

Universidad de los Andes
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil y
Ambiental

Centro de Investigaciones en
Acueductos Y Alcantarillados
CIACUA



Universidad
de los Andes

Tesis de Grado
MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL

RANGO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL ÍNDICE DE
AGUA NO CONTABILIZADA

PREPARADO POR:
ING. LUISA MARÍA PÉREZ

ASESOR DE TESIS:
ING. JUAN GUILLERMO SALDARRIAGA

Bogotá D.C., marzo de 2004

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	7
CAPÍTULO 2 OBJETIVOS.....	9
2.1 OBJETIVO GENERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
CAPÍTULO 3 MARCO TEÓRICO.....	10
3.1 DEFINICIÓN DEL ÍNDICE DE AGUA NO CONTABILIZADA.....	10
3.1.1 Clasificación de las causas del volumen de agua no facturado o contabilizado	11
3.2 ESQUEMA DEL BALANCE HÍDRICO	14
3.3 PROGRAMAS DE CONTROL Y REDUCCIÓN DEL ÍNDICE DE AGUA NO CONTABILIZADA	16
3.3.1 Catastro de redes y modelación.....	16
3.3.2 Sectorización.....	17
3.3.3 Macromedición.....	17
3.3.4 Medidas comerciales principales:	18
3.3.5 Medidas técnicas	19
CAPÍTULO 4 DIAGNÓSTICO INTERNACIONAL.....	23
4.1 VALORES DE PÉRDIDAS DE AGUA	23
4.2 EXPERIENCIA EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS DE REDUCCIÓN DEL ÍNDICE DE AGUA NO CONTABILIZADA.	27
4.2.1 Sectorización, instrumentación, catastro, modelación de las redes y control de presiones.	27
4.2.2 Reparación, calibración y reposición de micromedidores	29
4.2.3 Detección de fugas y reparación de daños.....	29
4.2.4 Reposición y rehabilitación de Redes	31
CAPÍTULO 5 DIAGNÓSTICO NACIONAL.....	33
5.1 INDICADORES NACIONALES	33
5.2 IDENTIFICACIÓN DE GRUPOS HOMOGÉNEOS DE EMPRESAS EN RELACIÓN CON EL IANC	36
5.2.1 Por tamaño del sistema.....	36
5.2.2 Cluster o Conglomerados.....	38
5.3 ANÁLISIS DE COSTOS OPERATIVOS	40
5.3.1 Procedimiento	40
5.3.2 Resultados de costos.....	41
5.3.3 Relación de costos operativos	42
5.4 TARIFAS	43
5.5 VALOR DE LOS ACTIVOS Y DE LAS REDES.....	44
5.6 CAPACIDAD INSTALADA VS CAPACIDAD UTILIZADA.....	44
CAPÍTULO 6 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS COMERCIALES.....	46
6.1 REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN	46
6.2 ANÁLISIS DE LA MUESTRA	47
6.3 BALANCE HÍDRICO DE LAS PÉRDIDAS COMERCIALES	47
6.3.1 Cálculo del volumen de agua no facturado por razones comerciales.....	47
6.3.2 Cálculo del volumen de agua no facturado por falta de micromedición.....	48
6.3.3 Cálculo de los usuarios a encuestar en el catastro.....	49
6.4 COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS PROGRAMAS.....	50
6.4.1 Costo del programa de micromedición.....	50
6.4.2 Costo del catastro de usuarios	50
6.5 BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS PROGRAMAS.....	51
6.5.1 Beneficios del programa de micromedición	51
6.5.2 Beneficios del catastro de usuarios.....	53
Rango de Factibilidad Económica del Índice de Agua No Contabilizada”	2
Tesis de Grado	

CAPÍTULO 7 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS.....	55
7.1 REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN	55
7.2 ANÁLISIS DE LA MUESTRA	55
7.3 BALANCE HIDRÍCO PARA DESAGREGAR LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS.	56
7.3.1 Cálculo de del volumen de agua no facturado por razones técnicas	57
7.3.2 Cálculo de del volumen de agua no facturado por sub-registro en la micromedición.....	57
7.3.3 Cálculo de del volumen de agua no facturado por fugas en daños reportados	58
7.3.4 Cálculo de del volumen de agua no facturado por fugas no visibles.....	60
7.4 COSTOS DE LOS PROGRAMAS PARA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS.....	61
7.4.1 Costo del programa de reparación y calibración de medidores.....	61
7.4.2 Costo de programas de mejoramiento en reacción a daños (fugas visibles).....	62
7.4.3 Costo de programas de detección de fugas (fugas no visibles)	64
7.4.4 Costos de programas de manejo de presiones (fugas no visibles y disminución en la frecuencia de daños).....	65
7.4.5 Costos de programas de reposición de redes	65
7.5 BENEFICIOS DE LOS PROGRAMAS PARA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS.	67
7.5.1 Beneficios del programa de reparación de micromedidores.....	67
7.5.2 Beneficios de la sectorización	68
7.5.3 Beneficios de los programas de reacción a daños.....	69
7.5.4 Beneficios de programas de detección de fugas.....	70
7.5.5 Beneficios de reposición de redes.....	70
CAPÍTULO 8 IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS.....	72
8.1 RESULTADOS DEL MODELO DE PÉRDIDAS COMERCIALES	72
8.2 RESULTADOS DEL MODELO DE PÉRDIDAS TÉCNICAS	79
8.3 ANÁLISIS DE COSTO MARGINAL Y BENEFICIO MARGINAL	87
8.4 ESTIMACIÓN DE RANGOS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL ÍNDICE DE AGUA NO CONTABILIZADA	88
CAPÍTULO 9 CONCLUSIONES	91
9.1 CONCLUSIONES SOBRE EL MARCO TEÓRICO	91
9.2 CONCLUSIONES SOBRE EL DIAGNÓSTICO NACIONAL E INTERNACIONAL.....	91
9.3 CONCLUSIONES SOBRE EL MODELO DE PÉRDIDAS COMERCIALES Y EL MODELO DE PÉRDIDAS TÉCNICAS	92
9.4 CONCLUSIONES SOBRE EL ANÁLISIS BENEFICIO COSTO Y EL RANGO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICO OBTENIDO	92
CAPÍTULO 10 BIBLIOGRAFÍA	94

LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1. Datos Internacionales de IANC	23
Tabla 4-2 Variables de medición de Inglaterra	24
Tabla 4-3 Datos de IANC de empresas que prestan el servicio en Inglaterra.....	25
Tabla 4-4. Ciudades de análisis IANC-Presión	25
Tabla 4-5 Pérdidas vs Presión	26
Tabla 5-1 IANC Empresas colombianas.....	33
Tabla 5-2 Indicadores nacionales de calidad.....	35
Tabla 5-3 Cluster	39
Tabla 5-4 Costos operativo de las empresas	42
Tabla 5-5 Sobre capacidad de producción	45
Tabla 8-1. Volumen de agua no facturado debido a distorsiones comerciales	72
Tabla 8-2 Volumen de pérdidas por falta de micromedición	73
Tabla 8-3 Número de usuarios a encuestar	74
Tabla 8-4 Costos de los programas de micromedición y catastro	75
Tabla 8-5 Beneficios de la micromedición	76
Tabla 8-6 Beneficios catastro de usuarios.....	77
Tabla 8-7 Beneficio-Costo de medidas comerciales.....	78
Tabla 8-8. Volumen de agua de pérdidas comerciales y de sub-registro.....	79
Tabla 8-9 Volumen de fuga en los daños reportados por las empresas	80
Tabla 8-10 Volumen de pérdidas en fugas no visibles	81
Tabla 8-11 Análisis Beneficio/Costo de implementación de programas de reposición y reparación de micromedidores.....	83
Tabla 8-12 Análisis Beneficio-Costo de Implementación de programas de reacción a atención de daños	84
Tabla 8-13 Análisis Beneficio-Costo de la implementación de programas de detección de fugas no visibles.....	85
Tabla 8-14 Orden de ejecución de programas	89

LSITA DE FIGURAS

Figura 3-1 Esquema Balance Hídrico	15
Figura 3-2. Presión vs Demanda.....	22
Figura 4-1 Internacional: Presión vs IANC.....	26
Figura 4-2 Diseño conceptual de la sectorización en las Islas de Malta	28
Figura 4-3 Detección de fugas. Islas de Malta	30
Figura 4-4 Actividad de reparación y reposición de redes en Inglaterra.	32
Figura 5-1 IANC vs Número de Suscriptores	34
Figura 5-2 Pérdidas por metro lineal de red vs # suscriptores	36
Figura 5-3 Pérdidas técnicas por ML vs Número de suscriptores	37
Figura 5-4 Relación logarítmica de los costos con el consumo y factor de escala.....	43
Figura 7-1 Esquema del modelo de pérdidas técnicas	56
Figura 8-1 Gráfico de Beneficios marginales y Costos marginales Vs Reducción de IANC	87
Figura 8-2 Gráfico de Beneficios marginales y Costos marginales Vs Reducción de IANC 2	88
Figura 8-3 Punto de factibilidad económica del índice de agua no contabilizada IANC	89
Figura 8-4 Punto de factibilidad económica del índice de agua no contabilizada IANC 2 .	90

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 Tarifas nacionales	95
ANEXO 2 Ajuste del valor de activos de las empresas nacionales	97
ANEXO 3 Ajuste de daños por kilómetro de red	98

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

El índice de agua no contabilizada de los sistemas de acueducto se ha convertido en un tema de interés y preocupación mundial, tanto para las finanzas de las empresas de acueducto, como para la conservación del recurso del agua y para la calidad del servicio hacia los usuarios.

Internacionalmente existen estudios profundos sobre el tema y se han desarrollado metodologías para la detección de fugas; control y reparación de daños; y programas de reducción del índice de agua no contabilizada en general. En Colombia, los estudios e investigaciones asociados, están en una etapa media, al igual que la implementación de los programas de reducción de agua no contabilizada. Sin embargo la legislación colombiana, soportada en la ley 142 de 1994, inició un plan para hacer activa la participación de todas las empresas en la reducción del índice de agua no contabilizada, comenzando por la necesidad de micromedición de consumo, luego por la necesidad de macromedición de producción de agua potable, pasando asimismo por los temas de programas de reducción del índice de agua no contabilizada.

El presente documento contiene información nacional e internacional sobre las variables que intervienen directa e indirectamente en la magnitud del volumen de agua no facturada, así como una evaluación profunda de la situación de los operadores nacionales dentro del marco de la gestión operativa y comercial de los mismos. A partir de esta información, se busca evaluar hasta que punto es económicamente factible para una empresa, desarrollar metodologías que logren disminuir el agua no contabilizada en sus sistemas. Lo anterior, a partir de la hipótesis que plantea que la implementación de programas para reducción del índice de agua no contabilizada, es más costosa a medida que este índice se acerca a cero.

La evaluación se realiza a partir de un modelo de análisis de costo-beneficio, en concordancia con el balance hídrico de cada sistema, sobre la implementación de programas de reducción del agua no contabilizada. Este análisis considera como entrada, el costo marginal de la implementación de programas para la reducción del índice de agua no contabilizada, y como salidas, el ahorro de costos de producción de agua y otros beneficios. Una vez incluidas estas variables es posible aproximarse a un rango de índice de agua no contabilizada a partir del cual, no es viable reducirlo desde el punto de vista económico. No obstante lo anterior, existen costos asociados a cada una de las empresas, hacia los cuales es posible aproximarse con consideraciones generales, más no es posible encontrar valores específicos sin el desarrollo de un análisis, una modelación y una calibración particular de cada red. Cabe precisar entonces, que el alcance de este estudio es de carácter general y la

aproximación realizada se logra a partir de información básica y pública complementada con referencias nacionales e internacionales.

Así mismo, es importante considerar que el comportamiento de las diferentes empresas del sector de agua potable varía dentro del ámbito colombiano de acuerdo con características socioeconómicas, topográficas del área de influencia, geológicas, etc., y por lo tanto se realiza un análisis diferencial entre grupos de empresas.

Capítulo 2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

El objetivo principal de este trabajo es identificar un rango de índice de agua no contabilizada, aplicable al ámbito colombiano, que refleje el estado hacia el cual las personas prestadoras tienen la posibilidad de llegar, sin incurrir en riesgos financieros. Lo anterior, a partir de un modelo que simule los posibles beneficios y costos de la implementación de programas, teniendo como referencia los resultados de diferentes investigaciones nacionales e internacionales y de las experiencias de aquellas empresas que han adelantado programas de control sobre el agua suministrada que no es facturada.

2.2 Objetivos Específicos

Analizar el estado del sector de agua a nivel internacional, en lo relacionado con programas de control de volúmenes de agua no facturados y de las variables relacionadas.

Evaluar los avances y resultados de la implementación de programas para reducción del agua no contabilizada.

Encontrar indicadores nacionales e internacionales que sean puntos de referencias para las demás empresas.

Identificar las diferentes causas técnicas y comerciales por las cuales se deja de facturar una porción del agua producida, en el orden en que deben ser intervenidas de acuerdo con su influencia en los costos y en la eficiencia de los programas asociados.

Desarrollar una metodología general para la tipificación de los niveles óptimos de reducción del índice de agua no contabilizada, que pueda ser utilizada con más detalle a partir de la inclusión de información de primera calidad.

Identificar los beneficios no cuantificables y los costos ocultos a futuro, de optar por aplicar medidas que reduzcan o controlen los niveles de agua no contabilizada.

Capítulo 3 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan definiciones de varios conceptos relacionados con la reducción del índice de agua no contabilizada, así como una descripción de los procedimientos que pueden implementarse para su control.

3.1 Definición del Índice de Agua no Contabilizada

El concepto general del agua no contabilizada se resume en la diferencia entre el agua producida y el agua facturada en un sistema de abastecimiento de agua potable.

El índice de agua no contabilizada (IANC) relaciona porcentualmente el agua producida con el agua facturada, tal como se muestra en la Ecuación 1, a continuación:

$$IANC = \frac{\text{Agua Producida} - \text{Agua Facturada}}{\text{Agua Producida}} \cdot 100 \%$$

Ecuación 1

donde:

IANC: índice de agua no contabilizada

Agua producida: se refiere al valor volumétrico de macromedición de producción en un período determinado

Agua Facturada: se refiere al valor volumétrico de agua facturado en un período determinado

El término producción de agua se refiere a la adición de valor que se le hace al agua captada, bien sea por procesos de transporte o tratamientos de potabilización¹.

Existen de igual forma, otros indicadores que reflejan el nivel de agua no facturada o contabilizada que están siendo utilizados en varios países desarrollados. Entre estos se encuentra el indicador de volumen por suscriptor, que refleja el agua que se está dejando de facturar por cada conexión con servicio prestado. Este indicador refleja indirectamente el costo de oportunidad del volumen no facturado, en términos de aumentos de cobertura en el mismo mercado o de bienestar social para aquellos habitantes que se encuentra fuera de los límites sanitarios. Sobre este mismo

¹ Existen casos en el mundo, como las regiones áridas de España, en los que el tramo desde la captación hasta la planta de tratamiento es tan largo que las pérdidas de agua presentes en esta conducción se deben tener en cuenta en las mediciones de agua no contabilizada, partiendo del concepto del valor adicional que tiene el agua en los puntos de tratamiento.

particular, existen otros indicadores que dirigidos a explicar un mayor detalle de las condiciones de los sistemas, tal como lo hace el indicador de infraestructura de fugas (*Infrastructure Leakage Index*), *ILI* por sus siglas en inglés². Este indicador representa la relación que existe entre las fugas reales de un sistema de acueducto (CARL), y las mínimas pérdidas reales posibles en ese mismo sistema si estuviera en óptimas condiciones (UARL)³. Para efectos de este estudio, el UARL es parte de lo se busca calcular y desarrollar y por lo tanto, no puede ser utilizado como entrada al modelo. Así mismo, aún cuando el indicador de volumen por usuario podría ser incorporado al análisis, se busca estimar costos por metro cúbico de agua no facturada y por ende, el indicador que mejor se adapta a las estimaciones es el *IANC*.

No obstante lo anterior, la relación porcentual que determina el índice de agua no contabilizada *IANC* genera en sí varios problemas de interpretación que deben considerarse, previo al análisis del que trata el presente estudio.

- En primer lugar, el hecho de relacionar el agua no contabilizada en forma porcentual hace que a medida que los consumos per cápita disminuyen, el índice aumente, sin necesidad de un mayor volumen de agua no contabilizada.
- En segundo lugar, es posible que se mayoren las cantidades producidas por la persona prestadora, debido a fallas en la macromedición a la salida de la planta, generando así un mayor índice de agua no contabilizada que no es real.

3.1.1 Clasificación de las causas del volumen de agua no facturado o contabilizado

Existen diferentes clasificaciones de las pérdidas de agua que las relacionan, entre otros, con las causas que las generan, con la destinación del volumen no facturado y con el tipo de procedimiento que las reduce.

De forma general, las “pérdidas” de agua se clasifican en pérdidas comerciales y pérdidas técnicas. Las comerciales están relacionadas con los volúmenes de agua que no son facturados por desviaciones o problemas en la gestión comercial y las técnicas se refieren a aquellos volúmenes de agua que no se facturan gracias a fallas en los equipos o a problemas en los activos bajo tierra de los sistemas.

De igual forma, se ha adoptado una clasificación en función del tipo de destinación del volumen no facturado. El nivel general de esta desagregación se divide en: pérdidas reales y pérdidas aparentes. Las pérdidas reales son aquellas cantidades de agua potable que no son consumidas ni utilizadas para la finalidad para la cual fueron producidas, es decir, las fugas visibles y las fugas no visibles. Las pérdidas aparentes

² Creado y adoptado por la IWA (International Water Association)

³ LAVILLE & HUTCHINSON. Non-Revenue Water Reduccion Strategy. The Bahamian Experience.

son aquellas cantidades de agua que son efectivamente consumidas pero que no son facturadas.

Para el análisis que se desarrolla a lo largo de este documento, las pérdidas se clasifican en: pérdidas comerciales y pérdidas técnicas. Lo anterior sin perjuicio de la utilización de otras categorías.

Se presenta a continuación una descripción de las clasificaciones citadas, con el fin de entenderlas al momento de ser utilizadas.

Pérdidas Reales-Pérdidas Aparentes

- **Pérdidas reales:** este componente del agua no contabilizada se refiere a todas aquellas fugas de agua generadas en la red de acueducto, aguas abajo de la planta de tratamiento y aguas arriba del micromedidor final. Estas fugas se deben a: rupturas visibles y no visibles en las tuberías, uniones y válvulas; reboses en los tanques; falta de hermeticidad en las estructuras; y escapes en otros accesorios. La experiencia en la investigación de este campo a mostrado que la mayor causa de estas fugas se debe a las pobres especificaciones de los activos y equipos de los sistemas⁴. Adicionalmente, se ha encontrado que estas pérdidas son función de: la longitud promedio de las acometidas, la longitud de las redes principales, las condiciones del suelo, la presión del sistema y la continuidad del servicio⁵. En este orden de ideas, hay cinco aspectos principales hacia los cuales se deben enfocar los programas para el control de estas pérdidas. Estos son: control de presiones; optimización de reboses; eficiencia en la atención y reparación de daños; seguimiento a las fugas; y control de calidad en los materiales de las tuberías y en la selección de accesorios.
- **Pérdidas aparentes:** este componente se refiere al agua producida que es consumida o utilizada pero no es efectivamente facturada o cobrada. Puede ser subdividida en aquella que es consumida sin autorización y aquella que es consumida con autorización. La primera se refiere a los fraudes por conexiones únicas clandestinas, por consumo del servicio sin estar registrado en el sistema* y por entradas paralelas con By-pass. La segunda se refiere a aquellos distorsiones o sub-registros en la medición al usuario final, causadas por la posición de los micromedidores, por la dificultad en la lectura por falta de espacio, por las especificaciones técnicas de los equipos, por el descaste de los accesorios internos, por el calibre o caudal nominal de los equipos, etc.^{*6}.

⁴ Non-Revenue. Water. Asian Development Bank.

⁵ LAVILLE & HUTCHINSON. Non-Revenue Water Reduccion Strategy. The Bahamian Experience.

* Los habitantes abastecidos deben pagar por el servicio prestado. Ley 142 de 1994.

* El problema es especialmente importante para los grandes consumidores dado que en ausencia de datos reales de consumo, se tiene a asignar micromedidores de caudal nominal mayor al necesario.

Pérdidas comerciales-Pérdidas técnicas

- **Pérdidas técnicas:** son aquellas generadas por problemas en la gestión operativa de los sistemas, en relación con las inversiones, la actividad operativa cotidiana y los mantenimientos preventivos y correctivos. Estas se dividen en: pérdidas por reboses y por autoconsumos, fugas visibles, fugas no visibles y pérdidas de submedición por fallas técnicas.

Las pérdidas por autoconsumo corresponden al volumen de agua que utiliza la propia empresa para el mantenimiento del sistema, aguas abajo de la macromedición de producción. Es decir, para lavar filtros, tanques de almacenamiento y demás componentes del sistema. Dependiendo del punto de macromedición, el volumen de agua de autoconsumo puede o no ser tenida en cuenta dentro de las pérdidas. Lo anterior quiere decir que dos empresas con igual volumen de agua no contabilizada, no necesariamente reportan el mismo valor del IANC, al diferir en el valor de pérdidas por autoconsumo.

Las pérdidas por submedición técnica se refieren al volumen de agua consumida por los usuarios medidos que no puede ser facturada por problemas en el medidor. Lo anterior puede deberse a baja calidad de los medidores, o por alguno de los problemas presentados dentro de la clasificación de fallas aparentes*.

Las pérdidas por fugas comprenden el volumen de agua que aunque es inyectado a las redes de distribución, no llega a ser consumida por los usuarios, ya sea por que se filtra a la superficie desde los tanques de almacenamiento o porque se filtra directamente desde las redes de conducción y distribución. Las principales causas de estas pérdidas son: degeneración del material de las tuberías por el tipo de suelo que las rodea (ácidos orgánicos, llenos con basuras, arcillas, suelos limosos, etc.), rompimientos en las tuberías debido a asentamientos del terreno, rompimientos en las tuberías o fallas en las uniones debido a movimientos sísmicos, desgaste de las uniones con metales diferentes debido a la corrosión por electrólisis, el transporte y la instalación con deficiente mano de obra, mala calidad de los materiales utilizados en las redes, sobrepresiones o subpresiones en un rango superior o inferior al de diseño debido a mala operación de los sistemas, desinfección de las redes y/o tanques de almacenamiento, reboses en los tanques de almacenamiento cuando estos son operados manualmente o cuando su sistema de control se encuentra en mal estado y, las demás presentadas dentro de las pérdidas reales.

⁶ Propuestas Metodológicas para el Cálculo de la Vida Útil de los Contadores de Agua. Instituto Tecnológico del Agua. U Politécnica de Valencia.

* La submedición se considera técnica en la clasificación de técnicas y comerciales, ya que ésta puede ser solucionada o controlada a partir de una gestión operativa eficiente.

Estas fugas se dividen a su vez en fugas visibles y no visibles y estas se subdividen de igual forma en, detectables y no detectables. Lo anterior bajo el entendido de que hay fugas tan pequeñas, con material metálico por encima y con tan baja presión, que aún con equipos acústicos, ultrasónicos, etc., no son posibles de detectar.

- **Pérdidas comerciales:** son aquellas generadas por problemas o distorsiones en la gestión comercial y administrativa. Estas pérdidas están comprendidas por consumos no autorizados que además no son facturados y los consumos autorizados que no son facturados, como el consumo en exceso de los usuarios registrados sin micromedición. Este caso se presenta cuando la empresa de acueducto cobra a los usuarios los servicios de abastecimiento de agua a partir de criterios diferentes al consumo. Entre los criterios de facturación se encuentran: el área de la vivienda, tarifa única general, entre otros. Para el caso colombiano, todos los usuarios deben estar registrados y con micromedición; sin embargo, la tarifa única general sigue existiendo.

Además de estas distorsiones, las empresas pueden tener una cantidad importante de usuarios no registrados, bien sea porque se han conectado ilegalmente o sencillamente porque la empresa, por problemas en su sistema de registro o facturación, no los tiene debidamente.

3.2 Esquema del Balance Hídrico

El balance hídrico de un sistema de acueducto comprende cada una de las entradas y salidas de volúmenes de agua al sistema. La suma de estas cantidades de agua debe ser igual a cero, o lo que es igual, deben coincidir tanto entradas como salidas en términos absolutos. El balance hídrico es la base para el modelo desarrollado en este estudio ya que permite estimar por sustracción, algunas pérdidas de agua que no son identificables sin conocer todo el lineamiento y modelo hidráulico de la red de cada operador.

En la Figura 3-1 a continuación se presenta en forma esquemática, el balance hídrico general para todo sistema de acueducto.

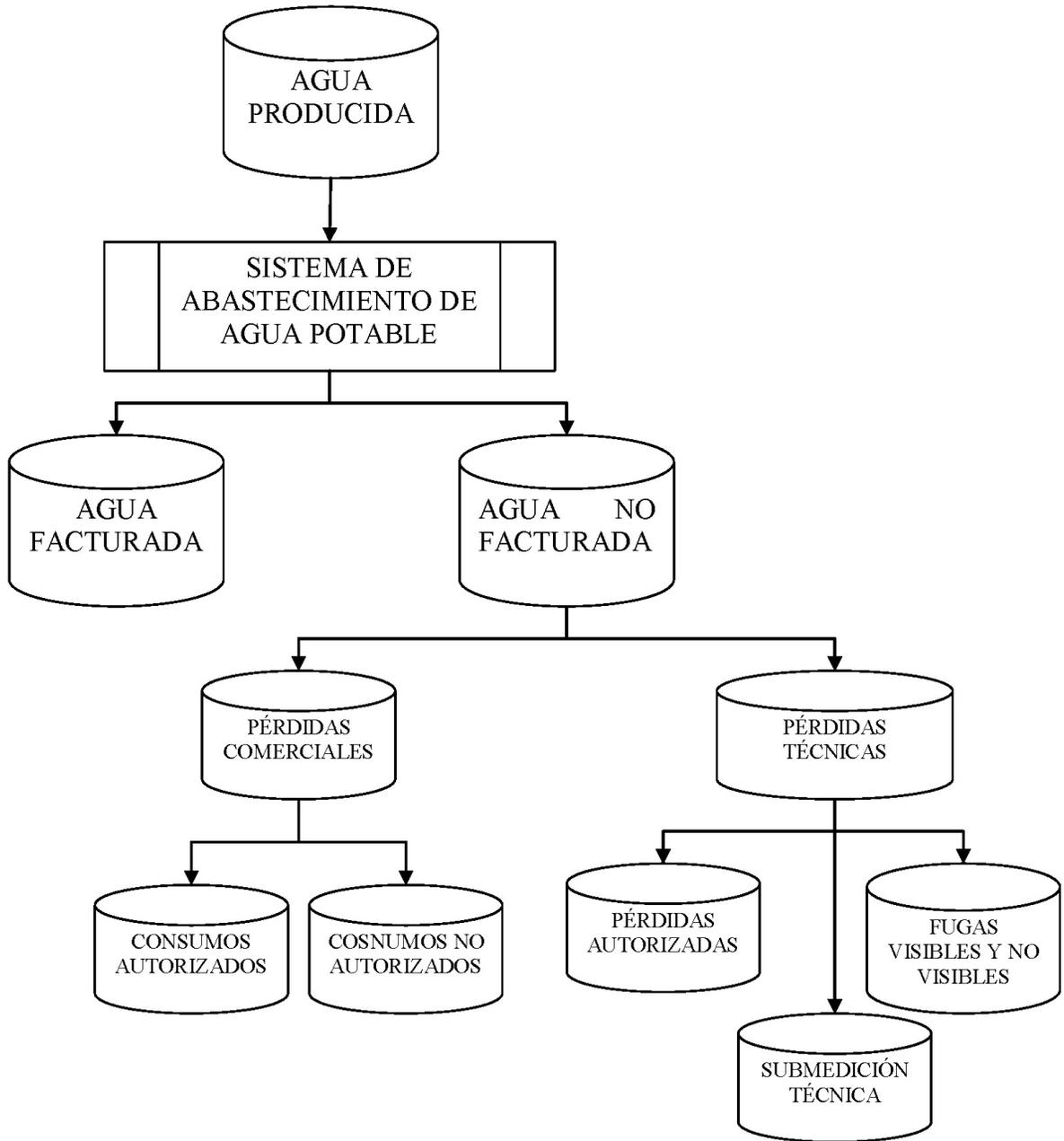


Figura 3-1 Esquema Balance Hídrico.

3.3 Programas de control y reducción del índice de agua no contabilizada

Estos programas tienen por objeto la disminución gradual de las pérdidas de agua en sistemas de acueducto. Sus costos dependen del tipo de la causa de la pérdida, de las inversiones necesarias y, del personal y recursos disponibles en las empresas.

De igual forma que las causas, las medidas o estrategias correctivas o preventivas, son clasificadas en comerciales y técnicas.

Ahora bien, existen medidas que deben tomarse de forma independiente a las causas que generan las pérdidas porque, tal como lo dice la sentencia inglesa⁷ “*si lo puedes medir..... lo puedes manejar*”.

Las medidas citadas son básicamente: el catastro y modelación de las redes; la sectorización; y la macromedición. Ambas no necesariamente generan resultados inmediatos, pero son la base para la implementación de los demás programas técnicos.

3.3.1 Catastro de redes y modelación

El catastro de redes es la práctica a partir de la cual se caracteriza toda la infraestructura existente bajo tierra a fin de poseer información precisa sobre materiales, diámetros, trazados, y ubicación geográfica referenciada en lo posible. Con esta información es posible detectar daños y roturas de forma ágil, con menores costos y con menor grado de traumatismo en las demás actividades. Una vez realizado el catastro, es posible entonces desarrollar el modelo hidráulico de las redes, más aún cuando la tecnología ofrece software y equipos rápidos y de bajos costos. La modelación permite, entre otros, simular diferentes estados del sistema y tomar decisiones sobre los resultados que se desprendan del modelo. Yendo más allá, los modelos calibrados y geo-referenciados, sirven para implementar el control en tiempo real y operar válvulas y compuertas de forma remota, dando paso, además, a la posibilidad de aplicación de las soluciones SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Los beneficios obtenidos con el catastro, la modelación, la implementación de soluciones SCADA y todos los programas de telemetría en general, no sólo están relacionados con la reducción de las pérdidas de agua sino que, permiten optimizar los procesos operativos normales de las empresas y aumentar las condiciones de servicio a los usuarios. Es importante precisar que si las condiciones económicas no lo permiten, la caracterización de usuarios puede complementarse con la información gráfica de los planes de ordenamiento territorial de los municipios,

⁷ RIZZO, Alex. Leakage Control and Unaccounted-for Water Analysis. Malta Water Services Corporation.

con los registros de catastro, con cartografía y con las comprobaciones de campo que sena necesarias⁸.

3.3.2 Sectorización

Las sectorizaciones hidráulicas y físicas delimitan las redes en zonas de servicio independientes y aisladas, en las cuales es posible controlar y monitorear los caudales de salida de forma ordenada, generando subsistemas de abastecimiento. La principal característica de la sectorización es que permite tener control sobre zonas más pequeñas en las cuales es posible aislar el flujo con respecto a las demás zonas. Para sectorizar las redes es necesario contar con el modelo de la red total e identificar los puntos estratégicos que permiten el asilamiento a través de estaciones o de válvulas de cierre o de control de caudal. La implementación de procesos telemétricos y SCADA, simplifican la adquisición de información y el control del procesamiento; sin embargo, es importante tener en cuenta que el paso de datta-logger sencillos a niveles más elevados de automatización, son el resultado del análisis económico de la empresa, una vez la sectorización es ejecutada. Ahora bien, la implementación de sub-zonas, proceso posterior al aislamiento de subsistemas, facilitan los balances hídricos entre tanques o entre las mediciones en la sub-zona y la fuente. Durante el desarrollo de la conceptualización de la sectorización es importante considerar los diferentes tipos de equipos, tales como: data-loggers de flujo y presión, controladores de presión, equipos acústicos, medidores ultrasónicos, detectores digitales de tuberías, entre otros.

3.3.3 Macromedición

La macromedición se refiere a la cuantificación de caudales captados, conducidos y distribuidos. En ocasiones en la práctica se tiene la idea de que la macromedición solamente aplica para las mediciones de producción global y que por ende son necesarias únicamente aquellas que se ubican a la salida de la planta o, a la entrada de la misma. No obstante lo anterior, macromedir subsistemas de la red es igualmente importante para los balances hídricos y para tener un mayor detalle de volúmenes en la red. Esta actividad es fundamental para la planeación, diseño, construcción, operación, mantenimiento y administración de los sistemas. Estos procesos están destinados a la obtención, procesamiento, análisis y divulgación de datos operacionales rutinarios de caudales, presión, niveles de agua en los tanques y estructuras de amortiguamiento, etc. Para estos programas es esencial la identificación de puntos estratégicos de medición, aspecto que estaría solucionado en su mayor parte por la sectorización física e hidráulica.

⁸ Programa de Agua No Contabilizada. Gobernación del Meta

3.3.4 Medidas comerciales principales:

Cuando se inició la preocupación mundial por los volúmenes de agua no facturados por las empresas, bajo el marco de un recurso de valor, los esfuerzos se concertaron en reducir las fugas en las tuberías. No obstante lo anterior, con el paso del tiempo y gracias a todas las investigaciones y estudios sobre el tema, se ha encontrado que una importante fracción de las pérdidas es causada por distorsiones comerciales y que éstas a su vez deben ser solucionadas prioritariamente. Lo anterior, dado que las referencias muestran que se generan grandes beneficios con pequeños esfuerzos, premisa que busca demostrarse para el sector de agua en Colombia.

A continuación se presentan cada una de las estrategias que debe componer un programa de reducción de pérdidas comerciales:

- La micromedición: las señales de precio sobre la demanda son efectivas en todos los rangos elásticos de consumo, tal como sucede para el servicio de abastecimiento de agua potable. La micromedición tiene como objeto, cuantificar los volúmenes de agua consumidos periódicamente por cada suscriptor, con el fin de relacionarlos en su factura. Es de esperarse entonces, que un suscriptor al que no le lleguen las señales de precio sobre el volumen de agua efectivamente consumido, no responda ante dicho efecto. Existen diferentes estudios que muestran la proporción en que es reducida la demanda de agua en la medida en que se ponen en marcha micromedidores a las entradas de las conexiones domiciliarias. Valores entre 25⁹% y 33% de disminución son arrojados por investigaciones que se basan en el acondicionamiento de micromedidores ocultos¹⁰, siendo los estratos medios y los bajos los más sensibles.

Estas disminuciones se traducirían en dos beneficios posibles para las empresas. El primero de ellos sería aquel derivado del ahorro en costos de producción y distribución del agua que ya no sería consumida sin el respectivo pago y el desplazamiento de inversiones. El segundo estaría relacionado con el costo de oportunidad de este recurso remante en otro mercado o en aquellas zonas sin cobertura.

Para lograr estos beneficios es necesario implementar programas de micromedición que en muchos casos, especialmente en los países subdesarrollados, debe complementarse con programas culturales y asociaciones con programas de seguridad pública. No obstante lo anterior, desde las posibles acciones de las empresas, la más evidente es la instalación de micromedidores en las acometidas. El valor de los equipos es pagado en algunos casos por los usuarios pero son financiados por las empresas, en muchas ocasiones a tasas

⁹ www.medkasa.com. Programa de Control de Agua no Contabilizada. Aguas de Manizales.

¹⁰ SILVESTRE, Juan Maldonado y OCHOA Leonel. Impacto de la Micromedición en Guaymas, Sonora. Instituto Mexicano de Tecnología del agua.

blandas. Los micromedidores volumétricos para los usuarios residenciales, están siendo utilizados ampliamente por su presión, en reemplazo de los medidores de flujo. No obstante, a nivel nacional algunos prestadores continúan instalando estos últimos.

- Catastro de Usuarios: el catastro de usuarios busca caracterizar a cada habitante que haga parte del área de servicio, con el fin de identificar los siguientes tipos: suscriptores de la empresa, con sus características geográficas y en lo posible con sus preferencias de consumo; potenciales suscriptores que no tienen cobertura del servicio; habitantes que no registrados en la base comercial pero que si son atendidos. Estos últimos pueden no estar registrados en la base comercial de la empresa por dos razones principales. La primera se refiere a los problemas de facturación paralela al interior de la empresa* y la segunda a las conexiones fraudulentas o, que no reciben ningún tipo de factura. El catastro de usuarios puede desarrollarse por personal de la empresa; sin embargo es recomendable hacerlo a través de la suscripción de un contrato. Se debe priorizar la planeación del catastro sobre los barrios subnormales, sobre los estratos más bajos y sobre las zonas de expansión ocupadas en momentos cercanos al momento de las encuestas, independientemente del estrato.

El valor del catastro es función de la densidad de vivienda, de la topografía y de todas aquellas variables que pueden hacer más complicado el acceso y desplazamiento a las viviendas o que de igual forma, generen economías de escala.

3.3.5 Medidas técnicas

Se han desarrollado diferentes prácticas operativas que buscan reducir al máximo las fugas en los sistemas. Estas prácticas, sumadas a los procesos de reposición, calibración y reparación de medidores y a la optimización de reboses, conforman los programas de reducción de las pérdidas técnicas.

A continuación se presentan cada una de las medidas a tomar de acuerdo con el tipo de causa técnica.

- Reparación y reposición de medidores: los micromedidores suelen deteriorarse con el tiempo y descalibrarse, generando mediciones distorsionadas. Estas distorsiones dificultan la generación de bases de datos confiables, la detección de fugas y se traducen generalmente en pérdidas financieras para la empresa. Para disminuir este efecto, se hace necesario examinar, calibrar, reparar o cuando se considere necesario, reponer los micromedidores. Adicionalmente, suelen presentarse otros problemas que generan la submedición tales como, obstrucción

* Llega factura

por sólidos suspendidos, instalaciones defectuosas, posiciones inclinadas de los equipos¹¹, etc. Para tener una idea de los costos de estos programas, existen referencias de tope para las reparaciones, tal como el indicador sobre el costo a nuevo del equipo que expresa que el costo de reparación de un medidor no debe ser mayor a la mitad del costo de este mismo a nuevo¹².

- Control de reboses: por seguridad, la mayoría de estructuras que bien sea por su finalidad o no, tienen algún tipo de almacenamiento, cuentan con sistemas de roboso que permite evacuar los excesos de agua. Estos sistemas deben estar complementados con válvulas de nivel, no sólo a la entrada de las estructuras, sino a la salida de las estructuras aguas arriba, de tal forma que sean accionadas y detengan la producción o el bombeo de agua con el fin de que estos reboses solamente sean utilizados en casos extremos. Con sistemas de control en tiempo real, estos reboses se minimizan y por ende las pérdidas de agua también lo hacen; sin embargo, esto puede lograrse de igual forma con un adecuado conocimiento del sistema, de las capacidades de las estructuras hidráulicas y de las curvas de demanda.

Ahora bien, los costos de reposición o reparación sumidos por la empresa o por el suscriptor no son los únicos costos asociados a estos programas. Identificar los micromedidores deteriorados o con fallas es aún más complicado. Se recomienda, una vez realizado el catastro de usuarios, tomar una muestra de conexiones, suficientemente representativa, que permita identificar zonas donde posiblemente los micromedidores tienen la misma tecnología y vidas útiles similares. De igual forma se recomienda analizar detalladamente aquellas viviendas en las cuales se consume por debajo del primer cuartil de consumo.

- Mejoras en eficiencia en el tiempo de atención a daños: estos programas son llamados “*programas de control pasivo de fugas*”¹³. En estos programas, la detección de las fugas es causada por aquellos eventos que son manifestados por sí solos y que llaman la atención de los operarios de las empresas o del público en general. Para optimizar estos programas es fundamental limitar y mejorar los tiempos de atención y de reparación o el tiempo de atención y asilamiento de la zona del daño. Lo anterior, trae como beneficio, la disminución del volumen de fuga. Estos programas pueden ser complementados con un mejoramiento en los canales de comunicación para que la falla no sólo sea atendida a tiempo, sino reportada con el menor número de inconvenientes. En este caso, los costos están, en su mayoría, asociados a la reparación y al desplazamiento del personal.

¹¹ Propuestas Metodológicas para el Cálculo de la Vida Útil de los Contadores de Agua. Instituto Tecnológico del Agua. U Politécnica de Valencia.

¹² www.medkasa.com

¹³ Breas and Background Estimates (BABE). BWS-Austria.

- Detección de fugas no visibles, no reportadas: con el fin de localizar los daños no reportados, se hace necesaria la utilización de técnicas de detección de fugas que permitan ser extendidas en la red, de forma continua o con gran frecuencia. Este tipo de programas es llamado “*Control activo de fugas*” y es fundamental para la reducción de pérdidas ya que es en este tipo de fugas donde se pierde la mayor cantidad de agua. Los costos de estos programas varían dependiendo del personal especializado, de los equipos utilizados, que pueden ir desde un sistema sónico normal (geófonos electromecánicos por ejemplo), hasta sistemas ultrasónicos, y correlatores modernos. Las mediciones nocturnas complementadas con los equipos de detección son mucho más eficientes que los equipos por si solos. No obstante lo anterior, es necesario contar con sistemas sectorizados y debidamente macromedidos.
- Control de presiones: las fugas no visibles pueden ser detectables o no detectables¹⁴. De acuerdo con los estudios de la BWS de Austria*, una fuga es detectable siempre que tenga un caudal de fuga mayor a 2gpm (0.13L/s) a 3 pies bajo tierra, en tubería metálica. No obstante lo anterior, el hecho de que algunas no puedan ser detectadas y otras sí, no es óbice para no poder reducir las. La presión a la cual opera el sistema o el subsistema, afecta cada una de las fugas en el sistema de conducción distribución e incluso las redes domiciliarias y sus accesorios.

Existen dos patrones principales de descarga relacionados con la presión de operación de la red. El primero se refiere a aquellos daños de área fija y a aquellos daños o roturas con área variable. El caudal que se fuga a través del primer patrón de falla, es función de la presión en una relación directamente proporcional con la raíz de ésta. El caudal de fuga en el segundo patrón de falla, normalmente presente en tuberías plásticas, varía en una relación potencial entre 1.5 y 2.5¹⁵. Adicionalmente, recientes estudios sobre datos de Japón e Inglaterra muestran que para sistemas mixtos o con una combinación de materiales en las tuberías, el factor potencial es normalmente de 1.15. Así las cosas, es claro que una de las principales medidas a aplicar en los sistemas para la reducción o control de pérdidas de agua es el manejo adecuado de las presiones.

Adicionalmente, cabe señalar que la presión no sólo afecta el caudal a través de las fugas sino también la frecuencia con que se presentan los daños. Datos recientes de Inglaterra muestran que los daños en las tuberías principales se incrementan en relación con el cuadrado de la presión, lo que significa que un sistema de control de fugas es enormemente sensible a la presión.

¹⁴ Éstas, sumadas a los errores de cierre del balance hídrico se conocen como pérdidas escondidas.

* Bristol Water Holdings Group. www.bws-gb.com

¹⁵ Bristol Water Holdings Group. www.bws-gb.com

En este sentido, el proyecto *POPI* (Plano Óptimo de Presiones), desarrollado por el Centro de Investigaciones de Acueducto y Alcantarillado, muestra las reducciones de fugas generadas por la optimización de las presiones en sectores de una ciudad colombiana.

El factor Noche-Día es fundamental para el control de presiones ya que tal como se presenta en la Figura 3-2, la presión aumenta (área gris o sin textura) a medida que la demanda baja (área con textura azul). Es por lo anterior que un control de presión, programado para las diferentes horas del día, una vez conocidas las curvas de demanda por zona, es la combinación ideal para lograr resultados efectivos en términos de reducción de pérdidas y de calidad en la prestación del servicio.

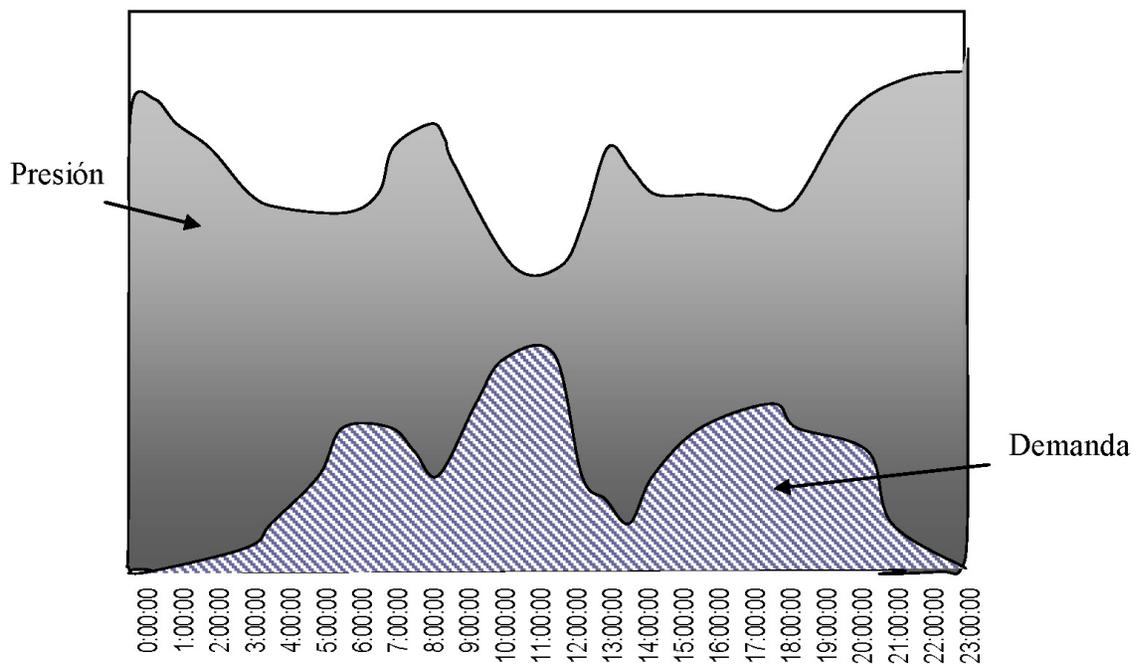


Figura 3-2. Presión vs Demanda

Sin embargo, debe considerarse que existen niveles mínimos de presión considerados como indicadores de calidad de la prestación del servicio y por lo tanto, la reducción de presión está limitada por estos niveles. En este sentido, a medida que exista mayor sectorización de la red, mayor posibilidad existe de lograr uniformizar la presión de tal forma que en promedio sea menor a la que se obtendría, manejando el sistema de forma global.

Capítulo 4 DIAGNÓSTICO INTERNACIONAL

A lo largo de este capítulo se presenta un resumen del estado actual de las pérdidas de agua en el mundo y algunas variables asociadas, así como las experiencias de los diferentes países en la implementación de programas de reducción del índice de agua no contabilizada.

4.1 Valores de pérdidas de agua

A nivel mundial existen diferentes niveles de desagregación de la información y en diferentes momentos diferentes momentos en el tiempo. En la

PAIS/CIUDAD/ EMPRESA	IANC	AÑO									
Manila	63%	2001	Sydey	13%	2003	Karachi	33%	2001	Cape Town	23%	2001
Kuala Lumpur	45%	2001	Los Ángeles	10%	2002	Johannesburgo	42%	2001	Uruguay	51%	2000
Kathmandu	38%	2001	Francia	10%	2002	Addis Ababa	40%	2001	Aisa	32%	2000
Karachi	30%	2001	Phnom Penh	23%	2001	Sana'a	30%	2001	Saguapac	17%	2000
Jakarta	51%	2001	Seoul	26%	2001	Yemen	40%	2001	Sela	40%	2000
Hong Kong	26%	2001	Shanghai	18%	2001	Mexico	39%	2001	Cosmol	10%	2000
Ho Chi Minh	39%	2001	Tashkent	29%	2001	Oran	42%	2000	Elapas	25%	2000
Dhaka	40%	2001	Ulaanbaatar	38%	2001	Libano	40%	2000	Coatri	58%	2000
Delhi	53%	2001	Vientianc	30%	2001	Teherán	35%	2000	Capag	31%	2000
Colombo	55%	2001	Nutshell	30%	2001	Casa Blanca	33%	2000	Aapos	56%	2000
Bangkok	38%	2001	Osaka	8%	2001	Ramallah	26%	2000	COSAALT	42%	2000
New Providence	51%	2000	Amman	52%	2000	Tunez	22%	2000	COOPAG UAS	39%	2000
Singapore	6%	1994	Algiers	51%	2000	Dubai	15%	2000	COSP HUL	36%	2000
Murcia	30%	1994	Hebron	49%	2000	Madagascar	39%	2000	COO SERP AC	50%	2000
Barcelona	23%	1991	COOPA PPI	37%	2000	Nicaragua	42%	2000	COSP AIL	28%	2000
San Jose	46%	1990	Monterrey	36%	1998	Gaza	31%	1999	COO PLAN	60%	2000
Singapore	11%	1989	Gallitzon Pennsu	9%	1998	Washington	14%	1999	SEMA PA	41%	2000
San Paulo	25%	1983	Damascus	63%	1995	Nablus	40%	1998	Gaza	48%	1995

presentan los datos de *IANC* relacionados con el lugar y con la fecha en que fueron reportados.

Tabla 4-1. Datos Internacionales de IANC

PAIS/CIUDAD/ EMPRESA	IANC	AÑO	PAIS/CIUDAD/ EMPRESA	IANC	AÑO	PAIS/CIUDAD/ EMPRESA	IANC	AÑO	PAIS/CIUDAD/E MPRESA	IANC	AÑO
Manila	63%	2001	Sydey	13%	2003	Karachi	33%	2001	Cape Town	23%	2001
Kuala Lumpur	45%	2001	Los Ángeles	10%	2002	Johannesburgo	42%	2001	Uruguay	51%	2000
Kathmandu	38%	2001	Francia	10%	2002	Addis Ababa	40%	2001	Aisa	32%	2000
Karachi	30%	2001	Phnom Penh	23%	2001	Sana'a	30%	2001	Saguapac	17%	2000
Jakarta	51%	2001	Seoul	26%	2001	Yemen	40%	2001	Sela	40%	2000
Hong Kong	26%	2001	Shanghai	18%	2001	Mexico	39%	2001	Cosmol	10%	2000
Ho Chi Minh	39%	2001	Tashkent	29%	2001	Oran	42%	2000	Elapas	25%	2000
Dhaka	40%	2001	Ulaanbaatar	38%	2001	Libano	40%	2000	Coatri	58%	2000
Delhi	53%	2001	Vientianc	30%	2001	Teherán	35%	2000	Capag	31%	2000
Colombo	55%	2001	Nutshell	30%	2001	Casa Blanca	33%	2000	Aapos	56%	2000
Bangkok	38%	2001	Osaka	8%	2001	Ramallah	26%	2000	COSAALT _†	42%	2000
New Providence	51%	2000	Amman	52%	2000	Tunez	22%	2000	COOPAG UAS _*	39%	2000
Singapore	6%	1994	Algiers	51%	2000	Dubai	15%	2000	COSP HUL*	36%	2000
Murcia	30%	1994	Hebron	49%	2000	Madagascar	39%	2000	COO SERP AC	50%	2000
Barcelona	23%	1991	COOPA PPI	37%	2000	Nicaragua	42%	2000	COSP AIL*	28%	2000
San Jose	46%	1990	Monterrey	36%	1998	Gaza	31%	1999	COO PLAN*	60%	2000
Singapore	11%	1989	Gallitzon Pennsu	9%	1998	Washington	14%	1999	SEMA PA*	41%	2000
San Paulo	25%	1983	Damascus	63%	1995	Nablus	40%	1998	Gaza	48%	1995

Los datos obtenidos¹⁶, muestran una fuerte tendencia a un mayor IANC en países en vía de desarrollo y un menor IANC en aquellos países europeos y asiáticos con mayor desarrollo. En este mismo sentido, en Norteamérica se presentan niveles normales con tendencia hacia límites bajos.

Los valores mínimos están por debajo de 10%, entre los se encuentran valores de 6%, 8% y 9%.

Adicionalmente, OFWAT (*Office of Water*), Entidad Reguladora de Agua de Inglaterra, presenta datos Inglaterra, presenta datos desagregados entre pérdidas reales y pérdidas aparentes, tal como se como se presenta en la Tabla 4-2 y en la

Tabla 4-3.

Tabla 4-2 Variables de Medición de Inglaterra

¹⁶ Principales fuentes: Banco Mundial; Internacional Water Data Comparison Ltd; Ofwat, Comisión Nacional de Agua en México. OPS. Las demás fuentes se presentan en la Bibliografía

* Singapur

INGLATERRA				
EMPRESA	NO MICROMEDIDA		MICROMEDIDA	
	RESIDENCIAL	NO RESIDENCIAL	RESIDENCIAL	NO RESIDENCIAL
ANGLIAN				
DWR CYMRU	48,1	0,7	16,8	32,6
NORTH WEST	63,5	2,5	1,9	31
NORTHUMBRIAN	61	1,1	4,2	32,6
SEVERN TRENT	61,5	3,2	1,8	32,4
SOUTH WEST	60,6	0,9	7,8	29,8
SOUTHERN	59,8	2,5	7,8	29
THAMES	61,4	2,6	8,6	26,1
WESSWX	61,5	1,3	6,7	29,1
YORKSHIRE	47,2	6,5	7,2	37,3
BOURNEMOUTH	59,1	1,5	7,1	30,9
BRISTOL	46,7	1,8	5,9	45,2
CAMBRIDGE	57,8	6,9	5,4	28,7
DEE VALLEY	51	1,6	14,3	32,6
ESSEX & SUFFOLK	56	0,6	7,1	36
FOLKESTONE	61	0,7	7,3	30,3
HARTLEPOOL	51,2	2,3	12,1	33,2
MID KENT	47	0,7	0,4	51,7
NORTH SURREY	63,2	1,4	7,8	26,8
PORTSMOUTH	62,7	1,2	7,5	28,5
SOUTHEAST 1	69,3	1,5	0,4	28,8
SOUTH STAFFS	65,6	3,8	4,3	24,9
SUTTON & EAST SURREY	74	1,1	5,8	18,7
TENDRING HUNDRED	58,1	0,6	14,3	26,8
THREE VALLEYS	70,1	2,1	5,8	20,9
YORK	68,9	2	0,9	27,8

Tabla 4-3 Datos de IANC de empresas que prestan el servicio en Inglaterra

INGLATERRA						
EMPRESA	TOMADA NO FACTURADA %	PRODUCIDA (ML/d)	FACTURADA (ML/d)	PÉRDIDAS REALES (ML/d)	IANC	PÉRDIDAS COMERCIALES
ANGLIAN						
DWR CYMRU	1,90%	1112,1	971,3	201	12,66%	1,66%
NORTH WEST	1,00%	948,8	695,4	306	26,71%	0,73%
NORTHUMBRIAN	1,20%	1977,3	1559,7	510,3	21,12%	0,95%
SEVERN TRENT	1,20%	776,8	653,5	170,7	15,87%	1,01%
SOUTH WEST	0,80%	1869	1632	342,2	12,68%	0,70%
SOUTHERN	0,80%	433,7	365,6	91,6	15,70%	0,67%
THAMES	1,30%	588,4	520,3	94,8	11,57%	1,15%
WESSWX	1,30%	2481	1891,8	770,4	23,75%	0,99%
YORKSHIRE	1,80%	387,1	303,7	100,3	21,54%	1,41%
BOURNEMOUTH	1,40%	11812,7	9566,2	2922,2	19,02%	1,13%
BRISTOL	0,50%	153,5	134	25,7	12,70%	0,44%
CAMBRIDGE	1,20%	300,9	255	56,4	15,25%	1,02%
DEE VALLEY	0,40%	70,9	60,6	13,1	14,53%	0,34%
ESSEX & SUFFOLK	0,30%	70,7	63,2	11,9	10,61%	0,27%
FOLKESTONE	0,70%	479,8	431,4	76,4	10,09%	0,63%
HARTLEPOOL	1,20%	49	42,9	8,7	12,45%	1,05%
MID KENT	0,20%	33,8	30,4	4,7	10,06%	0,18%
NORTH SURREY	0,90%	158,7	139,5	30,1	12,10%	0,79%
PORTSMOUTH	0,00%	128,8	113,8	22,3	11,65%	0,00%
SOUTHEAST 1	0,00%	173,7	151,1	30,5	13,01%	0,00%
SOUTH STAFFS	1,40%	331,4	276,3	77,1	16,63%	1,17%
SUTTON & EAST SURREY	0,30%	151,8	136,6	24,9	10,01%	0,27%
TENDRING HUNDRED	0,20%	29,7	25,1	5,5	15,49%	0,17%
THREE VALLEYS	1,10%	682,3	591,8	135	13,26%	0,95%
YORK	0,30%	46,1	40,4	9	12,36%	0,26%

Cifras en mega litros/día (datos de 1999)

Los datos presentados muestran que en Inglaterra el valor de las pérdidas se concentra entre 10 y 15%, siendo la mediana 13.26% y la media 15.03%.

Es importante analizar estos valores a fin de identificar índices mínimos factibles en el mundo, contando con información de los mejores sectores, tal como sucede con los datos de Inglaterra.

En la Tabla 4-5 se presentan datos de diferentes sistemas con sus presiones promedio de operación y sus IANC. Estos sistemas están identificados con números y corresponde a las siguientes ciudades:

Tabla 4-4. Ciudades de análisis IANC-Presión

BRAZIL	GIBRALTAR	NETHERLANDS	SWEDEN
DINAMARCA	GRECIA	NUEVA ZELANDIA	UK
FRANCIA	ICELAND	SONGAPORE	USA
FINLANDIA	JAPÓN	ESPAÑA	PALESTINA
ALEMANIA	GOZO	SWTZERLAND	

Tabla 4-5 Pérdidas vs Presión

REFERENCIA DEL SISTEMA	PÉRDIDAS REALES	PRESIÓN
1	3,5%	35
2	6,1%	50
3	15,0%	45
4	0,9%	40
5	29,4%	57
6	19,7%	106
7	4,4%	35
8	19,5%	46
9	9,5%	60
10	23,9%	46
11	5,5%	39
12	11,6%	57
13	51,5%	54
14	2,4%	30
15	8,1%	70
16	31,7%	30
17	14,5%	46
18	14,4%	50
19	55,8%	36
20	14,5%	39
21	18,0%	35
22	10,3%	31
23	21,2%	48
24	57,3%	71
25	11,0%	45
26	11,5%	37
27	25,8%	45

En la Figura 4-1 se puede observar que no existe una correlación evidente entre la presión de los diferentes sistemas internacionales y su nivel de agua no facturada. Sin embargo se muestra que entre los IANC de 0% a 10% existe una relación alta, lo que podría implicar que en este rango, las pérdidas son sensibles a la presión.

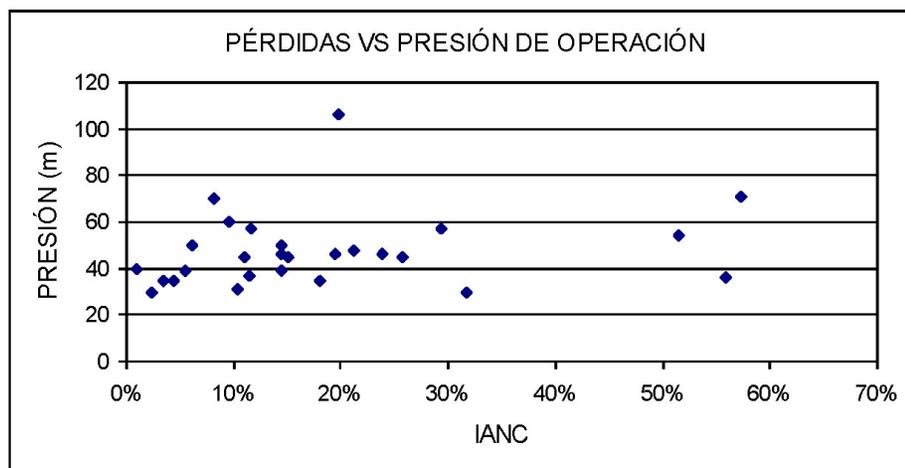


Figura 4-1 Internacional: Presión vs IANC

4.2 Experiencia en la Implementación de Programas de Reducción del Índice de Agua no contabilizada.

Alrededor del mundo se han implementado los diversos programas descritos en el marco teórico del presente documento. Sin embargo los resultados obtenidos por las empresas han sido diferentes, aún cuando sus estrategias sean similares. A continuación se resumen las experiencias de algunos sistemas, de acuerdo con el programa implementado y el estado de ejecución de programas de otras empresas.

4.2.1 Sectorización, instrumentación, catastro, modelación de las redes y control de presiones.

La experiencia de las Bahamas está específicamente relacionada con las pérdidas reales ya que la mayoría de los programas implementados se concertaron en esta porción del volumen total de pérdidas. Los principales proyectos estaban dirigidos a la instrumentación del sistema y a la adquisición de información de carácter técnico operativo. Estas medidas tenían un costo aproximado de 1 millón de dólares y período de desarrollo de 6 meses. Adicionalmente la optimización del sistema para control de presiones tenía un presupuesto de 0.20 millones de dólares, para una duración de 3 meses. Con estas estrategias, se buscaba conocer el estado de la red, el estado real del IANC y el control sobre los flujos y los caudales.

La experiencia de Murcia muestra un avance importante en el tema de agua no contabilizada ya que se obtuvo una reducción de 20 puntos porcentuales sobre el IANC, al término de 4 años (en 1994) de aplicación de diferentes medidas. Las principales prácticas adelantadas fueron: sectorización y macromedición en puntos estratégicos del sistema, modelación detallada de la red, con la inclusión de variable de costos y control de presiones

La experiencia de Singapur es fundamental para los análisis de este estudio ya que la implementación de programas estructurados en sus sistemas, inició con unos niveles muy bajos de pérdidas de agua (10.6% en 1989). En ese momento, los sistemas contaban con un alto nivel de macromedición y con equipos de tipo magnéticos que se calibraban una vez al mes. Los micromedidores residenciales eran repuestos cada siete años y los industriales y comerciales, cada cuatro años. No existía subsidio sobre los volúmenes de agua de los hidrantes u otros consumos. El sistema comercial estaba altamente controlado, al igual que cada uno de los consumos de sus usuarios. Así las cosas, las reducciones obtenidas en estos sistemas, no se debieron exactamente a la instalación de nuevos equipos o sectorización del sistema ya que estos estaban bien manejados operativamente. Sin embargo, tal como se presenta en el numeral de reposición de redes, cuando existen niveles tan bajos de pérdidas, las medidas a aplicar están relacionadas más con los activos bajo tierra que

con las demás prácticas. No obstante, lo anteriormente expuesto permite concluir que un sistema con buena instrumentación y con un buen conocimiento de las redes, puede llegar a tener niveles bajos de pérdidas, tal como lo tenían los sistemas en cuestión cuando iniciaron a estructurar los programas de reducción del índice de agua no contabilizada.

El programa de Las islas de Malta estaba muy enfocado hacia la sectorización de las redes. Se conceptualizaron altos grados de sectorización con zonas maestras, cluster y zonas. Se buscaba instrumentar cada zona (unidad pequeña de división) con instrumentos como: data-loggers para flujo y presión, controles de presión, equipos acústicos, medidores ultrasónicos y otros, con la estructuración que se presenta en la Figura 4-2

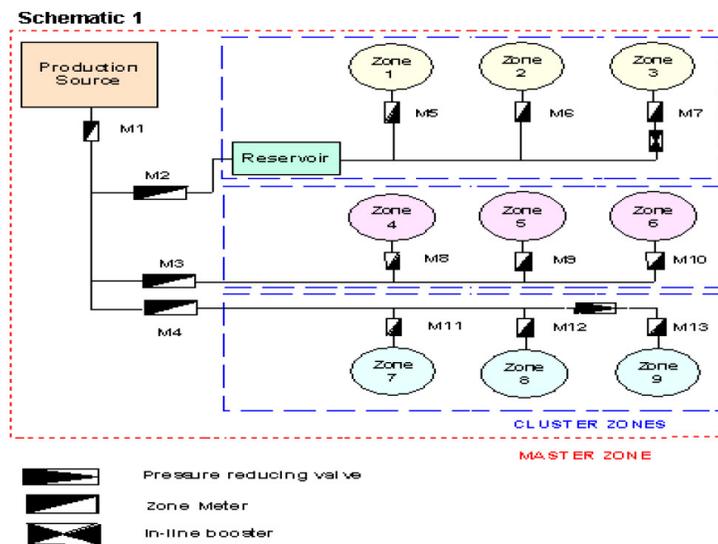


Figura 4-2 Diseño conceptual de la sectorización en las Islas de Malta¹⁷

En México se desarrolló un programa especialmente dirigido a la sectorización de la red de distribución de agua potable de Monterrey. Esta práctica se adelantó con unas perspectivas de reducción de 16.35% (iniciar en 36.5 y llegar a 20%). Se tomó como consideración para la planeación una base de 1400 sectores y se presupuestó una capacidad de 56 sectores por mes. Sin embargo una vez en ejecución se encontró una capacidad real de 24 sectores por mes. Las metas de reducción fueron alcanzadas a lo largo del curso del proyecto que, planeado para 5.8 años a partir de junio de 1998.

En Sydney la experiencia de sectorización fue desarrollada por etapas, partiendo de un proyecto piloto de manejo de presiones. Para esto se sectorizó una parte de la red. Una vez obtenidos los resultados del proyecto y dado el éxito del mismo, éste se prolongó a lo largo de 7000 kilómetros en el año 2003, especialmente a partir de

¹⁷ Obtenida de: RIZZO, Alex. *Leakege Control and Unaccounted-for Water*. Malta Water Conproration.

instrumentación, para monitoreo de las redes principales y para el manejo de las presiones.

Nicaragua ha desarrollado un programa de reducción de pérdidas, altamente enfocado al mejoramiento de la micromedición y a la gestión comercial. Con respecto a la macromedición, cabe señalar que para este caso es fundamental su control dado que la infraestructura instalada de producción contiene en la mayor proporción captaciones subterráneas y de galerías y por ende la instalación de medidores es fundamental, para conocer el nivel de producción de los operadores.

4.2.2 Reparación, calibración y reposición de micromedidores

El sistema de Nablus (Alemania) encontró dentro del diagnóstico de su sistema, que una gran fracción del volumen de agua no facturada, era causada por los medidores de velocidad instalados en las acometidas. Después de evaluar la relación beneficio costo, la empresa prestadora decidió cambiar todos los micromedidores existentes, por micromedidores volumétricos. Así entonces la totalidad de los usuarios son medidos con esta tecnología.

Nicaragua proyectó en 1997, la sustitución de 31.153 micromedidores en mal estado. Lo anterior fue motivado por la gran participación de este efecto dentro de las causas de los altos niveles del índice de agua no contabilizada. Dentro del diseño conceptual se encontró que en la en situación de ENECAL (sistemas de agua potable de Nicaragua) las acciones sobre la micromedición constituían quizás el factor de mayor importancia en la reducción efectiva del índice de agua no contabilizada.

Singapour contaba con una política de reposición de micromedidores con una periodicidad de 10 años. Sin embargo, una vez se estructuró el programa de reducción de agua no contabilizada, aún cuando sus niveles eran bajos, implementó la política de reposición de micromedidores cada 7 años. Este cambio le significó a la empresa un costo adicional de \$1.7 por conexión al año, con la instalación de micromedidores con un valor de \$40. Sin embargo, al analizar los sub-registros, cuando los medidores eran repuestos cada 10 años, se encontró que este efecto generaba pérdidas por \$9.65 por conexión al año, lo que implicaba un análisis beneficio-costos de la nueva política, bastante alto.

4.2.3 Detección de fugas y reparación de daños

La experiencia de las Bahamas en este sentido estaba altamente relacionada con los programas de instrumentación. No obstante lo anterior, se desarrolló un proyecto individual dirigido específicamente al mejoramiento en la detección de fugas. Este proyecto tuvo un presupuesto de 0.9 millones de dólares y un período de ejecución de 2 meses.

En las islas de Malta el programa de detección de fugas, estuvo diseñado conjuntamente con el programa de sectorización. La propuesta se presenta en el esquema de la Figura 4-3.

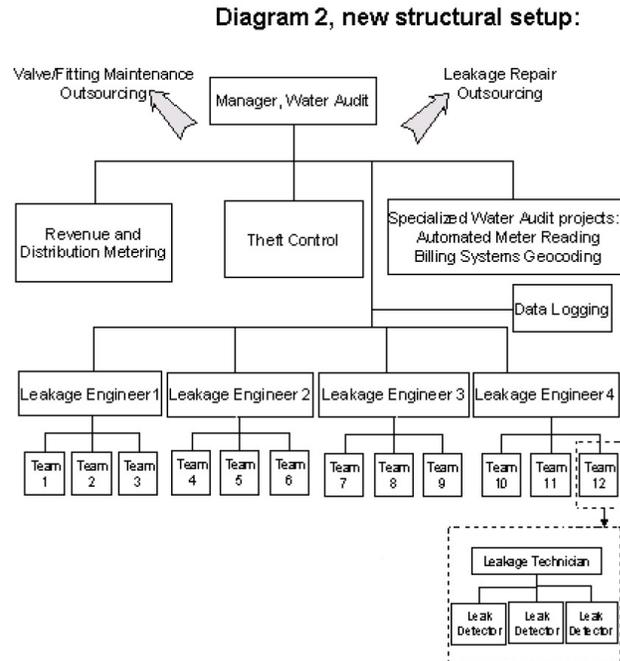


Figura 4-3 Detección de Fugas. Islas de Malta

En cuanto a la reparación de daños, la experiencia de Pennsylvania, específicamente en el sistema Gallitzin, es particularmente interesante. El programa de detección y atención de daños fue motivado por el alto pico de consumo presentado a inicios de 1995 y el nivel del índice de agua no contabilizada (70%). La primera práctica se concentró en la modelación de las redes para crear un mapa de fugas en el modelo. A través de este detector de fugas, se logró identificar el 95% de éstas. En 1998, 4 años después de la implementación del programa, el sistema tiene capacidad suficiente, un índice de agua no contabilizada de 9%, siendo la reducción absoluta de 61 puntos, todo lo anterior con un valor entre \$20.000 y \$25.000 (US).

Pakistan desarrolló un programa de reparación de fugas, bajo la financiación del Banco Mundial, en el que se logró un promedio de reparaciones de 400 a 500 al año, a lo largo de un período de 5 años. El proyecto tuvo un valor de 1.192 millones Rs actualizados a 2001. El principal beneficio de estas reducciones es el aumento de la capacidad del sistema y por ende la posibilidad de inclusión de nuevos suscriptores sin cobertura.

En África, los programas de reducción de pérdidas tienen como prioridad la detección y minimización de fugas ya que se considera que éstas generan unas pérdidas de 10 millones de dólares al año.

4.2.4 Reposición y Rehabilitación de Redes

En general, se observa, al estudiar la bibliografía, que el programa más costoso y complicado es el programa de reposición de redes. Estas prácticas de reposición de reducción de redes, para reducción del índice de agua no contabilizada son realizadas con el fin de disminuir las fugas no detectables identificadas en sub-zonas o cuando los daños en un tramo de red son reiterativos.

El caso de Singapur refleja la situación descrita. Tal como se mencionó al inicio de este capítulo, estos sistemas presentaban unas buenas características de instrumentación, especialmente macromedición, excelente gestión comercial e implementó los procesos de detección de fugas. No obstante lo anterior, se llegó a un punto a partir del cual, la aplicación de estas técnicas no surgía un mayor efecto. En este caso se decidió entonces dar paso a los proyectos de reposición de redes. En este caso, la política consistía en reponer tramos completos de tuberías, cuando el número de daños excedía a 3 por kilómetro de red. Este indicador permitió obtener un balance financiero positivo que arrojó como resultado un IANC de 6%.

El caso de Inglaterra es otro ejemplo de la implementación de programas de reposición de redes a fin de reducir el IANC, cuando las demás causas de este problema son controladas. La Figura 4-4 muestra la actividad de reparación y reposición de redes de las empresas que prestan el servicio a lo largo del territorio Inglés. Sobre este particular es importante aclarar que para el sector de agua Inglés, se considera que los niveles de fugas y de pérdidas en general están en un punto razonable, de igual forma que sus niveles de reposición y reparación de tuberías que buscan mantener el estado actual de los sistemas, más que disminuir el IANC particular.

Figure 3: Breakdown of supply pipe repair and replacement activity in 1998-99

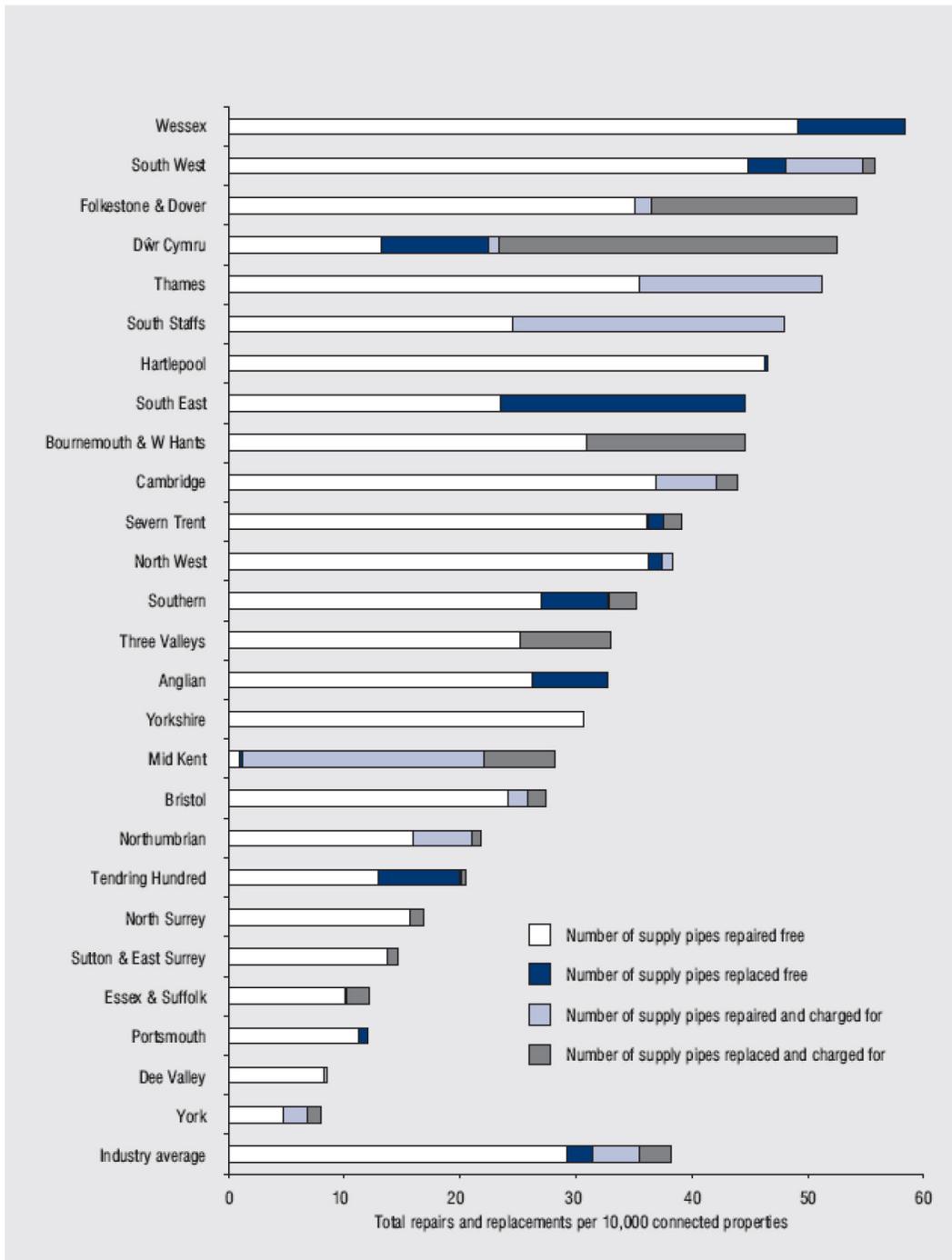


Figura 4-4 Actividad de reparación y reposición de redes en Inglaterra.

Capítulo 5 DIAGNÓSTICO NACIONAL

A lo largo de este capítulo se presenta la información básica necesaria para alimentar el modelo de balance hídrico y análisis beneficio-coste de las pérdidas técnicas y las pérdidas comerciales. Adicionalmente, se presentan algunos análisis y evaluaciones sobre las relaciones entre las diferentes variables.

5.1 Indicadores Nacionales

En primer lugar se presentan los valores de *IANC*, reportados por los prestadores para el año 2002 y desagregados en pérdidas técnicas y pérdidas comerciales¹⁸.

Tabla 5-1 *IANC* Empresas colombianas

EMPRESA	NÚMERO DE USUARIOS	IANC	AGUA PRODUCIDA m ³ /año	AGUA FACTURADA m ³ / año	m ³ "PERDIDOS" totales	% PÉRDIDAS COMERCIALES	% PÉRDIDAS TÉCNICAS
EAAB	1.337.408	40%	482.279.745	314.446.394	194646708	48,21%	51,79%
EPM	779.067	33%	261.424.680	175.677.385	85747295	42,74%	57,26%
EMCALI	443.784	42%	228.182.159	135.266.384	95905496	50,00%	50,00%
TRIPLE A	296.127	51%	175.190.495	108.618.107	89742071	0,00%	100,00%
BMANGA	174.563	33%	72.434.576	48.748.470	24134576	23,24%	76,76%
CARTAGENA	129.378	51%	65.769.051	36.150.781	33693941	71,04%	28,96%
PEREIRA	93.824	42%	42.623.292	24.653.312	17968253	90,28%	9,72%
MANIZALES	95.261	36%	30.597.732	20.500.480	11129150	99,00%	1,00%
ARMENIA	68.959	42%	25.567.700	14.941.764	10627484	73,27%	26,73%
SANTA MARTA	63.758	20%	20.581.724	9.879.228	4134244	59,62%	40,38%
MONTERIA	46.053	63%	26.813.595	10.116.769	16810156	74,18%	25,82%
ACUAVIVA	49.852	25%	19.876.468	14.833.808	5049583	53,69%	46,31%
EMPOCALDAS	65.120	41%	30.861.571	18.226.844	12634727	88,86%	11,14%
CONHYDRA	33.775	45%	14.187.070	7.773.096	6413974	77,18%	22,82%
TULÚA	37.646	40%	14.497.911	8.959.709	5839203	25,00%	75,00%
SOGAMOSO	27.232	54%	11.783.829	5.738.725	6363924	17,12%	82,88%
ACUAGYR	26.869	36%	1.040.500	671.019	370129	50,95%	49,05%
BUGA	23.365	45%	14.166.503	8.089.073	6316311	81,98%	18,02%
FUSAGASUGA	20.228	50%	7.159.206	3.792.231	3546983	57,47%	42,53%
ESQUIN	26.961	54%	15.427.584	7.135.258	8292326	0,00%	100,00%
OCAÑA	17.470	35%	6.367.683	4.108.429	2259584	100,00%	0,00%
ZIQUAIRA	17.748	69%	8.709.984	5.435.030	6046651	100,00%	0,00%
EMPOOBANDO	13.709	58%	6.678.880	3.205.862	3866908	86,51%	13,49%
CALARCA	13.980	52%	5.326.430	2.673.868	2770059	100,00%	0,00%
STDER QUILCHAO	8.712	48%	4.271.000	2.263.630	2043000	25,81%	74,19%
LOS PATIOS	9.380	40%	3.367.016	2.036.371	1331003	0,00%	100,00%
CEJA DEL TAMBO	8.835	5%	2.221.180	1.600.360	105772	71,43%	28,57%
PROV COMUNERA	5.341	38%	1.826.740	1.140.251	701292	92,14%	7,86%
FLANDES	8.068	70%	3.265.900	2.090.176	2279944	0,00%	100,00%
GUAMO	3.971	61%	2.214.720	930.182	1352812	81,02%	18,98%
VILLETA	4.504	29%	2.049.840	1.455.386	594454	16,67%	83,33%
URRAO	3.836	25%	653.401	484.170	162502	57,53%	42,47%
EL SANTUARIO	5.320	35%	998.750	645.193	353403	51,98%	48,02%
PEÑOL	10.000	53%	793.152	356.918	421152	40,00%	60,00%
EL RINCON	1.315	26%	167.915	124.257	43658	100,00%	0,00%
ACUAPAEZ	50	6%	168.132	157.523	10614	100,00%	0,00%

¹⁸ Encuesta CRA. Radicado CRA 2025 de 2003.

Al observar los valores se encuentra que a nivel nacional, el promedio de agua no contabilizada para las unidades de la muestra se encuentra en 42 %, siendo el menor valor de 6% y el mayor valor 70%. Como se presenta en Figura 5-1, la mayoría de los valores se concentran en un rango entre 30% y 40% y no existe una correlación significativa entre el número de suscriptores y el IANC; incluso los mayores y menores valores los presentan empresas pequeñas con menos de 20.000 suscriptores.

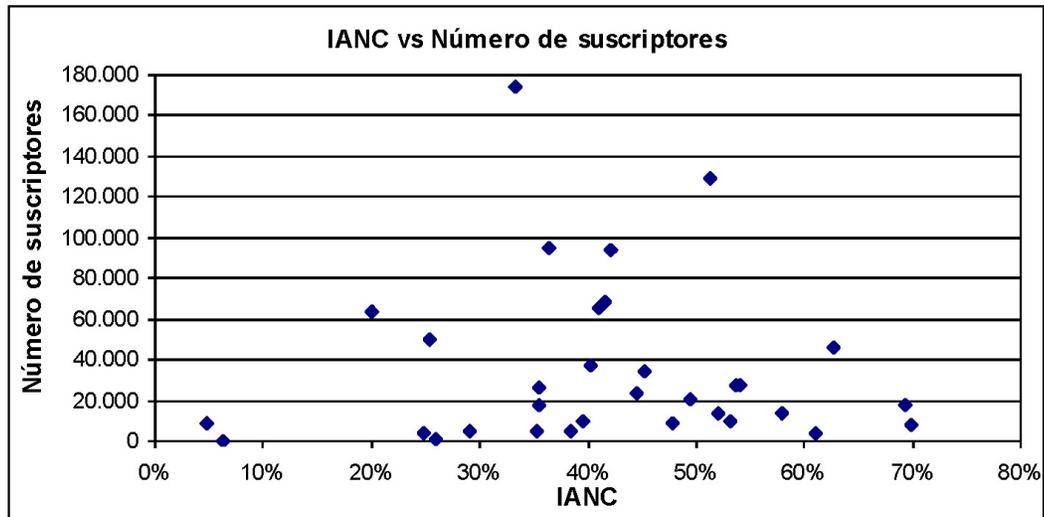


Figura 5-1 IANC vs Número de Suscriptores

Para mostrar los datos de IANC del sector en la figura anterior, se filtraron los datos de las empresas con más de 100.000 suscriptores ya que al reducirse la escala, se dificultan las observaciones

Sobre las pérdidas técnicas y comerciales, se observa una tendencia a dividir uniformemente ambos valores, especialmente en las empresas medianas. También se observan operadores que asignan la totalidad de sus pérdidas a una de las dos causas, dada la dificultad de la división en ambas. No obstante lo anterior, estas serán las magnitudes de entrada al modelo.

Existen otros indicadores que permiten obtener una idea del estado del sector y que influyen directa o indirectamente en los resultados del modelo. En este caso, los indicadores más representativos y confiables, reportados por las empresas son: el nivel de micromedición y la cobertura real del servicio, presentados en la Tabla 5-2, a continuación.

Tabla 5-2 Indicadores Nacionales de Calidad

EMPRESA	RECAUDO	COBERTURA	MICROMEDICIÓN
EAAB	95%	98%	98%
EPM	98%	100%	98%
EMCALI	70%	96%	98%
TRIPLE A	84%	99%	83%
BMANGA	97%	100%	100%
CARTAGENA	85%	96%	99%
PEREIRA	87%	97%	97%
MANIZALES	100%	97%	100%
ARMENIA	92%	96%	92%
SANTA MARTA	62%	87%	56%
MONTERIA	77%	0%	56%
ACUAVIVA	101%	100%	100%
EMPOCALDAS	88%	98%	95%
CONHYDRA	86%		83%
TULÚA	97%	99%	99%
SOGAMOSO	92%	98%	100%
ACUAGYR	97%	97%	97%
BUGA	99%	99%	100%
FUSAGASUGA	88%	96%	98%
ESAQUIN	0%		93%
OCAÑA	94%	100%	98%
ZIPAQUIRA	76%	98%	83%
EMPOOBANDO	89%	96%	99%
CALARCA	89%	95%	69%
STDER QUILICHAO	98%	98%	100%
LOS PATIOS	47%	52%	94%
CEJA DEL TAMBO	100%	100%	100%
PROV COMUNERA	49%	100%	100%
FLANDES	81%	83%	83%
GUAMO	68%	95%	0%
VILLETA	0%	0%	97%
URRAO	94%	97%	100%
EL SANTUARIO	91%	98%	96%
PEÑOL	86%	98%	97%
EL RINCON	99%	100%	100%
ACUAPAEZ	91%	94%	100%

El indicador de recaudo da una idea de la eficiencia en la gestión comercial, aunque está seriamente afectada en algunas zonas, por la cultura de pago de los usuarios atendidos. Se observa así que en las zonas costeras, este indicador es más bajo que en las demás.

La micromedición es un gran indicativo de las pérdidas comerciales, ya que, tal como se mencionó en el marco teórico, aproximadamente el 30% del consumo de los

suscriptores sin micromedición, está subestimado por la empresa. En el caso colombiano, los niveles de micromedición son altos y la mayoría de las empresas están por encima del 85%.

Con respecto a la cobertura, cabe señalar que además de ser un dato de entrada al modelo, como se podrá observar en los próximos capítulos, es un indicador de los beneficios sociales que se podrían tener con reducciones significativas del índice de agua no contabilizada. Así mismo puede verse como un mercado potencial que podría ser atendido por la empresa con la infraestructura existente, representando así unos costos marginales de producción.

5.2 Identificación de grupos homogéneos de empresas en relación con el IANC

Analizando de nuevo los datos de IANC, con el fin de identificar posibles agrupaciones, se calcularon algunas relaciones y se hicieron los siguientes análisis:

5.2.1 Por tamaño del sistema

Se estima la relación entre el volumen de agua perdido y la longitud de la red de distribución obteniendo como resultado, los datos que se presentan en la Figura 5-2, a continuación.

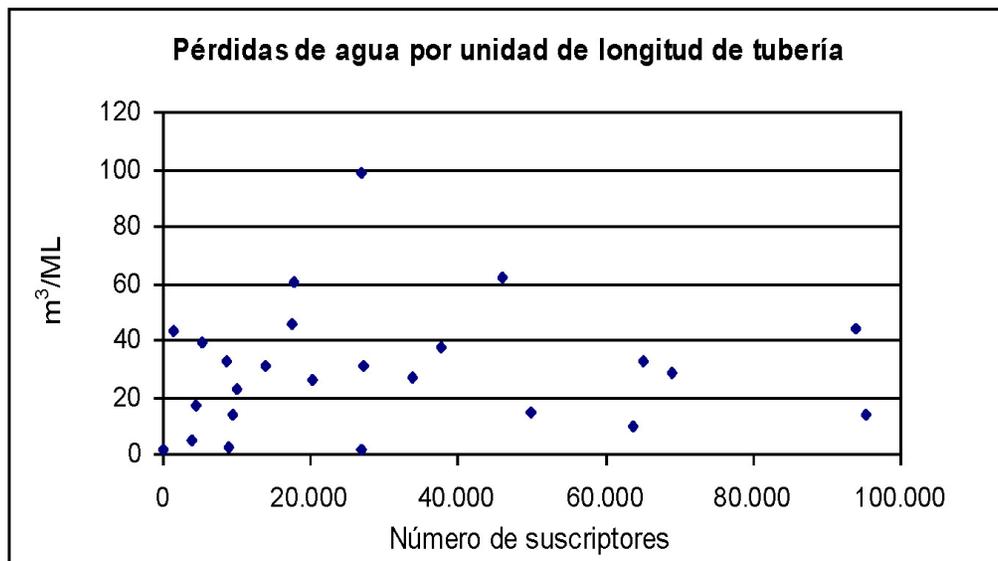


Figura 5-2 Perdidas por ML de Red vs # suscriptores

Se encuentra que, la alta colinealidad entre las variables longitud de red, número de suscriptores, volumen producido y volumen facturado, hace que cualquier análisis sobre diferentes relaciones entre ellas, arroje en términos conceptuales los mismos resultados. Como ejemplo de lo anterior, se puede decir que de la Figura 5-2, se podría concluir prácticamente lo mismo que en la Figura 5-1. Dado lo anterior, se calculó la relación de volumen perdido por causas técnicas y longitud de red de distribución o red menor, tal como se presenta en la Figura 5-3.

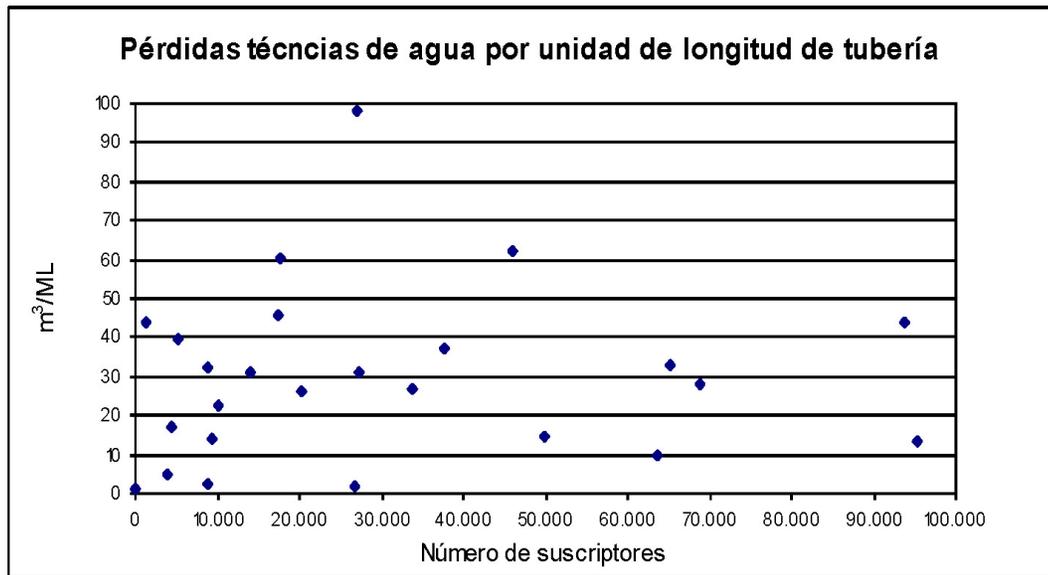


Figura 5-3 Pérdidas técnicas por ML vs Número de suscriptores

En este caso, aunque la colinealidad sigue existiendo, es posible identificar una tendencia para los operadores con menos de 50.000 suscriptores en la que muestra que a mayor número de suscriptores, mayor número de pérdidas técnicas por unidad de longitud de tubería. No sucediendo lo mismo para los operadores con más de 50.000 suscriptores.

No obstante lo anterior, no es estadísticamente argumentable agrupar las empresas de acuerdo con los datos obtenidos hasta el momento, por lo que se hace necesario establecer otro tipo de metodologías.

5.2.2 Cluster o Conglomerados

El Análisis de cluster¹⁹ consiste en un conjunto de técnicas que se utilizan para clasificar unidades o casos en grupos relativamente homogéneos llamados conglomerados (clusters). Las unidades en cada cluster tienden a ser similares entre sí y diferentes las unidades de los demás grupos, con respecto a algún criterio de selección previamente establecido. Este análisis se conoce también como análisis de clasificación o taxonomía numérica. El objetivo de este tipo de análisis es agrupar aquellos objetos que reúnan características similares. Este análisis no hace ninguna distinción entre variables dependientes (VD) y variables independientes (VI) sino que calcula las relaciones interdependientes de todo el conjunto de variables.

El Clustering o Análisis de Cluster²⁰ se define estadísticamente como: *“proceso de dividir un conjunto de datos en grupos mutuamente excluyentes de tal manera que cada miembro de un grupo esté lo “más cercano” posible a otro, y grupos diferentes estén lo “más lejos” posible uno del otro, donde la distancia está medida con respecto a todas las variables disponibles”*.

Para el caso de estudio, se corren dos cluster o conglomerados. El primero relacionando el número de usuarios con las pérdidas de agua y el segundo, simplemente con el criterio de pérdidas de agua, específicamente con el IANC.

Al analizar el primer cluster, se observó que dada la lejanía de los datos de número de usuarios de las principales ciudades del país, el resultado no estaría reflejando el efecto de IANC sino, el efecto de número de usuarios o en otros casos, las variables que representarían el tamaño de la empresa. Por esta razón, se toma como base para la clasificación de empresas, el conglomerado o cluster bajo el criterio de IANC. Los resultados del análisis están contenidos en la Tabla 5-3

El primer grupo incluye a los operadores con pérdidas por debajo del 40% aproximadamente. En este grupo se encuentran las empresas más grandes del país a excepción de Triple A de Barranquilla y Aguas de Cartagena. En el segundo grupo se encuentran las empresas medianas, a excepción de la empresa Centro Aguas de Tulúa. Las empresas pequeñas se encuentran divididas en ambos grupos. Estas agrupaciones son utilizadas en el modelo de pérdidas técnicas, especialmente en lo referente a fugas y daños.

¹⁹ www.estadistico.com

²⁰ www.estadistico.com

Tabla 5-3 Cluster

EMPRESA	USUARIOS	IANC	CLUSTER
TRIPLE A	296.127	51%	1
CARTAGENA	129.378	51%	1
MONTERIA	46.053	63%	1
CONHYDRA	33.775	45%	1
SOGAMOSO	27.232	54%	1
BUGA	23.365	45%	1
FUSAGASUGA	20.228	50%	1
ESAQUIN	26.961	54%	1
ZIPAQUIRA	17.748	69%	1
EMPOOBANDO	13.709	58%	1
CALARCA	13.980	52%	1
STDER QUILICHAO	8.712	48%	1
FLANDES	8.068	70%	1
GUAMO	3.971	61%	1
PEÑOL	10.000	53%	1
EAAB	1.337.408	40%	2
EPM	779.067	33%	2
EMCALI	443.784	42%	2
BMANGA	174.563	33%	2
PEREIRA	93.824	42%	2
MANIZALES	95.261	36%	2
ARMENIA	68.959	42%	2
SANTA MARTA	63.758	20%	2
ACUAVIVA	49.852	25%	2
EMPOCALDAS	65.120	41%	2
TULÚA	37.646	40%	2
ACUAGYR	26.869	36%	2
OCAÑA	17.470	35%	2
LOS PATIOS	9.380	40%	2
CEJA DEL TAMBO	8.835	5%	2
PROV COMUNERA	5.341	38%	2
VILLETA	4.504	29%	2
URRAO	3.836	25%	2
EL SANTUARIO	5.320	35%	2
EL RINCON	1.315	26%	2
ACUAPAEZ	50	6%	

5.3 Análisis de Costos Operativos

La información utilizada para calcular los costos por unidad de volumen de cada una de las empresas de la muestra, es la contenida en el plan único de cuentas de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (PUC), del año 2002. Para obtener información sobre los activos de las empresas se utilizaron los datos de los componentes tarifarios, como una aproximación a los costos. Es preciso aclarar que cada uno de los procedimientos realizados con los costos del PUC, son aplicados de forma general y por ende los resultados de los cálculos no necesariamente reflejan el valor exacto de los costos de cada empresa en particular. Lo anterior dado el grado de libertad de manejo de cuentas del PUC que aunque es relativamente bajo, puede influir en los resultados.

Así mismo, se utilizaron algunos supuestos, dirigidos a incorporar únicamente los costos de acueducto del servicio.

5.3.1 Procedimiento

En la estructura del PUC existen dos grupos o clases que sirven como base para determinar los costos operativos: el primero es el grupo o la clase que contiene la desagregación por rubro de costos, pero no se presenta desagregado por servicio. El segundo grupo con información operativa es el correspondiente a la Clase 6, hacia la cual se trasladan los saldos del 7, por servicio y actividad, pero no contiene desagregación por rubros.

En las sub-cuentas del grupo 6, se pueden identificar costos que no deben incluirse, como son los costos por prestación de aseo y otros servicios, la compra de medidores y los costos de comercialización.

Por lo anterior, estos montos también se identifican y sustraen de la suma del grupo 7 para establecer los costos residuales de operación que serán utilizados en el modelo.

El valor de costos operativos totales que se toma para construir la base de costos, corresponde al Costo de Operación que se extrae de la cuenta 7 del PUC de la siguiente manera:

De la cuenta 7515, correspondiente a depreciaciones no se incluyen para el cálculo las sub-cuentas 7515 01 a 03 correspondientes a edificaciones, plantas, ductos y túneles, y redes líneas y cables; puesto que las erogaciones por este concepto están más relacionados con las inversiones y con el valor de los activos del sistema, que con la operación normas del mismo.

La cuenta 7537, correspondiente a insumos directos (químicos y energía), se filtra para obtener la información de acueducto y se discrimina por separado. Lo anterior, dado que al tratarse de insumos directos, la reducción de estos es igualmente directa con la reducción de las pérdidas de agua.

Las cuentas 7525, 7530, 7555, 7535 y 7565 correspondientes a Agotamiento, Bienes y Servicios, contribuciones e impuestos no se tendrán en cuenta para el cálculo de los costos operativos.

El total resultante del procedimiento anteriormente descrito, sin incluir los costos directos, son definidos como costos indirectos de operación y serán evaluados a fin de obtener un factor de escala que permita calcular los ahorros en dichos costos, por cada punto porcentual que se logre reducir del *IANC*.

Ahora bien, después del procedimiento de separación y sustracción de cuentas, es necesario establecer un criterio para identificar los costos de acueducto. Dado que en la cuenta 6 se pueden identificar los costos por servicio, se utilizó esta información para calcular una proporción promedio de asignación para aplicarla a los resultados de la cuenta Clase 7. El porcentaje promedio obtenido es 30%²¹.

5.3.2 Resultados de costos

De forma global, los costos indirectos analizados son: costos generales, costos de mantenimiento, costos de personal, costos de servicios públicos y costos de depreciación de vehículos y equipos menores.

Los costos directos, tal como se mencionó anteriormente, corresponden a los costos de químicos para tratamiento y la energía consumida en procesos operativos, principalmente en bombeos.

Para el caso de la energía, a los operadores que no tenían información en la cuenta respectiva y en la práctica tienen sistemas con bombeo, se les calculó el valor de su consumo a partir de la información de Encuesta CRA, en donde se solicitó el precio promedio del kWh y el consumo promedio al mes.

Los costos están relacionados con un consecutivo, con el fin de disminuir la posibilidad de revelación privada de información financiera de las personas prestadoras.

Los resultados de los cálculos de costos se presentan en la Tabla 5-4, a continuación:

²¹ Con el fin de no revelar información financiera privada de las empresas, sólo se trabaja a nivel de subcuenta.

Tabla 5-4 Costos operativo de las empresas

CONSEC	CONSUMO ACUEDUCTO (m3/año)	VOLUMEN PRODUCIDO (m3/año)	CUENTA 7 (miels de \$/mes)	CUENTA 7_acu (miels de \$/mes)	COSTOS UNITARIOS DIRECTOS (\$/m3)	INSUMOS (7537 sin 753790 y sin alc) (miles \$/año)	COSTOS UNITARIOS DIRECTOS (\$/m3)
1	287.633.037	453.070.581	183.591.381	128.513.967	447	7.254.507	25
2	179.129.483	266.491.560	52.202.006	36.541.404	204	3.967.839	22
3	132.276.663	228.182.159	71.341.262	49.938.883	378	4.781.218	36
4	83.752.053	175.190.495	66.078.152	46.254.706	552	13.120.955	157
5	48.300.000	72.434.576	7.787.942	5.451.559	113	572.092	12
6	48.300.000	72.434.576	8.421.499	5.895.049	122	610.883	13
7	31.323.590	65.769.051	19.153.162	13.407.214	428	6.389.118	204
9	24.655.039	42.623.292	10.633.123	7.443.186	302	280.790	11
11	19.386.824	30.597.732	11.021.259	7.714.882	398	168.851	9
13	14.940.216	25.567.700	7.845.551	5.491.886	368	323.372	22
14	9.341.580	20.581.724	7.918.963	5.543.274	593	1.298.450	139
15	20.144.760	36.772.410	2.748.418	1.923.892	96	267.076	13
19	14.826.885	22.529.761	6.281.953	4.397.367	297	293.985	20
20	12.113.000	23.420.906	3.380.602	2.366.421	195	145.990	12
21	14.040.859	30.861.571	5.025.228	3.517.660	251	301.068	21
22	30.246.654	41.739.288	8.943.083	6.260.158	207	595.424	20
23	7.375.005	14.187.070	1.155.610	808.927	110	260.047	35
25	8.658.708	14.497.911	6.091.523	4.264.066	492	429.755	50
26	5.828.580		3.789.513	2.652.659	455	70.923	12
30	7.850.192	14.166.503	4.535.079	3.174.555	404	151.229	19
32	3.981.876	7.159.206	2.536.858	1.775.800	446	98.045	25
35	3.428.292		1.678.699	1.175.089	343	38.166	11
36	2.660.712	8.709.984	1.131.857	792.300	298	71.921	27
40	2.556.371	5.326.430	780.889	546.622	214	44.377	17
48	2.221.896	3.720.000	492.647	344.853	155	24.329	11
55	1.751.451	2.673.971	979.773	685.841	392	33.820	19
59	985.956	3.265.900	652.116	456.481	463	257.547	261
62	1.455.386	2.207.520	473.897	331.728	228	19.713	14
66	490.899	653.401	77.259	54.081	110	8.264	17
78	157.518	168.132	97.810	68.467	435	2.316	15

5.3.3 Relación de costos operativos

Estimar y conocer los costos operativos es relevante desde el enfoque de este estudio, siempre y cuando, estos sean relacionados con los ahorros que se generaría por causa de la reducción del índice de agua no contabilizada. Es por lo anterior, que se calcula el factor de escala de los costos indirectos con un ajuste de los datos logarítmicos de costos totales indirectos al año y el consumo total al año (datos 2002). La regresión con datos logarítmicos se realiza con el fin de evitar las distorsiones en la escala de los valores de volumen consumido.

La regresión se presenta a en la Figura 5-4.

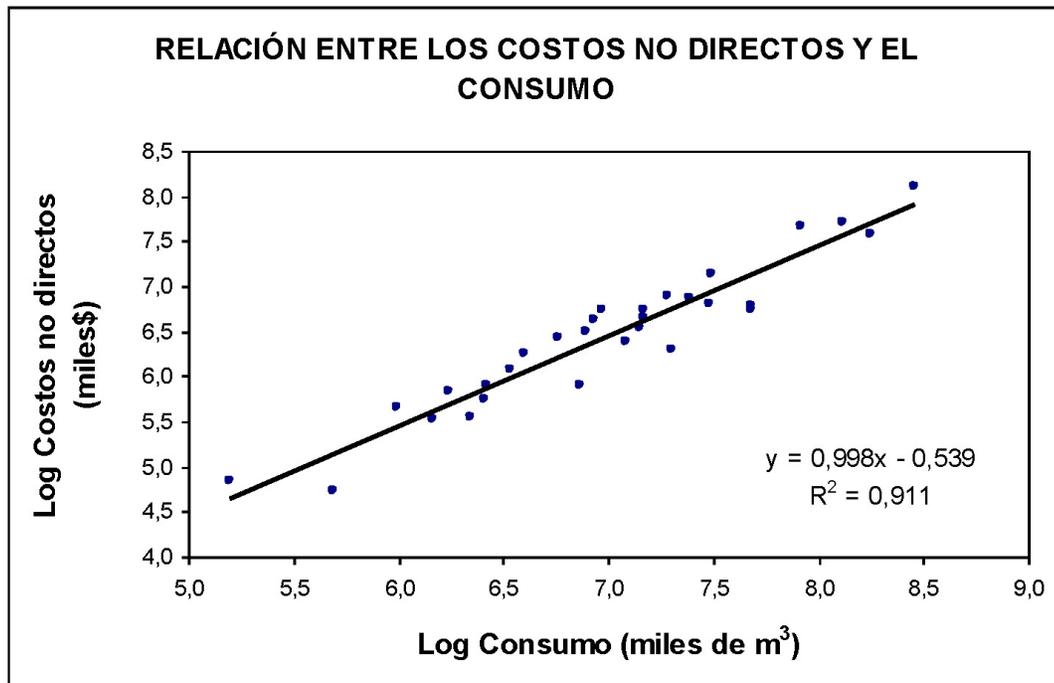


Figura 5-4 Relación logarítmica de los costos con el consumo y factor de escala

El resultado de esta regresión implica que los costos operativos son explicados en un 99% por el consumo de agua. Así las cosas, el factor de escala es 0.99 que representa que por cada por cada unidad porcentual de agua que logre ser reducida, se generará un 0.99% de ahorro en costos indirectos.

5.4 Tarifas

Los ahorros de la empresa están relacionados con los costos operativos de éstas. Sin embargo el costo de oportunidad del recurso está ligado a lo que podrían cobrar por este. Es así entonces como se hace necesario obtener los valores de las tarifas²² y cada uno de sus componentes.

El resultado de estas consultas se presenta en el Anexo 1.

²² www.superservicios.gov.co; www.cra.gov.co; supercifras 2003.

5.5 Valor de los activos y de las redes

Con el fin de realizar aproximaciones sobre cuales serían los costos de las reposiciones de redes, se utiliza el valor a nuevo de los sistemas (componente VRA de la fórmula tarifaria) y sobre este un porcentaje del valor de las redes dentro del valor total de un sistema. En este caso se utiliza un valor de 50%²³ para sustraer el valor total de las redes de los diferentes sistemas. Los resultados se presentan en el Anexo 2.

5.6 Capacidad Instalada vs Capacidad Utilizada

La capacidad instalada de los sistemas normalmente se mide a partir de la capacidad instalada en las plantas de tratamiento. Para estimar la sobrecapacidad instalada de los sistemas, se calculó la relación entre la sumatoria de la capacidad instalada (volumen al año) y la sumatoria del volumen producido. Esta relación no es un indicador de sobredimensionamiento dado que no se conoce la edad de las plantas ni la vulnerabilidad de los sistemas. Este indicador es utilizado al momento del análisis de los beneficio, ya que como se presentó en el diagnóstico internacional, la mayoría de los programas de reducción de pérdidas son motivados por las limitaciones de producción o de oferta hidrológica de los sistemas.

Para el cálculo de excedente de capacidad instalada se utiliza entonces, la Ecuación 2

$$SQ = \left(1 - \frac{\sum_{j=1}^n Qu_j}{\sum_{j=1}^n Qi_j} \right) \cdot 100 \%$$

Ecuación 2

donde:

Qu_j : Capacidad utilizada de la planta j

Qi_j : Capacidad instalada de la planta j

SQ : Sobre capacidad de producción

n máximo 5 (número de plantas, si son menos que cinco o quinta planta, de lo contrario)

Para este análisis se utilizaron como máximo las cinco plantas más grandes de las empresas. Los resultados de capacidad excedente se presentan en la Tabla 5-5:

²³ Metodología de inclusión de activos en el valor de reposición de activos. UNIANDES-CRA

Tabla 5-5 Sobre Capacidad de Producción

EMPRESA/MUNICIPIO	CAPACIDAD INSTALADA (m ³ /s)	CAPACIDAD UTILIZADA (m ³ /s)	SOBRECAPACIDAD
E A A B	27,7	15,5	44%
E P M	16,6	8,3	50%
E M C A L I	11,9	7,2	39%
T R I P L E A	7,5	5,6	26%
B M A N G A	4,2	2,3	45%
C A R T A G E N A	3,1	2,3	28%
C U C U T A	2,4	2,1	13%
P E R E I R A	2,1	1,4	35%
I B A L	8,4	4,9	42%
M A N I Z A L E S	2,1	1,0	54%
N E I V A	2,1	1,5	28%
A R M E N I A	1,0	0,2	83%
S A N T A M A R T A	1,1	0,7	41%
V A L L E D U P A R	1,8	0,5	72%
V I L L A V I C E N C I O	1,7	1,4	18%
M O N T E R I A	1,0	0,9	8%
A C U A V I V A	1,1	0,6	43%
P O P A Y A N	1,2	0,8	37%
E M P O C A L D A S	1,3	1,0	26%
C O N H Y D R A	0,8	0,5	38%
T U L Ú A	0,7	0,5	26%
S O G A M O S O	0,4	0,4	0%
A C U A G Y R	1,0	0,5	54%
F L O R E N C I A	0,5	0,5	1%
F U S A G A S U G A	0,3	0,2	24%
O C A Ñ A	0,4	0,2	47%
Z I P A Q U I R A	0,4	0,3	18%
E M P O O B A N D O	0,3	0,2	15%
C A L A R C A	0,2	0,2	22%
R I O N E G R O	0,2	0,1	74%
S T A R O S A C A B A	0,6	0,0	100%
S T D E R Q U I L I C H A	0,1	0,0	70%
C E J A D E L T A M E	0,1	0,1	12%
A N D I N A	0,3	0,1	51%
P R O V C O M U N E	0,1	0,0	83%
C H A P A R R A L	0,1	0,1	18%
F L A N D E S	0,1	0,1	5%
G U A M O	0,1	0,1	17%
V I L L E T A	0,1	0,1	7%
U R R A O	0,1	0,0	65%
E L S A N T U A R I O	0,1	0,0	56%
M O N T E R R E Y	0,0	0,0	26%
P E Ñ O L	0,1	0,0	51%
A C U A P A E Z	0,0	0,0	79%
T I B I T O C	10,5	5,1	52%

Capítulo 6 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS COMERCIALES

En este capítulo se presenta el análisis del agua no facturada por las personas prestadoras del servicio de acueducto, debido a desviaciones en la gestión comercial.

En este sentido, se evalúa la relación que existiría entre los beneficios obtenidos al reducir la porción no contabilizada y los costos en que incurriría la persona prestadora, en la implementación de los programas para lograr tal efecto.

En primer lugar se explica esquemáticamente la metodología propuesta para desagregar las pérdidas comerciales en cada una de sus causas generales y para encontrar los costos y beneficios asociados a los programas de reducción de este tipo de pérdidas de agua. Por último se presentan los resultados de la implementación de la metodología y los análisis correspondientes.

El eje central para la determinación del rango de factibilidad económica de agua no contabilizada es el análisis de beneficio costo, de la implementación de programas para reducción del IANC en concordancia con el balance hídrico. Sobre este entendido, se expone a continuación la metodología propuesta para determinar el rango correspondiente la reducción de pérdidas comerciales.

6.1 Requerimientos de información

Compatibilizando con lo expuesto en el marco teórico, es necesario contar con la siguiente información:

1. Porcentaje de pérdidas comerciales
2. Número de suscriptores del prestador
3. Volumen producido
4. Volumen facturado
5. Cobertura real del servicio de acueducto
6. Cobertura de micromedición
7. Tarifa media básica aplicada al estrato 4.
8. Costo de catastro por vivienda.
9. Política de cobro a los usuarios no micromedidos.
10. Porcentaje de consumo subestimado para los usuarios sin micromedición

6.2 Análisis de la muestra

La información necesaria, debe encontrarse para un grupo de empresas, con el fin de captar todas las particularidades de los sistemas, definir un rango para el sector y analizar el comportamiento de acuerdo con el número de usuarios.

La muestra de empresas debe incluir unidades de un sector específico, en este caso colombiano. Sin embargo, la información internacional es una referencia importante para el análisis del indicador de pérdidas, como se presenta en el capítulo correspondiente de diagnóstico internacional.

6.3 Balance hídrico de las pérdidas comerciales

En este numeral se desagregan cada uno de los volúmenes de agua perdidos por razones comerciales de acuerdo con cada una de las divisiones principales de las causas que los generan, tales como, volumen no micromedido y usuarios no registrados.

6.3.1 Cálculo de del volumen de agua no facturado por razones comerciales

En primer lugar, el porcentaje de pérdidas comerciales se debe convertir a volumen de agua así:

$$V_c = V_p \cdot IANC_c$$

Ecuación 3

donde:

$$V_p = \frac{AF}{1 - IANC}$$

V_p : Volumen producido no facturado

AF : Volumen de agua facturado

$IANC$: Índice de agua no contabilizada

$IANC_c$: Porcentaje de perdidas comerciales

V_c : Volumen de agua no facturado por razones comerciales

6.3.2 Cálculo de del volumen de agua no facturado por falta de micromedición

Inicialmente se debe calcular el número de usuarios no micromedidos, tal como se expresa en la Ecuación 4

$$S_{sm} = \%M \cdot S$$

Ecuación 4

donde:

S_{sm} : Suscriptores no micromedidos

$\%M$: Porcentaje de micromedición

S : Suscriptores totales del prestador

Luego, se determina el consumo promedio, calculado como el volumen facturado (AF), dividido el número total de suscriptores (S). Posteriormente, a los suscriptores no micromedidos se les asigna un porcentaje adicional sobre el consumo promedio de los usuarios micromedidos. Este porcentaje adicional (Ce) corresponde a volumen de más que consumen los usuarios no micromedidos, al no recibir la señal de precio. En este caso, y tal como se presentó en el marco teórico, los estudios han demostrado que el consumo de los suscriptores sin micromedición disminuye en un 48%, sobre el 68% de la muestra, desde el momento en que se convierten en suscriptores micromedidos. Así las cosas, al aplicar este porcentaje sobre el consumo promedio, es posible identificar el volumen de “pérdidas” por falta de micromedición, utilizando la Ecuación 5. En este caso, se supone que los usuarios llegan al promedio de consumo de los demás usuarios sin micromedición.

$$V_m = \frac{CP}{(1 - w)} \cdot S_{sm} \cdot w$$

Ecuación 5

donde:

V_m : Volumen de agua no facturado debido a la falta de micromedición

CP : Consumo promedio

S_{sm} : Suscriptores sin medición

w : Porcentaje de reducción de consumo al micromedir

6.3.3 Cálculo de los usuarios a encuestar en el catastro

Al conocer el volumen de agua no facturado, debido a las causas anteriormente expuestas, es posible conocer el volumen de agua no facturado debido a usuarios no registrados en el sistema, por sustracción. Es decir, restando del volumen total no facturado debido a razones comerciales (V_c), el volumen correspondiente a la falta de micromedición (V_r, V_m).

Para conocer los potenciales suscriptores a corto plazo, o aquellos no registrados, se realiza el cálculo de la Ecuación 6, a continuación:

$$Spc = Entero \left(\frac{V_c - V_m}{CP} \right)$$

Ecuación 6

donde:

Spc : Suscriptores potenciales a corto plazo o sin registro

V_m : Volumen de agua no facturado debido a la falta de micromedición

CP : Consumo promedio

V_c : Volumen no facturado por razones comerciales.

Ahora bien, para conocer el número de viviendas a encuestar, se debe tener presente a las viviendas que, teóricamente, no tienen cobertura del servicio y que han sido denominadas potenciales suscriptores del servicio a mediano plazo. Es por esto que el número total de viviendas a encuestar (suponiendo una conexión por vivienda), se convierte en el número de suscriptores del servicio sumado a las viviendas sin cobertura y a los potenciales usuarios a corto plazo. El número de viviendas o usuarios potenciales a mediano plazo se calcula, tal presenta en la Ecuación 7.

Dentro de los suscriptores potenciales a corto plazo se espera que se encuentren aquellos que sí son atendidos, pero que por alguna razón no están registrados en el sistema y por ende, sus consumos no son facturados.

$$Vsc = Entero \left(\frac{S}{Cob} - S \right)$$

Ecuación 7

donde:

Vsc : Viviendas sin cobertura

S : Suscriptores totales del prestador

Cob: Porcentaje de cobertura del servicio de agua

6.4 Costos de la implementación de los programas

6.4.1 Costo del programa de micromedición

La normatividad colombiana considera el pago de los micromedidores por parte del suscriptor. No obstante lo anterior, y conociendo la situación económica del país, la mayoría de las empresas han optado por incurrir en la mayoría de los costos de micromedición, en algunos casos financiando a tasas muy bajas para lograr el éxito del programa. Es por esta razón que en el análisis beneficio-costos de la empresa, se incluye, para el caso colombiano, el valor estándar de los micromedidores a instalar, como una aproximación del valor total del programa de micromedición.

La fórmula para la valoración del programa de micromedición es entonces la Ecuación 8, a continuación:

$$C_m = S_{sm} \cdot z_m$$

Ecuación 8

donde:

C_m: Costo del programa de micromedición

S_{sm}: suscriptores sin micromedición

z_m: valor estándar del micromedidor en el área de estudio²⁴

6.4.2 Costo del catastro de usuarios

Inicialmente se debe conocer el valor del catastro de usuarios, que normalmente está expresado en términos de dólares por vivienda²⁵.

Luego para calcular los costos, se determina el número de viviendas a encuestar y se multiplica por el costo unitario de catastro. Lo anterior, a partir de la Ecuación 9, a continuación:

²⁴ Para el caso colombiano, el valor se incorporó con \$60.000, para micromedidores volumétricos.

²⁵ Para efectos del presente trabajo, se realizaron simulaciones con 3 valores diferentes de costos de catastro por vivienda que se presentan en la implementación de la metodología.

$$Ve = S + Spc + Vsc$$

Ecuación 9

donde:

Ve : Número de viviendas a encuestar

S : Número total de suscriptores del prestador

Vsc : Número de viviendas sin cobertura del servicio de acueducto

Spc : Número de suscriptores potenciales a corto plazo o sin registro

El costo del catastro se calcula con la Ecuación 10

$$EC = Ve \cdot cuv$$

Ecuación 10

donde:

EC : Costo o egreso calculado por concepto de catastro de usuarios

Ve : Número de viviendas a encuestar

cuv : costo unitario del catastro (dólares por vivienda)

6.5 Beneficios de la implementación de los programas

Existen beneficios no cuantificables que serían el resultado de la reducción del índice de agua no contabilizada en general. Entre estos beneficios, se encuentra el beneficio social de llevar el agua a más familias o llevarla por mayor tiempo, cuando como resultado de la implementación de los programas, se aumenta la capacidad de producción, almacenamiento, conducción y distribución de agua. Existen otros beneficios ambientales, que podrían ser cuantificables, en la medida en que se conociera un valor o una aproximación al valor intrínseco del agua²⁶. A continuación se presentan los beneficios cuantificables de la implementación de los programas de micromedición y de catastro de usuarios.

6.5.1 Beneficios del programa de micromedición

En términos económicos para la empresa, el beneficio se obtiene en el momento en que se cobra el consumo efectivo y no un consumo aproximado. Lo anterior se basa

²⁶ Las tasas de uso no son función del valor intrínseco del agua

en que los usuarios no micromedidos consumen más que aquellos que tienen instalado y operando, el micromedidor en su acometida.²⁷

Sobre este entendido, existen dos posibles beneficios. El primero ($Ym1$) se basa en el costo de oportunidad del recurso no cobrado, y parte de suponer que el excedente de recurso, generado por las reducciones en consumo de los usuarios a quienes se les instala el micromedidor, son vendidas a otros usuarios o en otros mercados. El segundo ($Ym2$) beneficio, radica en el ahorro generado por la no producción de este volumen, incluyendo costos directos y costos indirectos.

El primer beneficio en el año cero, se calcula con el volumen de agua no facturado por falta de micromedición, multiplicado por el cargo variable del consumo básico en estrato 4, hoy definido con el costo medio de inversión de largo plazo. Este cálculo es, entre las opciones de cobro a los usuarios no micromedidos, el más conservador. Lo anterior debido a que en algunos casos, para estos usuarios se tienen una tarifa mínima que está muy por debajo de la tarifa que se cobraría si consumieran el promedio.²⁸

El cálculo del valor presente del beneficio $Ym1$, esperado durante la vida útil de micromedidor se calcula a partir de la Ecuación 11.

$$Ym1 = VP \left(\cdot Vm \cdot TV_4 \right)_{TD}^{vu}$$

Ecuación 11

donde:

$Ym1$: Beneficios esperados por implementación del programa de instalación, puesta en marcha y lectura de micromedidores, suponiendo venta de recurso excedente.

Vm : Volumen no facturado por falta de micromedición.

TV : Cargo variable dentro de la tarifa.²⁹

TD : tasa de descuento social.

Vu : vida útil promedio de los micromedidores.

²⁷ *Andrés Chambouleyron. IERAL de Fundación Mediterránea y Universidad Nacional de Córdoba. LA MICROMEDICIÓN DEL CONSUMO RESIDENCIAL DE AGUA POTABLE Y SU IMPACTO SOBRE EL BIENESTAR DE LAS FAMILIAS: UN EJERCICIO DE SIMULACIÓN. ARREGUI DE LA CRUZ. Francisco. Organismo Público Valenciano de Investigación – U. Politécnica Valencia. Instituto Tecnológico del agua. PROPUESTAS METODOLÓGICAS PARA EL CÁLCULO DE LA VIDA ÚTIL DE LOS CONTADORES DE AGUA.*

²⁸ Para el caso colombiano, la tarifa mínima se establece de conformidad con la Resolución 36 de 1998.

²⁹ Para el caso colombiano, el cargo variable se calcula con el CMLP, definido en la Resolución CRA 151 de 2001.

La tasa de descuento de entrada al modelo es 10% y la vida útil de los micromedidores es 7 años.³⁰

El segundo beneficio se calcula con el volumen de agua no facturado por falta de micromedición, multiplicado por los ahorros por metro cúbico, obtenidos a partir de los datos presentados en el Numeral 5.3.2 y de los análisis del factor de escala sobre los costos indirectos.

El cálculo del valor presente del beneficio $Ym2$, esperado durante la vida útil de micromedidor se calcula a partir de la Ecuación 12.

$$Ym2 = VP \left(\cdot Vm \cdot (cud + (cuind \cdot Fec)) \right)_{TD}^u$$

Ecuación 12

donde:

$Ym2$: Beneficios esperados por el ahorro en producción y operación de los excedentes generados por la implementación del programa de instalación, puesta en marcha y lectura de micromedidores.

Vm : Volumen no facturado por falta de micromedición.

cud : Costos unitarios directos ($\$/m^3$)

$cuind$: Costos unitarios indirectos ($\$/m^3$)

fec : Factor de escala de costos (0.99) (ver numeral 5.3.3)

TD : tasa de descuento social.

Vu : vida útil promedio de los micromedidores.

6.5.2 Beneficios del catastro de usuarios

Una vez calculado el número de suscriptores sin registro (Spc), y previamente conocida la tarifa para el estrato medio (estrato 4 en Colombia), se puede determinar el beneficio para la empresa. Esto, suponiendo que los suscriptores potenciales entrarían al registro y pagarían la tarifa del estrato 4, simulando de los valores de recaudo APRA estos nuevos usuarios.³¹

³⁰ www.medkasa.com ; YEPES, Guillermo. Reducción Accounted-for Water The job can be done. Best Practices

³¹ En la implementación de la metodología propuesta, se simulan dos escenarios de recaudo. No se simulan tarifas para estratos bajos, dado que dentro del marco académico, se espera que éstas sean subsidiadas por las contribuciones de los estratos altos y por recursos del fondo de solidaridad y redistribución de ingresos.

Se propone que el beneficio del catastro se calcule para un período de dos años. Es decir, que los ingresos de los usuarios potenciales se sumen durante dos años para así poder observar el beneficio. Se esperaría que al término de dos años, el número de usuarios no registrados se incremente de nuevo.

La forma para el cálculo de estos beneficios se presenta en la Ecuación 14.

$$Yc = Spc \cdot CF + CP \cdot TV \cdot Spc$$

Ecuación 13

donde:

- Yc*: Beneficios esperados del catastro de usuarios
- Spc*: Número de suscriptores potenciales a corto plazo o suscriptores sin registro.
- CF*: Cargo fijo de la tarifa.
- TV*: Cargo variable dentro de la tarifa.³²
- CP*: Consumo promedio

Actualmente en Colombia, se debe calcular de acuerdo con los rangos de consumo, tal como se presenta más adelante en la implementación de la metodología propuesta.

La ecuación es la siguiente

$$TV \cdot CP = (si(CP > 2CB; CB * CMLP_B + (CP - 20) \cdot CMLP_S; CP \cdot CMLP_B))$$

Ecuación 14

Donde:

- CP*: Consumo promedio
- CB*: Consumo Básico
- CMLP_B*: Costo medio de inversión de largo plazo para los rangos básico y complementario.
- CMLP_S*: Costo medio de inversión de largo plazo para el rango suntuario.
- Sp*: Suscriptores potenciales.

³² Para el caso colombiano, el cargo variable se calcula con el CMLP, definido en la Resolución CRA 151 de 2001.

Capítulo 7 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS

En este capítulo se presenta el análisis del agua no facturada por las personas prestadoras del servicio de acueducto, debido a problemas técnicos del sistema. En este sentido, se evalúa la relación que existiría entre los beneficios obtenidos al reducir la porción no contabilizada y los costos en que incurriría la persona prestadora en la implementación de los programas, para lograr tal efecto.

Se presenta el esquema de balance hídrico utilizado para determinar cada una de las fracciones en que se dividen las pérdidas comerciales. Luego se explica la metodología de costos y beneficios de cada una de las medidas y por último se presentan los resultados parciales de la implementación de la metodología con los análisis correspondientes.

7.1 Requerimientos de información

Compatibilizando con lo expuesto en el marco teórico, es necesario contar con la siguiente información:

11. Porcentaje de pérdidas técnicas
12. Número de suscriptores del prestador
13. Volumen producido
14. Volumen facturado
15. Longitud de la red, desagregada en: aducción, conducción, primaria y menor
16. Costos directos
17. Costos indirectos.
18. Número de daños en la red.
19. Indicadores de sub-registro
20. Indicadores de caudales de fuga
21. Nivel de sectorización y macromedición

7.2 Análisis de la muestra

La información necesaria, debe encontrarse para un grupo de empresas, con el fin de captar todas las particularidades de los sistemas, definir un rango para el sector y analizar el comportamiento de acuerdo con el número de usuarios.

La muestra de empresas debe incluir unidades de un sector específico, en este caso colombiano. Sin embargo, la información internacional es una referencia importante para el análisis del indicador de pérdidas, como se presenta en el capítulo correspondiente de diagnóstico internacional.

7.3 BALANCE HIDRÍCO PARA DESAGREGAR LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS.

Para conocer cada uno de los volúmenes de agua que no son facturados por diferentes causas, es necesario valerse de los datos básicos, que para este caso son el volumen de agua producida, el volumen de agua facturado, las pérdidas totales de agua (reales y aparentes) y las pérdidas técnicas, y además, las variables técnico-operativas que permiten ir sustrayendo cada uno de los volúmenes asociados a las mismas. En la Figura 7-1, se explica esquemáticamente el procedimiento de desagregación de pérdidas.

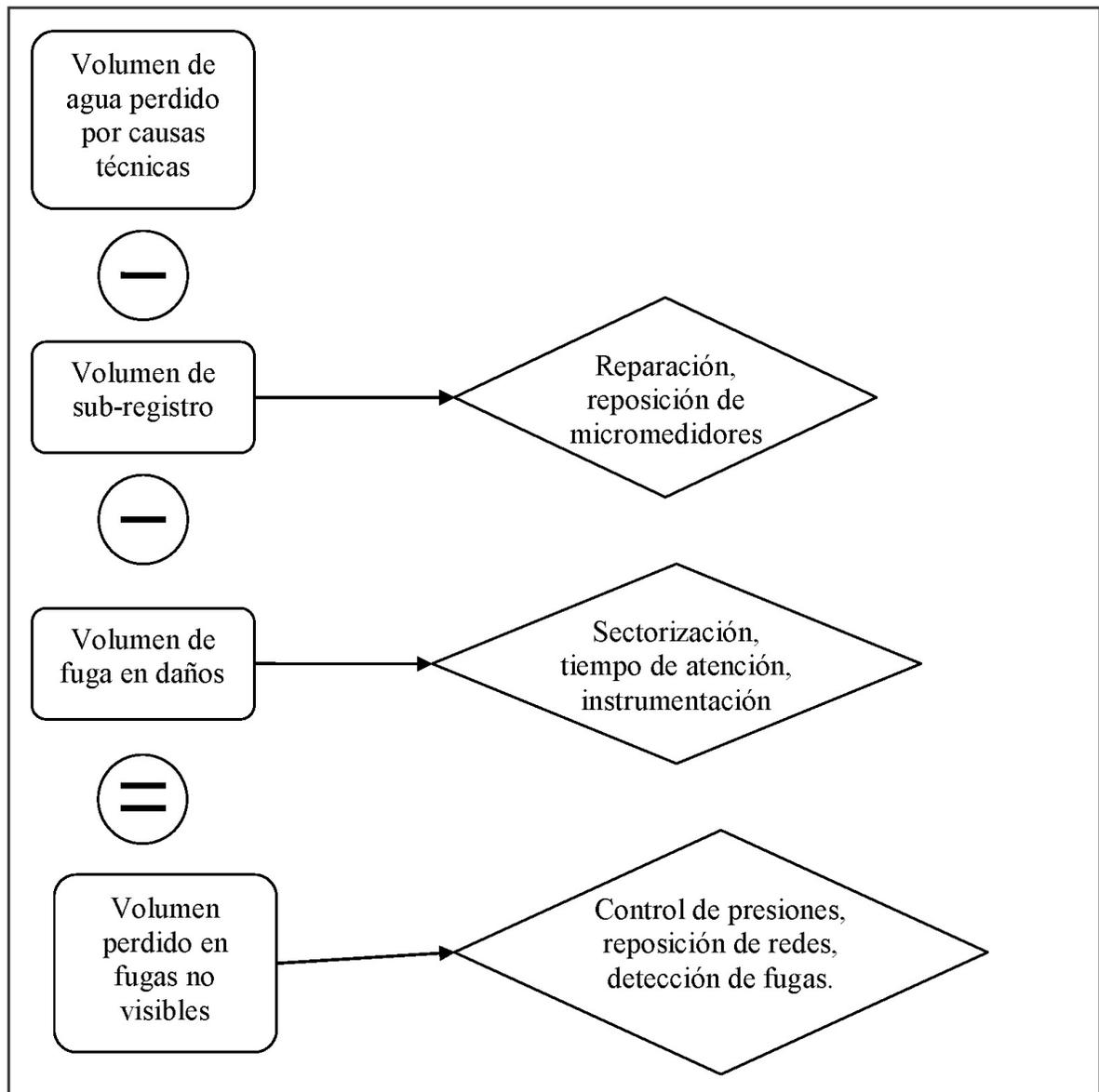


Figura 7-1 Esquema del modelo de pérdidas técnicas

El eje central para la determinación del rango de factibilidad económica de agua no contabilizada es el análisis de beneficio costo, de la implementación de programas para reducción del IANC, en concordancia con el balance hídrico. Sobre este entendido, se expone a continuación la metodología propuesta para determinar el rango correspondiente la reducción de pérdidas comerciales.

7.3.1 Cálculo del volumen de agua no facturado por razones técnicas

En primer lugar, el porcentaje de pérdidas técnicas se debe convertir a volumen de agua así:

$$V_t = V_p \cdot IANC_t$$

Ecuación 15

donde:

$$V_p = \frac{AF}{1 - IANC}$$

V_p : Volumen producido no facturado

AF : Volumen de agua facturado

$IANC$: Índice de agua no contabilizada

$IANC_t$: Porcentaje de pérdidas técnicas

V_t : Volumen de agua no facturado por razones técnicas

7.3.2 Cálculo del volumen de agua no facturado por sub-registro en la micromedición

Como bien la hipótesis de la tesis lo plantea, es necesario analizar que causas de las pérdidas de agua son más fáciles de combatir.

En este orden de ideas, se podría decir que tanto la reparación y calibración de medidores como la optimización de los procesos de atención de daños tienen una complejidad similar desde la óptica de inversiones. Lo anterior, dado que las claves para lograr una mejora en eficiencia en estos dos aspectos está ampliamente ligada a la capacitación del personal ya existente y a actividades igualmente existentes en la empresa, cómo son la calibración, reparación y reposición de medidores, que pueden ser contratadas o hacer parte de los procesos internos.

Implementando lo anteriormente expuesto en el modelo, se calcula en primer lugar, el volumen de agua no facturado debido a los subregistros en los medidores.

El sub-registro normal de acuerdo con el trabajo realizado por el Organismo Público Valenciano de Investigación – U. Politécnica Valencia “*Propuestas metodológicas para el cálculo de la vida útil de los contadores de agua*”, liderado por Francisco Arregui de la Cruz, oscila entre 3 y 20% para calidades de agua con características físicas normales (para aguas extremadamente duras se pueden presentar incluso sobre-registros). Sobre este particular, también se han expresado magnitudes de sub-registro, en función de la edad del medidor³³ y del caudal de registro, entre 0 y 33%, siendo el promedio ponderado un sub-registro de 12%.

Dados los datos anteriores, se utilizan en el modelo los valores límites del rango que va de 3% 13%, sustrayendo del total de las pérdidas técnicas, el volumen generado por este efecto. Al respecto es importante aclarar que a pesar de considerar esta causa dentro de las causas técnicas, ésta no entraría en la clasificación de pérdidas visibles y no visibles, ya que éstas últimas están referidas a fugas, mas no a agua efectivamente consumida, no facturada.

La Ecuación 16 muestra la forma de cálculo de los volúmenes de agua “perdidos” por sub-registro en los micromedidores, en un período.

$$Vsbr = sbr \cdot AF$$

Ecuación 16

donde:

Vsbr: Volumen no facturado por problemas de subregistro

AF: Volumen de agua facturado

sbr: porcentaje de sub-registro.

7.3.3 Cálculo del volumen de agua no facturado por fugas en daños reportados

En las redes de acueducto se pueden presentar daños visibles y no visibles. Para efectos del presente análisis y de las entradas al modelo, por visibles se entienden todos aquellos daños que se identifican a través de los sentidos humanos, bien sea por: inconvenientes causados a los usuarios; por fugas a altas presiones que generan chorros o represamientos; fallas súbitas en pavimentos u otras fallas perceptibles sin necesidad de equipos sónicos, de telemetría, etc.

³³ www.medkasa.com. Programa de Control de Agua no Contabilizada de Aguas de Manizales E.S.P

En el modelo se calcula, una vez estimado el volumen de sub-registro, el volumen de agua perdida en los daños visibles, registrados en las bases de las empresas³⁴.

Para este cálculo se toma el promedio de diferentes magnitudes de caudal para fallas longitudinales con el fin de captar el efecto de las fugas, a diferentes niveles de presión³⁵ y con 2 longitudes de falla, prolongando el supuesto hasta aquellas fallas en las juntas o válvulas de la red. Adicionalmente se simula el caudal máximo de las conexiones domiciliarias, como un mínimo generalizado para toda la red. No obstante lo anterior, el modelo podría estar alimentado por otros caudales resultantes de los estudios particulares de cada empresa.

Adicionalmente, el número de puntos de daños a los cuales es asignado cada uno de los caudales mencionados, son tomados de datos de daños en la red de cada una de las empresas. En los casos en los que no se encuentran valores, se incorporan los promedios de daños por km de red del total de las empresas del cluster al cual pertenece la unidad analizada.

Los caudales utilizados para el promedio en tuberías de más de 2" de diámetro (hasta 4") son los siguientes:

- 5.50 L/s para longitudes de falla de 10 cm, sobre presiones de 21 mca.
- 5.82 L/s para longitudes de falla de 17 cm sobre presiones de 14 mca.

El caudal máximo encontrado para conexiones domiciliarias, utilizado para simular el mínimo en toda la red es de 3.5 L/s.³⁶

El caudal y el número de daños no son datos suficientes para simular el volumen perdido al ser necesario relacionarlos con una unidad de tiempo. Por lo anterior, se definen y se asignan valores a las siguientes variables

- Tiempo de detección de la fuga, bien sea por quejas y reclamos de los usuarios o como resultado de controles y seguimientos habituales de mantenimiento.
- Tiempo de atención del daño.
- Tiempo de reparación o aislamiento de la zona, si existe sectorización de la red.

En este caso, los datos incorporados al modelo agrupan los últimos dos tiempos en uno. Sin embargo es importante precisar que si la reparación es complicada se asume

³⁴ Encuesta CRA (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico) a empresas reguladas, para cálculos de la nueva metodología tarifaria de acueducto y alcantarillado.

³⁵ Humberto Ávila. Tesis de Grado. Magíster en Ingeniería Civil de la Universidad de los Andes.

³⁶ Humberto Ávila. Tesis de Grado. Magíster en Ingeniería Civil de la Universidad de los Andes.

que se toman las medidas necesarias para cerrar el servicio mientras se arregla el daño, aun cuando no se cuente con sub-zonas hidráulicas.

Se asignaron los siguientes tiempos a cada daño:

- Máximo 5 días para la detección del daño³⁷ (para el modelo se tomará medio día³⁸).
- Entre 2³⁹ y 12⁴⁰ horas para atender y ocuparse de minimizar la fuga durante la reparación.

Cabe precisar que de acuerdo con los dos últimos valores, existe un mínimo de tiempo para atender el daño y por ende, si los programas de reposición no son ejecutados y las fugas continúan, existe un valor mínimo fijo que no es posible reducir, que corresponde a aquel volumen de agua que se fuga por los daños durante el transcurso en el cual es atendido. Para este estudio, se toma como valor mínimo posible de atención a daño, las dos horas propuestas por el *BRISTOL WATER HOLDINGS GROUP*.

El procedimiento para estimar el volumen de agua que se fuga a través de los daños, durante un período, es el presentado en la Ecuación 17:

$$Vd = D \cdot Qd \cdot (td + tar)$$

Ecuación 17

donde:

Vd: Volumen de fuga en daños

D: Número de daños

Qd: Caudal de fuga

td: Tiempo de detección del daño

tar: Tiempo de atención y reparación o asilamiento.

7.3.4 Cálculo del volumen de agua no facturado por fugas no visibles

Una vez obtenidos los volúmenes de aguas generados por las dos causas anteriormente presentadas, es posible sustraer la fracción que corresponde a fugas no

³⁷ BRISTOL WATER HOLDINGS GROUP . Breaks and Backgroun Estimates (BABE) Model.

³⁸ www.medkasa.com. Programa de Control de Agua no Contabilizada de Aguas de Manizales E.S.P

³⁹ BRISTOL WATER HOLDINGS GROUP . Breaks and Backgroun Estimates (BABE) Model.

⁴⁰ www.medkasa.com. Programa de Control de Agua no Contabilizada de Aguas de Manizales E.S.P

visibles y a reboses aguas abajo del macromedidor, siguiendo el criterio de balance hídrico, así:

$$V_{nv} = V_t - V_{sbr} - V_d$$

Ecuación 18

donde:

V_d : Volumen de fuga en daños

V_{sbr} : Volumen no facturado por problemas de subregistro

V_t : Volumen de agua no facturado por razones técnicas

Ahora bien, las fugas no visibles pueden ser detectables o no detectables en el corto plazo con equipos y actividades de identificación de fugas. Según la BWS⁴¹ de Austria, un daño, puede ser detectado siempre que tenga una fuga con un caudal mayor que 2gpm (0.1261L/s)

7.4 COSTOS DE LOS PROGRAMAS PARA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS.

Los costos de implementación de programas de reducción de pérdidas técnicas, a excepción del programa de reposición y calibración de medidores, se calculan a partir de indicadores internacionales, en función de los kilómetros de red.

A continuación se presentan los costos de estos programas, de acuerdo con el tipo de pérdida.

7.4.1 Costo del programa de reparación y calibración de medidores

La reposición de medidores depende de la vida útil de estos y por ende no es posible saber exactamente el valor del programa de reposición de cada empresa. No obstante lo anterior, es importante tener en cuenta que la reposición de los medidores es cargada al usuario en la mayoría de los casos. En este sentido, la calibración y la reparación de los medidores son aun, programas más autosuficientes para la empresa, en la medida en que los costos asociados son pagados por el suscriptor afectado.

Sin perjuicio de lo anterior, para estimar datos aproximados de costos se aplican valores obtenidos de experiencias nacionales e internacionales.

⁴¹ BRISTOL WATER HOLDINGS GROUP . Breaks and Background Estimates (BABE) Model.

En primer lugar, para que la empresa pueda identificar el número de medidores en mal estado, debe hacerse un muestreo en zonas estratégicas* y así obtener una idea de la precisión de los medidores de acuerdo con su edad. Sobre este mismo punto, la empresa puede también implementar criterios de verificación dependiendo del registro acumulado del micromedidor para hacer una filtración previa de cuales deben llevarse a los bancos de prueba⁴².

En el modelo se considera un porcentaje de micromedidores a reponer y otro porcentaje a calibrar o reparar. En todo caso, el valor de reparación y calibración no debe ser mayor que la mitad del costo del micromedidor⁴³. Una vez calculado el número de medidores a calibrar y reponer, el valor total del programa se calcula como el total de este número, multiplicado en cada caso, por el costo específico, tal como se muestra en la Ecuación 19, a continuación:

$$C_{rm} = (S - S_{sm}) \cdot M_r \cdot c_{uv} + (S - S_{sm}) \cdot M_c \cdot c_{uv} / 2$$

Ecuación 19

donde:

- C_{rm}*: Costo de programa de reposición y reparación de micromedidores
- S*: Número total de suscriptores del prestador
- S_{sm}*: Numero de suscriptores sin micromedición
- M_r*: Porcentaje de medidores a reponer
- c_{uv}*: Costo del micromedidor volumétrico
- M_c*: Porcentaje de micromedidores a calibrar

En todo caso, existe un grado de incertidumbre asociado al muestreo de micromedidores, que está cesante en el corto plazo pero al largo plazo va disminuyendo. El único costo que no sería recuperado, sería aquel asociado al mínimo caudal de error de arranque de los micromedidores y de desgaste a lo largo de la vida útil.

7.4.2 Costo de programas de mejoramiento en reacción a daños (fugas visibles)

* Este muestreo debería hacerse al tiempo con el catastro de usuarios, incluso sólo como una etapa previa al muestreo definitivo.

⁴² USEPA Water Conservation Plan Guidelines

⁴³ Criterios de reposición. Aguas de Manizales. www.medkasa.com

Este programa involucra indirectamente las prácticas de sectorización, ya ésta además de optimizar los procesos cotidianos operativos en los sistemas, se presta para facilitar la reducción de fugas visibles y no visibles.

Los programas de respuesta a daños, pueden llegar a ser costosos, dependiendo del tipo de espacio de tiempo que se busca reducir. Es por lo anterior, que se hace necesario identificar tanto el volumen perdido desde el momento de percepción del daño hasta la notificación; como el volumen perdido desde el momento de notificación hasta el momento de llegada al sitio y el volumen perdido desde la llegada de los técnicos, hasta el asilamiento de la falla*.

Para reducir el primer período es necesario mejorar los canales de comunicación entre la ciudadanía y la empresa. Sin embargo, el tiempo de percepción de la falla es función de su magnitud y de su tipo, variables no controlables por el operador⁴⁴. Es por lo anterior que existe un nivel de pérdidas mínimo factible en los daños, que corresponde al volumen que se pierde durante el tiempo en el cual, se exterioriza la falla.

El segundo lapso de tiempo, referido al tiempo de respuesta de la empresa, puede ser reducido hasta tanto la distancia se convierta en el límite⁴⁵. A medida que las redes se expanden y el sistema de operación sigue centralizado, estos tiempos de reacción crecen mucho más que proporcionalmente. Lo anterior no quiere decir que no sea una variable controlable, simplemente es una variable acotada por el tiempo mínimo posible de respuesta, resultante de ubicar cuadrillas en puntos estratégicos que minimicen la distancia a recorrer. Este límite mínimo se ha fijado con niveles muy bajos en los diseños conceptuales. Sin embargo, en práctica se ha encontrado que un espacio de tiempo es factible cuando es mayor o está alrededor de las 2 horas.⁴⁶

Ahora bien, el tiempo en que se repara el daño no necesariamente es un periodo en el cual se pierde agua. Si la falla es aislada, el tiempo de reparación, una vez detenido el flujo, no afecta el nivel de pérdidas. En este caso es donde toma la mayor importancia para este tipo de fallas, tener un grado alto de sectorización física de la red. Para el modelo, este tiempo se asume como una variable totalmente controlable por el operador.

El costo del programa de respuesta activa a los daños, incluye, mejoramiento de canales de comunicación, modelos de desplazamientos óptimos, y parte de la sectorización.

* Ver Numeral 7.3.3

⁴⁴ 12 horas en el modelo. Ver numeral 7.3.3.

⁴⁵ Máximo 3 horas propone PINEWATER. Queensland

⁴⁶ BWS

Los costos se obtienen de experiencias internacionales o indicadores internacionales, tal como se expone en la Ecuación 20

$$Cqd = Lred \cdot cud$$

Ecuación 20

donde:

Cqd: Costo de programa de respuesta a atención de daños

cud: costo de programa de respuesta a daños por kilómetro de red⁴⁷

Lred: Longitud de red total

Este costo se ubica en un año cero, suponiendo que toda la inversión tiene una erogación puntual.

7.4.3 Costo de programas de detección de fugas (fugas no visibles)

El costo de programas de detección de fugas es tal vez el que más claramente se relaciona con la longitud de red. Estos programas incluyen prácticas de recorrido de la red y el valor de algunos equipos sónicos, ultrasónicos, etc. Las empresas, presentan los datos agregados del valor del programa y por lo tanto, el costo por longitud de red, incluye los componentes mencionados. Así, los cálculos de costos se expresan así:

$$Cdf = Lred \cdot cudf$$

Ecuación 21

donde:

Cqd: Costo de programa de detección de fugas

cud: costo de programa de detección de fugas por kilómetro de red

Lred: Longitud de red total

Este costo se ubica en un año cero, suponiendo que toda la inversión tiene una erogación puntual.

⁴⁷ \$US 1547/km de red. Experiencia año 2003. NSW DEPARTMENT OF LAND AND WATER CONSERVATION. Sydney October 2000 HO/15/00. ISBN 0 7347 5163 X

7.4.4 Costos de programas de manejo de presiones (fugas no visibles y disminución en la frecuencia de daños)

Este costo está asociado al nivel de sectorización de la empresa. Existen indicadores por sector, con una longitud de red, sin embargo, para aquellas empresas donde no se tenga información, se toma el costo unitario, multiplicado por la longitud total de la red.

Este costo incluye, todo el valor de equipos, estaciones, válvulas reductoras, mediciones de presión en campo, macro medidores, mediciones de flujo continuas para la verificación de curvas de demanda, integraciones de las modelaciones de la red con los sistemas de geo-referenciación, etc..

Así las cosas los costos de programas de reducción de presiones se calculan con la Ecuación 26

$$C_p = \sum_{i=1}^n NS \cdot L_{red} \cdot cup_i + \sum_{j=1}^m NS \cdot cup_j$$

Ecuación 22

donde:

C_p : Costo de programa de control de presiones

cup_i : costo unitario de programa de control de presiones por unidad de longitud, sin sectorización

cup_j : costo unitario de programa de control de presiones por unidad de longitud, sin sectorización

cup_i : costo unitario de programa de control de presiones por sector

L_{red} : Longitud de red total

Este costo se ubica en un año cero, suponiendo que toda la inversión tiene una erogación puntual.

7.4.5 Costos de programas de reposición de redes

La reposición y rehabilitación de redes es una práctica asociada a la solución de varios problemas, entre los que se encuentra el problema de pérdidas técnicas de agua. No obstante lo anterior, existen motivos de mayor peso que hacen que estos beneficios de reducción de agua sean marginales frente a los beneficios de calidad de agua que se buscan obtener. Es por lo anterior, que en pocas ocasiones, el valor de la reposición de redes es incorporado como un costo más de los programas de reducción de agua no contabilizada. Cuando sí son incorporados, normalmente hacen parte de programas donde los niveles de IANC son muy bajos, lo que indica que es una de las

últimas prácticas que deben hacerse específicamente para reducción del índice de agua no contabilizada excepción de aquellos casos en los que los daños son persistentes y los beneficios son asociados a la disminución de costos de operación y mantenimiento.

No obstante lo anterior, se toman 2 indicadores de costos por unidad de longitud. El primero de ellos hace referencia a los criterios de reposición expuestos por **LAHLOU, Z Michael**⁴⁸ su artículo, en el cual expone que debe hacerse reposición total de las redes de cada uno a tres, esperándose así una muy reducción de las pérdidas no visibles y una disminución de daños (caudal resultante de el tiempo de notificación de la falla y el tiempo mínimo de reacción).

Para encontrar un indicador de aplicable al caso colombiano, que siga este criterio se utiliza la Ecuación 23, a continuación:

$$curr\ 1 = \frac{VRA \cdot \%cred}{3 \cdot Lred}$$

Ecuación 23

donde:

curr1: costo unitario de reposición de redes con el criterio de reposición total en 3 años, a partir de los valores de red de los prestadores colombianos.

Lred: Longitud de red (km)

VRA: Valor a nuevo de los activos de cada empresa*.

%cred: Porcentaje del valor a nuevo de los activos que corresponde a la red de acueducto.

Este valor, se multiplica por la longitud de la red dando como resultado el primer valor del programa de reposición de redes (*Crr1*).

Adicionalmente, se hace otra simulación de costos en el modelo, a partir de indicadores internacionales en los que se calcula el costo del programa de reposición de redes así:

$$CRR\ 2 = curr\ 2 \cdot Lred$$

Ecuación 24

donde:

⁴⁸ Leak Detection and Water Loss. National Drinking Water Clearinghouse. West Virginia University

* Componente tarifario del Costo Medio de Inversión de Largo Plazo. Regulación vigente a Febrero de 2004

Crr2: costo total del programa de reposición de redes con los indicadores internacionales

curr2: indicador de costo unitario de reposición de redes por kilómetro de red.

Lred: Longitud de red (km)

7.5 BENEFICIOS DE LOS PROGRAMAS PARA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS.

En este numeral se presenta el desarrollo conceptual del modelo de beneficios cuantificables. Sin embargo se reitera que existen beneficios no cuantificables, tanto sociales como financieros de la empresa y ambientales.

7.5.1 Beneficios del programa de reparación de micromedidores

En términos económicos para la empresa, el beneficio se obtiene en el momento en que se cobra el consumo efectivo. En este caso, sería el cobro del volumen de sub-registro sin considerar el cobro sobre el porcentaje mínimo establecido en el modelo.

En este caso no se asume que los usuarios pueden reducir este consumo, ya que hasta ese momento han reaccionado ante las señales de precio por ser suscriptores con micromedición. Lo anterior, a partir de la siguiente fórmula:

$$Y_{sbr} = (V_{sbr} - V_{sbr}^{min}) \cdot TV$$

Ecuación 25

donde:

Y_{sbr}: Ingresos generados por la implementación de los programas de reparación y reposición de medidores

$$V_{sbr}^{min} = AF \cdot sbr^{min}$$

V_{sbr}: Volumen no facturado por problemas de sub-registro

V_{sbr}: Volumen mínimo factible no facturado por problemas de sub-registro

AF: Volumen de agua facturado

sbr: porcentaje de sub-registro.

sbr^{min}: Porcentaje de sub-registro mínimo⁴⁹

TV: Cargo variable dentro de la tarifa.⁵⁰

⁴⁹ En el modelo se incluye un valor de 3%, de acuerdo con la información presentada en el marco teórico.

⁵⁰ Para el caso colombiano, el cargo variable se calcula con el CMLP, definido en la Resolución CRA 151 de 2001.

El análisis de beneficios se proyecta durante la mitad de la vida útil de los micromedidores, para las reparaciones y calibraciones, y durante toda la vida útil, para las reposiciones. Estos beneficios se analizan en valor presente, con la misma tasa de descuento utilizada para los cálculos de pérdidas comerciales.

7.5.2 Beneficios de la sectorización

Los beneficios de sectorización encontrados en diferentes experiencias internacionales, son repartidos entre la reducción de tiempo de atención o asilamiento de daños y la reducción de las fugas no visibles. De esta forma, los beneficios obtenidos tienen dos fuentes diferentes. Los beneficios esperados por la reducción en tiempo de aislamiento en daños y la segunda por reducción de fugas no visibles.

Los beneficios generados por la primera fuente se calculan, tal como se presenta en la Ecuación 26

$$Ysd = Vdr \cdot efs / 2 \cdot (cud + fec \cdot cuin)$$

Ecuación 26

donde:

Ysd: ingresos percibidos por concepto de reducción de volumen de fuga, durante el tiempo de reparación o asilamiento.

Vdr: Volumen de fuga durante el asilamiento o durante la reparación

efs: eficiencia de la sectorización en la reducción de pérdidas ^{*51}

cud: Costos unitarios directos (\$/m³)

cuind: Costos unitarios indirectos (\$/m³)

fec: Factor de escala de costos (0.99) (ver numeral 5.3.3)

Los beneficios generados por reducción de fugas no visibles se calculan tal como se presenta en la Ecuación 27

$$Ysnv = Vnv \cdot efs / 2 \cdot (cud + fec \cdot cuin)$$

Ecuación 27

donde:

* referencias internacionales de efectividad.

⁵¹ Experiencia México, Sydney

Y_{smv} : Ingresos percibidos por concepto de reducción de fugas no visibles

V_{nv} : Volumen de fugas no visibles.

efs : eficiencia de la sectorización en la reducción de pérdidas*

cud : Costos unitarios directos ($\$/m^3$)

$cuind$: Costos unitarios indirectos ($\$/m^3$)

fec : Factor de escala de costos (0.99) (ver numeral 5.3.3)

Ambos ingresos se suman en valor presente para un período de 4 años*.

No obstante lo anterior, el modelo calcula el beneficio agregado de todos los aspectos que involucran los programas de detección de fugas así:

7.5.3 Beneficios de los programas de reacción a daños

Tal como se expone en el numeral de costos correspondiente a la reacción de daños, una parte del volumen calculado en las fugas, no se tiene en cuenta en el cálculo de los beneficios, por considerarse una variable no controlable, con este tipo de medidas*. Así las cosas, el volumen fugado durante el tiempo de percepción y notificación de la falla, es sustraído del volumen total calculado.

De igual forma, el caudal de fuga durante el tiempo mínimo de desplazamiento es sustraído del volumen correspondiente.

A tal efecto, la Ecuación 28 muestra la fórmula para calcular los beneficios, en el año cero de análisis.

$$Y_{qd} = (V_d - V_{dmin}) \cdot (cud + fec \cdot cuin)$$

Ecuación 28

donde :

$$V_{dmin} = D \cdot Q_d \cdot (td_{min} + tar_{min})$$

D : Número de daños

Q_d : Menor caudal de fuga

ta : Tiempo mínimo de detección del daño

tar : Tiempo mínimo de atención y reparación o asilamiento

Los beneficios esperados, tienen un período de 6 años y por lo tanto, son traídos a valor presente con la tasa fijada para los demás cálculos del modelo.

* referencias internacionales de efectividad.

* Tiempo de proyección de programas de reducción de IANC, encontrados en la revisión bibliográfica.

* Escontrolable con el programa de reposición de redes, hasta un valor mínimo encontrado.

7.5.4 Beneficios de programas de detección de fugas

Estos programas están dirigidos a la detección de fugas no visibles y por lo tanto los ahorros obtenidos, son calculados sobre el volumen de pérdidas no visibles encontrados en el numeral 7.3.4. Existen indicadores porcentuales de efectividad⁵² e indicadores de detecciones por kilómetro de red, de los programas de detección de fugas. Así mismo, existe un mínimo de detección de fugas posible encontrado, que aunque es un dato exacto de fugas por km de red, está asociado al concepto de la BWS que expone que una fuga es detectable siempre que tenga un caudal mayor a 2gpm (0.13L/s) a 3 pies bajo tierra, en tubería metálica. Así las cosas, este volumen de agua, no se tendrá en cuenta para el análisis de beneficios, así:

El volumen mínimo se calcula con la Ecuación 29, a continuación

$$V_{\text{vmin}} = dt_{\text{min}} \cdot q_{\text{dmin}} \cdot \text{tiempo} / \text{año}$$

Ecuación 29

donde:

V_{vmin}: Volumen mínimo de fugas no visible, no detectable

dt_{min}: número de detecciones mínimas por km de red⁵³.

q_{dmin}: caudal mínimo detectable⁵⁴

Para encontrar los beneficios obtenidos por este programa, es necesario tener claro, que con estas prácticas se detectan las fugas pero no se reduce el caudal fugado, hasta tanto no se implementan programas de reparación o reposición. Sobre este particular, cada empresa puede tener criterios de cuando es óptimo reponer. Por ejemplo, en Singapoure se adoptó el criterio que dice que cuando se presentan más de 3 daños en un tramo de tubería al año, se debe hacer la reposición de éste, Por lo anterior, los ingresos son calculados en el modelo, como un beneficio conjunto generado or el programa de detección y el programa de reparación y reposición de tuberías.

7.5.5 Beneficios de reposición de redes

La continua reposición de redes, tal como LAHLOU, Z Michael⁵⁵ expresa en su artículo, debe hacerse en su totalidad de cada uno a tres, esperándose así una muy

⁵² THE DEPARTMENT OF LAND AND WATER CONSERVATION de Sydney ha encontrado en sus experiencias, que los métodos acústicos tienen una efectividad del 78%.

⁵³ NSW DEPARTMENT OF LAND AND WATER CONSERVATION. Sydney October 2000
HO/15/00. ISBN 0 7347 5163 X

⁵⁴ BRISTOL WATER HOLDINGS GROUP . Breaks and Backgroun Estimates (BABE) Model.

reducción de las pérdidas no visibles y una disminución de daños (caudal resultante de el tiempo de notificación de la falla y el tiempo mínimo de reacción). Los beneficios, una vez repuestas las tuberías pueden proyectarse durante 20 años⁵⁶ promedio entre la vida de la reposición y la de la reparación.

Sin embargo, la efectividad de las reposiciones, es baja, no en cuanto a los efectos que se logran en la calidad del bien suministrado, pero sí en cuanto a la reducción de fugas no visibles. La máxima reducción encontrada, cuando las pérdidas están por debajo de 10%, de 1.4%⁵⁷ gracias a programas ambiciosos de reposición de redes, que supone grandes inversiones. Estos grados de efectividad se presentan cuando el *IANC* está en niveles bajos.

En este caso, los beneficios obtenidos, son generados por el ahorro en los volúmenes que restan del volumen de pérdidas visibles, reducido en el programa de

Ecuación 30, a continuación:

$$Ydrf = \min [(V_{nv} - V_{nv\min}); (efdf \cdot Lred)] \cdot (cud + fec \cdot cuin)$$

Ecuación 30

Ydrf: Ingresos generados por el programa de detección de fugas y el de reposición y reparación de tuberías

Efdf: Efectividad de los programas en conjunto (m³/ km red)

Lred: Longitud de red

cud: Costos unitarios directos (\$/m³)

cuind: Costos unitarios indirectos (\$/m³)

fec: Factor de escala de costos (0.99) (ver numeral 5.3.3)

Los beneficios esperados, tienen un período de 4 años y por lo tanto, son traídos a valor presente con la tasa fijada para los demás cálculos del modelo.

⁵⁵ Leak Detection and Water Loss. NATIONAL DRINKING WATER CLEARINGHOUSE. West Virginia University

⁵⁶ Promedio, horizontes internacionales de Singapoure . Sydney, Motorola.

⁵⁷ **YEPES, Guillermo**. Reducción Accounted-for Water The job can be done. Best Practices

Capítulo 8 Implementación y Resultados

Siguiendo cada uno de los cálculos y conceptos presentados en los Capítulos 6 y 7, se presentan a continuación, los resultados de cada uno de ellos. En primer lugar se presenta el desarrollo del modelo de volúmenes, costos y beneficios, de las pérdidas comerciales. Luego se presentan los resultados del modelo de pérdidas técnicas; y finalmente, el procedimiento para obtener las curvas de beneficio y costo marginal.

8.1 Resultados del modelo de pérdidas comerciales

Tabla 8-1 se presenta el primer componente del balance hídrico que se refiere al total de agua no facturada por razones comerciales.

Tabla 8-1. Volumen de agua no facturado debido a distorsiones comerciales

Consecutivo	Agua producida (m ³ /año)	Agua facturada (m ³ /año)	m ³ Perdidos totales/año	% Pérdidas comerciales	m ³ No facturados por pérdidas comerciales al año (Vc)
1	482.279.745,00	314.446.393,74	194.646.708,00	48,21%	93836480
2	261.424.680,00	175.677.384,96	85.747.295,04	42,74%	36651824
3	228.182.159,00	135.266.383,86	95.905.496,00	50,00%	47952748
4	175.190.495,00	108.618.106,90	89.742.071,00	0,00%	0
5	72.434.576,00	48.748.469,65	24.134.576,00	23,24%	5609259
7	65.769.051,00	36.150.781,31	33.693.940,50	71,04%	23936374
9	42.623.292,00	24.653.312,09	17.968.253,00	90,28%	16222352
11	30.597.732,00	20.500.480,44	11.129.150,00	100,00%	11129150
13	25.567.700,00	14.941.763,88	10.627.484,00	73,27%	7786453
14	20.581.724,00	9.879.227,52	4.134.244,00	59,62%	2464645
18	26.813.595,00	10.116.769,39	16.810.156,00	74,18%	12469871
19	19.876.468,00	14.833.808,07	5.049.583,00	53,69%	2711013
21	30.861.571,00	18.226.843,83	12.634.727,17	88,86%	11226960
23	14.187.069,96	7.773.095,63	6.413.974,33	77,18%	4950530
25	14.497.911,00	8.959.709,00	5.839.203,00	25,00%	1459801
27	11.783.829,00	5.738.724,72	6.363.924,00	17,12%	1089783
28	1.040.500,25	671.018,61	370.128,67	50,95%	188569
30	14.166.503,00	8.089.073,21	6.316.311,00	81,98%	5177889
32	7.159.206,00	3.792.231,42	3.546.983,00	57,47%	2038591
33	15.427.584,00	7.135.257,60	8.292.326,40	0,00%	123
34	6.367.683,00	4.108.429,07	2.259.584,00	100,00%	2259584
36	8.709.984,00	5.435.030,02	6.046.651,00	100,00%	6046651
39	6.678.880,00	3.205.862,40	3.866.908,00	86,51%	3345344
40	5.326.430,00	2.673.867,86	2.770.059,00	100,00%	2770059
48	4.271.000,00	2.263.630,00	2.043.000,00	25,81%	527226
49	3.367.016,00	2.036.371,28	1.331.003,00	0,00%	5
50	2.221.180,00	1.600.360,19	105.772,00	71,43%	75551
54	1.826.740,00	1.140.251,11	701.292,00	92,14%	646170
59	3.265.900,00	2.090.176,00	2.279.944,00	0,00%	0
60	2.214.720,00	930.182,40	1.352.812,00	81,02%	1096011
62	2.049.840,00	1.455.386,40	594.453,60	16,67%	99076
66	653.401,00	484.170,14	162.502,00	57,53%	93486
67	998.750,00	645.192,50	353.403,00	51,98%	183690
74	793.152,00	356.918,40	421.152,00	40,00%	168461
77	167.914,86	124.257,00	43.657,86	100,00%	43658
78	168.132,00	157.522,87	10.614,00	100,00%	10614

Se puede observar la existencia de datos faltantes que no pueden ser reemplazados ni estimados con los valores de las demás empresas, pues son la base del modelo. Donde se presentan, pérdidas del 0%, aparecen datos de volumen, dado el efecto de cierre del balance hídrico y la forma porcentual de presentación del IANC.

Ahora bien, una estimado el volumen total de pérdidas comerciales, se calcula el volumen de pérdidas por micromedición (V_m), de acuerdo con lo presentado en el numeral 6.3.2, obteniéndose como resultados, los datos de la Tabla 8-2

Tabla 8-2 Volumen de pérdidas por falta de micromedición

Excedente de consumo sin micromedición (w)		33%	
Consecutivo	% de micromedición	Promedio del consumo (m^3 /usuario-mes) CP	m^3 perdidos por falta de micromedición V_m
1	98%	17,08	2391371
2	98%	19,16	1840141
3	98%	24,81	1146037
4	83%	23,57	6899100
5	100%	23,06	0
7	99%	20,09	113366
9	97%	21,90	414556
11	100%	16,96	0
13	92%	18,05	579155
14	56%	20,94	3416060
18	56%	18,07	2142666
19	100%	24,78	35923
21	95%	17,97	336781
23	83%	18,20	601800
25	99%	19,17	28531
27	100%	16,59	0
28	97%	24,89	122103
30	100%	28,00	0
32	98%	14,88	35007
33	93%	19,68	200866
34	98%	19,45	36156
36	83%	12,49	217759
39	99%	17,09	7494
40	69%	17,55	443050
48	100%	23,18	0
49	94%	18,09	60378
50	100%	14,38	0
54	100%	17,53	0
59	83%	10,18	81218
60		16,75	386819
62	97%	0,00	0
66	100%	10,69	0
67	96%	8,08	10246
74	97%	20,00	34888
77	100%	7,87	0
78	100%		0

Para analizar las pérdidas comerciales aparentes, generadas por los usuarios no registrados, se calcula en número de usuarios a encuestar, de conformidad con lo planteado en el 6.3.3. En la Tabla 8-3 se presentan los resultados:

Tabla 8-3 Número de usuarios a encuestar

Consecutivo	m ³ Restantes correspondiente a usuarios no registrados en el año 2002	Número aproximado de usuarios sin registro (Scp)	Cobertura (Cob)	Potenciales usuarios (Spc+Vsc) y suscriptores actuales (S)	Número esperado de domicilios a encuestar (Ve)
1	91.445.109	5.352.778	98%	1.364.702	1.364.702
2	34.811.683	1.816.828	100%	779.067	779.067
3	46.806.711	1.886.528	96%	460.500	460.500
4			99%	299.118	299.118
5	5.609.259	243.271	100%	174.563	174.563
7	23.823.008	1.185.671	96%	134.600	134.600
9	15.807.797	721.873	97%	96.348	96.348
11	11.129.150	656.223	97%	98.441	98.441
13	7.207.298	399.197	96%	72.027	72.027
14	0	0	87%	73.285	73.285
18	10.327.205	571.638	0%		
19	2.675.090	107.932	100%	50.002	50.002
21	10.890.179	606.089	98%	66.693	66.693
23	4.348.730	238.988			0
25	1.431.270	74.673	99%	38.026	38.026
27	1.089.783	65.706	98%	27.845	27.845
28	66.466	2.670	97%	27.740	27.740
30	5.177.889	184.935	99%	23.499	23.499
32	2.003.585	134.637	96%	21.071	21.071
33	0		96%	28.084	28.084
34	2.223.428	114.317	100%	17.552	17.552
36	5.828.892	466.572	98%	18.144	18.144
39	3.337.850	195.266	96%	14.220	14.220
40	2.327.009	132.569	95%	14.769	14.769
48	527.226	22.748	98%	8.890	8.890
49	0		52%	18.038	18.038
50	75.551	5.254	100%	8.865	8.865
54	646.170	36.861	100%	5.341	5.341
59	0		83%	9.720	9.720
60	709.192	42.333	95%	4.180	4.180
62	99.076		0%		
66	93.486	8.749	97%	3.967	3.967
67	173.444	21.470	98%	5.440	5.440
74	133.573	6.678	98%	10.204	10.204
77	43.658	5.544	100%	1.315	1.315
78	10.614		94%	0	

Para el análisis de costos se aplica, lo contemplado en el Numeral 6.4 del presente documento. Las celdas sombreadas, corresponden a los parámetros de entrada del modelo. Para el caso del programa de micromedición se tomó un valor de \$60.000 por micromedidor⁵⁸. Adicionalmente, se simula que la persona prestadora asume el costo.

Tabla 8-4 Costos de los Programas de micromedición y catastro

Tasa de descuento		10%		PROGRAMA DE MICROMEDICIÓN				
Precio del dólar		\$ 2.714,25		Valor micromedidor		\$ 60.000		
				Porcentaje asumido por la empresa				
				100%				
COSTOS								
MICROMEDICIÓN			CATASTRO DE USUARIOS					
Consecutivo	Número de usuarios sin micromed (Ssm)	Valor programa micromedición asumido en parte por el prestador (Cm)	Número esperado de domicilios a encuestar (Ve)	Valor catastro (US 0.5 /sus) (EC1)	Valor catastro (US 0.8/sus) (EC2)	Valor catastro (US 1.1/sus) (EC3)	Valor catastro (US 1.5/sus) (EC5)	Valor catastro (US 1.8/sus) (EC6)
1	24073	\$1.444.400.640	1364702	1.774.112.653	2.838.580.245	3.903.047.837	5.322.337.959	6.386.805.551
2	16516	\$990.973.224	779067	389.533.500	1.620.459.360	2.228.131.620	3.038.361.300	3.646.033.560
3	7944	\$476.624.016	460500	230.250.078	957.840.324	1.317.030.445	1.795.950.607	2.155.140.728
4	50342	\$3.020.495.400	299118	149.559.091	622.165.818	855.478.000	1.166.560.909	1.399.873.091
5	0	\$0	174563	87.281.500	363.091.040	499.250.180	680.795.700	816.954.840
7	970	\$58.220.100	134600	67.300.250	279.969.039	384.957.428	524.941.948	629.930.337
9	3256	\$195.341.568	96348	48.174.163	200.404.518	275.556.213	375.758.472	450.910.166
11	0	\$0	98441	49.220.316	204.756.515	281.540.209	383.918.466	460.702.160
13	5517	\$331.003.200	72027	36.013.683	149.816.921	205.998.266	280.906.727	337.088.072
14	28054	\$1.683.211.200	73285	36.642.529	152.432.920	209.595.264	285.811.724	342.974.069
18	20397	\$1.223.812.422	0	0	0	0	0	0
19	249	\$14.955.600	50002	25.001.003	104.004.173	143.005.737	195.007.823	234.009.388
21	3223	\$193.406.400	66693	33.346.523	138.721.537	190.742.113	260.102.881	312.123.457
23	5688	\$341.262.600	0	0	0	0	0	0
25	256	\$15.359.568	38026	19.013.131	79.094.626	108.755.111	148.302.424	177.962.909
27	0	\$0	27845	13.922.290	57.916.728	79.635.501	108.593.865	130.312.638
28	844	\$50.621.196	27740	# REF!	57.699.277	79.336.506	108.186.145	129.823.374
30	0	\$0	23499	11.749.472	48.877.803	67.206.980	91.645.882	109.975.058
32	405	\$24.273.600	21071	10.535.417	43.827.333	60.262.583	82.176.250	98.611.500
33	1755	\$105.309.666	28084	14.042.188	58.415.500	80.321.313	109.529.063	131.434.875
34	320	\$19.182.060	17552	8.776.248	36.509.193	50.200.141	68.454.737	82.145.685
36	2998	\$179.858.232	18144	9.071.764	37.738.540	51.890.493	70.759.763	84.911.715
39	75	\$4.523.805	14220	7.110.218	29.578.506	40.670.446	55.459.699	66.551.639
40	4341	\$260.447.400	14769	7.384.323	30.718.783	42.238.327	57.597.718	69.117.262
48	0	\$0	8890	4.444.898	18.490.776	25.424.816	34.670.204	41.604.245
49	574	\$34.443.360	18038	9.019.231	37.520.000	51.590.000	70.350.000	84.420.000
50	0	\$0	8865	4.432.571	18.439.494	25.354.305	34.574.052	41.488.862
54	0	\$0	5341	2.670.500	11.109.280	15.275.260	20.829.900	24.995.880
59	1372	\$82.293.600	9720	4.860.241	20.218.602	27.800.578	37.909.880	45.491.855
60	3971	\$238.260.000	4180	2.090.000	8.694.400	11.954.800	16.302.000	19.562.400
62	135	\$8.107.200	0	0	0	0	0	0
66	0	\$0	3967	1.983.454	8.251.169	11.345.357	15.470.941	18.565.129
67	218	\$13.087.200	5440	2.719.836	11.314.519	15.557.464	21.214.724	25.457.669
74	300	\$18.000.000	10204	5.102.041	21.224.490	29.183.673	39.795.918	47.755.102
77	0	\$0	1315	657.500	2.735.200	3.760.900	5.128.500	6.154.200
78	0	\$0	0	0	0	0	0	0

Como se puede observar se simularon cinco costos unitarios de catastro de usuarios (cuv)*.

⁵⁸ Micromedidores volumétricos, Experiencia Islas de Malta, Aguas de Manizales, España.

* El precio del dólar de \$2714,25 se tomó como el precio promedio durante el mes de febrero de 2004 .

Lo anterior debido la heterogeneidad de los valores encontrados. De igual forma, los ingresos esperados, arrojan cinco posibilidades que se analizar separadamente a partir de los datos que se muestran en la Tabla 8-5 Beneficios de la micromedición, a continuación:

Tabla 8-5 Beneficios de la micromedición

Vida útil micromedidor	7 años
Factor de escala fec	0,9979
Tasa de descuento	10%

BENEFICIOS DEL PROGRAMA DE MICROMEDCIÓN					
MICROMEDCIÓN (7 años de vida útil promedio del micromedidor)					
Cargo variable (suponiendo o el básico estrato 4) TV	Ahorro (año base) si se vende el excedente (Ym1)	Valor presente ahorro (durante la vida útil del medidor) si se vende excedente VP (Ym1)	costos unitarios indirectos (cud) \$/ m ³	costos unitarios directos (cuid) \$/ m ³	Valor presente ahorro total en costos por reducción de consumo no fact VP Ym2
\$1.273	\$3.044.901.352	\$16.306.240.545	\$409	\$33	\$5.645.055.778
\$980	\$1.803.642.134	\$9.658.973.839	\$208	\$32	\$14.636.081.340
\$750	\$859.691.027	\$4.603.869.573	\$369	\$50	\$16.137.444.200
\$1.002	\$6.914.050.244	\$37.026.541.546	\$426	\$173	\$116.279.431.251
\$610	\$0	\$0	\$112	\$17	\$0
\$1.090	\$123.513.835	\$661.448.785	\$371	\$252	\$1.726.068.167
\$661	\$273.979.849	\$1.467.233.518	\$302	\$16	\$4.718.129.865
\$537	\$0	\$0	\$376	\$12	\$0
\$505	\$292.259.072	\$1.565.123.521	\$368	\$31	\$8.058.955.351
\$960	\$3.279.417.871	\$17.562.137.640	\$561	\$188	\$75.137.412.579
\$815	\$1.746.122.701	\$9.350.942.277	\$0	\$0	\$0
\$541	\$19.441.353	\$104.113.513	\$296	\$28	\$403.804.761
\$0	\$0	\$0	\$193	\$24	\$2.473.950.037
\$0	\$0	\$0	\$104	\$48	\$2.496.815.824
\$727	\$20.735.087	\$111.041.796	\$476	\$69	\$518.401.185
\$899	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$717	\$87.545.670	\$468.829.888	\$0	\$0	\$0
\$512	\$0	\$0	\$392	\$27	\$0
\$583	\$20.408.974	\$109.295.377	\$468	\$37	\$620.145.960
	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$344	\$12.420.284	\$66.513.859	\$0	\$0	\$0
\$539	\$117.474.306	\$629.105.534	\$146	\$19	\$1.209.531.973
\$784	\$5.875.405	\$31.464.326	\$0	\$0	\$0
\$300	\$132.914.891	\$711.793.891	\$204	\$24	\$3.444.423.899
\$298	\$0	\$0	\$152	\$15	\$0
\$505	\$30.491.027	\$163.287.401	\$0	\$0	\$0
\$572	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$300	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$505	\$41.010.428	\$219.621.534	\$218	\$176	\$740.091.435
\$535	\$206.789.510	\$1.107.411.733	\$0	\$0	\$0
\$87	\$0	\$0	\$228	\$19	\$0
\$554	\$0	\$0	\$112	\$24	\$0
\$457	\$4.682.771	\$25.077.457	\$0	\$0	\$0
\$68	\$2.372.409	\$12.704.866	\$0	\$0	\$0
\$947	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$435	\$21	\$0

Los valores en blanco corresponden a datos faltantes de costos directos e indirectos y de cargos variables. No obstante lo anterior, en el análisis beneficio-costos se tomará

como dato definitivo, el mínimo valor de beneficio obtenido. A continuación se presenta el beneficio esperado de la incorporación de usuarios sin registro pero con atención del servicio.

Tabla 8-6 Beneficios Catastro de Usuarios

Tasa de descuento	10%
-------------------	-----

BENEFICIOS DEL CATASTRO DE USUARIOS					
CATASTRO DE USUARIOS (2 años)					
Cargo Fijo (CF)	Cargo Básico (CB)	Cargo Complementario	Cargo suntuario	Valor presente de los Ingresos tarifarios estrato 4 de usuarios no registrados con recaudo de 100% (Yc1)	Valor presente Ingresos por tarifas estrato 4 de usuarios no registrados suponiendo que se conecta la mitad (Yc2)
9.492,39	1.273,29	1.739,80	1.824,77	3.831.465.638.276	1.915.732.819.138
6.612,75	980,17	980,17	980,17	1.056.920.766.351	528.460.383.175
7.389,39	750,14	750,14	750,14	1.123.736.199.505	561.868.099.752
3.889,25	1.002,17	1.002,17	1.002,17	0	0
5.345,29	609,72	609,72	609,72	108.140.528.650	54.070.264.325
6.863,80	1.089,51	1.089,51	1.089,51	781.054.925.828	390.527.462.914
3.511,17	660,90	660,90	660,90	297.405.401.178	148.702.700.589
7.313,95	537,30	537,30	537,30	246.943.296.762	123.471.648.381
3.852,87	504,63	504,63	504,63	118.556.113.694	59.278.056.847
6.225,00	960,00	960,00	960,00	0	0
2.678,82	814,93	814,93	814,93	227.882.706.960	113.941.353.480
7.135,72	541,20	567,98	567,98	50.810.687.767	25.405.343.884
0,00	0,00	0,00	0,00	0	0
0,00	0,00	0,00	0,00	0	0
4.272,30	726,77	726,77	726,77	31.138.381.526	15.569.190.763
3.728,00	898,54	898,54	898,54	28.044.258.460	14.022.129.230
5.255,25	716,98	716,77	716,77	1.412.998.522	706.499.261
5.343,92	511,74	511,74	511,74	83.343.656.983	41.671.828.491
1.094,00	583,00	586,00	586,00	30.134.043.388	15.067.021.694
0,00	0,00	0,00	0,00	0	0
2.241,21	343,52	380,06	380,06	23.367.026.206	11.683.513.103
2.857,70	539,47	539,47	539,47	102.583.110.779	51.291.555.389
2.847,00	784,00	784,00	784,00	72.685.836.095	36.342.918.048
3.159,00	300,00	300,00	300,00	25.586.826.655	12.793.413.328
2.940,00	298,00	298,00	298,00	5.131.315.137	2.565.657.569
3.322,00	505,00	502,00	505,00	0	0
2.466,75	571,86	699,95	699,95	1.286.678.392	643.339.196
3.399,00	300,11	493,39	493,39	7.312.867.043	3.656.433.521
4.245,39	504,94	569,52	569,52	0	0
4.171,21	534,59	749,82	749,82	12.730.610.975	6.365.305.488
9.324,74	87,22	87,22	153,49	0	0
1.273,01	554,25	644,65	644,65	1.442.142.554	721.071.277
1.924,72	457,05	457,05	457,05	2.762.698.177	1.381.349.089
1.020,00	68,00	98,00	110,00	364.108.844	182.054.422
4.750,00	947,00	947,00	947,00	1.550.408.870	775.204.435
0,00	0,00	0,00	0,00	0	0

Para el cálculo de los beneficios generados por la incorporación de usuarios sin servicio, se simularon dos escenarios. El primero corresponde a la conexión de

totalidad de los usuarios con un recaudo del 100% y el segundo corresponde a la incorporación de la mitad de los usuarios a la base de la empresa, o lo que es lo mismo, un recaudo de 50% de la totalidad de los suscriptores incorporados.

En la Tabla 8-7 se presentan los resultados parciales de las relaciones beneficio costo de la aplicación de las medidas comerciales.

Tabla 8-7 Beneficio-Costo de medidas comerciales

ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO						
CATASTRO					MICROMEDICIÓN	
B/C catastro 1	B/C catastro 2	B/C catastro 3	B/C catastro 4	B/C catastro 5	B/C micromed 1	B/C micromed 2
1.080	675	491	360	300	11,3	3,9
1.357	326	237	174	145	9,7	14,8
2.440	587	427	313	261	9,7	33,9
0	0	0	0	0	12,3	38,5
619	149	108	79	66		
5.803	1.395	1.014	744	620	11,4	29,6
3.087	742	540	396	330	7,5	24,2
2.509	603	439	322	268		
1.646	396	288	211	176	4,7	24,3
0	0	0	0	0	10,4	44,6
					7,6	
1.016	244	178	130	109	7,0	27,0
0	0	0	0	0	0,0	12,8
					0,0	7,3
819	197	143	105	87	7,2	33,8
1.007	242	176	129	108		
#REF!	12	9	7	5	9,3	
3.547	853	620	455	379		
1.430	344	250	183	153	4,5	25,5
0	0	0	0	0		
1.331	320	233	171	142	3,5	
5.654	1.359	988	725	604	3,5	6,7
5.111	1.229	894	655	546	7,0	
1.733	416	303	222	185	2,7	13,2
577	139	101	74	62		
0	0	0	0	0	4,7	
145	35	25	19	16		
1.369	329	239	176	146		
0	0	0	0	0	2,7	9,0
3.046	732	532	390	325	4,6	
364	87	64	47	39		
508	122	89	65	54	1,9	
36	9	6	5	4	0,7	
1.179	283	206	151	126		

 No necesitan programa de micromedición
 No tienen información de costos en el PUC
 No tienen información de tarifas

8.2 Resultados del modelo de pérdidas técnicas

En la Tabla 8-8, se presentan los resultados de los dos primeros cálculos del balance hídrico. El primero corresponde al volumen total de agua no facturada por causas técnicas; el segundo corresponde a la identificación del volumen no facturado, por sub-registro en los micromedidores

Tabla 8-8. Volumen de agua de pérdidas comerciales y de sub-registro

Subregistro 1	3%
Subregistro 2	13%

Consecutivo	Vol no contabilizado (m ³ /año)	Vol no fact. causas técnicas (m ³ /año) Vt	Volumen Facturado (m ³ /año) AF	Vol 1 no fact. subregistro (m ³ /año) Vsbr 1	Vol 2 no fact. subregistro (m ³ /año) Vsbr 2
1	194.646.708	100.810.228	314.446.394	9.433.392	40.878.031
2	85.747.295	49.095.471	175.677.385	5.270.322	22.838.060
3	95.905.496	47.952.748	135.266.384	4.057.992	17.584.630
4	89.742.071	89.742.071	108.618.107	3.258.543	14.120.354
5	24.134.576	18.525.317	48.748.470	1.462.454	6.337.301
7	33.693.941	9.757.566	36.150.781	1.084.523	4.699.602
9	17.968.253	1.745.901	24.653.312	739.599	3.204.931
11	11.129.150	111.292	20.500.480	615.014	2.665.062
13	10.627.484	2.841.031	14.941.764	448.253	1.942.429
14	4.134.244	1.669.599	9.879.228	296.377	1.284.300
18	16.810.156	4.340.285	10.116.769	303.503	1.315.180
19	5.049.583	2.338.570	14.833.808	445.014	1.928.395
21	12.634.727	1.407.768	18.226.844	546.805	2.369.490
23	6.413.974	1.463.444	7.773.096	233.193	1.010.502
25	5.839.203	4.379.402	8.959.709	268.791	1.164.762
27	6.363.924	5.274.141	5.738.725	172.162	746.034
28	370.129	181.559	671.019	20.131	87.232
30	6.316.311	1.138.422	8.089.073	242.672	1.051.580
32	3.546.983	1.508.392	3.792.231	113.767	492.990
33	8.292.326	8.292.204	7.135.258	214.058	927.583
34	2.259.584	0	4.108.429	123.253	534.096
36	6.046.651	0	5.435.030	163.051	706.554
39	3.866.908	521.564	3.205.862	96.176	416.762
40	2.770.059	0	2.673.868	80.216	347.603
48	2.043.000	1.515.774	2.263.630	67.909	294.272
49	1.331.003	1.330.998	2.036.371	61.091	264.728
50	105.772	30.221	1.600.360	48.011	208.047
54	701.292	55.122	1.140.251	34.208	148.233
59	2.279.944	2.279.944	2.090.176	62.705	271.723
60	1.352.812	256.801	930.182	27.905	120.924
62	594.454	495.378	1.455.386	43.662	189.200
66	162.502	69.016	484.170	14.525	62.942
67	353.403	169.713	645.193	19.356	83.875
74	421.152	252.691	356.918	10.708	46.399
77	43.658	0	124.257	3.728	16.153
78	10.614	0	157.523	4.726	20.478

En la Tabla 8-9 se presentan los volúmenes de agua de fuga a través de los daños reportados por las empresas. De igual forma, se presenta el resultado de las estimaciones de los volúmenes mínimos que de acuerdo con las consultas empíricas, no son posibles de reducir. Lo anterior debido a los tiempos mínimos de percepción y de desplazamiento, de conformidad con lo establecido en el Numeral 7.4.2.

Tabla 8-9 Volumen de fuga en los daños reportados por las empresas

Consecutivo	Daños en la Red / mes	Vol fuga1-t de atención 1 (m ³ /año) (Vd _{mín1})	Vol fuga1-t de atención 2 (m ³ /año) Vd1	Vol fuga2-t de atención 1 (m ³ /año) (Vd _{mín 2})	Vol fuga 2-t de atención 2 (m ³ /año) Vd2
1	8.442,2	17.870.393	30.634.959	28.898.978	49.541.106
2	153,0	323.870	555.206	523.745	897.848
3	1.833,0	3.880.094	6.651.590	6.274.667	10.756.572
4	1.866,0	3.949.949	6.771.341	6.387.631	10.950.225
5	210,0	444.528	762.048	718.865	1.232.340
7	111,0	234.965	402.797	379.972	651.380
9	568,4	1.203.231	2.062.682	1.945.797	3.335.652
11	6.009,0	12.719.851	21.805.459	20.569.817	35.262.543
13	65,0	137.592	235.872	222.506	381.439
14	1.456,0	3.082.061	5.283.533	4.984.133	8.544.227
18	155,4	329.045	564.077	532.112	912.192
19	13,0	27.518	47.174	44.501	76.288
21	558,6	1.182.339	2.026.866	1.912.010	3.277.732
23	152,8	323.508	554.586	523.159	896.845
25	100,0	211.680	362.880	342.317	586.829
27	70,0	148.176	254.016	239.622	410.780
28	371,8	787.042	1.349.216	1.272.760	2.181.875
30	7,8	16.405	28.123	26.530	45.479
32	144,0	304.819	522.547	492.936	845.033
33	69,2	146.440	251.040	236.815	405.968
34	145,0	306.936	526.176	496.359	850.902
36	10,0	21.168	36.288	34.232	58.683
39	60,0	127.008	217.728	205.390	352.097
40	137,1	290.178	497.448	469.259	804.444
48	48,0	101.606	174.182	164.312	281.678
49	129,2	273.494	468.848	442.280	758.193
50	71,4	151.189	259.181	244.494	419.133
54	36,0	76.205	130.637	123.234	211.258
59	6,0	12.701	21.773	20.539	35.210
60	4,0	8.467	14.515	13.693	23.473
62	62,0	131.300	225.086	212.331	363.997
66	6,0	12.701	21.773	20.539	35.210
67	19,5	41.370	70.921	66.902	114.689
74	7,0	14.818	25.402	23.962	41.078
77	12,4	26.273	45.039	42.487	72.835
78	0,0	0	0	0	0

En la Tabla 8-10 a continuación, se presentan los resultados del último cálculo del balance hídrico, correspondiente a la estimación de las fugas no visibles y a los reboses.

Tabla 8-10 Volumen de pérdidas en fugas no visibles

VOLUMEN DE PÉRDIDAS CAUSADAS POR FUGAS NO VISIBLES, CON EL SUBREGISTRO 1			
Fugas no visibles y reboses 1 (Vnv1)	Fugas no visibles y reboses 2 (Vnv2)	Fugas no visibles y reboses 3 (Vnv 3)	Fugas no visibles y reboses 4 (Vnv4)
73.506.443	60.741.877	62.477.858	41.835.731
43.501.279	43.269.943	43.301.405	42.927.302
40.014.662	37.243.166	37.620.090	33.138.185
82.533.579	79.712.187	80.095.896	75.533.302
16.618.335	16.300.815	16.343.997	15.830.522
8.438.078	8.270.246	8.293.071	8.021.663
-196.930	-1.056.381	-939.496	-2.329.351
-13.223.574	-22.309.182	-21.073.539	-35.766.266
2.255.186	2.156.906	2.170.272	2.011.339
-1.708.839	-3.910.311	-3.610.911	-7.171.006
3.707.737	3.472.706	3.504.670	3.124.590
1.866.038	1.846.382	1.849.055	1.817.268
-321.376	-1.165.904	-1.051.048	-2.416.770
906.743	675.665	707.092	333.406
3.898.931	3.747.731	3.768.294	3.523.782
4.953.803	4.847.963	4.862.357	4.691.199
-625.614	-1.187.787	-1.111.331	-2.020.446
879.345	867.627	869.220	850.271
1.089.806	872.078	901.689	549.591
7.931.706	7.827.106	7.841.331	7.672.178
-430.189	-649.429	-619.612	-974.155
-184.219	-199.339	-197.283	-221.734
298.380	207.660	219.998	73.291
-370.394	-577.664	-549.475	-884.661
1.346.259	1.273.683	1.283.553	1.166.187
996.412	801.059	827.627	511.713
-168.979	-276.971	-262.284	-436.923
-55.290	-109.722	-102.320	-190.344
2.204.538	2.195.466	2.196.700	2.182.029
220.428	214.380	215.202	205.422
320.416	226.630	239.385	87.720
41.790	32.718	33.952	19.281
108.987	79.437	83.456	35.669
227.166	216.582	218.021	200.905
-30.001	-48.767	-46.215	-76.563
-4.726	-4.726	-4.726	-4.726

Se observa que existe una alta correlación entre el número de daños y los valores negativos de las fugas no visibles. Lo anterior podría interpretarse como si estas empresas, no necesitaran implementar programas para reducción de fugas no visibles, porque al reducir sus pérdidas comerciales, de sub-registro y de atención rápida a

daños, estarían abarcando el total de sus pérdidas. Así mismo se presenta la información de volúmenes de pérdidas no visibles, como resultado del balance hídrico, para el sub-registro 2 (13%)

VOLUMEN DE PÉRDIDAS CAUSADAS POR FUGAS NO VISIBLES, CON EL SUBREGISTRO 2			
Fugas no visibles y reboses 1 (Vnv 5)	Fugas no visibles y reboses 2 (Vnv 6)	Fugas no visibles y reboses 3 (Vnv 7)	Fugas no visibles y reboses 4 (Vnv8)
42.061.804	29.297.237	31.033.219	10.391.091
25.933.541	25.702.205	25.733.666	25.359.563
26.488.024	23.716.528	24.093.451	19.611.546
71.671.768	68.850.376	69.234.086	64.671.492
11.743.488	11.425.968	11.469.150	10.955.675
4.823.000	4.655.168	4.677.993	4.406.585
-2.662.261	-3.521.712	-3.404.827	-4.794.682
-15.273.622	-24.359.230	-23.123.587	-37.816.314
761.009	662.729	676.096	517.163
-2.696.762	-4.898.234	-4.598.834	-8.158.928
2.696.061	2.461.029	2.492.993	2.112.913
382.657	363.001	365.674	333.887
-2.144.061	-2.988.588	-2.873.733	-4.239.454
129.433	-101.645	-70.218	-443.903
3.002.960	2.851.760	2.872.323	2.627.811
4.379.931	4.274.091	4.288.485	4.117.326
-692.716	-1.254.889	-1.178.433	-2.087.548
70.437	58.719	60.313	41.363
710.582	492.854	522.465	170.368
7.218.180	7.113.580	7.127.806	6.958.652
-841.032	-1.060.272	-1.030.455	-1.384.998
-727.722	-742.842	-740.786	-765.237
-22.206	-112.926	-100.588	-247.295
-637.781	-845.051	-816.862	-1.152.047
1.119.896	1.047.320	1.057.190	939.824
792.775	597.422	623.990	308.076
-329.015	-437.007	-422.320	-596.959
-169.316	-223.748	-216.345	-304.369
1.995.520	1.986.448	1.987.682	1.973.011
127.410	121.362	122.184	112.404
174.877	81.091	93.846	-57.819
-6.627	-15.699	-14.465	-29.136
44.468	14.918	18.936	-28.851
191.474	180.890	182.329	165.214
-42.426	-61.193	-58.641	-88.989
-20.478	-20.478	-20.478	-20.478

En este caso, el efecto mencionado es aún mayor, dado que el sub-registro simulado es mayor.

A continuación se presentan los resultados del análisis de costos de las pérdidas técnicas y beneficios, en el orden en que han sido presentados los cálculos del balance hídrico.

Tabla 8-11 Análisis Beneficio/Costo de implementación de programas de reposición y reparación de micromedidores

Tasa descuento		10%		Costo unitario de micromedidor (cuv)		\$ 60.000			
Porcentaje medidores a reponer (Mr)		25%		Vida útil micromedidor repuesto		7			
Porcentaje medidores a reparar (Mc)		50%		Vida útil micromedidor reparado		3,5			
				Periodo de proyección de ingresos		3,5			
Consec	Número de suscriptores (S)	Número de suscriptores sin micromed (Ssm)	Costo del programa de reposición de medidores (\$) (Crm)	Sub-registro mínimo (m3/año) (Vsbr mín)	Subregistro efectivo a reducir (m3/año)	Cargo variable (\$/m3) (TV)	Ingresos programa de reposición y reparación de micromedidores en año cero (Ysbr)	VP Ingresos programa de repo y repa de medidores VP (Ysbr)	B/C Programa de reposición y reparación de medidores
1	1.337.408	24.073	39.400.039.680	9.433.392	31.444.639	1.273	40.038.045.382	139.606.738.257	3,5
2	779.067	16.516	22.876.523.388	5.270.322	17.567.738	980	17.219.289.408	60.041.113.557	2,6
3	443.784	7.944	13.075.207.992	4.057.992	13.526.638	750	10.146.903.486	35.380.750.622	2,7
4	296.127	50.342	7.373.562.300	3.258.543	10.861.811	1.002	10.885.347.700	37.955.596.300	5,1
5	174.563	0	5.236.890.000	1.462.454	4.874.847	610	2.972.291.691	10.363.941.202	2,0
7	129.378	970	3.852.229.950	1.084.523	3.615.078	1.090	3.938.673.118	13.733.570.202	3,6
9	93.824	3.256	2.717.049.216	739.599	2.465.331	661	1.629.337.396	5.681.258.344	2,1
11	95.261	0	2.857.830.000	615.014	2.050.048	537	1.101.490.814	3.840.735.438	1,3
13	68.959	5.517	1.903.268.400	448.253	1.494.176	505	754.006.231	2.629.108.127	1,4
14	63.758	28.054	1.071.134.400	296.377	987.923	960	948.405.842	3.306.950.798	3,1
18	46.053	20.397	769.683.789	303.503	1.011.677	815	824.445.888	2.874.720.787	3,7
19	49.852	249	1.488.082.200	445.014	1.483.381	541	802.806.989	2.799.269.149	1,9
21	65.120	3.223	1.856.896.800	546.805	1.822.684	0	0	0	0,0
23	33.775	5.688	842.618.700	233.193	777.310	0	0	0	0,0
25	37.646	256	1.121.700.216	268.791	895.971	727	651.163.482	2.270.510.682	2,0
27	27.232	0	816.960.000	172.162	573.872	899	515.646.224	1.797.982.061	2,2
28	26.869	844	780.759.402	20.131	67.102	717	48.110.692	167.754.864	0,2
30	23.365	0	700.950.000	242.672	808.907	512	413.951.512	1.443.387.655	2,1
32	20.228	405	594.703.200	113.767	379.223	583	221.087.092	770.897.966	1,3
33	26.961	1.755	756.175.167	214.058	713.526	0	0	0	0,0
34	17.470	320	514.508.970	123.253	410.843	344	141.131.129	492.103.359	1,0
36	17.748	2.998	442.510.884	163.051	543.503	539	293.203.564	1.022.357.432	2,3
39	13.709	75	408.993.098	96.176	320.586	784	251.339.612	876.384.027	2,1
40	13.980	4.341	289.176.300	80.216	267.387	300	80.216.036	279.701.444	1,0
48	8.712	0	261.360.000	67.909	226.363	298	67.456.174	235.209.695	0,9
49	9.380	574	264.178.320	61.091	203.637	505	102.836.749	358.576.525	1,4
50	8.835	0	265.050.000	48.011	160.036	572	91.518.198	319.110.410	1,2
54	5.341	0	160.230.000	34.208	114.025	300	34.220.076	119.320.340	0,7
59	8.068	1.372	200.893.200	62.705	209.018	505	105.541.347	368.007.056	1,8
60	3.971	3.971	0	0	0	0	0	0	0,0
62	4.504	135	131.066.400	43.662	145.539	87	12.693.714	44.261.101	0,3
66	3.836	0	115.080.000	14.525	48.417	554	26.835.130	93.570.127	0,8
67	5.320	218	153.056.400	19.356	64.519	457	29.488.523	102.822.116	0,7
74	10.000	300	291.000.000	10.708	35.692	68	2.427.045	8.462.747	0,0
77	1.315	0	39.450.000	3.728	12.426	947	11.767.138	41.030.268	1,0
78	50	0	1.500.000	4.726	15.752	0	0	0	0,0

Es importante aclarar que a pesar de incorporar todos los costos en el año cero, tal concertación no es real. Normalmente los programas de reparación y calibración de micromedidores pueden durar hasta 2 años.

De la tabla se puede observar que en aquellas ciudades donde la tarifa es tan baja, los programas de reposición y reparación de micromedidores no son sostenibles por sí solos.

A continuación en la tabla tal, se presentan los resultados parciales del análisis beneficio costo de la implementación de programas de reacción a daños.

Tabla 8-12 Análisis Beneficio-Costo de Implementación de programas de reacción a atención de daños

Costo de reacción por \$US/km red		619	Tasa descuento		10%			
Precio del dólar		\$ 2.714	Periodo de proyección de ingresos (años)		6			
Consec	Longitud de red total (km) Lred	Costo del programa de reacción (\$) (Cqd)	Volumen mínimo factible con programas de reacción (m ³ /año) (Vd mín)	Volumen 2 efectivo a reducir (Vd2-Vdmin)	Costos directos (cud), indirectos (cuid) ajustados por (fec)	Ingresos programa de reacción a daños en año cero (Yqd)	VP Ingresos programa de reacción a daños VP (Yqd)	B/C Programa de reacción a daños
1	7.482	12.570.472.571	17.870.393	12.764.566	441	5.626.608.647	26.955.882.262	2,14
2	3.335	5.603.084.017	323.870	231.336	240	55.481.709	265.801.037	0,05
3	2.705	4.545.128.046	3.880.094	2.771.496	419	1.161.004.966	5.562.127.229	1,22
4	1.694	2.845.955.760	3.949.949	2.821.392	598	1.685.846.000	8.076.528.713	2,84
5	1.219	2.047.532.067	444.528	317.520	128	40.757.073	195.258.446	0,10
7	1.220	2.049.363.370	234.965	167.832	623	104.487.064	500.575.246	0,24
9	497	834.167.286	1.203.231	859.451	318	272.919.543	1.307.499.336	1,57
11	950	1.596.594.505	12.719.851	9.085.608	387	3.518.882.234	16.858.214.448	10,56
13	746	1.253.367.849	137.592	98.280	398	39.085.780	187.251.637	0,15
14	614	1.031.578.476	3.082.061	2.201.472	748	1.646.010.199	7.885.683.886	7,64
18	346	582.067.315	329.045	235.032	0	0	0	0,00
19	383	643.610.884	27.518	19.656	324	6.371.137	30.522.760	0,05
21	733	1.232.311.215	1.182.339	844.528	216	182.574.166	874.673.898	0,71
23	341	572.274.040	323.508	231.077	152	35.040.915	167.873.552	0,29
25	237	398.753.804	211.680	151.200	543	82.167.847	393.648.635	0,99
27	297	498.988.286	148.176	105.840	0	0	0	0,00
28	330	553.624.983	787.042	562.173	0	0	0	0,00
30	130	218.412.381	16.405	11.718	418	4.902.033	23.484.593	0,11
32	208	348.787.771	304.819	217.728	504	109.783.746	525.950.516	1,51
33	226	378.895.078	146.440	104.600	0	0	0	0,00
34	75	125.167.095	306.936	219.240	0	0	0	0,00
36	169	284.104.105	21.168	15.120	164	2.485.341	11.906.738	0,04
39	0	0	127.008	90.720	0	0	0	0,00
40	117	195.899.105	290.178	207.270	228	47.197.661	226.113.930	1,15
48	91	152.705.536	101.606	72.576	167	12.147.717	58.197.122	0,38
49	115	192.382.665	273.494	195.353	0	0	0	0,00
50	63	106.350.029	151.189	107.992	0	0	0	0,00
54	68	113.910.457	76.205	54.432	0	0	0	0,00
59	13	22.345.267	12.701	9.072	394	3.574.010	17.122.320	0,77
60	11	18.481.048	8.467	6.048	0	0	0	0,00
62	55	92.359.876	131.300	93.786	247	23.146.552	80.708.602	0,87
66	40	66.363.762	12.701	9.072	136	1.232.406	4.297.216	0,06
67	17	29.100.930	41.370	29.550	0	0	0	0,00
74	22	36.962.095	14.818	10.584	0	0	0	0,00
77	11	18.481.048	26.273	18.766	0	0	0	0,00

De estos resultados parciales se puede percibir que no es un programa muy atrayente para el operador como inversionista, dado que el enfoque de la tesis es desde análisis del inversionista privado. Adicionalmente, es posible que el la referencia de costo

internacional, incluya costos de instrumentación que pueden poseer efectivamente las empresas. No obstante lo anterior, estos resultados independientes de costo y beneficio, serán considerados dentro del análisis de beneficio y costo marginal.

En la Tabla 8-13, se presenta el resultado de beneficio costo de la detección y reposición de tuberías

Tabla 8-13 Análisis Beneficio Costo de la implementación de programas de detección de fugas no visibles

Costo de detección por \$US/km red		175		Tasa descuento		10%		
Precio del dólar		\$ 2.714		Periodo de proyección de ingresos (años)		4		
Efectividad programa de detección y reposición de red (m ³ /km de red)		1.472		Fugas mínimas detectables /100km red		4		
				Caudal mínimo detectable (l/s)		0,13		
Consec	Longitud de red total (km) <i>Lred</i>	Costo del programa de detección de fugas (\$) (<i>Cqd</i>)	Volumen mínimo detectable (m ³ /año) (<i>Vnvmín</i>)	Volumen 1 efectivo a reducir 1 (<i>Vnv-Vnvmín</i>)	Volumen 2 efectivo a reducir 2(<i>Vnv-Vnvmín</i>)	Costos directos (<i>cu</i> d), indirectos (<i>cu</i> id) ajustados por (<i>fec</i>)	Ingresos programa de detección de fugas año cero (<i>Ydrf</i>)	VP Ingresos programa de detección y rep de red VP (<i>Ydrf</i>)
1	7.482	3.563.541.737	1.173.840	72.332.603	11.013.504	441	4.854.742.013	16.927.766.854
2	3.335	1.588.390.861	523.220	42.978.059	4.909.091	240	1.177.355.591	4.105.264.687
3	2.705	1.288.476.101	424.428	39.590.235	3.982.172	419	1.668.168.257	5.816.655.809
4	1.694	806.786.067	265.758	82.267.821	2.493.458	598	1.489.897.952	5.195.053.640
5	1.219	580.444.843	191.200	16.427.135	1.793.926	128	230.269.556	802.915.859
7	1.220	580.963.990	191.371	8.246.707	1.795.531	623	1.117.842.549	3.897.751.517
9	497	236.474.001	77.895	-274.825	730.848	318	232.081.518	809.233.904
11	950	452.610.761	149.091	-13.372.665	1.398.842	387	541.775.394	1.889.090.611
13	746	355.311.116	117.040	2.138.145	1.098.127	398	436.723.029	1.522.788.562
14	614	292.437.133	96.330	847.395	903.808	748	675.764.755	2.356.291.681
18	346	165.007.414	54.354	3.653.384	509.973	0	0	0
19	383	182.454.099	60.101	1.805.937	563.894	324	182.775.971	637.312.760
21	733	349.341.874	115.074	-436.451	1.079.678	216	233.410.177	813.866.740
23	341	162.231.166	53.439	853.303	501.393	152	76.031.889	265.111.944
25	237	113.040.764	37.236	3.861.695	349.364	543	189.857.984	662.006.690
27	297	141.455.747	46.596	4.907.207	437.184	0	0	0
28	330	156.944.436	51.698	-677.312	485.053	0	0	0
30	130	61.916.657	20.396	858.949	191.360	418	80.052.309	279.130.552
32	208	98.876.138	32.570	1.057.235	305.587	504	154.084.488	537.269.804
33	226	107.411.111	35.382	7.896.324	331.965	0	0	0
34	75	35.483.007	11.688	-441.877	109.664	0	0	0
36	169	80.539.282	26.530	-210.749	248.915	164	40.915.285	142.665.544
39	0	0	0	298.380	0	0	0	0
40	117	55.534.478	18.293	-388.687	171.635	228	39.083.225	136.277.420
48	91	43.289.745	14.260	1.331.999	133.792	167	22.393.931	78.084.322
49	115	54.537.620	17.965	978.447	168.554	0	0	0
50	63	30.148.649	9.931	-31.436	93.178	0	0	0
54	68	32.291.918	10.637	-65.927	99.802	0	0	0
59	13	6.334.550	2.087	2.202.451	19.578	394	7.712.802	26.893.399
60	11	5.239.102	1.726	218.702	16.192	0	0	0
62	55	26.182.649	8.625	311.791	80.920	247	19.971.274	69.636.875
66	40	18.813.138	6.197	35.593	58.144	136	7.898.698	27.541.591
67	17	8.249.680	2.717	106.270	25.497	0	0	0
74	22	10.478.203	3.452	223.714	32.384	0	0	0
77	11	5.239.102	1.726	-31.726	16.192	0	0	0

- El dato mínimo de daños por km de red, encontrado es 4 detecciones/100Km

- El precio del dólar promedio para el mes de febrero fue de 2714.25⁵⁹

Para reposiciones, los datos faltantes de valor a nuevo de los activos, se reemplazaron por los datos promedios de cada cluster de valor de activos por km de red, multiplicados, los kilómetros de red de cada empresa.

Peso de redes, en costo total de los sistemas	40%
Costo de programa de reposición por \$US/km red	321

Consec	VALOR A NUEVO DE LOS ACTIVOS	Costo de programas de reposición con criterio de reposición en 3 años	Costo de programas de reposición con indicador internacional	VP Ingresos por reposición de redes (suponiendo C/B =1 de detección)	B/C1 Programa de reposición y reparación de redes (criterio 1)	B/C Programa de reposición y reparación redes criterio 2
1	2.969.001.337.262	1.082.908.476.731	6.526.976.143	13.364.225.117	0,01	2,05
2	1.561.621.757.896	569.583.252.742	2.909.293.624	2.516.873.826	0,00	0,87
3	402.457.068.590	146.791.503.805	2.359.970.331	4.528.179.708	0,03	1,92
4	519.454.690.826	189.465.016.709	1.477.707.798	4.388.267.572	0,02	2,97
5	211.296.709	77.068.001	1.063.141.650	222.471.016	2,89	0,21
7	191.098.712.489	69.701.017.999	1.064.092.519	3.316.787.527	0,05	3,12
9	220.497.397.744	80.423.844.246	433.125.321	572.759.903	0,01	1,32
11	100.502.595.957	36.657.145.192	829.000.993	1.436.479.850	0,04	1,73
13	43.172.605.000	15.746.702.209	650.787.152	1.167.477.446	0,07	1,79
14	106.587.346.834	38.876.486.834	535.627.286	2.063.854.548	0,05	3,85
18	62.910.026.352	22.945.695.562	302.227.260	-165.007.414	-0,01	-0,55
19	61.760.855.920	22.526.549.101	334.182.574	454.858.661	0,02	1,36
21	211.296.709	77.068.001	639.853.900	464.524.866	6,03	0,73
23	158.939.826	57.971.441	297.142.290	102.880.778	1,77	0,35
25	38.342.821.139	13.985.095.093	207.045.244	548.965.926	0,04	2,65
27	59.373.440.774	21.655.767.379	259.090.071	-141.455.747	-0,01	-0,55
28	130.835.420.434	47.720.687.784	287.459.126	-156.944.436	0,00	-0,55
30	33.157.720.924	12.093.890.497	113.406.429	217.213.895	0,02	1,92
32	36.716.446.847	13.391.894.112	181.101.343	438.393.666	0,03	2,42
33	158.939.826	57.971.441	196.733.983	-107.411.111	-1,85	-0,55
34	7.341.821.596	2.677.843.469	64.990.607	-35.483.007	-0,01	-0,55
36	5.737.862.000	2.092.817.986	147.515.593	62.126.262	0,03	0,42
39	158.939.826	57.971.441	0	0	0,00	0,00
40	11.075.028.035	4.039.486.809	101.716.843	80.742.942	0,02	0,79
48	2.254.480.970	822.295.538	79.289.413	34.794.577	0,04	0,44
49	211.296.709	77.068.001	99.890.999	-54.537.620	-0,71	-0,55
50	6.122.915.506	2.233.261.744	55.220.207	-30.148.649	-0,01	-0,55
54	211.296.709	77.068.001	59.145.814	-32.291.918	-0,42	-0,55
59	158.939.826	57.971.441	11.602.350	20.558.849	0,35	1,77
60	158.939.826	57.971.441	9.595.929		0,00	0,00
62	211.296.709	77.068.001	47.956.089		0,00	0,00
66	211.296.709	77.068.001	34.458.107		0,00	0,00
67	4.293.606.987	1.566.042.879	15.110.098		0,00	0,00
74	158.939.826	57.971.441	19.191.857		0,00	0,00
77	211.296.709	77.068.001	9.595.929		0,00	0,00

Es importante recordar que los beneficios por disminución en las reparaciones, al reducirse el número de daños, están involucrados en el costo unitario indirecto que incluye reparaciones y mantenimiento.

⁵⁹ www.corfinsura.com

8.3 Análisis de Costo Marginal y Beneficio Marginal

El costo marginal de cada programa es el costo invertido por cada metro cúbico reducido. Así mismo el beneficio marginal, es el ingreso que percibe la empresa, por cada metro cúbico que se reduce con el programa correspondiente.

En primer lugar se generó un panel data, con datos de reducciones de IANC de cada programa por empresa⁶⁰, con su costo marginal y con su beneficio marginal. Lo anterior se desarrolló sin dar ninguna orientación de los datos, con el fin de identificar el comportamiento de los costos y de los ingresos, independientemente del tipo de programa.

Una vez obtenidos los datos, se graficaron y se ajustaron a dos curvas diferentes de regresión. La curva de beneficios marginales, sólo presentó opciones de regresión lineal y polinomial. La de costos se ajustó a la tendencia exponencial. Las correlaciones obtenidas fueron 0.03 y 0.3 respectivamente. Es importante señalar que aunque el R2 de la curva de beneficios es muy bajo, es el mejor ajuste que pueden obtener los datos presentados y permite hacer análisis sobre el comportamiento de los mismos. Para eliminar datos atípicos, se filtraron los tres mayores y menores valores de reducción de IANC. Este procedimiento se desarrolló, dado que estos valores son el resultado, de datos faltantes que no pudieron ser reemplazados a lo largo del análisis. En la Figura 8-1 se presentan los resultados:

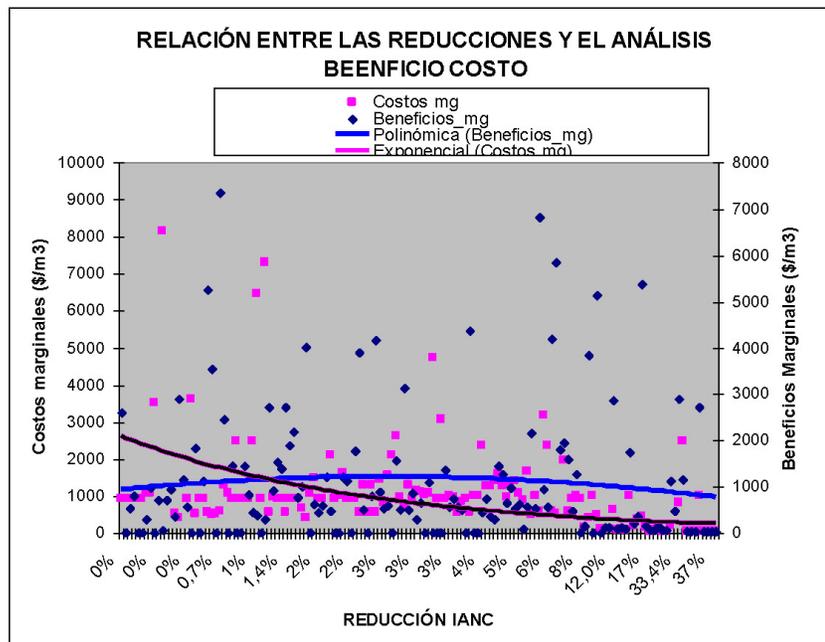


Figura 8-1 Gráfico de Beneficios Marginales y Costos Marginales Vs Reducción de IANC

⁶⁰ Ver Anexo 4

Para observar mejor el comportamiento, se reduce la escala, presentando únicamente los costos por debajo de 5000 \$/m³, como se presenta en la Figura 8-2.

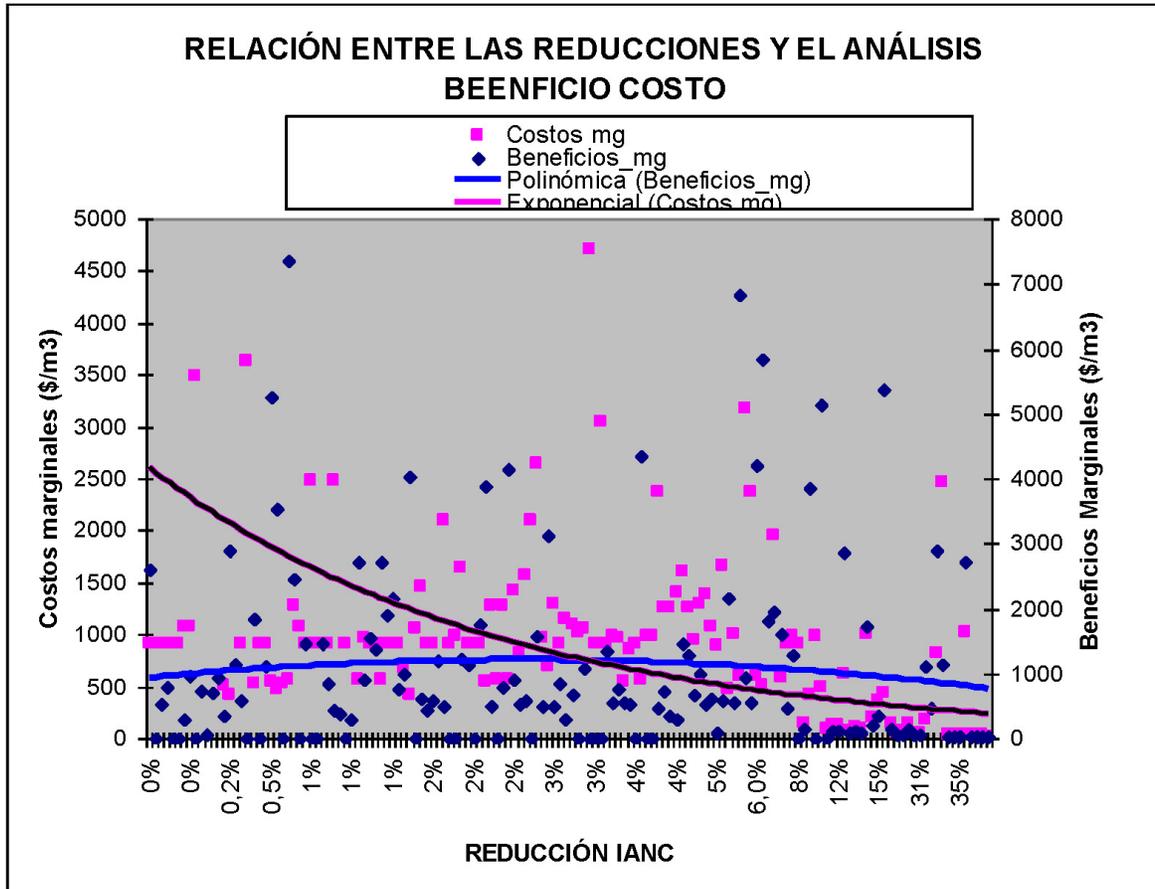


Figura 8-2 Gráfico de Beneficios Marginales y Costos Marginales Vs Reducción de IANC 2

8.4 Estimación de Rangos de factibilidad económica del índice de agua no contabilizada

Una vez verificado el planteamiento de la hipótesis que dice que: a medida que decrecen las reducciones marginales, los costos de implementación crecen y los beneficios disminuyen, es posible dar una orientación a los datos, de tal forma que se puedan ubicar en un gráfico, en el orden en que se van generando las reducciones. Para lograr este efecto, es necesario hacer un procedimiento preliminar, ordenando aquellos programas de mayor “éxito” en reducción de pérdidas con sus costos totales, sus beneficios totales y el IANC que se obtendría, una vez aplicados. En este orden, se van generando curvas para cada empresa y luego, un rango a partir de la media y

un intervalo de confianza de 1 desviación, para una significancia de 0.05 y un número de 34 datos, arroja el rango de factibilidad económica. Este rango refleja el punto a partir del cual no es económicamente aconsejable implementar otros programas.

Para ordenar los programas, se calculan las reducciones promedio de cada uno, obteniéndose como resultado, el orden presentado en la Figura 8-3

Tabla 8-14 Orden de ejecución de programas

PROGRAMA	REDUCCIÓN PROMEDIO
CATASTRO DE USUARIOS	24,0%
REACCIÓN Y ATENCIÓN DE DAÑOS	8,0%
MICROMEDICIÓN	5,0%
REPOSICIÓN Y REPARACIÓN DE MEDIDORES	3,2%
DETECCIÓN Y REPOSICIÓN DE TUBERÍAS	2,8%

Una vez obtenido este orden, se grafican los datos promedios de las empresas, tal como se presenta en la .

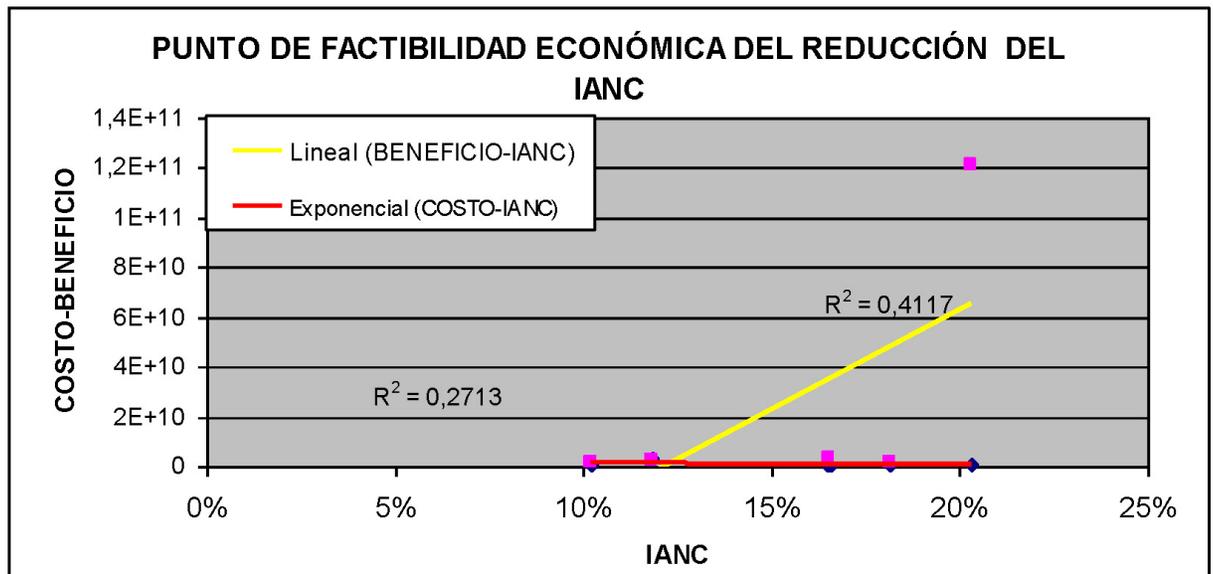


Figura 8-3 Punto de factibilidad económica del índice de agua no contabilizada IANC

Ahora bien, el intervalo de confianza promedio resultante es: media + o -0.04%.

Para observar el punto de factibilidad económica se aumenta la escala del gráfico, tal como se muestra en la Figura 8-4.

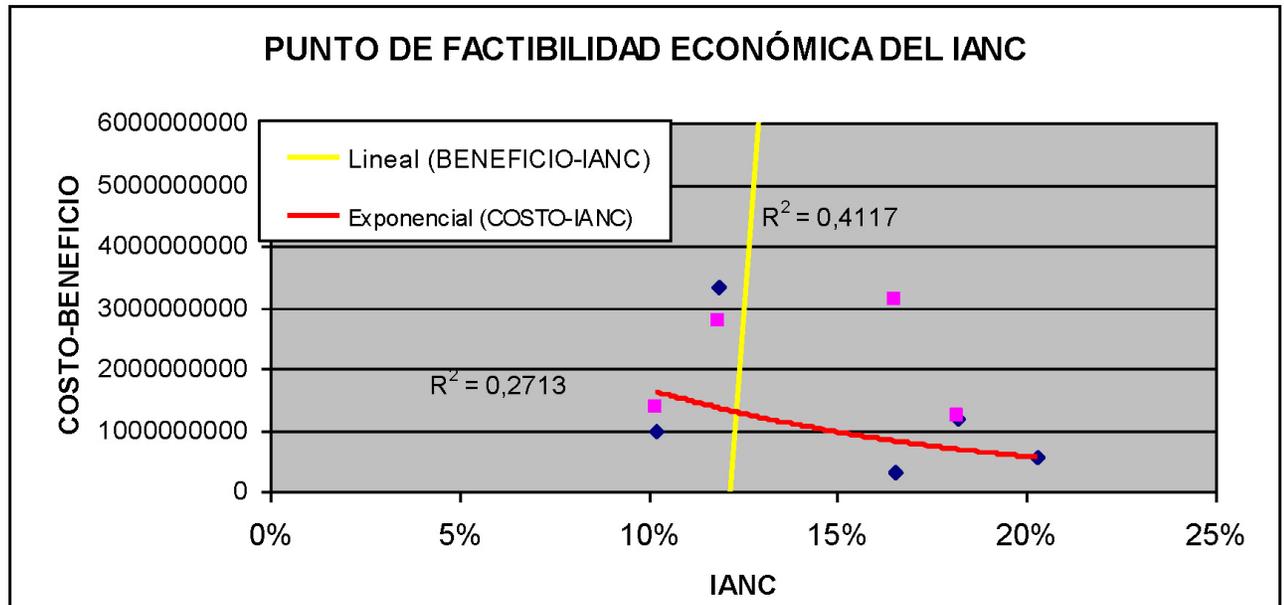


Figura 8-4 Punto de factibilidad económica del índice de agua no contabilizada IANC 2

El rango de factibilidad económica sería entonces $12.4\% \pm 4\%$, es decir: desde **8.4% hasta 16.4%**.

Adicionalmente, aplicando la desagregación por cluster, el límite máximo debería relacionarse con el cluster 2 y el límite mínimo con el cluster 1.

Capítulo 9 Conclusiones

Las conclusiones del presente estudio se muestran por temas, en el orden de capítulos planteado al inicio, así:

9.1 Conclusiones sobre el marco teórico

Los programas de sectorización son necesarios para la implementación de los demás prácticas dirigidas a la reducción del índice de agua no contabilizada y por ende, la relación de costos y beneficios deben expandirse de forma general.

Las fugas no detectables o fugas ocultas, así como los tiempos mínimos de percepción son un importante componente del mínimo IANC posible. En este sentido, se concluye que el hecho de no ser detectables no implica que no puedan ser disminuidas con programas como los de control de presiones.

Con respecto al control de presiones, este debe tenerse en cuenta, no sólo para la reducción de fugas no visibles, sino para la reducción de daños reportados en las tuberías, ya que para sistemas de tuberías mixtos (de diferente tipo de material), la relación entre la presión y el número de daños en un período dado, puede llegar a ser de 1.5.

Para calidades de agua normales, sin altas durezas, las distorsiones de los registros en los medidores por razones técnicas, dan como resultado, sub-registro de los consumos, lo que se traduce en pérdidas financieras para las empresas.

9.2 Conclusiones sobre el diagnóstico nacional e internacional

El índice de agua no contabilizada parece ser un indicador del nivel de desarrollo de los países, comparativamente entre empresas con un número de usuarios atendido similar.

Los índices de agua no contabilizada de los países para los cuales se considera un rango razonable de pérdidas, son del orden de 6 a 10%.

Las empresas con bajos niveles de pérdidas tienen a desarrollar programas de reposición de tuberías para los programas de control de agua no contabilizada, lo que podría significar que son estas prácticas, las más complicadas y costosas.

La cobertura de las empresas nacionales está en niveles altos frente a las coberturas de los países en desarrollo. Sin embargo, lo anterior no es óbice para que los

beneficios sociales que pueden derivarse de la reducción del agua no contabilizada y del aumento de cobertura, sean extraídos del análisis económico de los programas. En este sentido, la variable cobertura debe relacionarse con los excedentes de capacidad para poder estimar los beneficios generados por el desplazamiento de las inversiones.

Normalmente los programas de reducción de agua no contabilizada en el mundo han sido motivados por problemas de capacidad hidráulica de los sistemas o por insuficiente oferta hidrológica. En el caso colombiano, la estimación de sobrecapacidad instalada muestra que esta variable no es una limitante para la producción del agua, e incluso para aumentos de cobertura.

Tanto a nivel nacional como internacional, se muestra una fuerte tendencia hacia la instalación de micromedidores volumétricos.

9.3 Conclusiones sobre el modelo de pérdidas comerciales y el modelo de pérdidas técnicas

Con respecto a los programas de micromedición, los resultados parciales de beneficio/costo, muestran que estos pueden ser financiados por la empresa en el 99% de los casos, aún cuando no sea obligación de la empresa.

De igual forma que los programas de micromedición, los programas de reparación, calibración y reposición de micromedidores pueden ser asumidos por la empresa, sin necesidad de incurrir en riesgos financieros. De acuerdo con los resultados del modelo, este efecto puede lograrse siempre que se reponga el 25% de los equipos y se repare el 50%, logrando así, una cobertura total del programa de 75%.

La relación beneficio costo del catastro de usuarios es mayor que 4 para todos los casos analizados, incluso para las simulaciones con el mayor costo unitario de catastro. Este resultado permite interpretar que esta práctica es una medida muy eficiente para lograr incrementar el total de agua facturada, sin necesidad de mayoral la producción.

9.4 Conclusiones sobre el análisis beneficio costo y el rango de factibilidad económico obtenido

Con los datos obtenidos de costos marginales y beneficios marginales y con los mejores ajustes de los mismos, se logra probar que para el caso colombiano, los costos de implementación de programas de agua no contabilizada crecen a medida que el IANC tiende a cero y lo contrario para los beneficios marginales.

Una vez estimadas las relaciones máximas posibles independientes de cada programa se podría proponer un orden de medidas a aplicar, al momento de diseñar un programa de reducción de agua no contabilizada. En primer lugar se debe ejecutar el catastro de usuarios, luego debe desarrollarse el programa de mejoramiento en la reacción y la atención de daños reportados. En tercer lugar deben adelantarse los programas de micromedición, siguiendo en este orden de ideas con el programa de reposición y reparación de micromedidores. Por último debe ejecutarse el programa de reposición y rehabilitación de redes, con su respectivo programa de detección de fugas.

El rango de factibilidad económica encontrado (desde 8.4% hasta 16.4%) no contempla los beneficios ambientales y sociales que pueden generarse por incrementar la oferta de producción del recurso. Lo anterior implica que si se contemplaran estos beneficios, el rango resultante podría tener valores menores.

La metodología propuesta puede generar mejores resultados, de manera significativa, si se conocen los momentos de expansión de los sistemas y la edad de los activos del mismo.

Capítulo 10 Bibliografía

- [1] LAVILLE, Glen, HUTCHINSON, Leslie. Non-Revenue Water Reduction Strategy: The Bahamian Experience. *The Water and Sewerage Corporation*. 2003
- [2] HUEB, Jose Augusto. Control de Pérdidas en Sistemas de Distribución. *CEPIS*. 1983.
- [3] YEPEZ, Guillermo. Reduction of Unaccounted-for Water: The Job Can Be Done. *Best Practices: World Bank*. 1995.
- [4] Asian Water Supplies, Non Revenue Water. *Asian Development Bank*. 20001
- [5] Breaks and Background Estimates (BABE). *Bristol Water Holdings Group*.
- [6] OCHOA, Leonel H, Maldonado, Juan. Impacto de la Micromedición en Guaymas, Sonora (México). *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*.
- [7] RIZZO, Alex. Leakage Control and Unaccounted-for Water Analysis. *Malta Water Services Corporation*. 2000
- [8] AGUERRI DE LA CRUZ, Francisco. Propuestas metodológicas para el Cálculo de la Vida Útil de los Contadores de Agua. *Instituto Tecnológico del Agua- Universidad Politécnica de Valencia*. 2000.
- [9] Cases in Water Conservation: How Efficiency Programs Help Utilities Save Water and Avoid Costs. *Environmental Protection Agency EPA*.
- [10] Water Conservation Plan Guidelines. *Environmental Protection Agency EPA*.
- [11] LAHLOU, Michael. Leak Detection and Water Losses Control. *National Drinking Water Clearing House-West Virginia University*. 2001
- [12] ANUAL REPORT: 2000-2001. *OFWAT*. 2002
- [13] Unaccounted-for Water. *WORLD BANK* compilation. 2000
- [14] Water Conservation Plan. *Georgia Department of Natural Resources- Environmental Protection Division*. 1995
- [18] Telegestión en Macromedición: Una Herramienta para la conservación del Agua y la Energía. *Alliance to Save Energy*.
- [15] Programa de Reducción de Pérdidas. *IBAL S.A E.S.P. OFICIAL*. 2003
- [16] Control de Pérdidas de Agua en Palmira: Una Experiencia para mostrar. *ACUAVIVA S.A E.S.P.* 2004
- [17] Water Supply & Sanitation Assessment. Part II. 2000
- [18] Programa de Abastecimiento de Agua y Alcantarillado de Georgetown, Fase II. GY-0054.
- [19] www.brc.com.co Programa de Inversiones EAAB.
- [20] www.sydney.com.au Water Conservation and Recycling
- [21] www.motorola.com Managing Water Distribution with SCADA Systems.
- [22] www.medkasa.com Programa de Control de Agua no Contabilizada.
- [23] Programa de sectorización en la Red de Distribución de Agua Potable en la Ciudad de Monterrey, NL. México. Estrategia de Ejecución y Mejora 1998.
- [24] www.eaab.com.co
- [25] www.nablu.org . Water Supply and Sanitation development project. Water and Sanitation Department

ANEXOS

ANEXO 1 tarifas Nacionales

EMPRESA	CARGO FIJO	CARGO BÁSICO	CARGO COMPL	CARGO SUNTU
EAAB	9.492,39	1.273,29	1.739,80	1.824,77
EPM	6.612,75	980,17	980,17	980,17
EMCALI	7.389,39	750,14	750,14	750,14
TRIPLE A	3.889,25	1.002,17	1.002,17	1.002,17
BMANGA	5.345,29	609,72	609,72	609,72
CARTAGENA	6.863,80	1.089,51	1.089,51	1.089,51
PEREIRA	3.511,17	660,90	660,90	660,90
MANIZALES	7.313,95	537,30	537,30	537,30
ARMENIA	3.852,87	504,63	504,63	504,63
SANTA MARTA	6.225,00	960,00	960,00	960,00
MONTERIA	2.678,82	814,93	814,93	814,93
ACUAVIVA	7.135,72	541,20	567,98	567,98
EMPOCALDAS	0,00	0,00	0,00	0,00
CONHYDRA	0,00	0,00	0,00	0,00
TULÚA	4.272,30	726,77	726,77	726,77
SOGAMOSO	3.728,00	898,54	898,54	898,54
ACUAGYR	5.255,25	716,98	716,77	716,77
BUGA	5.343,92	511,74	511,74	511,74
FUSAGASUGA	1.094,00	583,00	586,00	586,00
ESAQUIN	0,00	0,00	0,00	0,00
OCAÑA	2.241,21	343,52	380,06	380,06
ZIPAQUIRA	2.857,70	539,47	539,47	539,47
EMPOOBANDO	2.847,00	784,00	784,00	784,00
CALARCA	3.159,00	300,00	300,00	300,00
STDER QUILICH	2.940,00	298,00	298,00	298,00
LOS PATIOS	3.322,00	505,00	502,00	505,00
CEJA DEL TAME	2.466,75	571,86	699,95	699,95
PROV COMUNE	3.399,00	300,11	493,39	493,39
FLANDES	4.245,39	504,94	569,52	569,52
GUAMO	4.171,21	534,59	749,82	749,82
VILLETA	9.324,74	87,22	87,22	153,49
URRAO	1.273,01	554,25	644,65	644,65
EL SANTUARIO	1.924,72	457,05	457,05	457,05
PEÑOL	1.020,00	68,00	98,00	110,00
EL RINCON	4.750,00	947,00	947,00	947,00
ACUAPAEZ	0,00	0,00	0,00	0,00

ANEXO 2 Ajuste del valor de activos de las empresas nacionales

Consecutivo	Empresa	Km Red	VRA	VRA/km Red	VRA ajustado
4	TRIPLE A	1693,93	519.454.690.826	306.657.385	519.454.690.826
7	CARTAGENA	1219,79	191.098.712.489	156.665.256	191.098.712.489
18	MONTERIA	346,45	62.910.026.352	181.585.244	62.910.026.352
23	CONHYDRA	340,62			158.939.826
27	SOGAMOSO	297,00	59.373.440.774	199.910.575	59.373.440.774
30	BUGA	130,00	33.157.720.924	255.059.392	33.157.720.924
32	FUSAGASUGA	207,60	36.716.446.847	176.861.497	36.716.446.847
33	ESAQUIN	225,52			158.939.826
36	ZIPAQUIRA	169,10	5.737.862.000	33.931.768	5.737.862.000
39	EMPOOBANDO				158.939.826
40	CALARCA	116,60	11.075.028.035	94.983.088	11.075.028.035
48	STDER QUILICHAO	90,89	2.254.480.970	24.804.227	2.254.480.970
59	FLANDES	13,30			158.939.826
60	GUAMO	11,00			158.939.826
74	PEÑOL	22,00			158.939.826
PROMEDIO DAÑOS CLUSTER 1				158.939.826	
1	EAAB	7482,00	2.969.001.337.262	396.819.211	2.969.001.337.262
2	EPM	3334,98	1.561.621.757.896	468.255.209	1.561.621.757.896
3	EMCALI	2705,28	402.457.068.590	148.767.251	402.457.068.590
5	BMANGA	1218,70	0		211.296.709
9	PEREIRA	496,50	220.497.397.744	444.103.520	220.497.397.744
11	MANIZALES	950,30	100.502.595.957	105.758.809	100.502.595.957
13	ARMENIA	746,01	43.172.605.000	57.871.349	43.172.605.000
14	SANTA MARTA	614,00	106.587.346.834	173.595.027	106.587.346.834
19	ACUAVIVA	383,08	61.760.855.920	161.221.823	61.760.855.920
21	EMPOCALDAS	733,48	0		211.296.709
25	TULÚA	237,34	38.342.821.139	161.552.293	38.342.821.139
28	ACUAGYR	329,52	130.835.420.434	397.048.496	130.835.420.434
34	OCAÑA	74,50	7.341.821.596	98.547.941	7.341.821.596
49	LOS PATIOS	114,51			211.296.709
50	CEJA DEL TAMBO	63,30	6.122.915.506	96.728.523	6.122.915.506
54	PROV.COMUNERA	67,80			211.296.709
62	VILLETA	54,97			211.296.709
66	URRAO	39,50			211.296.709
67	EL SANTUARIO	17,32	4.293.606.987	247.884.475	4.293.606.987
77	EL RINCON	11,00		0	211.296.709
PROMEDIO DAÑOS CLUSTER 2				211.296.709	

ANEXO 3 Ajuste de daños por kilómetro de red

Consecutivo	Empresa	Daños	Km Red	Daños/Km Red	Daños/Km Red	Daños	Cluster
4	TRIPLE A	1866	1693,93	1,10	1,10	1866,00	1,00
7	CARTAGENA	111	1219,79	0,09	0,09	111,00	1,00
18	MONTERIA		346,45		0,45	155,44	1,00
23	CONHYDRA		340,62		0,45	152,83	1,00
27	SOGAMOSO	70	297,00	0,24	0,24	70,00	1,00
30	BUGA	7,75	130,00	0,06	0,06	7,75	1,00
32	FUSAGASUGA	144	207,60	0,69	0,69	144,00	1,00
33	ESAQUIN	69,18	225,52	0,31	0,31	69,18	1,00
36	ZIPAQUIRA	10	169,10	0,06	0,06	10,00	1,00
39	EMPOOBANDO	60			0,45	60,00	1,00
40	CALARCA	137,0833333	116,60	1,18	1,18	137,08	1,00
48	STDER QUILICHAO	48	90,89	0,53	0,53	48,00	1,00
59	FLANDES	6	13,30	0,45	0,45	6,00	1,00
60	GUAMO	4	11,00	0,36	0,36	4,00	1,00
74	PEÑOL	7	22,00	0,32	0,32	7,00	1,00
PROMEDIO DAÑOS CLUSTER 1		195,385641		0,45	0,45		
1	EAAB		7482,00		1,13	8442,17	2,00
2	EPM	153	3334,98	0,05	0,05	153,00	2,00
3	EMCALI	1833	2705,28	0,68	0,68	1833,00	2,00
5	BMANGA	210	1218,70	0,17	0,17	210,00	2,00
9	PEREIRA	568,42	496,50	1,14	1,14	568,42	2,00
11	MANIZALES	6009	950,30	6,32	6,32	6009,00	2,00
13	ARMENIA	65	746,01	0,09	0,09	65,00	2,00
14	SANTA MARTA	1456	614,00	2,37	2,37	1456,00	2,00
19	ACUAVIVA	13	383,08	0,03	0,03	13,00	2,00
21	EMPOCALDAS	558,55	733,48	0,76	0,76	558,55	2,00
25	TULÚA	100	237,34	0,42	0,42	100,00	2,00
28	ACUAGYR		329,52		1,13	371,81	2,00
34	OCAÑA	145	74,50	1,95	1,95	145,00	2,00
49	LOS PATIOS		114,51		1,13	129,20	2,00
50	CEJA DEL TAMBO		63,30		1,13	71,42	2,00
54	PROV COMUNERA	36	67,80	0,53	0,53	36,00	2,00
62	VILLETÁ		54,97		1,13	62,03	2,00
66	URRAO	6	39,50	0,15	0,15	6,00	2,00
67	EL SANTUARIO		17,32		1,13	19,54	2,00
77	EL RINCON		11,00		1,13	12,41	2,00
PROMEDIO DAÑOS CLUSTER 2		857,92077		1,13	1,13	0,00	