (Km)	CAUDAL (L/s)	PRESION (Bar)	INDICADOR DE PERDIDAS (L/s/Km/Bar)
26/09/2008	MACROSECTOR F	1	36,51	60	3,3	0,50
18/10/2007		4	9,61	1	2,3	0,05
		7	9,54	3	2,5	0,13
28/06/2007			64	11,45	ND	ND
27/03/2008	MACROSECTOR R-2	67	12,45	33	2,1	1,26
21/02/2008		71	6,67	34	1,7	3,00
27/03/2008		72	8,80	133	1,7	8,89
01/08/2007		72 (I)	6,46	38	2,5	2,35
		72 (II)	2,04	32	1,7	9,23
		72 (III)	1,50	6	1,2	3,33
27/03/2008			98	4,45	4	2,7

Anexo 25

Equipos de detección electroacústica [9]

Geófono.

El geófono es un equipo de localización de fugas, compuesto por un módulo de control y amplificación, un micrófono de tipo campana, un par de auriculares y una varilla de contacto.



Geófono Xmic con varilla de contacto, micrófono de campana y trípode.
(Fuente: Palmer Environmental Literature Pack, 2003)

Su principio de operación consiste en captar los ruidos generados por las vibraciones de las fugas en las tuberías a presión, convertirlos en impulsos electrónicos que luego son enviados al ciclo de amplificación. Después de ser

filtrados para separar la señal de fuga de las demás señales que interfieren, se convierten en señales sonoras, audibles por un operador.

- El *micrófono de campana* es utilizado para captar sonidos en la superficie del terreno, percibiendo los ruidos de fuga transmitidos por frecuencias profundas y sordas, es decir, aquellas entre 20 y 300 Hz. Está protegido por una carcasa que lo aísla del ruido de ambiente y del viento, de forma que se perciba el sonido transmitido por el suelo y no a través del aire, y su contacto con la superficie se realiza mediante una semiesfera metálica, con lo que se consigue un contacto sin ruidos desagradables.
- La *varilla de exploración (o contacto)* se utiliza para captar sonidos desde partes accesibles de la red, es decir en los accesorios tales como válvulas, hidrantes o llaves de cierre; percibiendo los ruidos de fugas de frecuencias elevadas (500 a 1.500 Hz) que se transmiten por las tuberías.

La utilización del micrófono y de la varilla de exploración varía de acuerdo al tipo de problema que se necesita resolver. La varilla de exploración es utilizada en contacto con la red y sus accesorios para la prelocalización (exploración previa) de la zona de posibles fugas. El micrófono de suelo

localiza exactamente las fugas existentes en las zonas exploradas previamente.

- El *módulo de control* del equipo cumple la función de facilitar al operador del equipo la tarea de detección a través del siguiente proceso:
 1. Receptar los sonidos de fugas percibidos por las diferentes sondas acústicas (varilla de contacto o micrófono de campana)
 2. Amplificar los sonidos captados
 3. Convertirlos en señales audibles
 4. Eliminar por filtración los ruidos perturbadores del sonido de la fuga
 5. Mostrar en pantalla la intensidad de los sonidos mediante el empleo de valores numéricos y relativos.
 6. Transmitir las señales audibles hacia los auriculares
 7. Amplificarlos y filtrarlos para de la percepción acústica y óptica de los sonidos de fugas, esto es: Amplificar los sonidos captados.

En el módulo de control se encuentran los mandos de funcionamiento e indicadores visuales (que permiten la comparación objetiva de las intensidades de diferentes puntos de percusión) con pantallas tipo LCD, analógicas o LED desde donde se ajustan los filtros de amplitud y frecuencia para eliminar los ruidos de fondo que perturban la escucha.

Para el caso de los geófonos SEWERIN A-100 el valor numérico que se muestra en la pantalla indica el nivel de ruido en cada punto de contacto. Este valor se va almacenando hasta llegar al punto de mayor ruido que determina la posible cercanía al punto de fuga. En la fotografía 13 el número de mayor dimensión corresponde al punto actual de prospección, mientras que el número más pequeño indica el nivel de ruido en el punto anterior



Valores numéricos indicadores del nivel de ruido en un módulo de control SEWERIN.
(Fuente: Manual de usuario para geófono SEWERIN modelo A100)

- Los *auriculares* sirven para la percepción del sonido de fugas ampliados por el módulo de control. Generalmente, los auriculares son de construcción liviana especial y están concebidos para amortiguar los ruidos exteriores para cuando se trabaje en condiciones difíciles.

Correlador acústico MicroCorr 6.

Un correlador acústico MicroCorr 6 es un analizador de ruidos de fuga que es capaz de determinar el punto exacto de fuga con independencia de las condiciones ambientales. Por lo que es de aplicación necesaria en aquellos tramos de red en zonas de mucho tráfico que impiden el trabajo con geófonos (debido al elevado ruido ambiente).



Correlador MicroCorr 6 de Palmer. Unidad central, y estaciones remotas de correlación acústica.
(Fuente: Subgerencia de Agua Potable, Interagua C. Ltda.)

Este equipo está compuesto por una unidad central, una pareja de estaciones remotas, auriculares y un software para el tratamiento de datos.

- Las *estaciones remotas* están compuestas por radios transmisores, y acelerómetros o hidrófonos con cables de conexión a los sensores de contacto. Los sensores (magnéticos) de los acelerómetros establecen contacto físico en puntos de la tubería o en piezas accesorias de la misma y captan las señales vibratorias que se propagan a lo largo de la tubería, en direcciones opuestas a partir de la fuga. Las señales captadas son enviadas a través de los radios transmisores a la unidad central para su medición y análisis.
- La *unidad central* es un microprocesador que realiza las correlaciones de sonidos mediante funciones de amplificación, selección de filtros, control y tratamiento de datos para finalmente mostrar en pantalla el gráfico de correlación de la fuga. El gráfico de correlación tiene indicaciones de distancias de la fuga en relación a los sensores.
- El equipo incluye *auriculares*, generalmente de alta calidad de aislamiento del ruido ambiental, pueden ser conectados a la unidad central para analizar los sonidos de fugas, sus intensidades y niveles de interferencia.

El proceso práctico que realiza un correlador acústico para la localización de una fuga es el siguiente:

1. El sonido de fuga, que se propaga a lo largo de la tubería en sentidos opuestos en relación al punto de la fuga con velocidades aproximadamente iguales, es captado por dos micrófonos.
2. Los sonidos registrados son transmitidos vía radio a la unidad central.
3. La unidad central analiza los sonidos introduciendo una serie de datos referentes al tramo en estudio (distancia entre los micrófonos, material y diámetro de la red).
4. El correlador calcula el punto exacto de la fuga, y la distancia existente entre esta y el punto de contacto físico más próximo.
5. Los resultados son mostrados gráficamente en la pantalla del equipo. Este gráfico mostrará la localización exacta de la fuga como un pico.

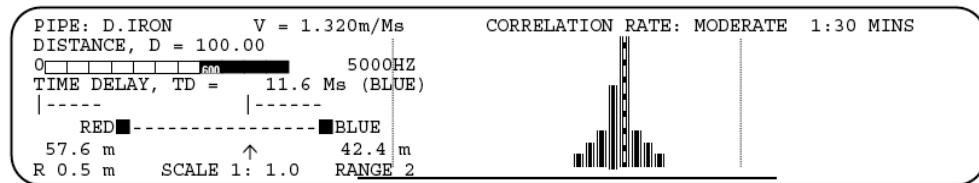
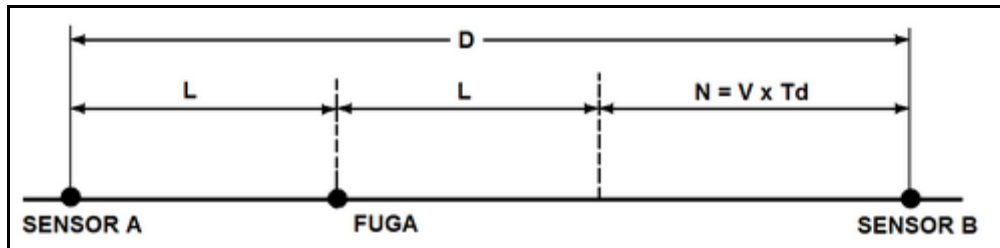


Gráfico e información de correlación mostrado en pantalla de MicroCorr 6
(Fuente: Manual de usuario para correlador SEWERIN modelo SeCorr 08)

El principio de funcionamiento de un correlador acústico se basa en el tratamiento matemático de las señales a través de la Transformada de Fourier, mediante la cual se obtienen los tiempos de llegada del ruido de fuga a cada sensor. Este consiste en la determinación de la diferencia de tiempo

(T_d) que emplea el sonido de fuga en llegar al transmisor B con respecto del transmisor A. Este proceso se realiza por la técnica conocida como correlación-cruzada, en la que las vibraciones sonoras captadas por los sensores A y B se convierten en señales eléctricas que alimentan directamente al correlador, que junto con datos de longitud y velocidad del sonido realizan el cálculo de correlación.



Esquema de correlación acústica con dos sensores para localizar una fuga

La velocidad de desplazamiento del sonido de fuga en una tubería es aproximadamente constante para un mismo conjunto de tuberías; y depende del diámetro del tubo, del material que es construido, y del espesor de la pared del tubo, siendo posible en función de dichos datos adoptar un valor.

El correlador retarda, progresivamente, una señal en relación a la otra, comparando en forma continua la similitud entre ellas. El tiempo de retardo de la señal proveniente del sensor más próximo de la fuga hasta que las dos

señales coinciden es igual a la diferencia entre los tiempos transcurridos por el ruido para alcanzar los puntos A y B.

- Tiempo para alcanzar el sensor $A = \frac{L}{V}$
- Tiempo para alcanzar el sensor $B = \frac{D-L}{V}$
- La resta entre estos dos valores proporciona la diferencia entre los dos tiempos de recorrido $Td = \frac{D-2L}{V}$

Como este tiempo de demora es dado por el correlador, en el momento en que las dos señales coinciden, el valor de L podría determinarse con la

expresión:
$$L = \frac{D - V \times Td}{2}$$

Donde:

D = distancia entre los dos sensores

L = distancia de la fuga al sensor mas próximo

V = velocidad del ruido a lo largo del tubo.

Td = diferencia entre los tiempos transcurridos para que el ruido de la fuga alcance los dos sensores.

En consecuencia, si la velocidad del sonido, la diferencia del tiempo de recorrido, y la distancia entre los sensores son conocidas, es posible determinar la posición de la fuga.

Cuando las dos señales coinciden se establece un pico en el gráfico de correlación. La correlación determina no solamente el tiempo de demora sino también cual es el punto de contacto físico más próximo a la fuga.

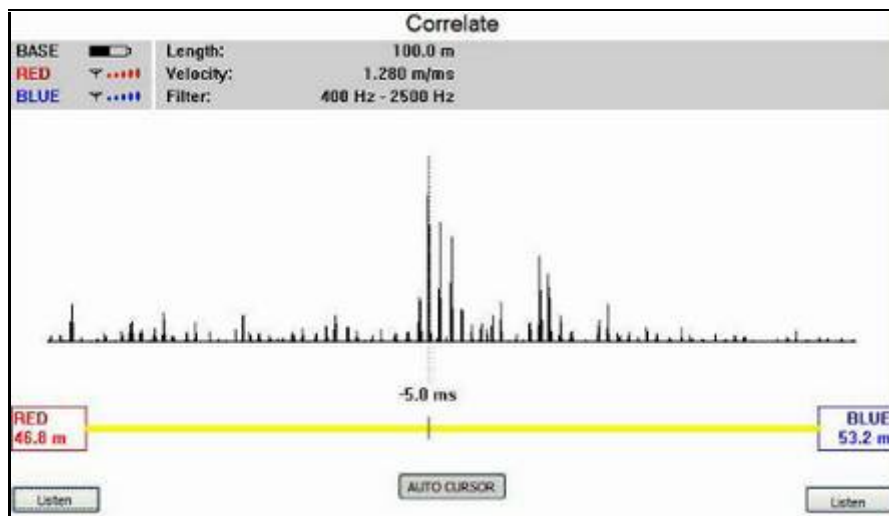


Gráfico de correlación para localizar una fuga con MicroCorr 7.
(Fuente: Manual de usuario para correlador MicroCorr 7 de Palmer Environmental Literature Pack, 2003)

Correlador electroacústico multidireccional.

El correlador electroacústico multidireccional SoundSens está conformado por tres componentes: set de 6 CP (Correlating Pod) Loggers, una unidad central para la programación y descarga de datos, y una computadora portátil.

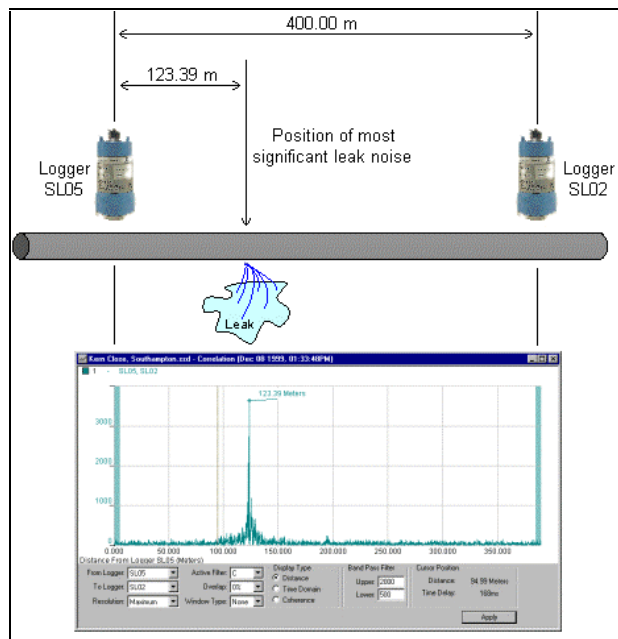


Correlador multidireccional SoundSens, set de 6 CP logres, unidad central para programación y descarga de datos, y computadora portátil utilizada para la descarga y análisis de datos de correlación.
(Fuente: Subgerencia de Aqua Potable, Interaqua C. Ltda.)

Los *CP loggers* pueden trabajar completamente sumergidos por tener grado de protección IP68. Estos llevan incorporado un imán para su instalación que permite una fácil sujeción a los accesorios metálicos de la red para entrar en contacto con la tubería. Pueden ser empleados en lugares donde predominan los ruidos a bajas frecuencias causadas por: bajas presiones, tuberías de gran diámetro o tuberías de material plástico, en general, donde la transmisión del sonido a través de las paredes de las tuberías es pobre.

Los CP Loggers se instalan alrededor de una posible fuga para grabar, por varios periodos de tiempo, los sonidos que se propagan a lo largo de la tubería. Los datos registrados son descargados al software de una

computadora portátil, que junto con la información de campo ingresada, realiza la correlación de la información y muestra en pantalla un gráfico de correlación y un diagrama con las distancias de localización exacta de la fuga. El proceso no es afectado por los ruidos de fondo producidos por el tráfico, bombas hidráulicas, etc., pudiendo por lo tanto utilizarse durante el día.



Esquema de ubicación de loggers y gráfico de correlación de una fuga detectada utilizando 2 CP loggers del correlador multidireccional SoundSens
(Fuente: Subgerencia de Agua Potable, Interagua C. Ltda.)

La ventaja de este correlador multidireccional sobre el correlador MicroCorr 6 es la posibilidad de poder utilizar más de dos CP Loggers en correlaciones a lo largo de tuberías, lo que representa una mayor oportunidad de detectar múltiples fugas o confirmar la ubicación de la única existente.

Anexo 26

Bases para la localización de fugas no visibles [13]

El sonido de una fuga es similar al ruido del vapor de agua o de un torrente de agua. Su formación es consecuencia del rozamiento del agua saliente de la tubería con la pared de esta, y del choque del chorro del agua con el terreno (suelo, piedras) en la cercanía del punto de fuga.

Siendo más grave o agudo (más intenso o menos intenso) dependiendo de condiciones tales como presión de agua, tamaño de la fuga, tipo de suelo, tipo de pavimento, profundidad, material del tubo, etc.

Para localización de fugas no visibles se debe tener en consideración las características de las diferentes clases de sonidos que se producen al escapar el agua por la falla de una tubería. Información que al ser utilizada por un técnico-operador de equipos de detección electroacústica adiestrado permitirá no solamente detectar la presencia de fugas en tuberías, sino también determinar su posición exacta.

Generalmente los sonidos producidos por las fugas son más fuertes cuando se sitúan en el rango de 400 Hz hasta 1.800 Hz, y se deben a la turbulencia

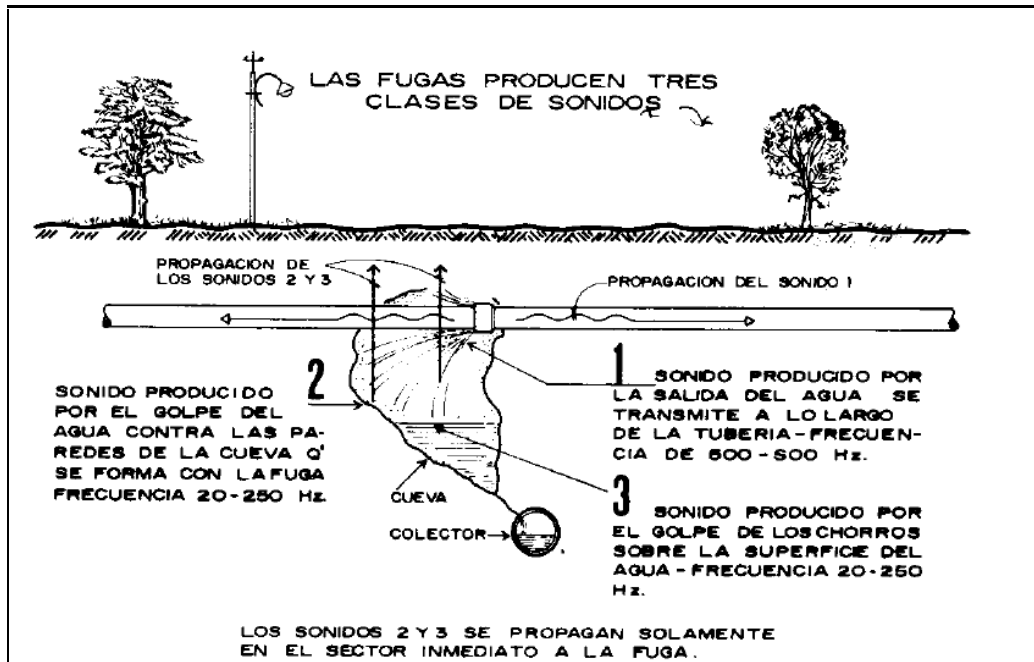
ocasionada por la circulación del fluido en la zona de escape de la tubería de presión. Algunas veces se suman a estas otras frecuencias mas bajas, producto de la violenta agitación que produce el escape al chocar en el suelo o en el material de relleno de la tubería bajo presión.

La combinación de frecuencias altas y bajas caracteriza el ruido de una fuga de alta presión en el subsuelo, formando un sonido hueco y frecuentemente con ruidos de fondo similares a golpes. Estos sonidos recorren la tubería como si fuesen telegrafados a través de la misma.

En general, los sonidos que producen las fugas pueden clasificarse en tres clases:

1. Sonido producto de la vibración del tubo: se propaga principalmente a lo largo de la tubería alcanzando distancias considerables con frecuencias comprendidas entre 500 y 800 Hz. Este sonido es detectable usando el geófono de localización en contacto directamente con la tubería aplicando la varilla en válvulas, hidrantes, medidores, que permite percibir el sonido que estos accesorios transmiten al auricular del equipo y detectar la presencia de fuga en la tubería.
2. Sonido producto del golpe del agua contra las paredes de la cueva originada por el escape.

3. Sonido producto del impacto de los chorros sobre la superficie del agua.
Estas dos últimas clases de sonido se propagan solamente alrededor de la fuga, en el sector inmediato a esta con frecuencias entre 20 y 250 Hz. Estas frecuencias son escuchadas por medio de geófonos apoyados sobre la superficie del terreno en el alineamiento de la tubería para determinar la posición de la fuga.



Clases de sonidos producidos por las fugas.
(Fuente: Tecnología en distribución de agua potable, DTIAPA-CEPIS, 1980)

La intensidad del sonido de fuga es función de la presión del agua en la tubería, del tipo de daño en la tubería, y de la densidad del terreno alrededor del punto de fuga. Mientras que la percepción y la transmisión están condicionados a las características físicas del terreno alrededor de la tubería.

La densidad (dureza y resistencia) del terreno que transmite el sonido de fuga es importante. Pues, cuanto más elevada es la densidad, la velocidad y alcance del sonido será mayor; y será menor el amortiguamiento de los sonidos de frecuencias más altas.

El suelo de densidad relativamente baja transmite los ruidos de fugas a menores distancias y además amortigua las partes de altas frecuencias. Por lo que es posible afirmar que el material de relleno de excavación recientemente colocado en una zanja para tuberías, es mal conductor del sonido. En los suelos arcillosos, las vibraciones de escape son atenuadas o amortiguadas a medida que la zona adyacente a la fuga va aproximándose al punto de saturación y el suelo adquiere más plasticidad.

Cuando el punto de avería se encuentra dentro de una bolsa de agua, a pesar de mantener el geófono de localización en posición vertical sobre el punto de fuga, no se percibe un máximo de ruidos, sino un mínimo. Esto se debe a que en el instante que el agua saliente por el orificio de fuga entra en la bolsa de agua, no produce el ruido característico de chorro contra un obstáculo. A pesar de ello, el agua saliente provoca oscilaciones de la tubería en los extremos de la bolsa de agua que rodea la fuga y son transmitidas al

suelo que la rodea. Por esta razón el ruido de fuga es perceptible a ambos lados del punto fuga.

Adicionalmente es necesario mencionar que el sonido de las fugas disminuye con el diámetro, pues, a mayor dimensión de las tuberías se reduce el alcance de la transmisión del sonido.

En el proceso de captar y amplificar los ruidos provocados por fugas también se puede captar y amplificar los ruidos del medio ambiente además de los producidos por el mismo equipo electrónico. Es bastante usual y de cierta eficiencia, la remoción de ruidos indeseables usando los filtros de frecuencia.

Los geófonos amplifican los sonidos y eliminan, por medio de filtros, aquellos ruidos perturbadores cuya frecuencia caiga fuera de los rangos correspondientes a las vibraciones producidas por las fugas. Sin embargo, quedan algunos "sonidos de fondo" que tienen frecuencias similares a las del sonido de una fuga; como los producidos por acondicionadores de aire, por compresores y el de las llantas de los vehículos al rodar sobre una vía.

La única posibilidad para la supresión de las fuentes de ruidos perturbadores es un desplazamiento de la acción de detección de fugas a las horas nocturnas.

Anexo 28

Cavitación [1]

La cavitación es la liberación de burbujas de aire disuelto en el fluido por causa de un cambio súbito de presión, y su posterior colapso.

Este fenómeno ocurre cuando un líquido fluye a través de una región donde la presión es menor que su presión de vapor; el líquido hierve ocasionando que el agua se condense y forme un gran número de pequeñas burbujas de vapor. Estas burbujas son transportadas por el líquido hasta llegar a una región de mayor presión, donde el vapor regresa al estado líquido de manera súbita, implorando bruscamente las burbujas. El colapso de las burbujas de vapor forma cavidades que aceleran el agua circundante y producen un aumento localizado de la presión.

Si las burbujas de vapor se encuentran cerca o en contacto con una pared sólida cuando cambian de estado, las fuerzas ejercidas por el líquido al aplastar la cavidad dejada por el vapor dan lugar a presiones localizadas muy altas, ocasionando picaduras sobre la superficie sólida. Toda superficie cercana al punto de ocurrencia de este fenómeno estará sujeta a presiones elevadas que aceleran las burbujas y producen impactos en el contorno.

Este fenómeno causa daños severos en las superficies metálicas internas de válvulas y tuberías. Adicionalmente produce fluctuaciones de presión y pérdida de eficiencia de las válvulas reguladoras de presión.

El **índice de cavitación** es determinado por la relación entre la presión de entrada y la presión de salida, y puede ser calculado por la siguiente fórmula:

$$K = \frac{P_{entrada} - P_{salida}}{P_{entrada}} \times 10, \text{ donde:}$$

K = índice de cavitación

$P_{entrada}$ = Presión de entrada, expresada en [mca]

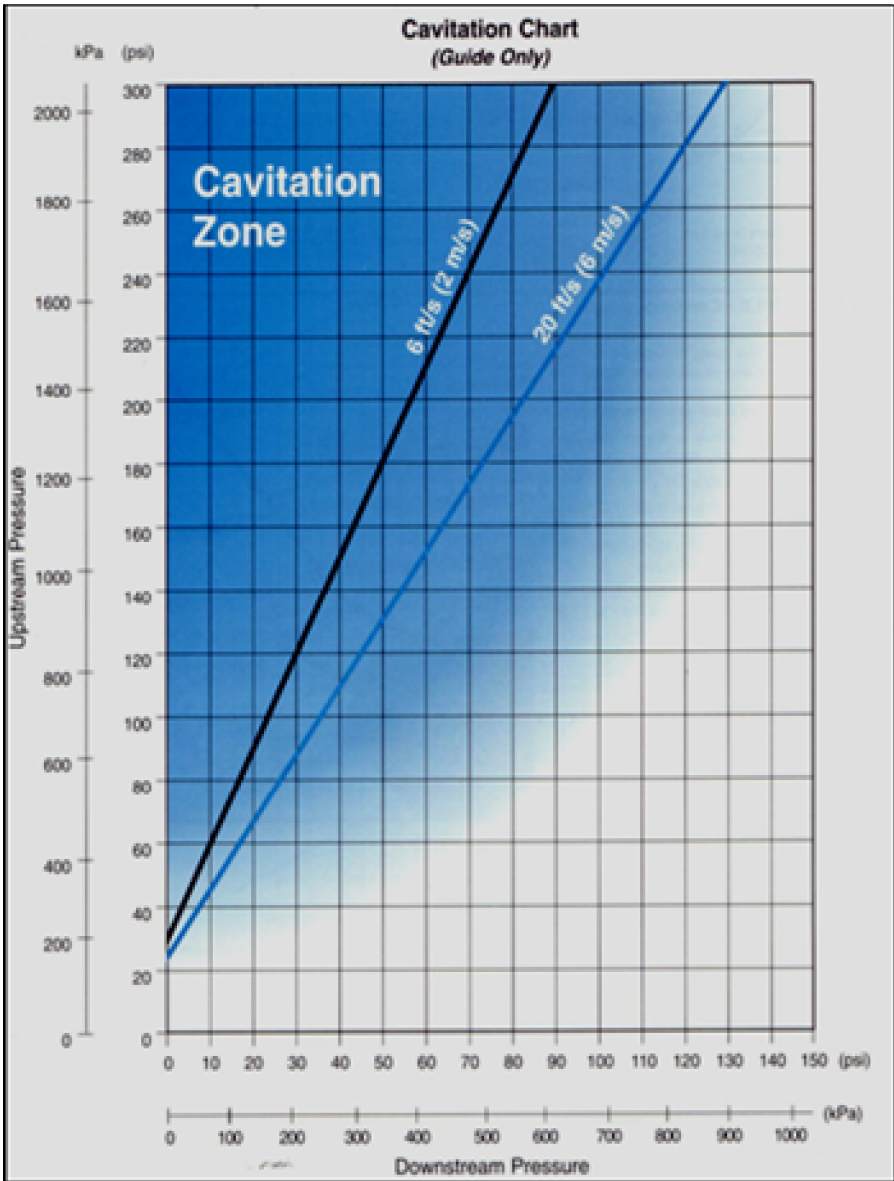
P_{salida} = Presión de salida, expresada en [mca]

Si $K > 0.3$ el sonido producido debido a la cavitación es un silbido muy agudo y puede alcanzar niveles evidentes. Cuando $K > 0.6$ el sonido producido es similar a un rastrillado metálico, indicio de que la cavitación produce daños severos; generalmente el material se desgarrará dejando una superficie rugosa y picada.

Anexo 29

Carta para análisis de cavitación utilizada en el procedimiento de diseño de la estación reguladora de presión ERP-CTP-001

(Fuente: Singer Valve)



Anexo 30

Memoria de cálculo para el dimensionamiento de las válvulas reguladoras de presión para la estación ERP-CTP-001

(Fuente: Sugerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)

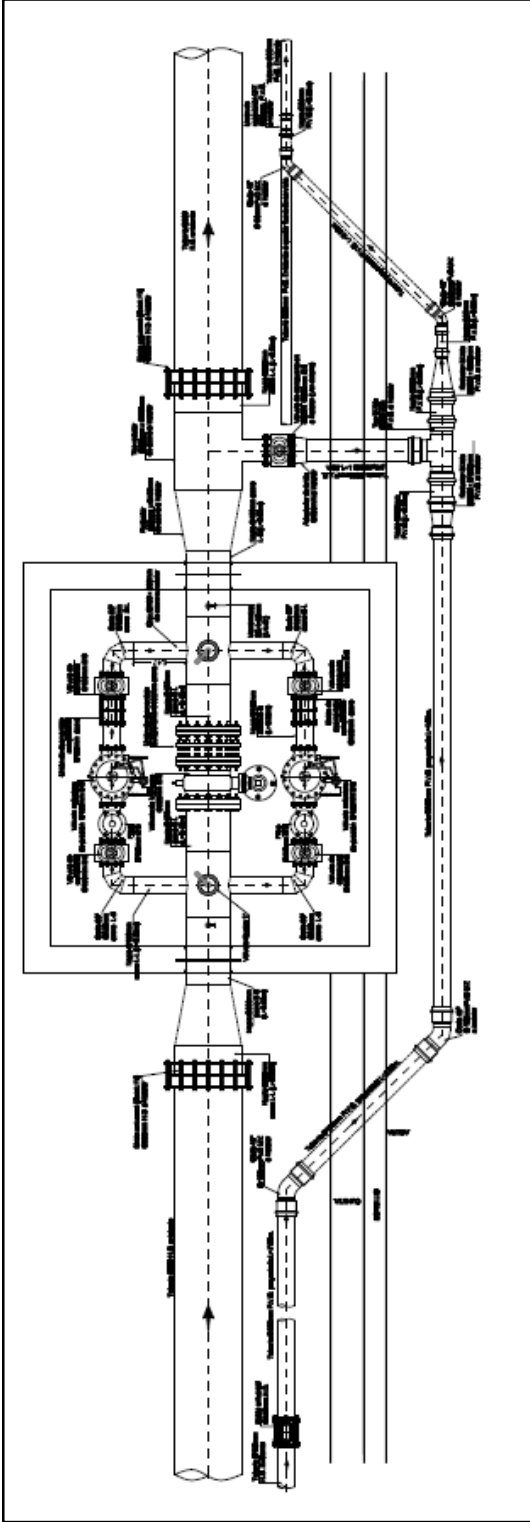
Características físicas e hidráulicas del sector hidráulico CTP-001

Longitud de redes (m)	36507
Longitud de tuberías de PVC (m)	34059
Longitud de tuberías de HD (m)	2448
Longitud de tuberías de AC (m)	-
No total de conexiones	3276
Consumo promedio (m ³ /mes)	82966.53
Consumo clandestinos (m ³ /mes)	2655
Demanda neta (l/s)	32.01 l/s
ANC (%)	70%
Eficiencia (%)	30%
Factor de mayoración	1.3
Demanda Bruta estimada (l/s)	138.7
Demanda Bruta medida (l/s)	-
Caudal de diseño (l/s)	138.7

Memoria de cálculo para el dimensionamiento de una válvula reguladora de presión de la estación reguladora de presión ERP-CTP-001

Datos hidráulicos del sector		
Caudal de diseño	69.4 l/s	1100.9 gal/min
Presión de entrada	22 mca	31.43 Psi
Presión de salida	15 mca	21.43 Psi
Velocidad máxima	5 m/s	16 ft/s
Diámetro mínimo de la VRP		
Diámetro mínimo según velocidad	5.2 pulgadas	
Cv mínimo	348.1	348.1
Diámetro mínimo según Cv (válvula seleccionada)	6 pulgadas	
Cv de válvula seleccionada	460	
Análisis de Cavitación		
P salida > 1/3 P entrada	Condición no cavitación	
Velocidad (m/s)	3.8 m/s	12.5 ft/s
Análisis de velocidad máxima	Velocidad admisible	
Cálculo de Pérdidas		
ΣΔ Pérdidas en accesorios	5.72 m	
Δ Reguladora escogida totalmente abierta	4.0 m	5.7 Psi
Δ Filtro	0.6 m	
Δ Estación reguladora de presión	8.83 m	

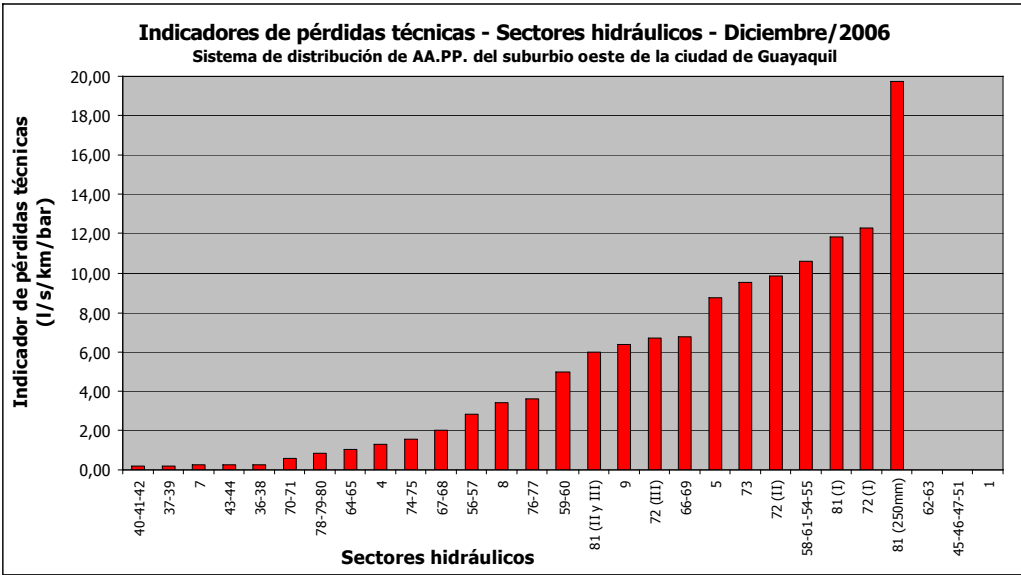
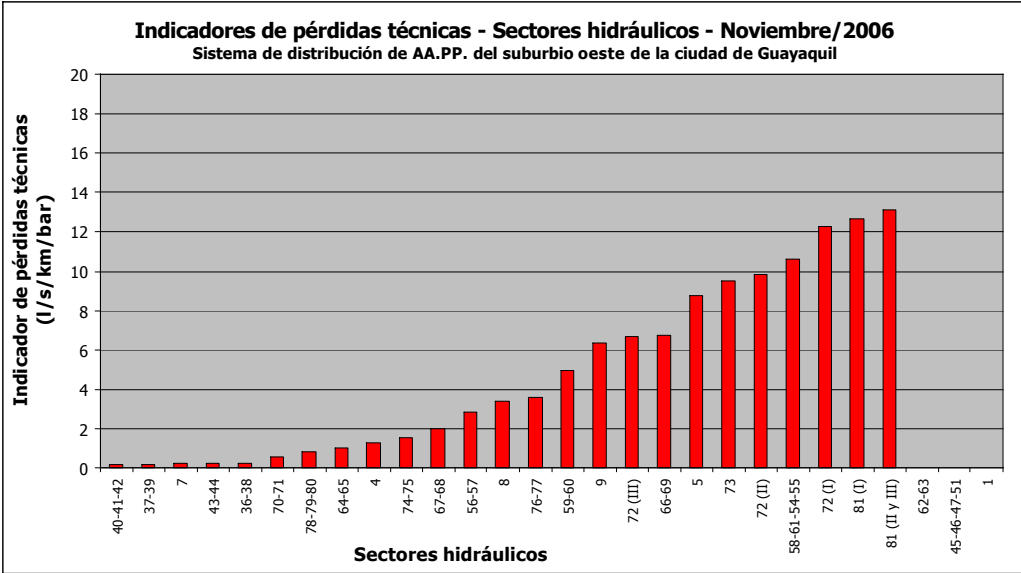
Anexo 31
Estación reguladora de presión ERP-CTP-001
(Fuente: Subgerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda., 2007)

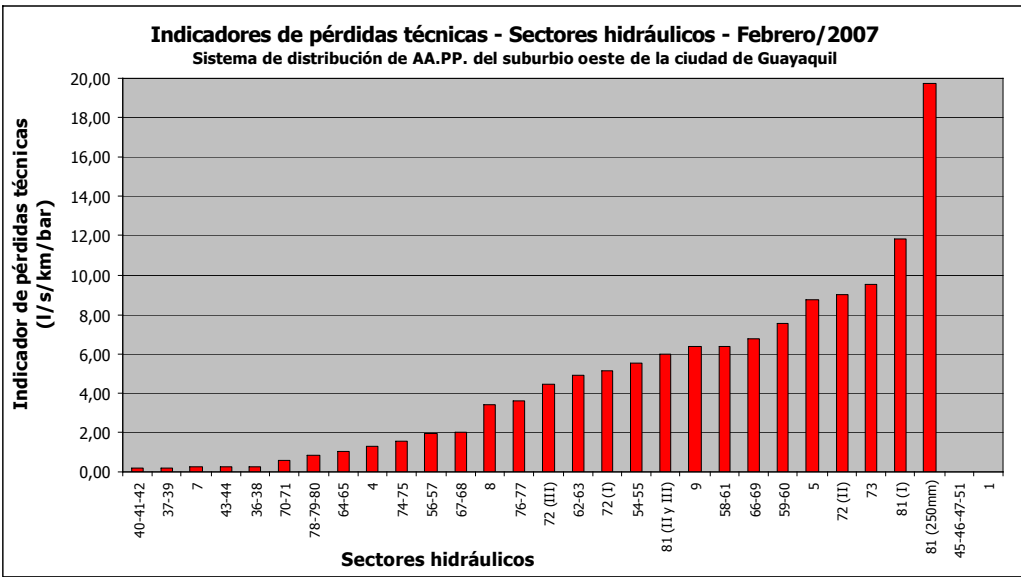
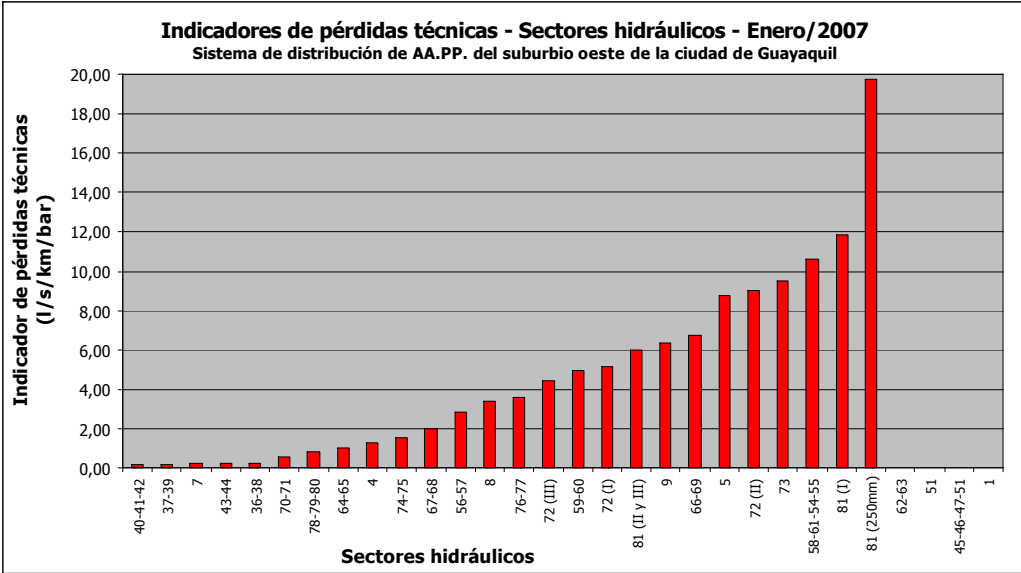


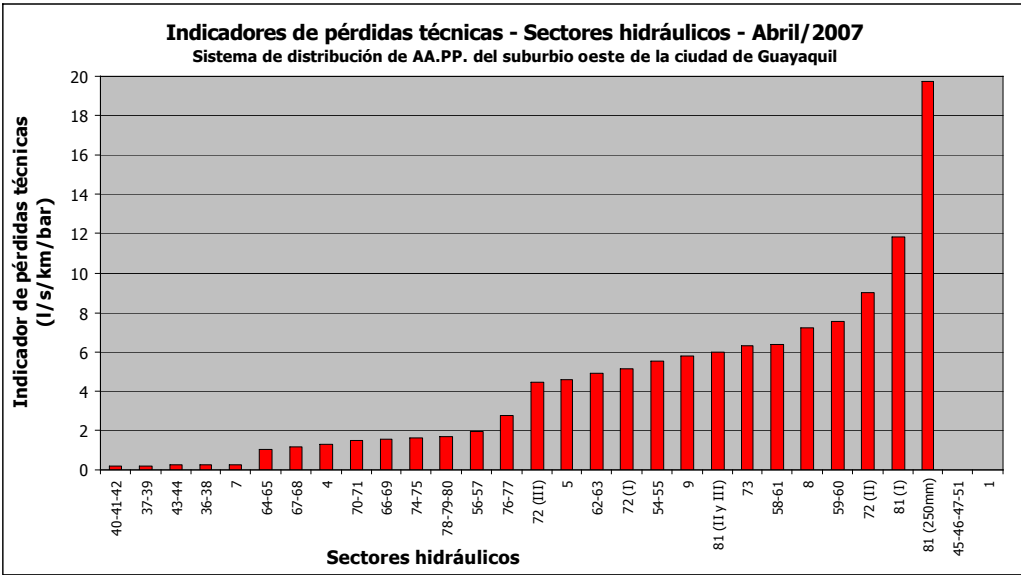
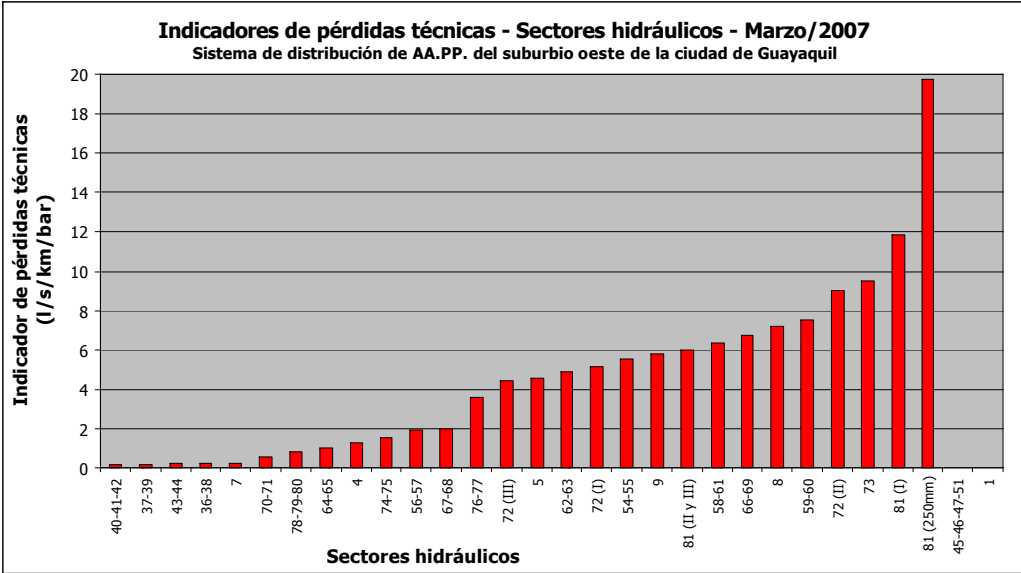
Anexo 32

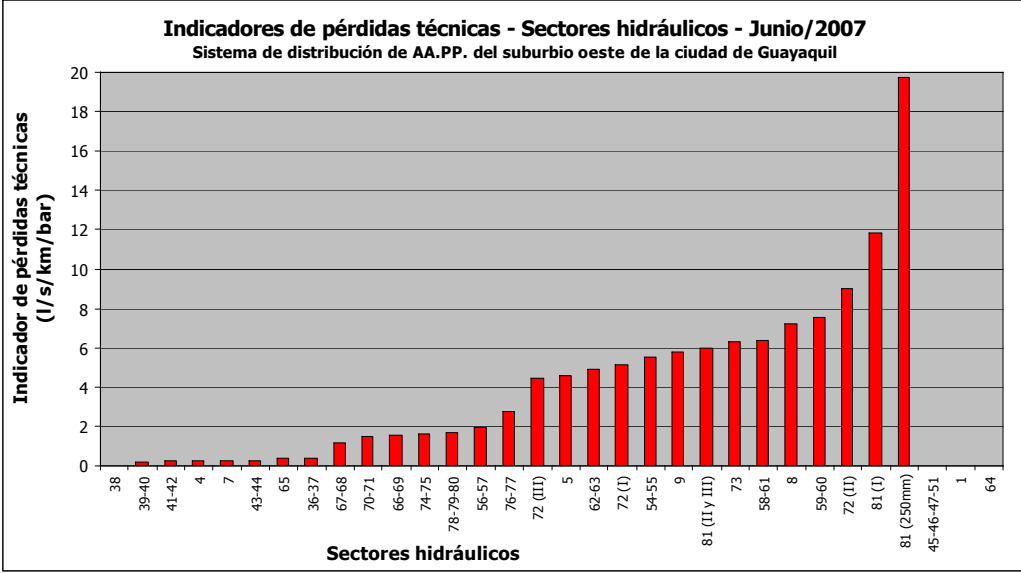
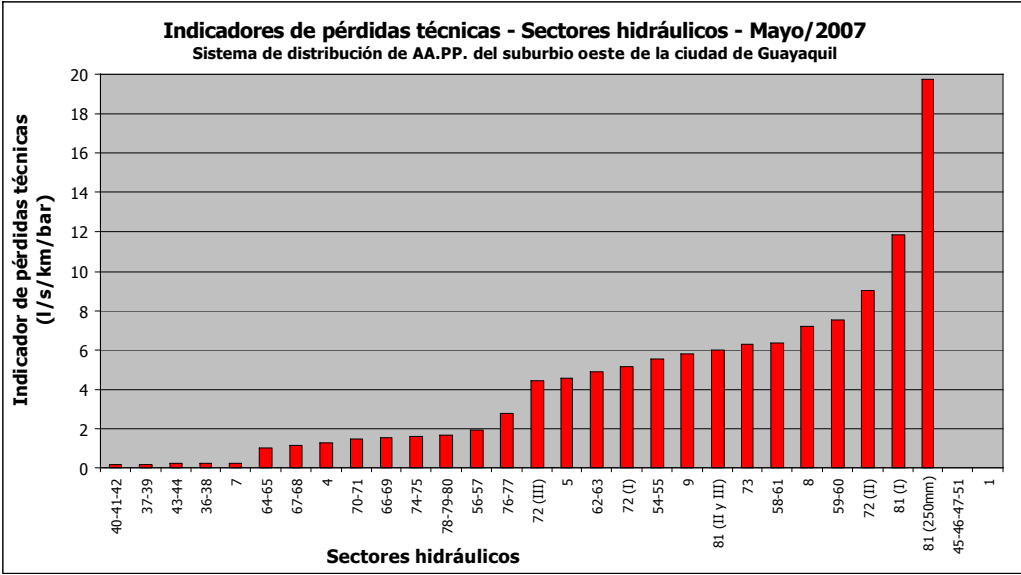
Indicadores de pérdidas técnicas correspondientes a los sectores hidráulicos definidos en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de Guayaquil

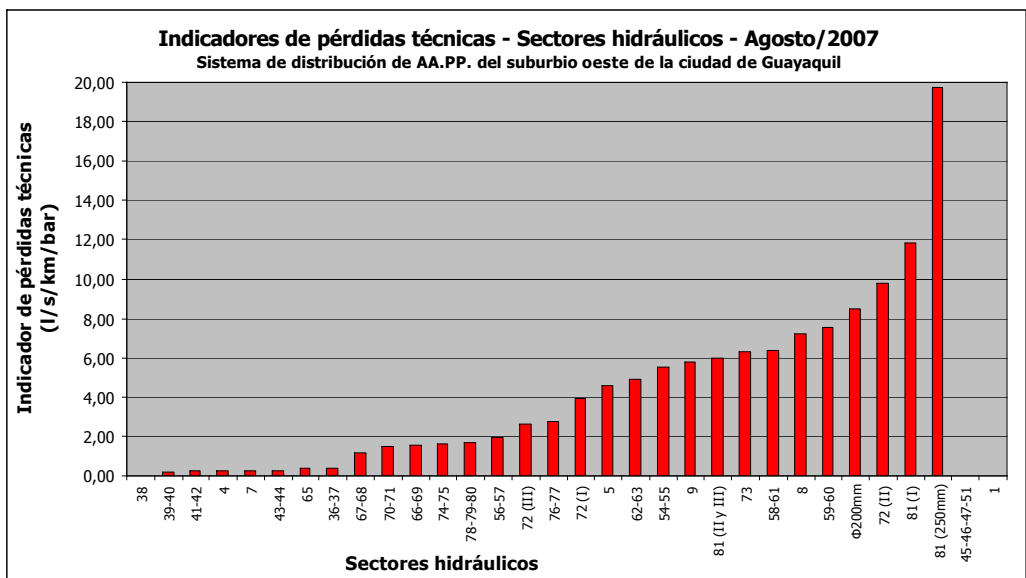
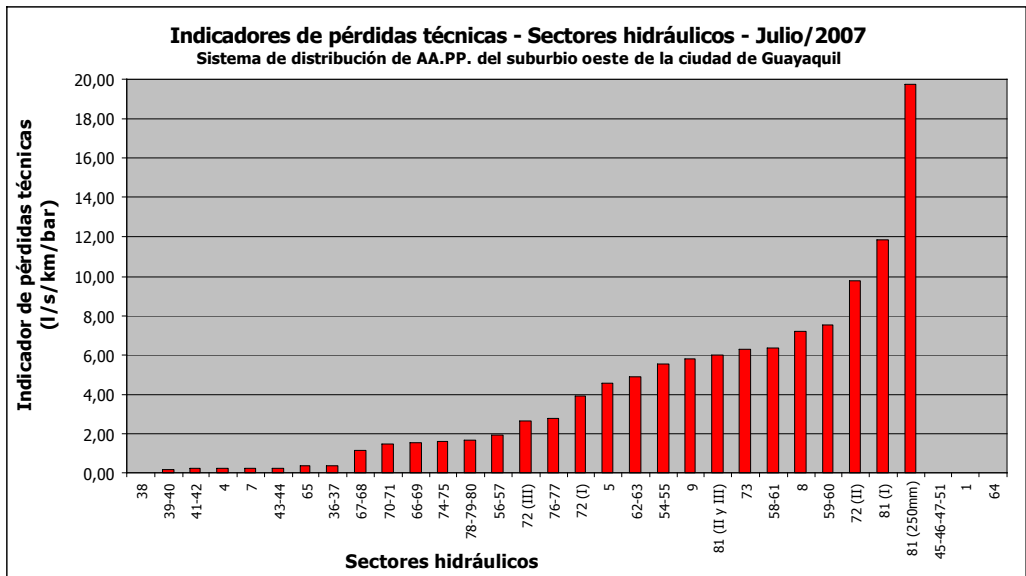
(Fuente: Sugerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)

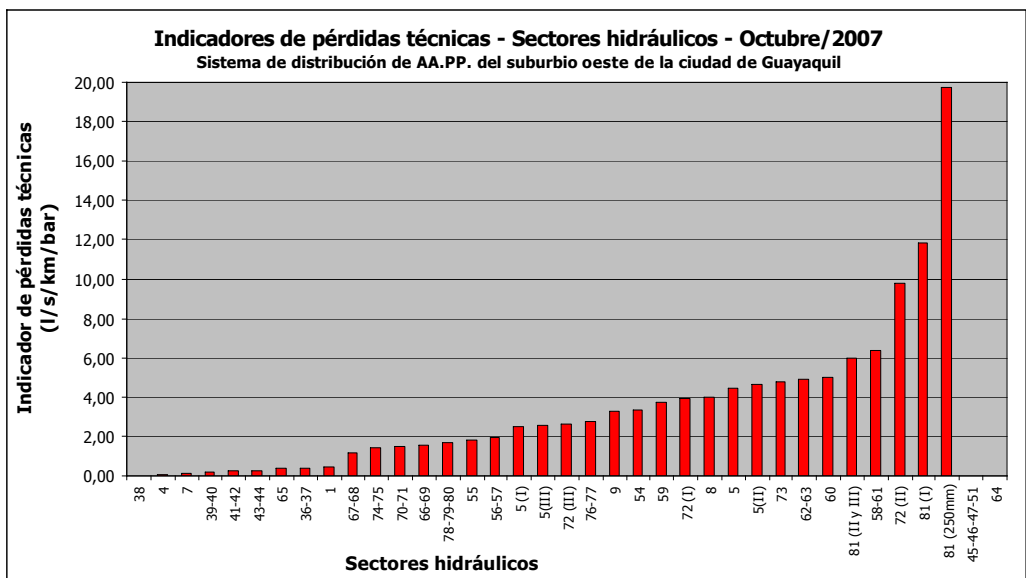
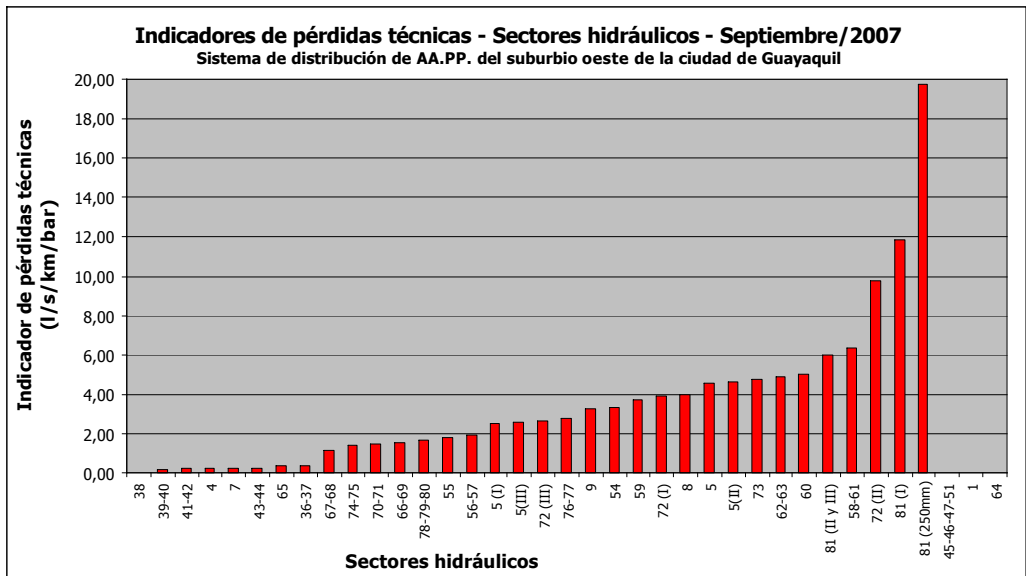


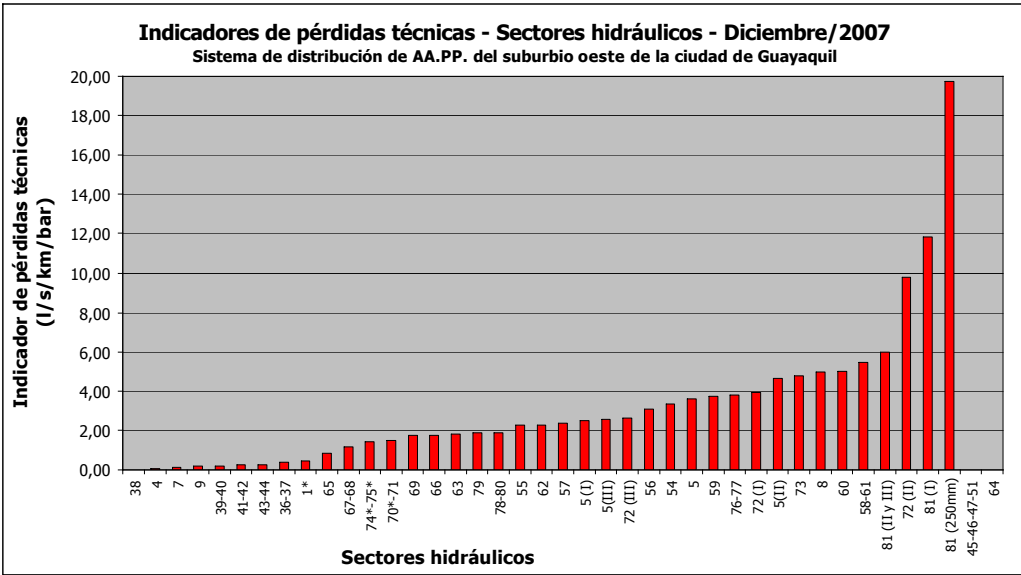
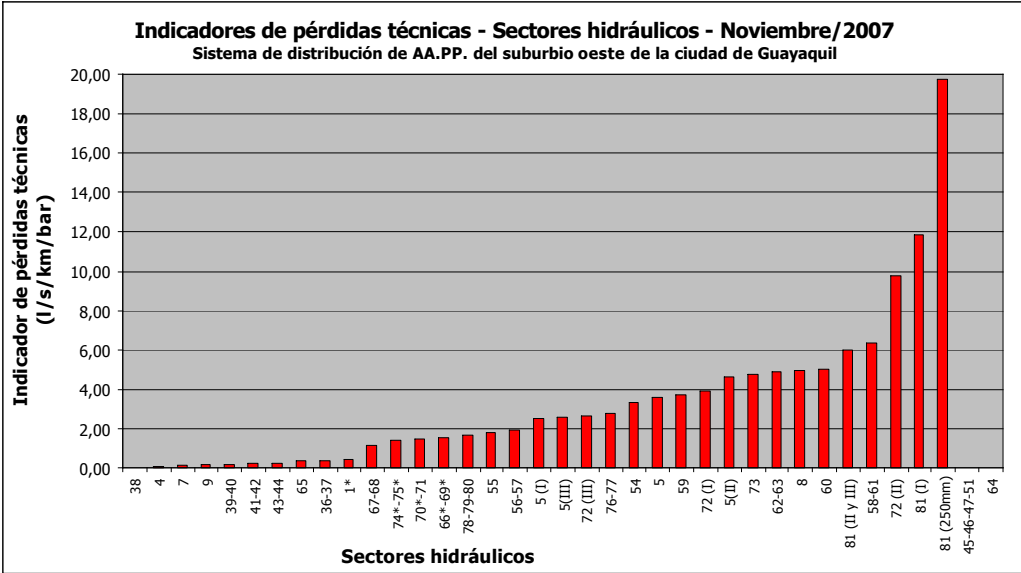


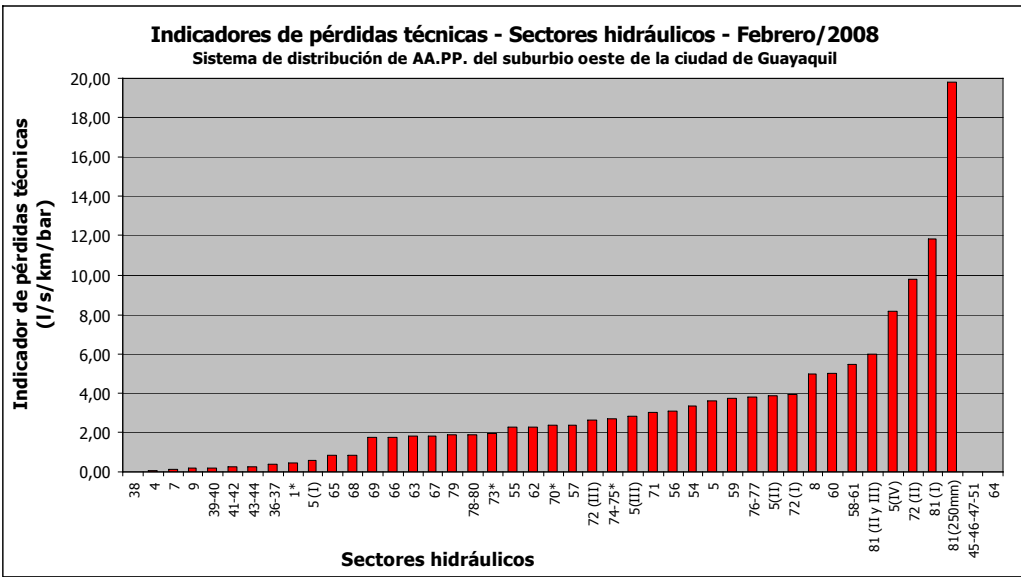
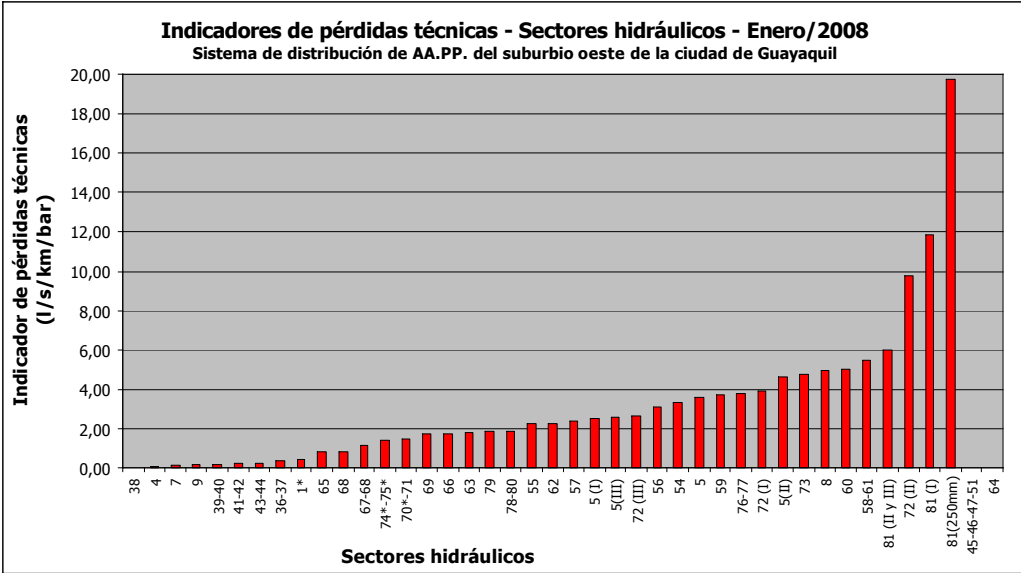


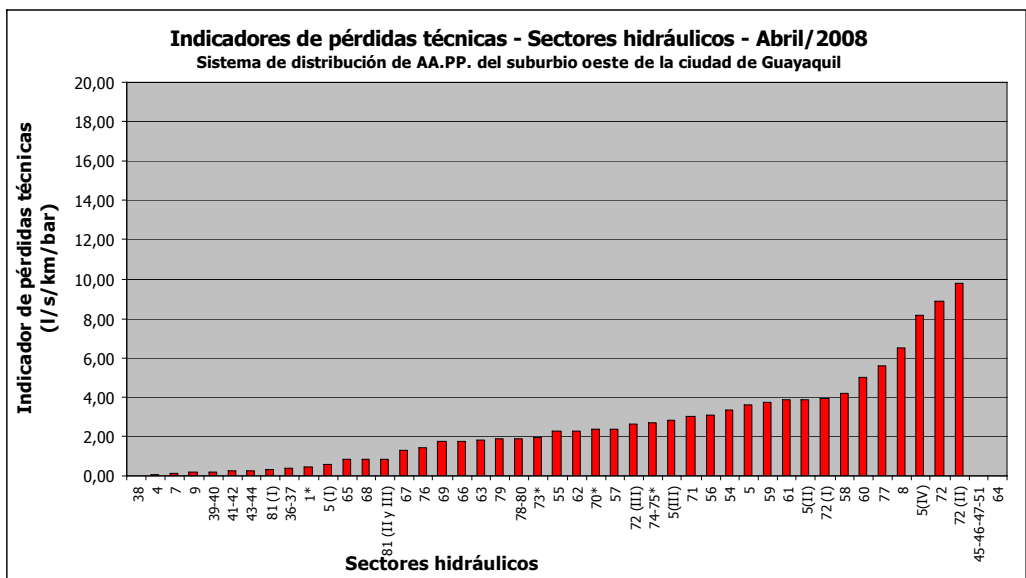
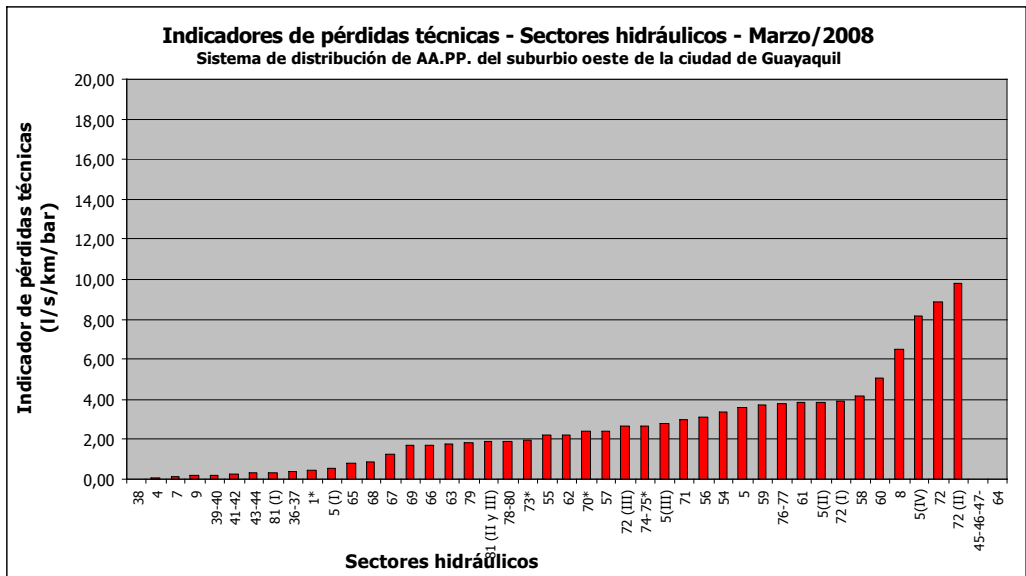


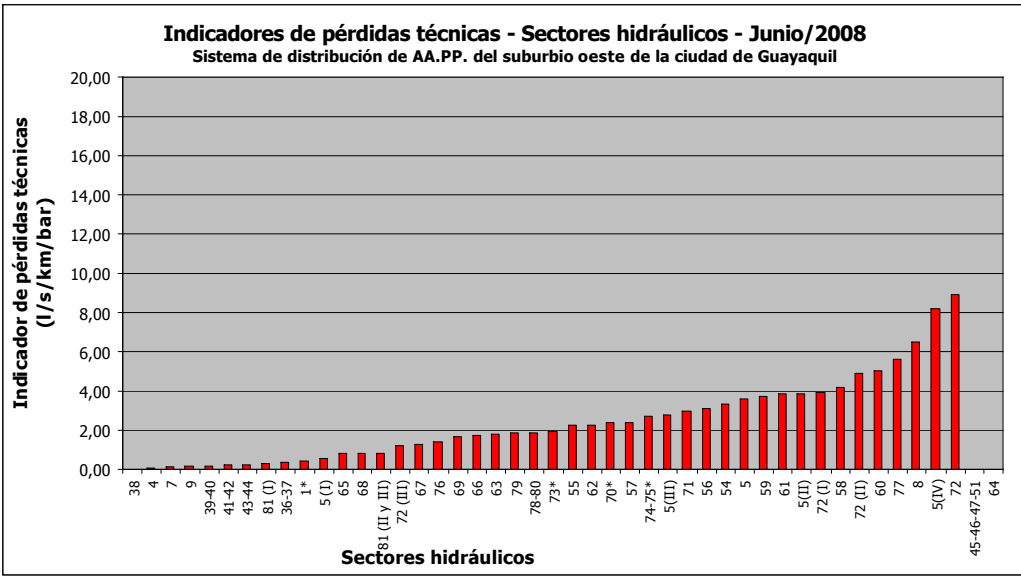
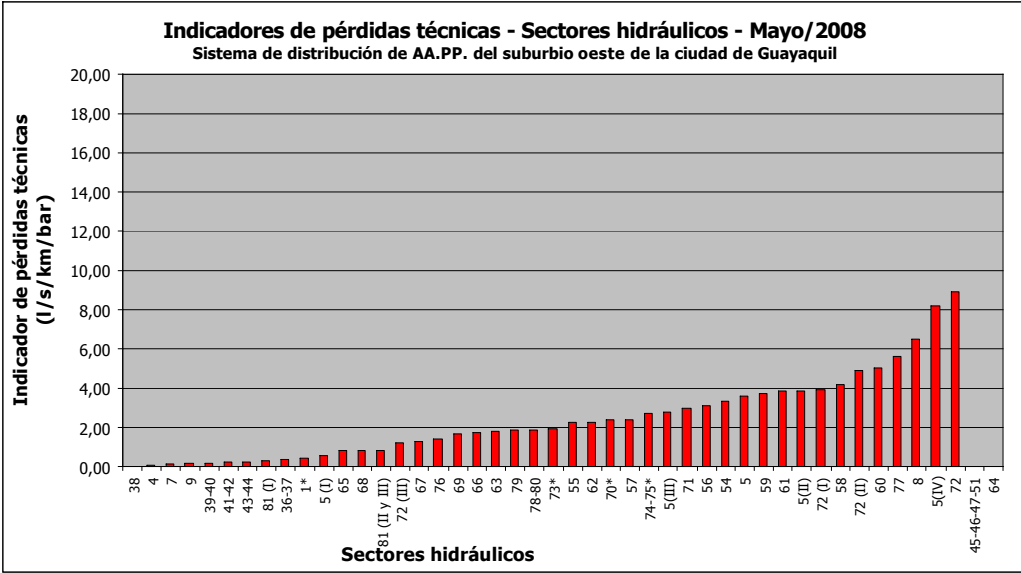


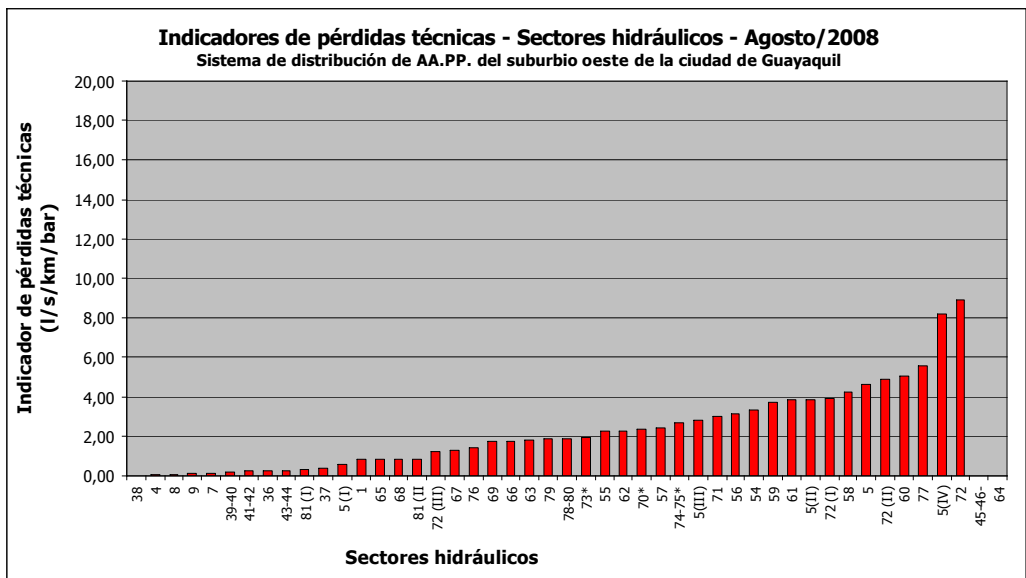
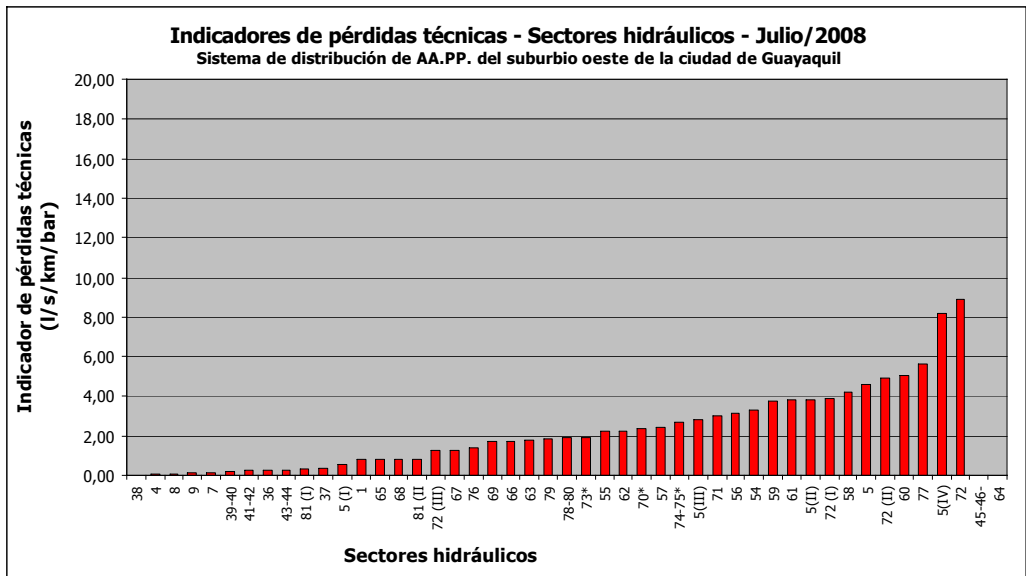


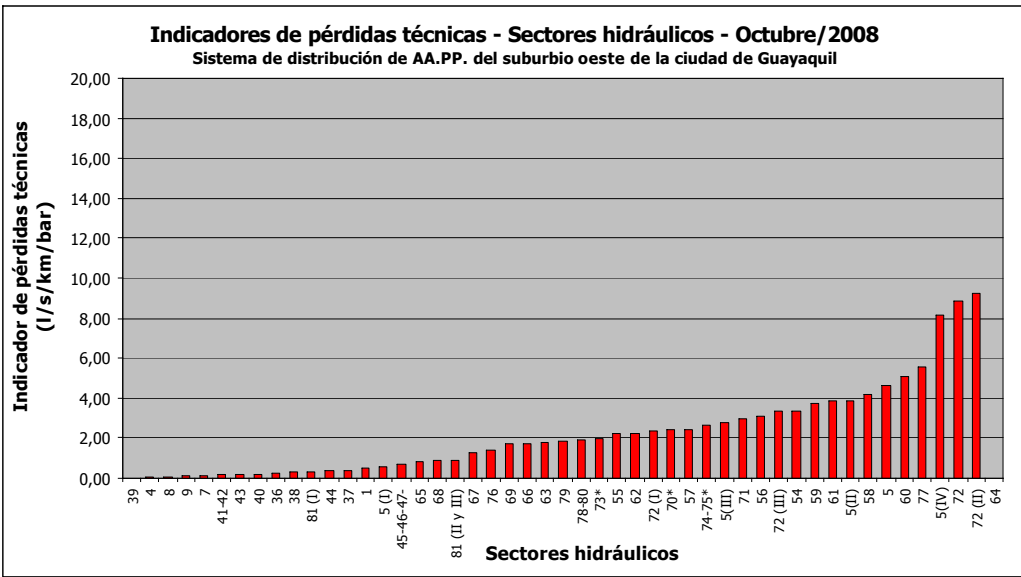
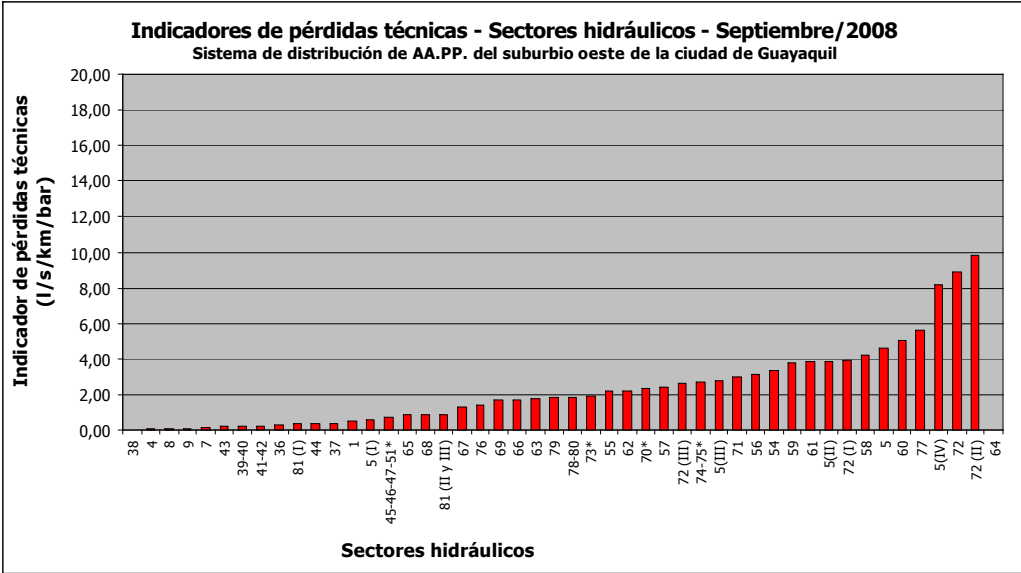








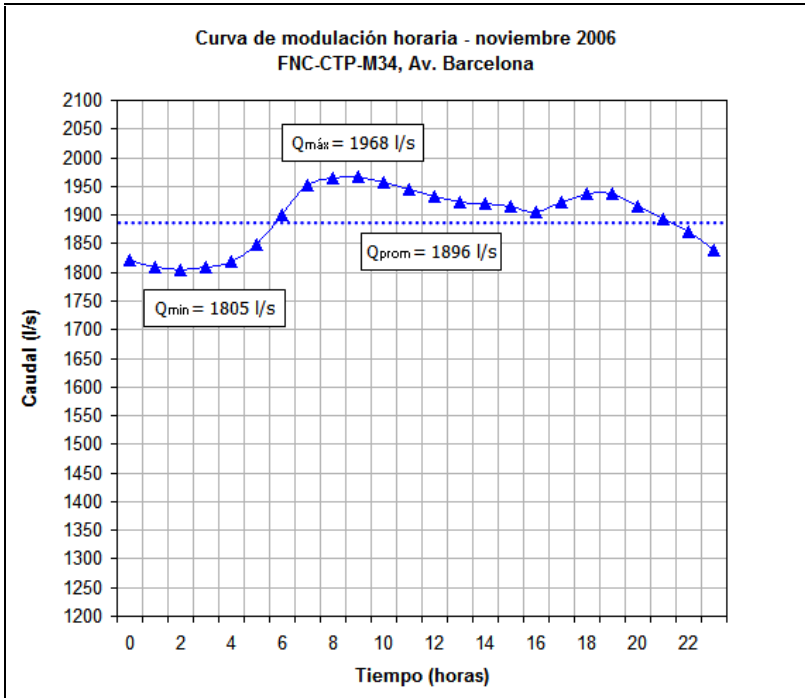
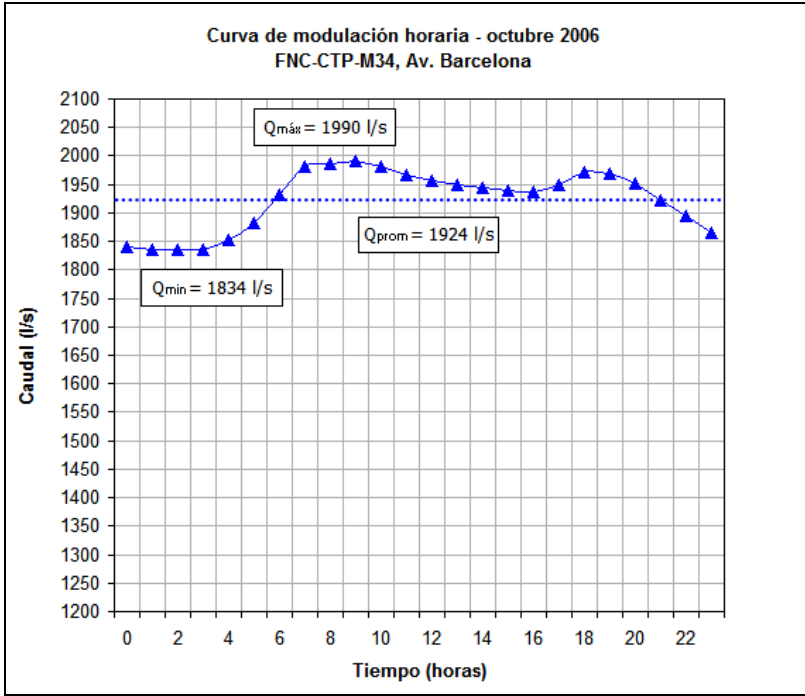


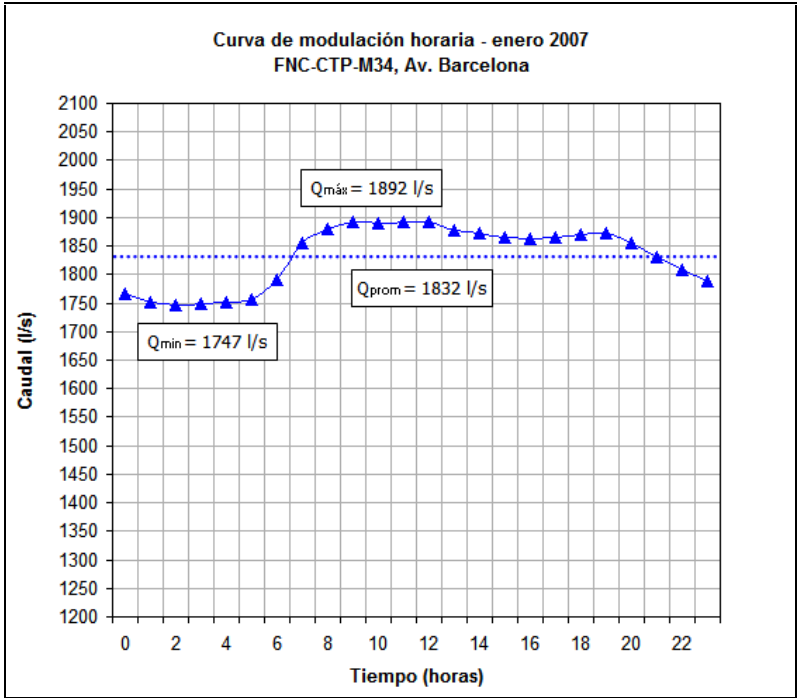
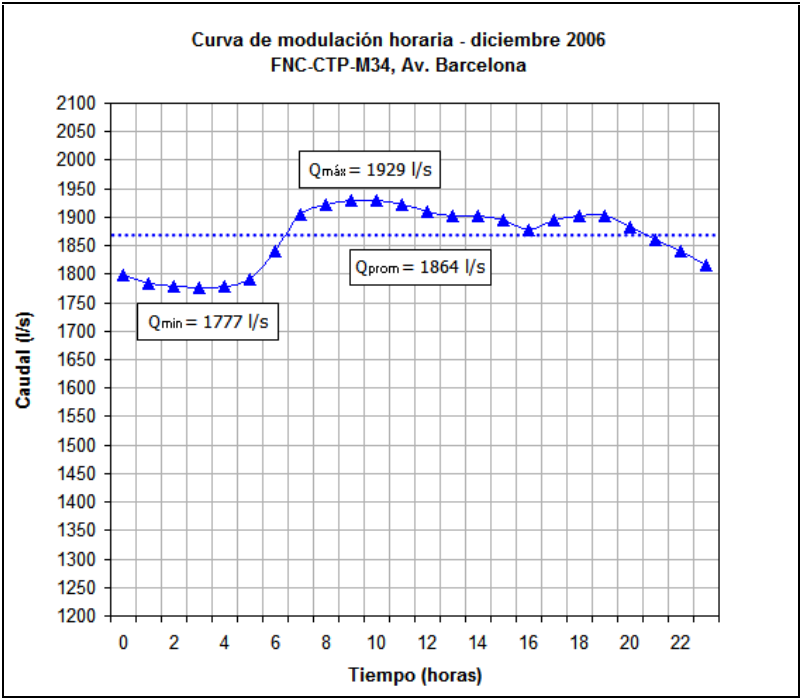


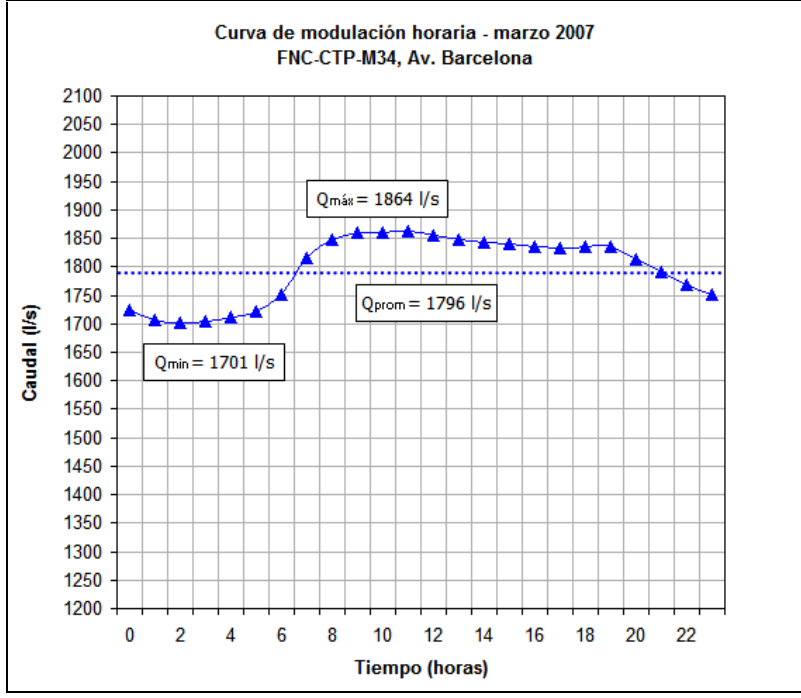
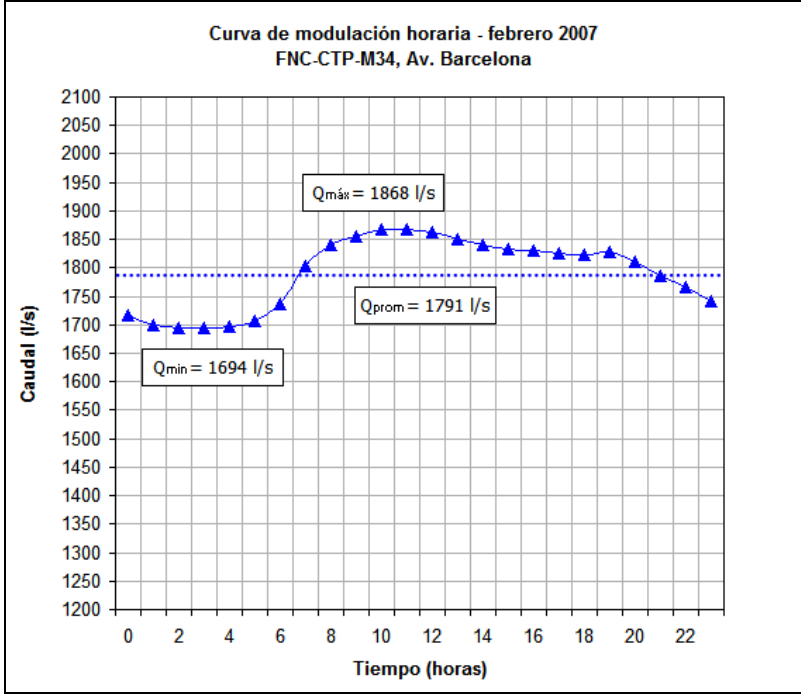
Anexo 33

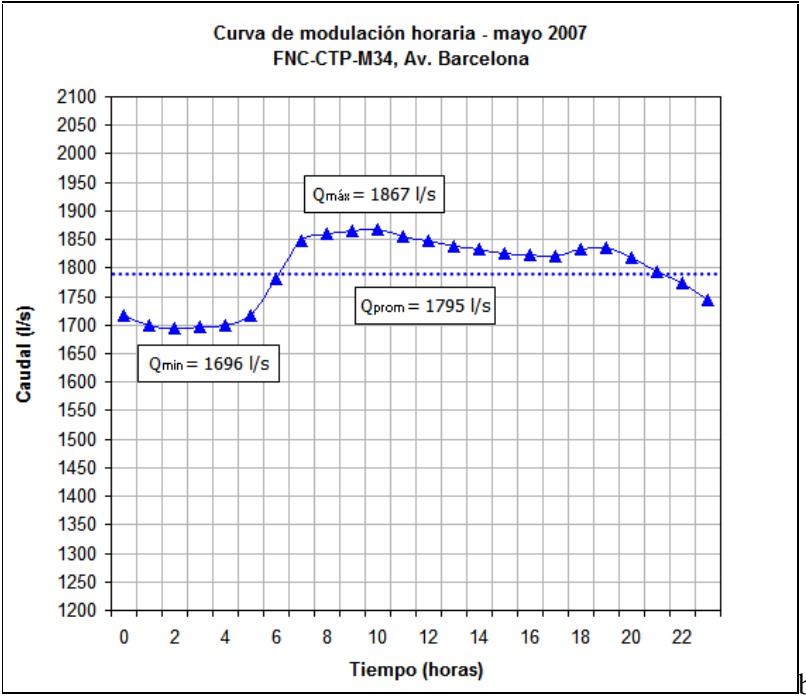
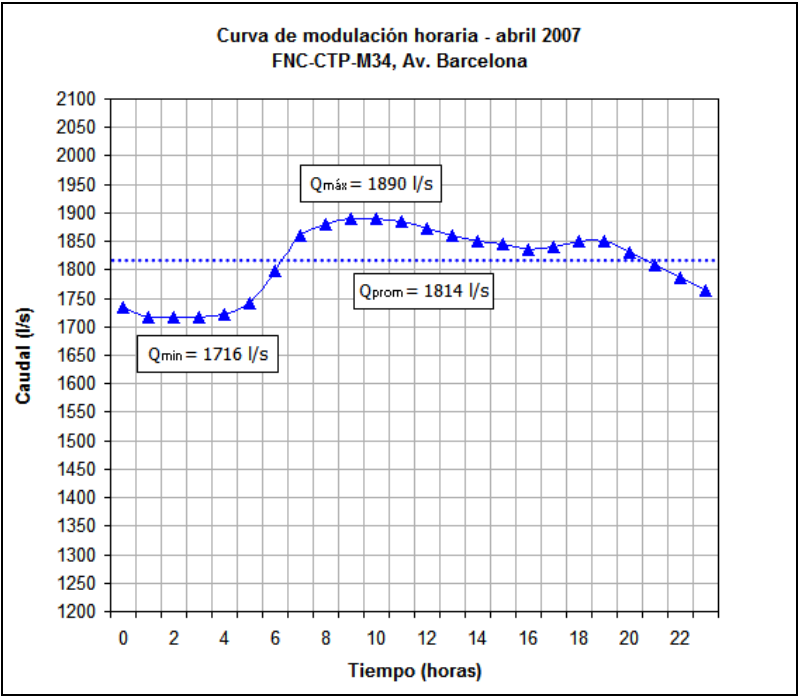
Curvas de modulación horaria del caudal suministrado e la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de Guayaquil
Punto de macromedición FNC-CTP-M34

(Fuente: Sugerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)

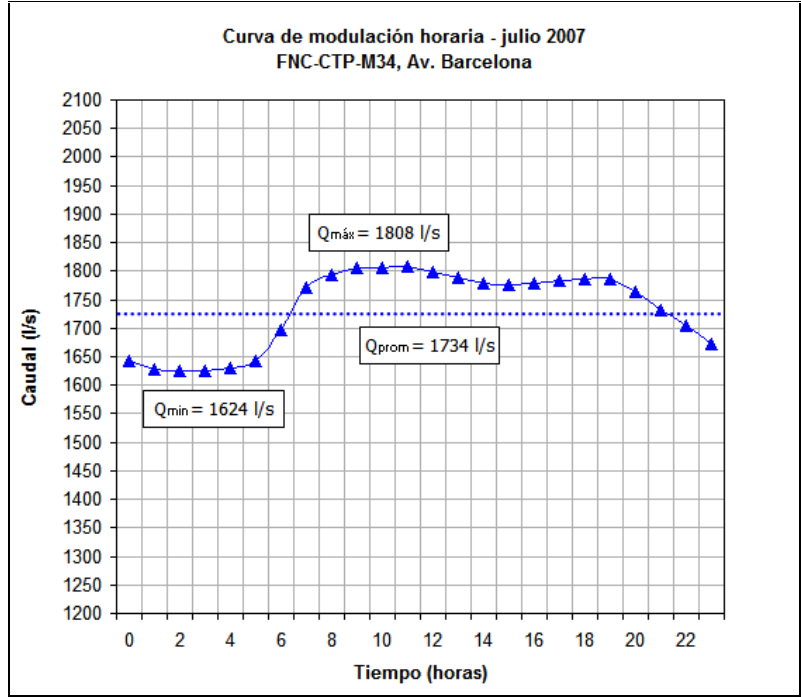
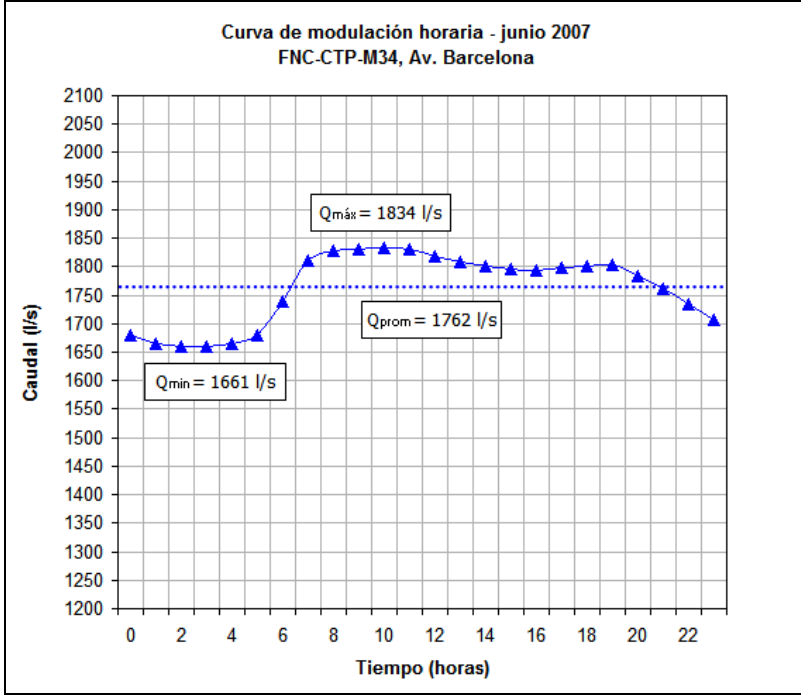


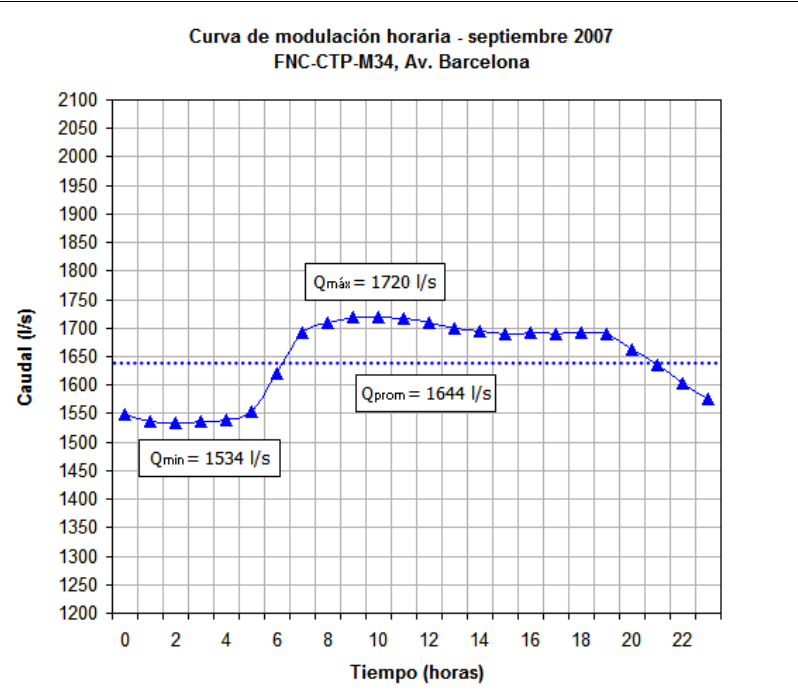
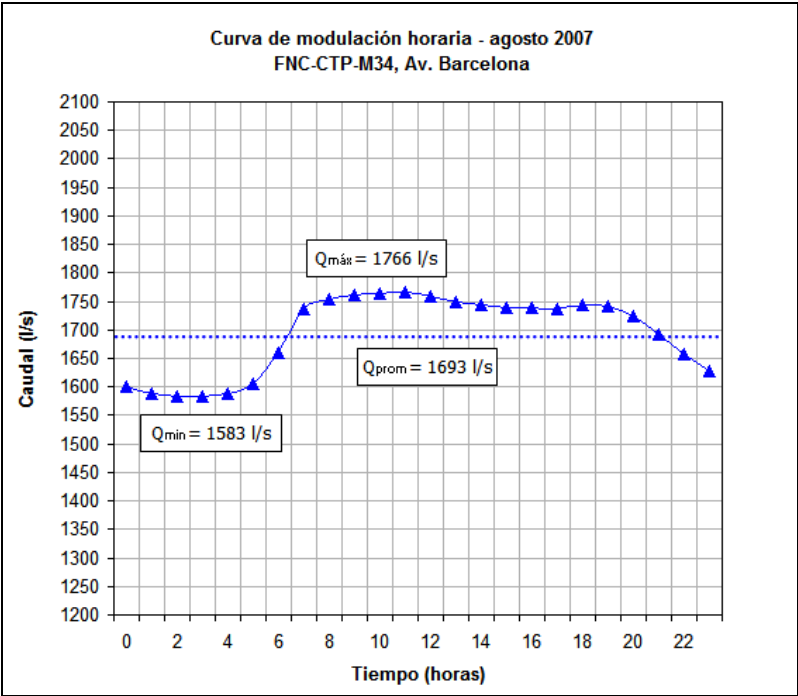


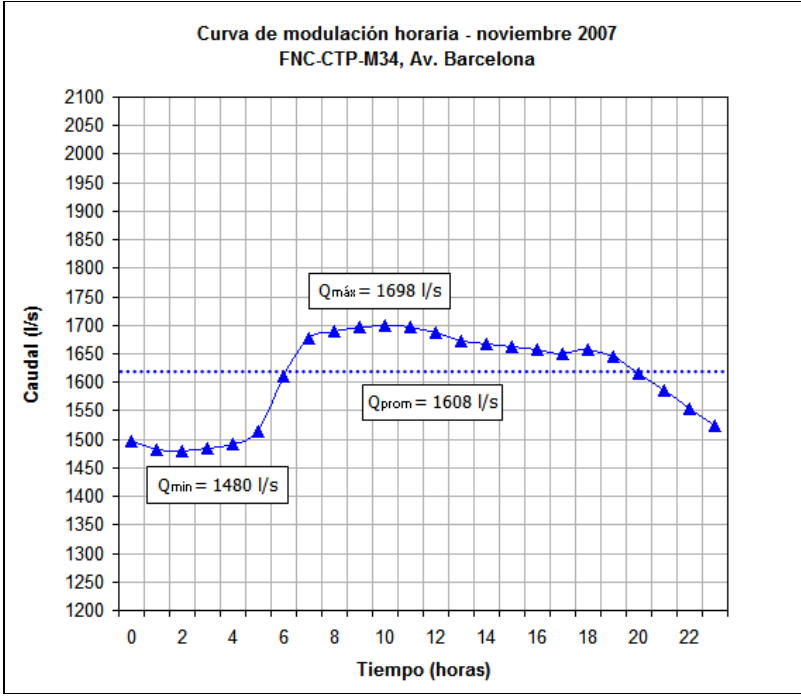
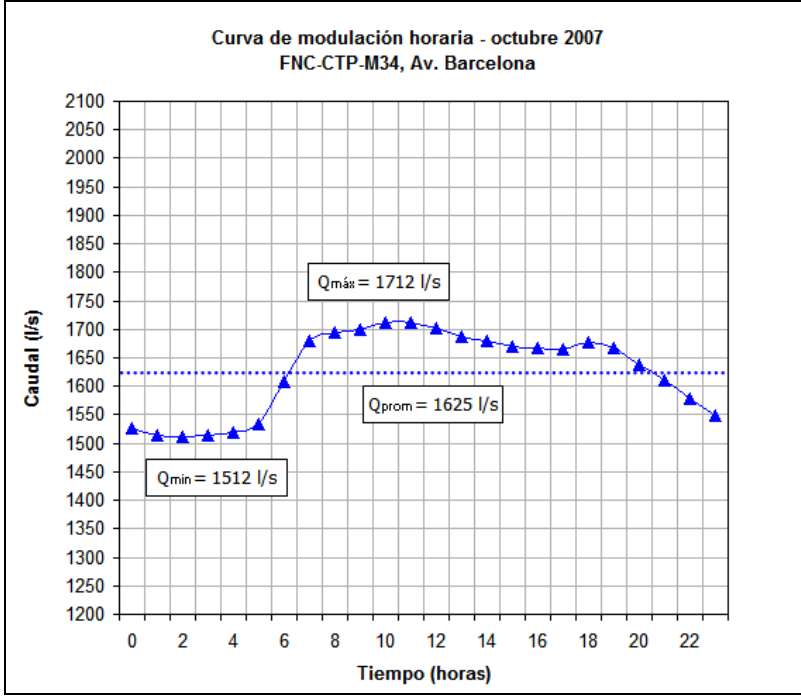


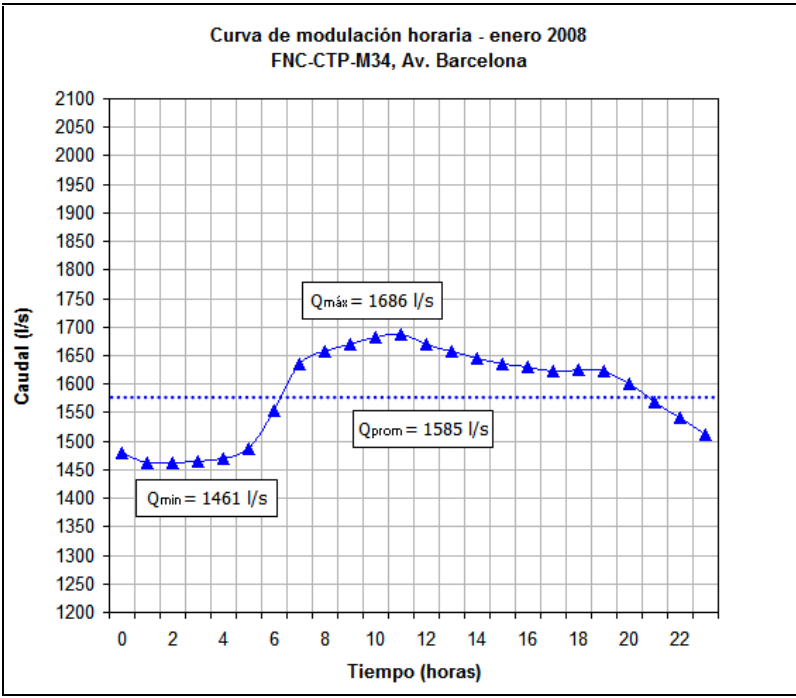
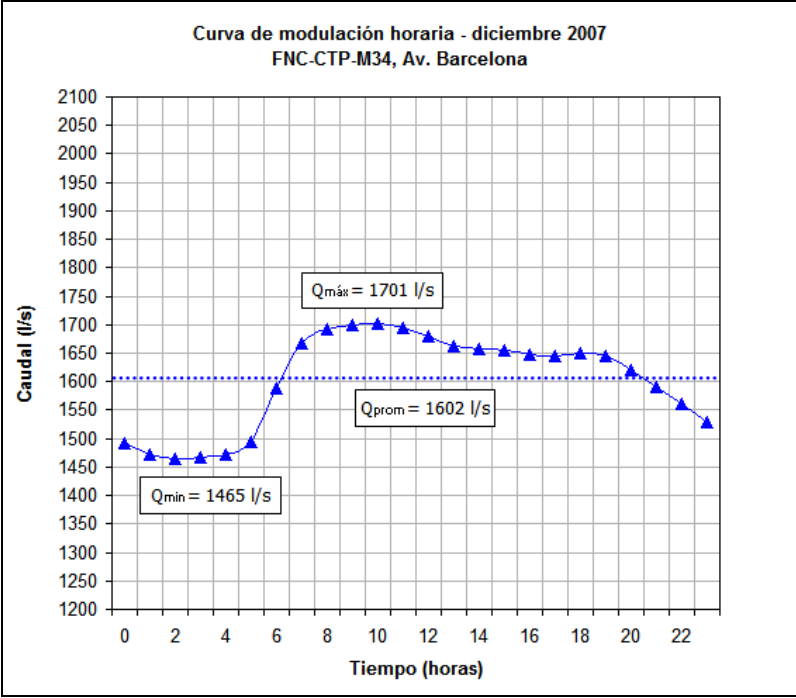


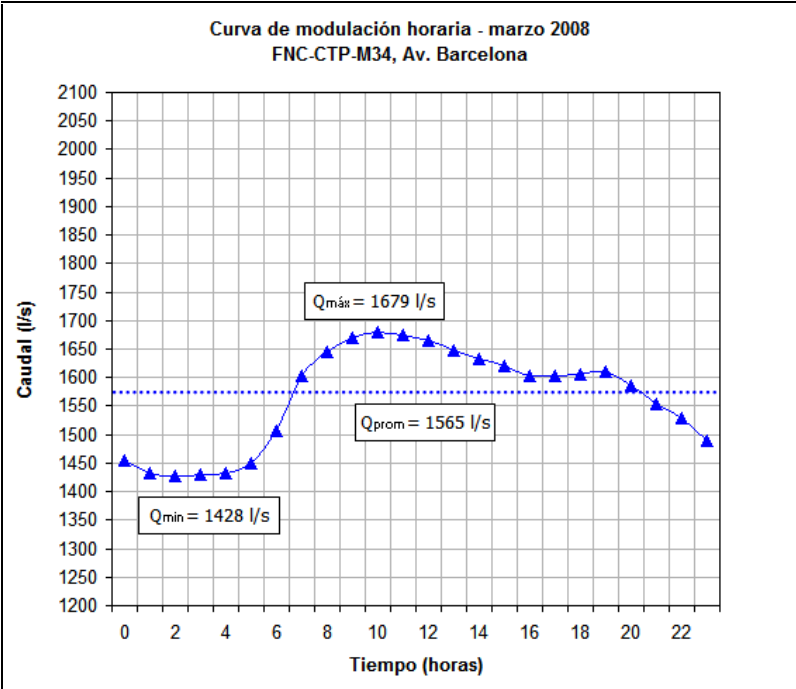
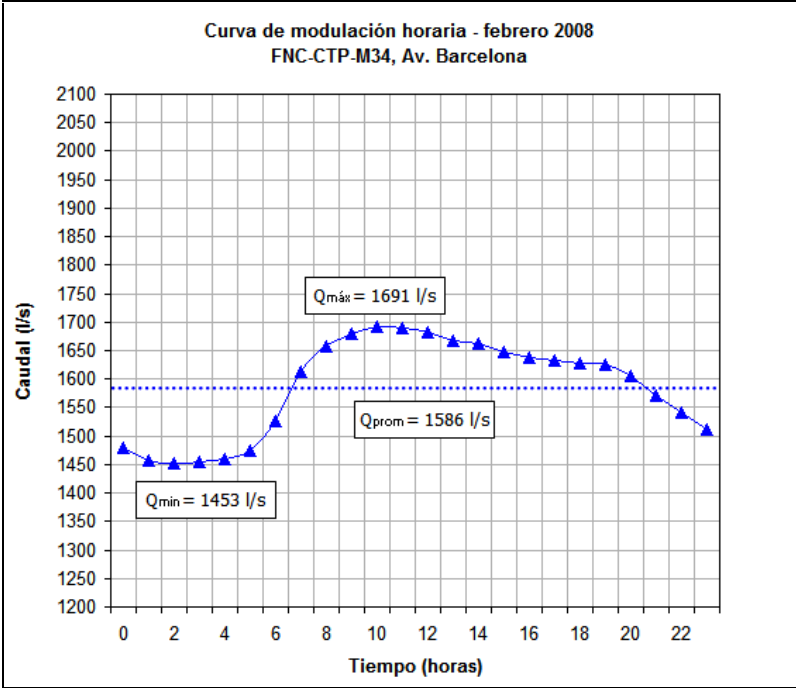
b

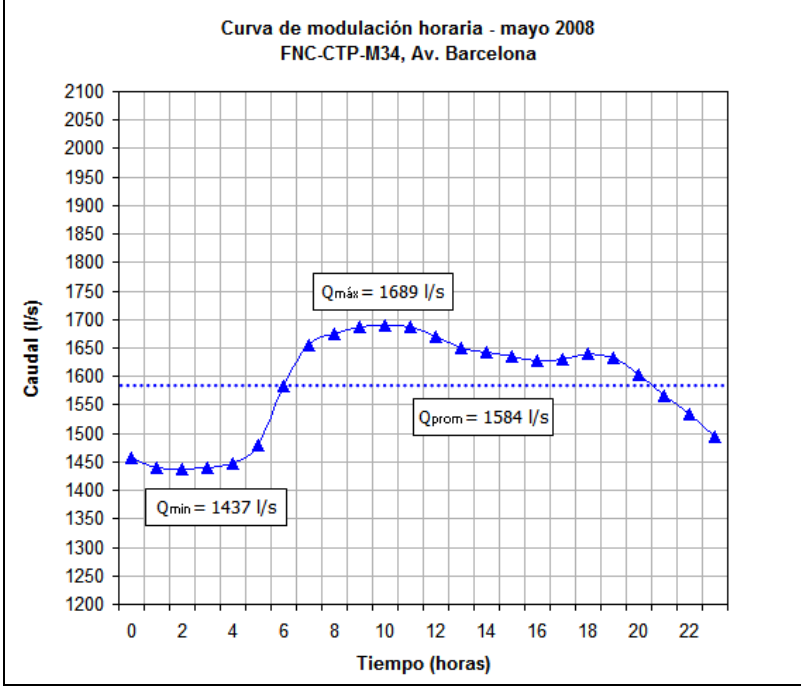
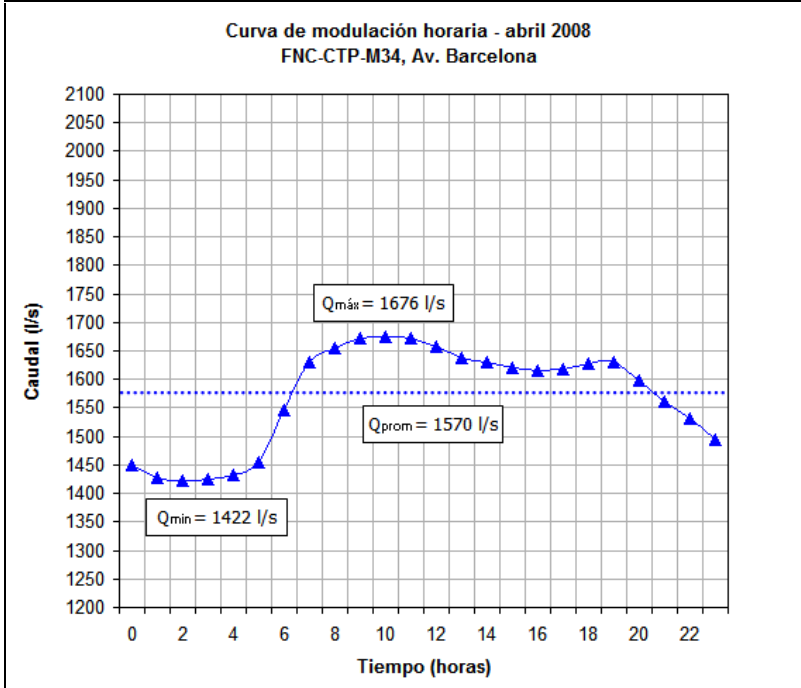


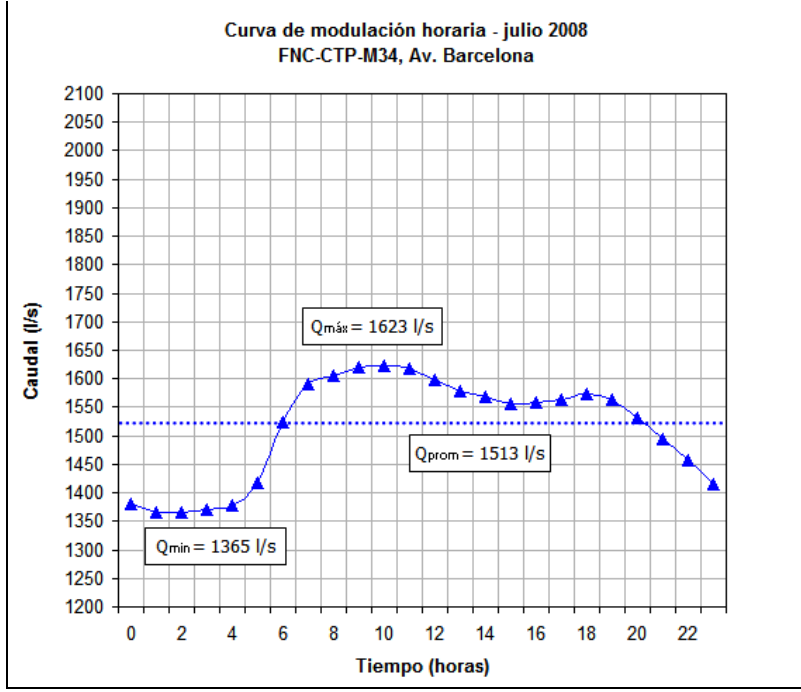
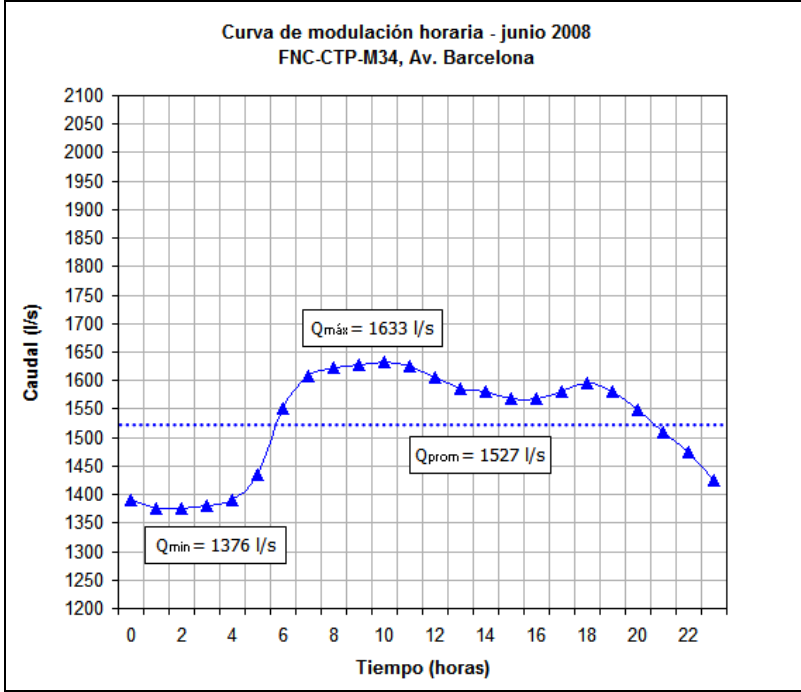


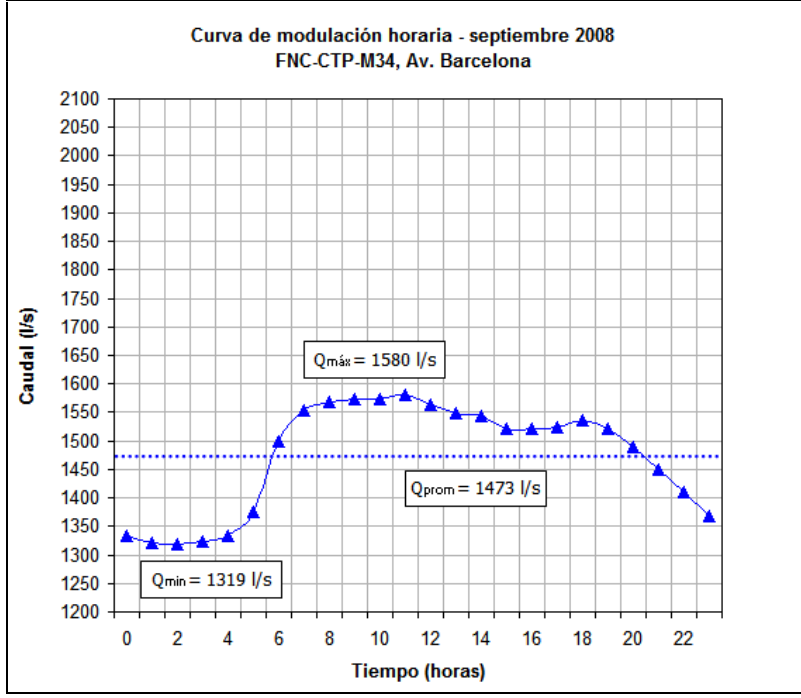
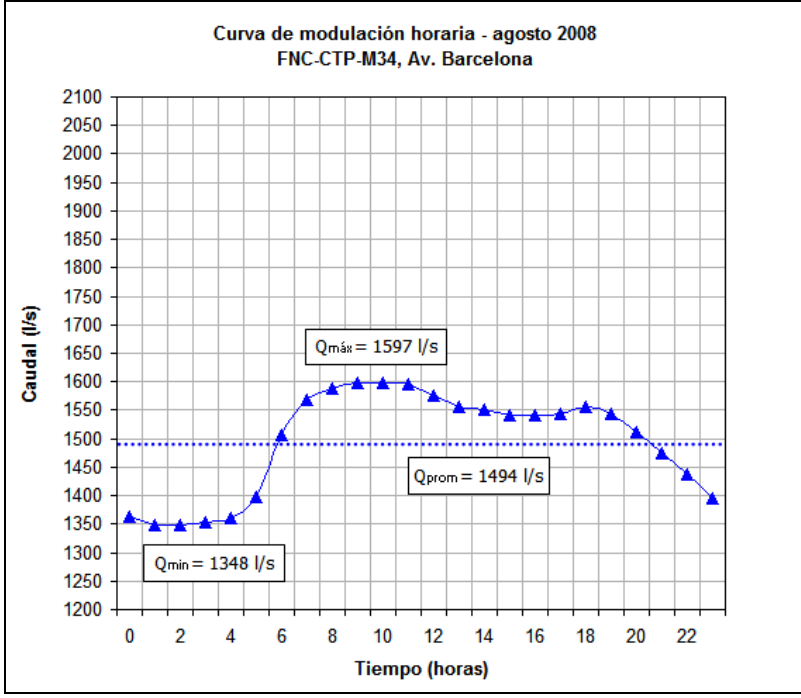


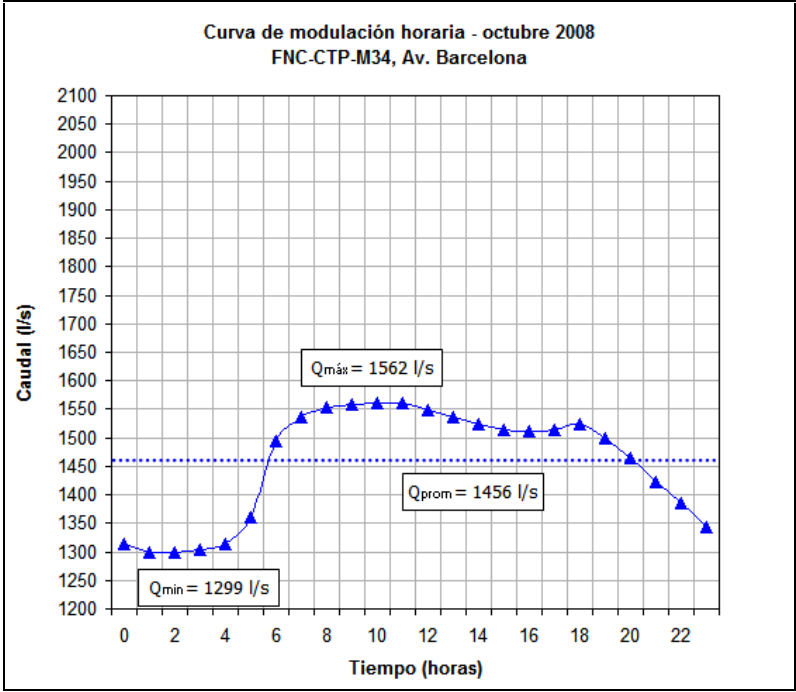










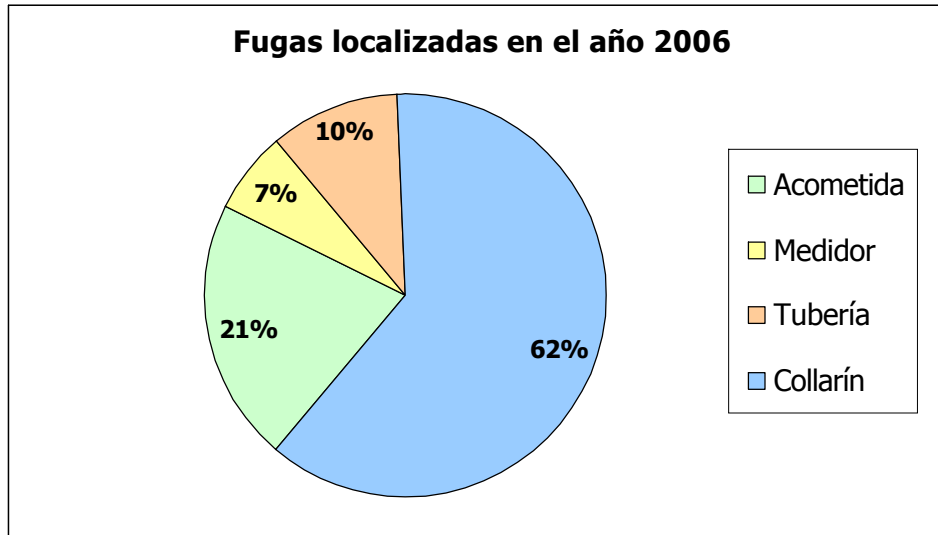


Anexo 33

Fugas localizadas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de Guayaquil – 2006 - 2007 - 2008

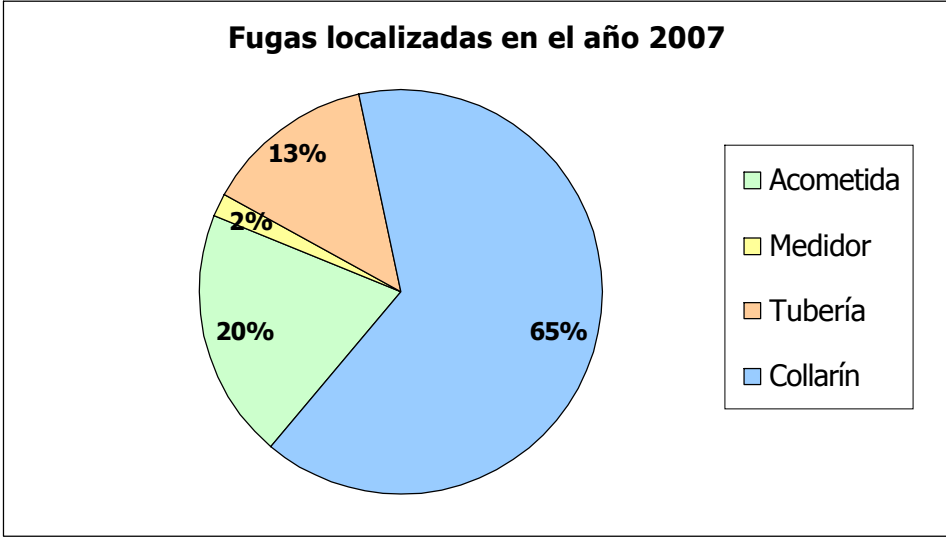
(Fuente: Subgerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)

Año	Tipo	Ubicación de la fuga			
		Medidor	Acometida	Collarín	Tubería
2006	Visible	75	146	35	53
	No visible	1	299	665	66
	Total parcial	76	241	701	119
	Total	1137			
2007	Visible	31	190	85	77
	No visible	-	100	853	118
	Total parcial	31	290	938	195
	Total	1454			
2008	Visible	16	34	27	18
	No visible	-	19	270	35
	Total parcial	16	53	297	53
	Total	419			

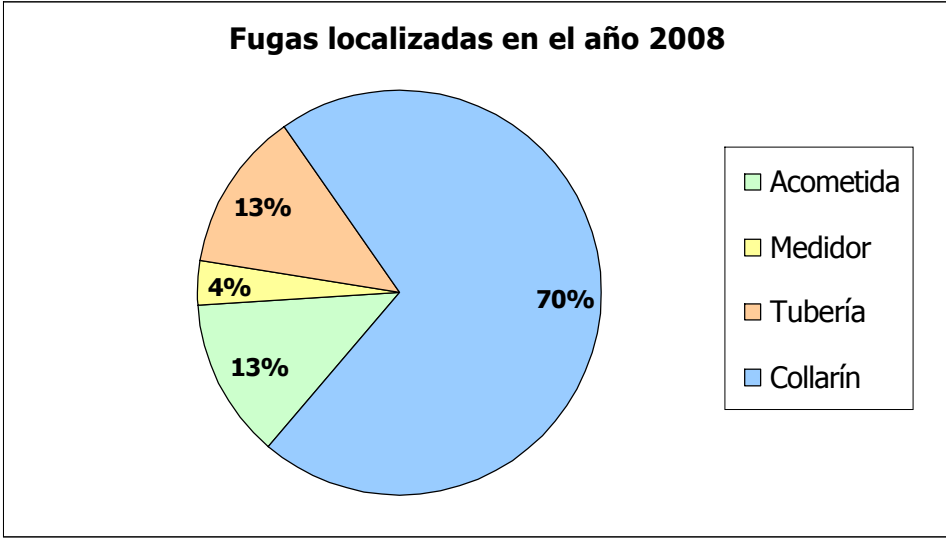


Desagregación de las fugas visibles y no visibles localizadas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste, año 2006

(Fuente: Subgerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)



Desagregación de las fugas visibles y no visibles localizadas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste, año 2007
(Fuente: Subgerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)



Desagregación de las fugas visibles y no visibles localizadas en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste, año 2008
(Fuente: Subgerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)

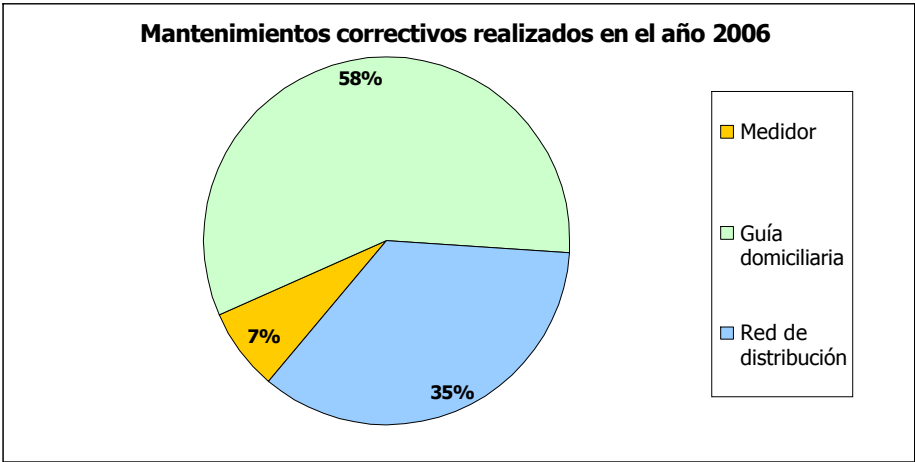
Anexo 34

Revisión estadística de los mantenimientos preventivos y correctivos realizados en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de Guayaquil – 2006 - 2007 - 2008

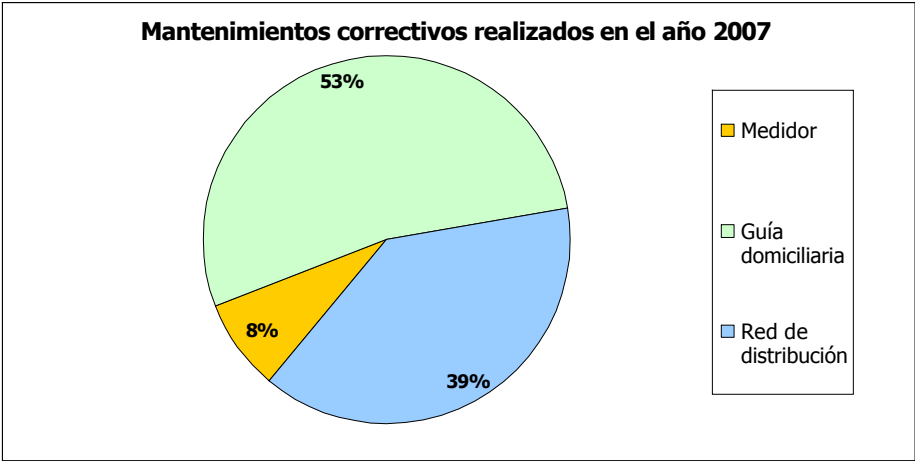
(Fuente: Subgerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)

Mantenimientos correctivos realizados en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de Guayaquil - Años 2006 y 2007

Ubicación de fuga	2006	2007
Medidor	71	64
Guía domiciliaria	564	416
Red de distribución	342	306



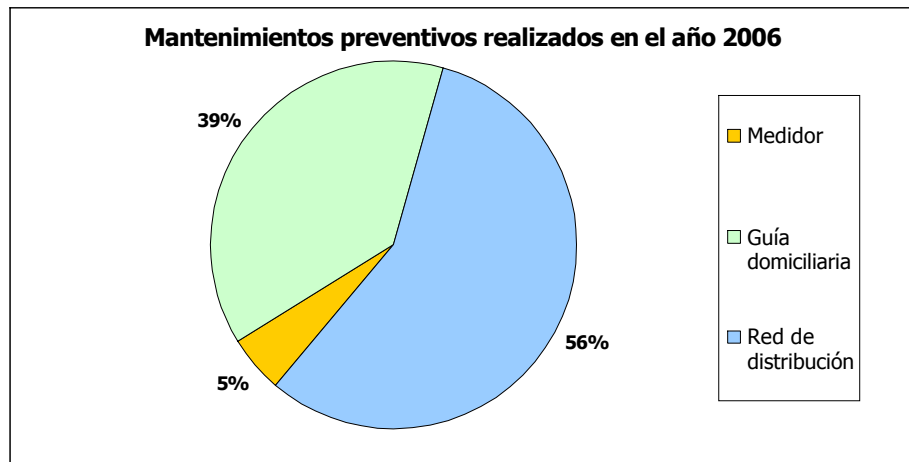
Mantenimientos correctivos realizados en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste - Año 2006. (Fuente: Subgerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)



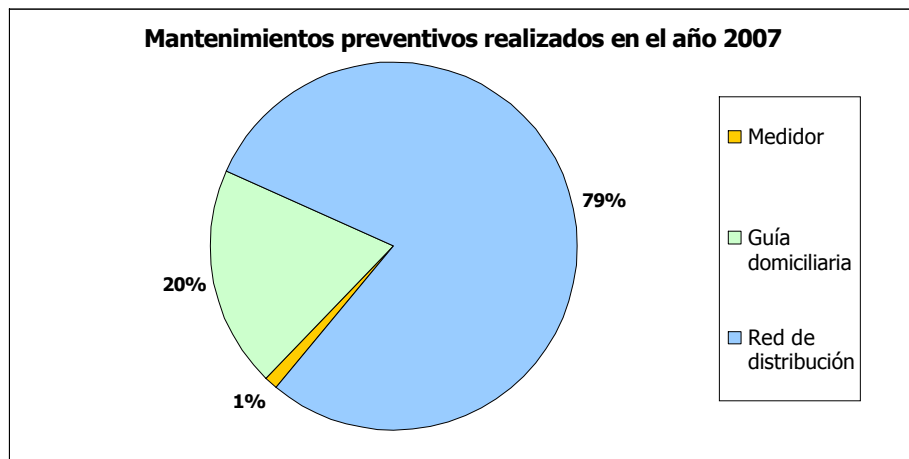
Mantenimientos correctivos realizados en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste - Año 2007. (Fuente: Subgerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)

Mantenimientos preventivos realizados en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de Guayaquil - Años 2006 y 2007

Ubicación de fuga	2006	2007
Medidor	83	14
Guía domiciliaria	655	266
Red de distribución	962	1080



Mantenimientos preventivos realizados en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste - Año 2006. (Fuente: Subgerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)



Mantenimientos preventivos realizados en la red de distribución de AA.PP. del suburbio oeste - Año 2007. (Fuente: Subgerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)

Anexo 35

Características físicas de los sectores hidráulicos definidos en la red de distribución de AA.PP del suburbio Oeste de la ciudad de Guayaquil.

Sector hidráulico	Longitud de red (km)	Area (Ha)	No. de conexiones
CTP-001	36,51	82,77	3.276
CTP-004	9,61	22,12	797
CTP-005	13,94	51,96	1.703
CTP-007	9,54	18,06	737
CTP-008	12,63	38,39	1.263
CTP-009	13,33	46,36	2.077
CTP-036	5,76	12,82	477
CTP-037	4,29	12,63	521
CTP-038	6,25	14,86	553
CTP-039	4,96	11,21	421
CTP-040	5,17	11,97	490
CTP-041	9,32	22,37	1.013
CTP-042	5,09	12,89	545
CTP-043	6,01	15,82	820
CTP-044	7,95	18,16	841
CTP-045	13,60	21,98	1.280
CTP-046	7,89	15,57	920
CTP-047	12,93	22,40	1.134
CTP-054	4,18	10,57	434
CTP-055	5,98	16,50	692
CTP-056	5,55	16,44	661
CTP-057	5,19	27,49	972
CTP-058	4,76	26,52	1.193
CTP-059	3,71	14,31	621
CTP-060	4,96	12,91	528
CTP-061	2,87	15,48	597
CTP-062	1,40	11,26	628
CTP-063	3,21	18,29	807
CTP-064	11,45	25,42	949
CTP-065	7,52	18,48	728
CTP-066	11,64	47,91	1.818
CTP-067	12,45	28,77	997
CTP-068	6,97	17,67	616
CTP-069	9,38	43,51	1.727
CTP-070	11,32	28,07	857
CTP-071	6,67	29,73	975
CTP-072	8,80	31,91	1.044
CTP-073	16,08	56,49	1.890
CTP-074	13,64	49,64	2.439
CTP-075	8,92	36,96	1.413
CTP-076	8,48	44,72	1.533
CTP-077	6,42	42,06	1.342
CTP-078	8,22	32,01	1.600
CTP-079	4,85	18,95	875
CTP-080	4,86	18,41	689
CTP-081	7,92	40,41	1.252

Anexo 36

Desagregación por material y diámetro de las redes de conducción y distribución de AA.PP del suburbio Oeste de la ciudad de Guayaquil

(Fuente: Subgerencia de distribución de AA.PP., Interagua C. Ltda.)

Desagregación por material y diámetro de las redes de conducción de AA.PP del suburbio Oeste de la ciudad de Guayaquil

Diámetro	Acero	HPT	Hierro Fundido	Hierro Dúctil	Asbesto cemento	PVC	PEAD	Total
900mm	67 m	2,152 m	-	987 m	797 m	-	-	4,003 m
600mm	-	-	-	2,658 m	-	-	-	2,658 m
500mm	-	-	-	4,169 m	1,450 m	-	-	5,620 m
400mm	-	-	-	9,288 m	-	-	-	9,288 m
350mm	-	-	-	392 m	1,177 m	135 m	-	1,705 m
300mm	-	-	-	3,472 m	618 m	-	-	4,090 m
250mm	-	-	-	916 m	245 m	134 m	-	1,295 m
200mm	-	-	910 m	8,106 m	1,998 m	493 m	1,505 m	13,013 m
Longitud total de las redes de conducción								41,672 m

Desagregación por material y diámetro de las redes de distribución de AA.PP del suburbio Oeste de la ciudad de Guayaquil

Diámetro	Hierro Fundido	Hierro Dúctil	Asbesto cemento	PVC	PEAD	Total
160mm	-	-	-	1,052 m	514 m	1,566 m
150mm	208 m	8,629 m	758 m	-	-	9,595 m
110mm	-	-	-	10,308 m	23,619 m	33,927 m
100mm	733 m	1,204 m	4,124 m	-	-	6,061 m
90mm	-	-	-	230,177 m	68,596 m	298,774 m
80mm	2,552 m	16,956 m	6,773 m	-	-	26,289 m
75mm	-	-	-	822 m	-	822 m
63mm	-	-	-	105 m	-	105 m
50mm	-	-	-	6,028 m	-	6,028 m
Longitud total de las redes de distribución						383,168 m

BIBLIOGRAFÍA

- [1] FARLEY M. Y TROW S., Losses in Water Distribution Networks, 2003
- [2] JIMENEZ ALDANA MAURICIO, La sectorización hidráulica como estrategia de control de pérdidas en sistemas de acueducto, 2003
- [3] MAYS LARRY, Manual de sistemas de distribución de agua, 2003
- [4] DTIAPA (Proyecto de Desarrollo Tecnológico de las Instituciones de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado), Información sobre pérdidas de agua en redes de distribución de agua potable, 1981
- [5] CABRERA MARCEL ENRIQUE, Alternativas y estrategias disponibles en la reducción de pérdidas, 2006
- [6] JEFFCOATE P. Y SARAVANAPAVAN A., La reducción y el control del agua no contabilizada, 1989
- [7] HAMILTON S. - MCKENZIE R. - SEAGO S., A Review of performance indicators for real losses from water supply systems, 2006

[8] ARREGUI DE LA CRUZ F., Evaluación de las fugas de una red mediante la medición de caudales nocturnos, 2006

[9] HUEB JOSE AUGUSTO, Control de fugas en los sistemas de distribución de agua potable, 1985

[10] ENDRESS+HAUSER FLOWTEC AG, Medición de caudal, 2005

[11] ARREGUI DE LA CRUZ F., La medición de agua en abastecimientos urbanos, 2006

[12] THORNTON J. – GARZON CONTRERAS F. – LAMBERT A., Best Practice Pressure Management: Pressure-Leakage Relationships in Urban Water Distribution System, 2006

[13] Carta periódica del Proyecto de Desarrollo Tecnológico de las Instituciones de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado (DTIAPA), Programa para el control de fugas, 1980