

**Trabajo Fin de Máster**  
**ANÁLISIS A LARGO PLAZO DEL  
NIVEL ECONÓMICO DE PÉRDIDAS  
REALES Y APARENTES EN REDES  
DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA.  
DESARROLLO DE UNA  
HERRAMIENTA DE CÁLCULO Y  
EJEMPLO DE APLICACIÓN.**

**Intensificación:** *HIDRÁULICA URBANA*

**Autor:**

*MARIA GABRIELA CABRERA PUGA*

**Tutor:**

*RICARDO COBACHO JORDAN*

**Cotutor:**

*FRANCISCO ARREGUI DE LA CRUZ*

**MAYO, 2019**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

máster en ingeniería  
hidráulica y medio ambiente  
**mihma**



## Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto
<b>Título del TFM en español:</b> Análisis a largo plazo del nivel económico de pérdidas reales y aparentes en redes de distribución de agua. Desarrollo de una herramienta de cálculo y ejemplo de aplicación.
<b>Título del TFM en inglés:</b> Economic Level of Leakage in water distribution networks: Development of a simplified calculation tool, long-term analysis and application to a practical case.
<b>Título del TFM en Valenciano:</b> Nivell Econòmic de Pèrdues: Desenvolupament d'una eina de càlcul simplificada, anàlisi a llarg termini i aplicació a un cas pràctic.
<b>Alumno:</b> María Gabriela Cabrera Puga.
<b>Tutor:</b> Ricardo Cobacho Jordan
<b>Cotutor/es:</b> Francisco Arregui De La Cruz
<b>Director experimental:</b>
<b>Fecha de Lectura:</b> Mayo,2019

Resumen
<b>En español (máximo 5000 caracteres)</b>
<p>Actualmente, uno de los principales problemas de los abastecimientos de agua urbanos son las pérdidas en el sistema. No toda el agua que ingresa al sistema genera ingresos y tampoco es conocido el punto de utilización. Al desfase entre los volúmenes inyectados y los controlados se les denomina comúnmente pérdidas de agua. Estas pérdidas se pueden catalogar en dos tipos: reales (físicas) o aparentes (comerciales). Las pérdidas reales son las que se aparecen en los elementos físicos que conforman el sistema, como las tuberías, acometidas o depósitos. Son salidas “reales” de agua del sistema en localizaciones no deseadas que no se corresponden con puntos de consumo. Por otro lado, las pérdidas aparentes se dan básicamente por: 1) errores en la medición de los consumos, debido a las limitaciones metrológicas de los contadores de agua; 2) consumos ilegales a través de acometidas no controladas o manipulaciones de los contadores; 3) Errores en el tratamiento de las lecturas de los contadores.</p> <p>En la actualidad existen diversas estrategias disponibles para evaluar, reducir y gestionar las pérdidas de agua. Cada una de esas estrategias tiene un coste y produce un beneficio. Lógicamente, existe un punto en el cual el beneficio marginal que se obtienen de incrementar la inversión en reducir las pérdidas de agua se iguala con el coste marginal de implementar dicha política. Este punto de equilibrio se denomina</p>



Nivel Económico de Fugas (ELL, según sus siglas en inglés).

Tradicionalmente, esta metodología/cálculo se ha aplicado al estudio de las pérdidas reales. No obstante, aplicando ligeras variaciones también es posible aplicar el método a la optimización de las pérdidas aparentes.

El presente Trabajo de Final de Máster pretende desarrollar una herramienta de cálculo que recopile diversas metodologías para la obtención de los parámetros que intervienen en el cálculo del ELL (pérdidas reales) y, extender dicho método, al cálculo del Nivel Económico de pérdidas aparentes (ELAL). Además, como complemento, esta herramienta permite realizar un análisis del sistema a largo plazo.

El objetivo del trabajo es crear una herramienta sencilla, que cualquier sistema de abastecimiento de agua potable pueda utilizar, por lo que la descripción de la misma se realiza simulando un manual de usuario, incluyendo el modo de uso y la metodología aplicada.

Finalmente se realiza la aplicación a un caso real para demostrar su correcto funcionamiento.

#### **En valenciano (máximo 5000 caracteres)**

Actualment, un dels principals problemes dels proveïments d'aigua urbans són les pèrdues en el sistema. No tota l'aigua que ingressa al sistema genera ingressos i tampoc és conegut el punt d'utilització. Al desfasament entre els volums injectats i els controlats se'ls denomina comunament pèrdues d'aigua. Aquestes pèrdues es poden catalogar en dos tipus: reals (físiques) o aparents (comercials). Les pèrdues reals són les que s'apareixen en els elements físics que conformen el sistema, com les canonades, escomeses o depòsits. Són eixides "reals" d'aigua del sistema en localitzacions no desitjades que no es corresponen amb punts de consum. D'altra banda, les pèrdues aparents es donen bàsicament per: 1) errors en el mesurament dels consums, a causa de les limitacions metrològiques dels comptadors d'aigua; 2) consums il·legals a través d'escomeses no controlades o manipulacions dels comptadors; 3) Errors en el tractament de les lectures dels comptadors.

En l'actualitat existeixen diverses estratègies disponibles per a avaluar, reduir i gestionar les pèrdues d'aigua. Cadascuna d'aqueixes estratègies té un cost i produeix un benefici. Lògicament, existeix un punt en el qual el benefici marginal que s'obtenen d'incrementar la inversió a reduir les pèrdues d'aigua s'igualava amb el cost marginal d'implementar aquesta política. Aquest punt d'equilibri es denomina Nivell Econòmic de Fugides (\*ELL, segons les seues sigles en anglés).

Tradicionalment, aquesta metodologia/càlcul s'ha aplicat a l'estudi de les pèrdues reals. No obstant això, aplicant lleugeres variacions també és possible aplicar el mètode a l'optimització de les pèrdues aparents.

El present Treball de Final de Màster pretén desenvolupar una eina de càlcul que recopile diverses metodologies per a l'obtenció dels paràmetres que intervenen en el



càlcul del \*ELL (pèrdues reals) i, estendre aquest mètode, al càlcul del Nivell Econòmic de pèrdues aparents (\*ELAL). A més, com a complement, aquesta eina permet realitzar una anàlisi del sistema a llarg termini.

L'objectiu del treball és crear una eina senzilla, que qualsevol sistema de proveïment d'aigua potable pugui utilitzar, per la qual cosa la descripció de la mateixa es realitza simulant un manual d'usuari, incloent la manera d'ús i la metodologia aplicada.

Finalment es realitza l'aplicació a un cas real per a demostrar el seu correcte funcionament.

### **En inglés (máximo 5000 caracteres)**

Currently, one of the main urban water supply problems are losses in the system. Not all the water that enters the system generates income and the point of use is not known either. The lag between the volumes injected and controlled is known as "losses". These losses can be classified in two types: real (physical) or apparent (commercial). The real losses are those that appear in the physical elements that make up the system, such as pipes, connections or deposits. They are "real" water outlets in the system in unwanted locations that do not correspond to consumption points. On the other hand, apparent losses are given by: 1) errors in the measurement of consumption, due to the metrological limitations of water meters; 2) illegal consumption through uncontrolled connections or manipulations of the meters; 3) Errors in the treatment of meter readings.

At present there are several strategies available to evaluate, reduce and manage water losses. Each of these strategies has a cost and produces a benefit. Logically, there is a point at which the marginal benefit obtained from increasing the investment in reducing water losses is equated with the marginal cost of implementing this policy. This equilibrium point is called the Economic Leakage Level (ELL, according to its acronym in English).

Traditionally, this methodology / calculation has been applied to the study of real losses. However, it is also possible to apply the method to the optimization of energy losses.

The present "Master Final Project" aims to use a calculation tool that collects several methodologies to obtain the parameters involved in the calculation of ELL (real losses) and, extend this method, to calculate the Economic Level of Apparent Losses (ELAL). In addition, as a complement, this tool allows a long-term system analysis.

The objective of the work is to create a simple tool, any potable water supply system can be used, for the description of it is made in a simple way a user manual, including the mode of use and the methodology applied.

Finally, a real application is made to demonstrate its correct functioning.



**Palabras clave español (máximo 5):** Nivel Económico de Fugas, Nivel Económico de Pérdidas Aparentes, Análisis a largo plazo, Gestión de pérdidas de agua, Optimización de pérdidas de agua.

**Palabras clave valenciano (máximo 5):** Nivell Econòmic de Fugides, Nivell Econòmic de Pèrdues Aparents, Anàlisis a llarg termini, Gestió de pèrdues d'aigua, Optimització de pèrdues d'aigua.

**Palabras clave inglés (máximo 5):** Economic Level of Leakage, Economic Level of Apparent Losses, Long-term analysis, Water loss management, Optimization of water losses.

## Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	IMPORTANCIA DEL TEMA.....	2
3.	OBJETIVOS.....	2
3.1.	GENERAL.....	2
3.2.	ESPECÍFICO.....	3
4.	MARCO TEÓRICO.....	3
4.1.	BALANCE HÍDRICO.....	3
4.2.	TIPOS DE PÉRDIDAS DE AGUA.....	4
4.2.1.	CLASIFICACIÓN DE PÉRDIDAS REALES.....	6
4.2.2.	CLASIFICACIÓN DE PÉRDIDAS APARENTES.....	7
4.3.	GESTIÓN DE PÉRDIDAS.....	8
4.3.1.	GESTIÓN DE PÉRDIDAS REALES.....	8
4.3.2.	GESTIÓN DE PÉRDIDAS APARENTES.....	9
4.4.	DMA (DISTRICT METERED AREA).....	11
4.5.	AZP (PRESIÓN PROMEDIO DE ZONA).....	11
4.6.	CÁLCULO DE ELL.....	12
4.6.1.	PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN EL CÁLCULO DEL ELL.....	13
4.6.2.	MÉTODO 1 - CÁLCULO DEL ELL.....	17
4.6.3.	MÉTODO 2 – CÁLCULO DEL ELL.....	21
4.7.	ANÁLISIS DEL ELL.....	23
4.7.1.	ENFOQUE A CORTO PLAZO.....	23
4.7.2.	ENFOQUE A LARGO PLAZO.....	23
4.8.	CÁLCULO DE ELAL.....	25
4.8.1.	IIAAL.....	25
4.8.2.	IDAAL.....	28
4.8.3.	COSTES DE POLÍTICAS DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS APARENTES.....	30
4.8.4.	DETERMINACIÓN DE VALORES ÓPTIMOS DE INTERVENCIÓN.....	31
5.	DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA.....	34
5.1.	ESQUEMAS DE CÁLCULO DEL NIVEL ECONÓMICO DE FUGAS.....	34
5.2.	ESTRUCTURA DEL ANÁLISIS A LARGO PLAZO.....	35
5.3.	ESTRUCTURA DE CÁLCULO DEL NIVEL ECONÓMICO DE FUGAS APARENTES..	36

5.4.	DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA.....	37
5.4.1.	ESQUEMA .....	37
5.4.2.	RED.....	38
5.4.3.	N1.....	39
5.4.4.	NRR .....	44
5.4.5.	COSTES.....	54
5.4.6.	CÁLCULO DEL ELL.....	57
5.4.7.	GRÁFICO ELL- METODO 1 .....	65
5.4.8.	GRÁFICO ELL- METODO 2 .....	66
5.4.9.	ANÁLISIS A LARGO PLAZO.....	67
5.4.10.	ELAL.....	72
5.4.11.	RESUMEN ELAL .....	75
6.	APLICACIÓN A UN CASO PRÁCTICO (ELL).....	77
6.1.	DESCRIPCIÓN DEL CASO.....	77
6.2.	DATOS DISPONIBLES .....	79
6.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	83
6.3.1.	CÁLCULO ELL - SITUACIÓN ACTUAL.....	84
6.3.2.	ANÁLISIS A LARGO PLAZO.....	89
6.3.3.	CONCLUSIONES DEL ANALISIS A LARGO PLAZO .....	104
7.	APLICACIÓN A UN CASO PRÁCTICO (ELAL).....	106
7.1.	DESCRIPCIÓN DEL CASO.....	106
7.2.	DATOS DISPONIBLES .....	106
7.3.	ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	107
8.	CONCLUSIONES .....	113
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	115

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 4-1</b> FUGAS EXPRESADAS EN PORCENTAJES (WYATT, 2010) .....	5
<b>FIGURA 4-2</b> GRÁFICO CAUDAL FUGADO VS. TIEMPO (COBACHO, 2018) .....	6
<b>FIGURA 4-3</b> CUATRO COMPONENTES PARA LA GESTIÓN DE LAS PÉRDIDAS REALES (Lambert et al. 2005) .....	8
<b>FIGURA 4-4</b> GESTIÓN DE LAS PÉRDIDAS APARENTES (ARREGUI ET AL., 2018).....	10
<b>FIGURA 4-5</b> TIPOS DE DMA (FANNER, 2007).....	11
<b>FIGURA 4-6</b> BALANCE ECONÓMICO DE FUGAS (FANNER, 2007) .....	13
<b>FIGURA 4-7</b> GRÁFICA PÉRDIDAS DE AGUA VS. COSTE (FANNER, 2007).....	15
<b>FIGURA 4-8</b> EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DE IDAAL <sub>MES</sub> E IDAAL <sub>ILL</sub> . Y VALORES PROMEDIO ASOCIADOS A T <sub>MES</sub> Y T <sub>ILL</sub> (ARREGUI ET AL., 2018) .....	30
<b>FIGURA 5-1</b> ESQUEMA DEL MÉTODO 1 PARA EL CÁLCULO DEL ELL .....	34
<b>FIGURA 5-2</b> ESQUEMA DEL MÉTODO 2 PARA EL CÁLCULO DEL ELL .....	35
<b>FIGURA 5-3</b> ESQUEMA DEL MÉTODO PARA EL CÁLCULO DEL ELAL.....	36
<b>FIGURA 5-4</b> FICHAS DEL PROGRAMA PARA CALCULO DE ELL.....	37
<b>FIGURA 5-5</b> FICHAS DEL PROGRAMA PARA ANALISIS A LARGO PLAZO .....	37
<b>FIGURA 5-6</b> FICHAS DEL PROGRAMA PARA CALCULO ELAL.....	37
<b>FIGURA 5-7</b> CÓDIGO DE COLOR PARA PROGRAMA .....	37
<b>FIGURA 5-8</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA RED.....	38
<b>FIGURA 5-9</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA N1 (1/2).....	40
<b>FIGURA 5-10</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA N1 (2/2).....	40
<b>FIGURA 5-11</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA NRR (1/2) .....	44
<b>FIGURA 5-12</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA NRR (2/2) .....	44
<b>FIGURA 5-13</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA COSTES (1/2).....	54
<b>FIGURA 5-14</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA COSTES (2/2).....	55
<b>FIGURA 5-15</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA ELL- FUGAS NO NOTIFICADAS.....	57
<b>FIGURA 5-16</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA ELL- FUGAS NOTIFICADAS.....	59
<b>FIGURA 5-17</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA ELL- FUGAS DE FONDO .....	61
<b>FIGURA 5-18</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA ELL- ELL METODO 1.....	63
<b>FIGURA 5-19</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA ELL- FUGAS REALES INEVITABLES ....	64
<b>FIGURA 5-20</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. GRÁFICO ELL-MÉTODO 1.....	66
<b>FIGURA 5-21</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. GRÁFICO ELL-MÉTODO 2.....	67

<b>FIGURA 5-22</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. ANALISIS LARGO PLAZO.....	68
<b>FIGURA 5-23</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. ANÁLISIS TIPO 1.....	69
<b>FIGURA 5-24</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. ANÁLISIS TIPO 2.....	70
<b>FIGURA 5-25</b> PANTALLA DEL PROGRAMA. PESTAÑAS OCULTAS.....	70
<b>FIGURA 5-26</b> GRÁFICO EJEMPLO DE ANALISIS A LARGO PLAZO.....	71
<b>FIGURA 5-27</b> PANTALLA DEL PROGRAMA - ELAL.....	72
<b>FIGURA 5-28</b> PANTALLA DEL PROGRAMA - IIAAL (1/2).....	73
<b>FIGURA 5-29</b> PANTALLA DEL PROGRAMA - IIAAL (2/2).....	73
<b>FIGURA 5-30</b> PANTALLA DEL PROGRAMA - IDAAL.....	74
<b>FIGURA 5-31</b> PANTALLA DEL PROGRAMA - COSTES DE POLITICAS DE INSPECCION .....	74
<b>FIGURA 5-32</b> PANTALLA DEL PROGRAMA – VALORES OPTIMOS (1/2).....	74
<b>FIGURA 5-33</b> PANTALLA DEL PROGRAMA – VALORES OPTIMOS (2/2).....	75
<b>FIGURA 5-34</b> PANTALLA DEL PROGRAMA – RESUMEN DE RESULTADOS.....	75
<b>FIGURA 5-35</b> PANTALLA DEL PROGRAMA – RESUMEN DE RESULTADOS ECONÓMICOS E INDICADORES.....	76
<b>FIGURA 6-1</b> UBICACIÓN DE GUAYAQUIL EN ECUADOR (WIKIPEDIA, 2019).....	77
<b>FIGURA 6-2</b> MAPA DE GUAYAQUIL Y AREA DE ESTUDIO – (GOOGLE EARTH, 2019) .....	78
<b>FIGURA 6-3</b> SECTORES HIDRAULICOS– (GOOGLE EARTH, 2019).....	78
<b>FIGURA 6-4</b> DATOS RED- CASO PRÁCTICO .....	79
<b>FIGURA 6-5</b> DATOS N1- CASO PRÁCTICO .....	80
<b>FIGURA 6-6</b> GRÁFICO [(m <sup>3</sup> /día) vs día] – CASO PRÁCTICO.....	81
<b>FIGURA 6-7</b> PLANTILLA VOLUMENES MENSUALES – CASO PRACTICO .....	82
<b>FIGURA 6-8</b> DATOS NRR AVANZADO- CASO PRÁCTICO .....	82
<b>FIGURA 6-9</b> PLANTILLA COSTES – CASO PRÁCTICO .....	83
<b>FIGURA 6-10</b> CASO PRÁCTICO- FUGAS DE FONDO .....	85
<b>FIGURA 6-11</b> GRÁFICO ELL – MÉTODO 1 (RED COMPLETA).....	86
<b>FIGURA 6-12</b> CASO PRÁCTICO- UARL .....	87
<b>FIGURA 6-13</b> GRÁFICO ELL – MÉTODO 2 (RED COMPLETA).....	88
<b>FIGURA 6-14</b> GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 1– MÉTODO 1 (RED COMPLETA).....	90
<b>FIGURA 6-15</b> GRÁFICO ANALISIS A LARGO PLAZO- CASO 1– METODO 2 (RED COMPLETA).....	90

<b>FIGURA 6-16</b> GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 2– MÉTODO 1 (RED COMPLETA).....	92
<b>FIGURA 6-17</b> GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 2– MÉTODO 2 (RED COMPLETA).....	92
<b>FIGURA 6-18</b> GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 3– MÉTODO 1 (RED COMPLETA).....	94
<b>FIGURA 6-19</b> GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 3– MÉTODO 2 (RED COMPLETA).....	94
<b>FIGURA 6-20</b> GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 4– MÉTODO 1 (RED COMPLETA).....	96
<b>FIGURA 6-21</b> GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 4– MÉTODO 2 (RED COMPLETA).....	96
<b>FIGURA 6-22</b> GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 5– MÉTODO 1 (RED COMPLETA).....	98
<b>FIGURA 6-23</b> GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 5– MÉTODO 2 (RED COMPLETA).....	98
<b>FIGURA 6-24</b> GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 6– MÉTODO 1 (RED COMPLETA).....	100
<b>FIGURA 6-25</b> GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 6– MÉTODO 2 (RED COMPLETA).....	100
<b>FIGURA 6-26</b> GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 7– MÉTODO 1 (RED COMPLETA).....	102
<b>FIGURA 6-27</b> GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 7 - MÉTODO 2 (RED COMPLETA).....	102
<b>FIGURA 7-1</b> DATOS GENERALES DEL CASO DE ESTUDIO (ARREGUI ET AL., 2018) .....	106
<b>FIGURA 7-2</b> DATOS GENERALES INGRESADOS EN EL PROGRAMA .....	107
<b>FIGURA 7-3</b> RESULTADOS $I_{AAAL_{MES}}$ .....	107
<b>FIGURA 7-4</b> RESULTADOS $I_{AAAL_{ILL}}$ e $I_{AAAL_{DH}}$ .....	107
<b>FIGURA 7-5</b> RESULTADOS $I_{DAAL_{MES}}$ .....	108
<b>FIGURA 7-6</b> RESULTADOS $I_{DAAL_{ILL}}$ .....	108
<b>FIGURA 7-7</b> RESULTADO $TAC_{MES}$ .....	109
<b>FIGURA 7-7</b> RESULTADO $TAC_{ILL}$ .....	109

<b>FIGURA 7-9</b> RESULTADOS OPTIMOS IDAAL <sub>MES</sub> .....	110
<b>FIGURA 7-10</b> RESULTADOS OPTIMOS IDAAL <sub>ILL</sub> .....	110
<b>FIGURA 7-11</b> RESUMEN DE LOS RESULTADOS .....	111
<b>FIGURA 7-12</b> COMPARACION DE COSTES ACTUALES Y MINIMIZADOS .....	111
<b>FIGURA 7-13</b> INDICES DE SITUACION ACTUAL .....	111

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA 4-1</b> BALANCE HÍDRICO ELABORADO POR LA IWA (WYATT, 2010).....	3
<b>TABLA 4-2</b> CLASIFICACIÓN DE PÉRDIDAS APARENTES (ARREGUI ET AL., 2018) .....	7
<b>TABLA 4-3</b> VOLÚMENES PERMITIDOS PARA FUGAS A UNA PRESIÓN DE 50 MCA (MUÑOZ, 2012).....	22
<b>TABLA 5-1</b> DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DEL ELAL.....	72
<b>TABLA 6-1</b> RESULTADOS ELL - MÉTODO 1.....	85
<b>TABLA 6-2</b> RESULTADOS ELL - MÉTODO 2.....	87
<b>TABLA 6-3</b> ESCENARIOS A EVALUAR A LARGO PLAZO.....	89
<b>TABLA 6-4</b> CASO 1 – ANÁLISIS A LARGO PLAZO .....	91
<b>TABLA 6-5</b> CASO 2 – ANÁLISIS A LARGO PLAZO .....	93
<b>TABLA 6-6</b> CASO 3 – ANALISIS A LARGO PLAZO .....	95
<b>TABLA 6-7</b> CASO 4 – ANÁLISIS A LARGO PLAZO .....	97
<b>TABLA 6-8</b> CASO 5 – ANALISIS A LARGO PLAZO .....	99
<b>TABLA 6-9</b> CASO 6 – ANÁLISIS A LARGO PLAZO .....	101
<b>TABLA 6-10</b> CASO 7 – ANÁLISIS A LARGO PLAZO .....	103

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una mayor conciencia sobre el uso del agua. Cada vez hay más congresos, movimientos, campañas, etc. enfocadas en un uso más sostenible de la misma. El problema principal es que a pesar de ser un recurso limitado y en algunos casos de difícil acceso, su demanda sigue en aumento, lo que hace complicado llegar a un equilibrio con la oferta.

Los abastecimientos de agua potable además de trabajar con conceptos como la cobertura, cantidad, calidad y costes de sus servicios están comenzando a trabajar en términos de eficiencia en el uso del agua. Con esto se pretende obtener procesos que presenten menores pérdidas de agua, sin generar un impacto negativo en la rentabilidad del sistema.

Existen diversos métodos para evaluar posibles mejoras en los sistemas de abastecimiento, entre los cuales se encuentra el “Nivel Económico de Fuga”, en inglés “Economic Level of Leakage” o por sus siglas “ELL”. Este método permite determinar hasta qué punto es económicamente conveniente intervenir en la reparación de las fugas del sistema.

Sin embargo, el ELL solo trabaja sobre las pérdidas reales que presenta el sistema. En la literatura técnica se puede encontrar también el término del “Nivel Económico de Fugas Aparentes”, en inglés “Economic Level of Apparent Losses” o por sus siglas “ELAL”, cuyo peso en volúmenes de agua fugada es mucho menor a las del ELL pero en términos económicos podrían llegar a valores similares.

El ELL tiene enfoques a corto y largo plazo, para lo cual se interviene en diferentes componentes de la gestión de pérdidas.

Este trabajo pretende desarrollar una herramienta de cálculo que permita, en una primera fase, determinar el ELL de una red de abastecimiento de agua potable para luego, a partir de estos resultados, realizar un análisis a largo plazo.

Además, la herramienta permitirá calcular el ELAL de forma que los valores obtenidos en este puedan ser comparados con los resultados del ELL.

## **2. IMPORTANCIA DEL TEMA**

En la literatura técnica existe mucha información sobre métodos de cálculo del ELL, sin embargo, no existe un programa que reúna gran parte de esta información, que sea libre y sencillo de utilizar, es decir, que pueda ser aplicado por cualquier sistema de abastecimiento de agua potable. Además, al trabajar los abastecimientos de agua potable no solo en términos de pérdidas de agua sino también de pérdidas económicas debido a estas fugas, es importante poder determinar el ELAL, para así poder comparar la magnitud de ambos términos y determinar posibles acciones.

Por otro lado, los datos necesarios para calcular el ELL de una red no siempre se encuentran disponibles y en algunos casos son difíciles de obtener, por ello es necesario disponer de distintas opciones de cálculo, que permitan obtener el ELL para diversos niveles de información disponible. Además, es importante tener clara la influencia de estos datos en el resultado final y a largo plazo.

En lo que respecta al análisis a largo plazo del ELL, se debe tener en cuenta que ciertas mejoras en la red pueden ser algo costosas, por lo que es recomendable primero determinar los beneficios que estos cambios podrían presentar en la red antes de aplicarlas. Para ello se puede evaluar cambios que impliquen altos costos de inversión o que tome tiempo su aplicación. Por ejemplo, considerar cambios en la estructura de la red, manejo de presiones o cambios en los métodos de control de fugas.

Por todo lo antes mencionado, se considera importante desarrollar una herramienta de cálculo que permita la obtención del ELL, con distintas opciones de cálculo, simple de usar, que permita analizar estos resultados a largo plazo y calcular el ELAL.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. GENERAL**

- Desarrollar un programa de fácil aplicación e interpretación, que recopile la información y metodologías que se encuentran disgregadas en la literatura y que permita calcular el ELL para un sistema de abastecimiento, tanto para su condición actual como a largo plazo. Además, que permita calcular el ELAL.

### 3.2. ESPECÍFICO

- Explicar la importancia de calcular el ELL de un abastecimiento y presentar diversas formas de calcularlo.
- Desarrollar una herramienta que incluya diversas metodologías de cálculo para los distintos parámetros que intervienen en el ELL.
- Evaluar la influencia de cambios como el desarrollo urbanístico, control activo de fugas y manejo de las presiones en la red, en el ELL a largo plazo.
- Demostrar el funcionamiento de la herramienta mediante la aplicación a un caso real.
- Desarrollar una herramienta de cálculo para el ELAL.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. BALANCE HÍDRICO

Una de las principales herramientas de diagnóstico sobre la situación de un sistema de abastecimiento de agua potable, en términos de pérdidas de agua, es el balance hídrico. De forma general, este balance se obtiene de los registros de agua inyectada en la red y el consumo de los abonados, la diferencia entre ambos se puede asumir como agua perdida en la red.

La IWA (International Water Association) presenta una clasificación más detallada sobre el volumen de agua inyectado en un sistema.

**TABLA 4-1** BALANCE HÍDRICO ELABORADO POR LA IWA (WYATT, 2010)

<b>Volumen Introducido al Sistema</b>	Consumo Autorizado	Consumo Autorizado Facturado	Consumo Facturado Medido	Agua Comercializada <i>m<sup>3</sup>/año</i>
		<i>m<sup>3</sup>/año</i>	Consumo Facturado No Medido	
<i>m<sup>3</sup>/año</i>	<i>m<sup>3</sup>/año</i>	Consumo Autorizado No Facturado	Consumo No Facturado Medido	Agua No Comercializada <i>m<sup>3</sup>/año</i>
		<i>m<sup>3</sup>/año</i>	Consumo No Facturado No Medido	

	Pérdidas de agua	Pérdidas Aparentes	Consumo No Autorizado
		$m^3/año$	Errores de medición
	$m^3/año$	Pérdidas Reales	Fugas en la red
			Desborde de Reservorios
			Fugas en Conexiones Domiciliarias

Al no ser de interés para el presente trabajo el consumo autorizado, solo se hablará del término de pérdidas de agua y su clasificación.

#### 4.2. TIPOS DE PÉRDIDAS DE AGUA

Las pérdidas de agua se pueden clasificar en dos tipos:

- Pérdidas reales
  - Fugas en la red
  - Desborde de reservorios
  - Fugas en conexiones domiciliarias
- Pérdidas aparentes
  - Consumo no autorizado
  - Errores de medición
  - Error en el manejo de datos

Las pérdidas reales, como su nombre lo indica, es agua que realmente se pierde en el sistema, ya sea por fugas en las redes y/o conexiones domiciliarias o por desbordes de reservorios. El ELL trabaja con respecto a este tipo de fugas. Estas pérdidas se pueden reducir por medio de inspecciones y mantenimientos periódicos en la red.

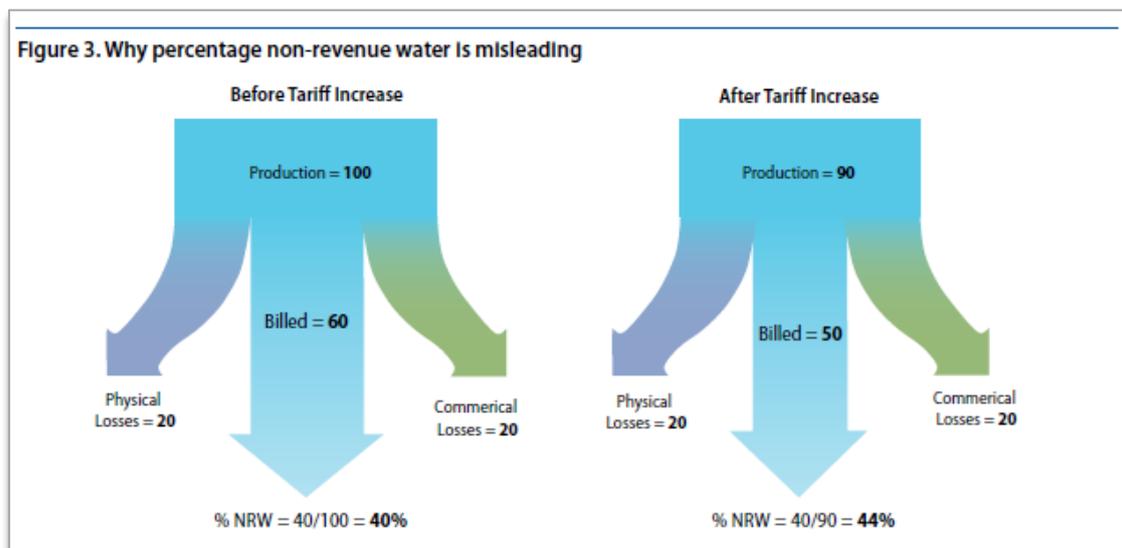
Por otro lado, las pérdidas aparentes se dan por consumos que no han sido autorizados (por lo cual no consta un registro del mismo) o por errores de medición en

el sistema. Estas pérdidas se pueden mejorar con búsquedas de conexiones ilícitas y mejoras en el parque de contadores. El ELL no trabaja directamente con este tipo de fugas, por ello, se ha desarrollado el ELAL, que trabaja sobre este tipo de fugas.

Un punto importante que considerar es que al momento de evaluar tanto las pérdidas reales por medio del ELL como las aparentes por el ELAL, estos se calculan con distintos costes de agua. El ELL se realiza con el coste marginal del agua, es decir lo que le cuesta al abastecimiento producir y distribuir el agua, sin embargo, el ELAL se realiza con el coste de venta del agua, es decir, lo que pagaría el usuario por utilizarla.

Al momento de representar las fugas, en algunos documentos se pueden encontrar expresadas en porcentaje de agua inyectada al sistema, lo que se considera un error, ya que puede llevar a confusiones (Wyatt, 2010)

El problema con expresar las fugas en porcentajes se da cuando existe variación en uno de los términos (producción o fugas). Por ejemplo, si la producción disminuye, pero las fugas se mantienen en los mismos valores, como se muestra en la figura 4-1, se presenta un falso aumento en porcentaje de fugas. Otro caso es cuando la producción aumenta y las fugas se mantienen, en este se presenta una falsa disminución. Estos errores de interpretación podrían generar confusión en la gestión del abastecimiento, llevando a decisiones que en algunos casos podrían ser contraproducentes para el mismo.



**FIGURA 4-1 FUGAS EXPRESADAS EN PORCENTAJES (WYATT, 2010)**

#### 4.2.1. CLASIFICACIÓN DE PÉRDIDAS REALES

Para poder determinar el ELL se deben identificar 3 tipos de pérdidas o fugas:

- Fugas de fondo: Son pequeñas, con bajos caudales, inaudibles y duran mucho tiempo.
- Fugas reportadas: Son fugas grandes, de gran caudal, pero duran poco tiempo ya que son reportadas por los usuarios y reparadas por el abastecimiento.
- Fugas no reportadas: Presentan un caudal medio y su duración dependerá del tipo de control de fugas que presente el abastecimiento, ya que son fugas halladas en inspecciones de la red.

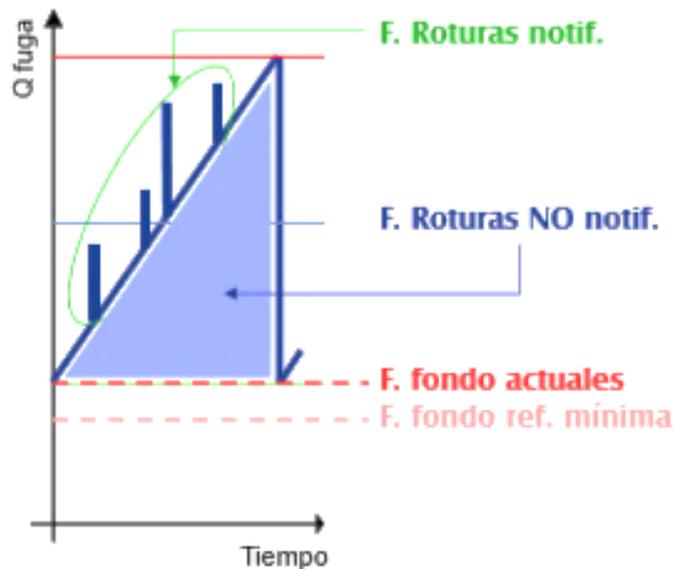


FIGURA 4-2 GRÁFICO CAUDAL FUGADO VS. TIEMPO (COBACHO, 2018)

Los abastecimientos de agua potable pueden presentar 2 tipos de mantenimientos de la red. El primero se denomina Control Pasivo, este pretende reparar solo fugas reportadas por lo que no realiza ningún tipo de inspección en la red, no repara fugas de fondo y considera que las fugas no reportadas eventualmente serán reportadas y a partir de ese momento serán reparadas. El segundo es el Control Activo, mismo que además de reparar las fugas notificadas realiza inspecciones o intervenciones periódicas para poder detectar las fugas no reportadas.

#### 4.2.2. CLASIFICACIÓN DE PÉRDIDAS APARENTES

Las pérdidas aparentes, con respecto a las posibles intervenciones que pueda emplear el sistema de abastecimiento, se pueden clasificar en 2 tipos: dependientes o independientes de la intervención. Estas intervenciones en la red pueden ser de 2 tipos: Cambios de los contadores instalados en la red (para reducir errores en los mismos) e inspecciones en las conexiones domiciliarias (para reducir las conexiones ilícitas). (Arregui et al., 2018)

- Las pérdidas aparentes independientes de la presión son las fugas mínimas que puede presentar el abastecimiento. Estas no se ven afectadas por el intervalo entre inspecciones, solo pueden mejorar con grandes cambios en la red como por ejemplo cambios en la tecnología de contadores, métodos de instalación, etc. En el análisis anual, este término en inglés es conocido como “Intervention Independent Annual Apparent Losses” (IIAAL).
- Las pérdidas aparentes dependientes de las intervenciones son las fugas que presentan cambios según la frecuencia de las intervenciones en la red. Es decir, en el análisis anual de estas fugas, cuanto más frecuentes son las intervenciones, mayor es el coste anual de estas, pero menor el volumen de agua fugado y mientras menos frecuentes las intervenciones, menores costes anuales y mayor volumen fugado. En este análisis anual estas fugas en inglés son conocidas como “Intervention Dependent Annual Apparent Losses” (IDAAL)

Estas pérdidas se subclasifican como se muestra a continuación:

**TABLA 4-2** CLASIFICACIÓN DE PÉRDIDAS APARENTES (ARREGUI ET AL., 2018)

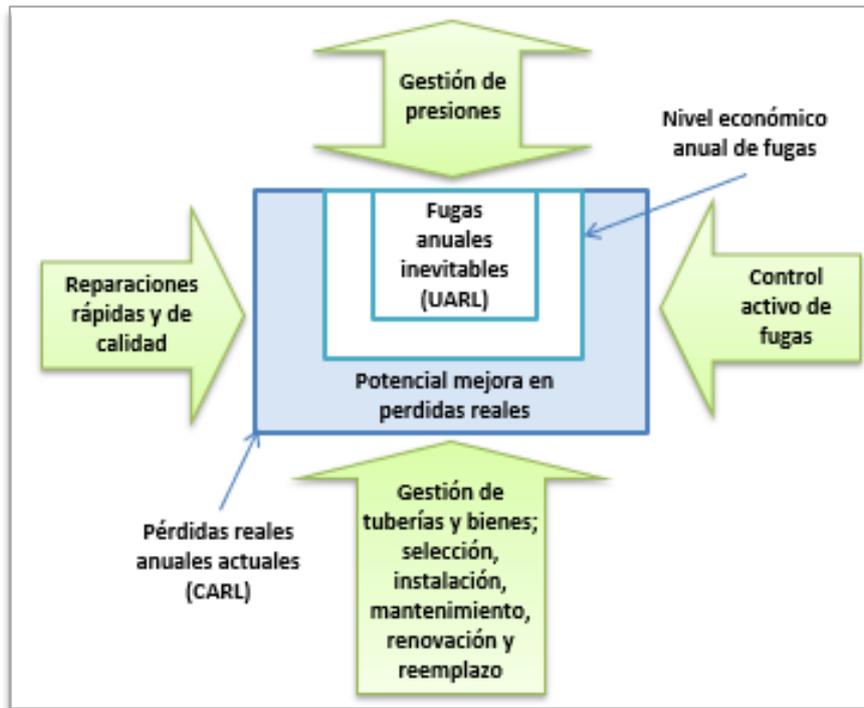
<b>Pérdidas Aparentes Anuales Actuales (CAAL)</b>	Pérdidas Aparentes Anuales Independientes de las Intervenciones (IIAAL)	Debido a Inexactitud de medición (IIAAL <sub>MES</sub> )
		Debido a Conexiones Ilegales (IIAAL <sub>ILL</sub> )
		Debido a Error en Manejo de Datos (IIAAL <sub>DH</sub> )
	Pérdidas Aparentes Anuales Dependientes de las Intervenciones (IIAAL)	Debido a Inexactitud de medición (IDAAL <sub>MES</sub> )
Debido a Conexiones Ilegales (IDAAL <sub>ILL</sub> )		

### 4.3. GESTIÓN DE PÉRDIDAS

La gestión de pérdidas en la red depende del tipo de fugas a manejar, a continuación, se describe la gestión tanto para pérdidas reales como aparentes.

#### 4.3.1. GESTIÓN DE PÉRDIDAS REALES

La gestión de pérdidas reales se puede explicar con un esquema mundialmente utilizado y mencionado en la mayoría de los documentos sobre el tema.



**FIGURA 4-3** CUATRO COMPONENTES PARA LA GESTIÓN DE LAS PÉRDIDAS REALES (Lambert et al. 2005)

En el esquema se puede observar un recuadro grande que representa las “Fugas Reales Anuales Actuales” (CARL “Current Annual Real Losses”), dentro de esta se encuentran las Fugas Reales Anuales Inevitables (UARL “Unavoidable Annual Real Losses”).

La relación entre el CARL y el UARL es denominado “Índice de Fugas en Infraestructura”, en inglés “Infrastructure Leakage Index” o por sus siglas “ILI”.

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad \text{EC. 4-1}$$

Estudios realizados en UK y Canadá sugieren que en países desarrollados el ELL del sistema corresponden a valores de ILI menores a 2.50 (Lambert et al., 2005)

En el área comprendida entre el CARL y UARL, existe un punto que sería el ELL, dejando un rango potencial de mejora que puede ser gestionado por 4 componentes:

- Gestión de la presión
- Reparaciones rápidas y de calidad
- Control activo de fugas
- Gestión de tuberías y bienes, mantenimiento, reparación, reemplazo, instalación, etc.

*“El ELL de un sistema particular no puede ser alcanzado o calculado, a menos que el abastecimiento se comprometa a aplicar los 4 métodos de gestión de pérdidas reales”* (Lambert et al., 2005)

#### **4.3.2. GESTIÓN DE PÉRDIDAS APARENTES**

Al igual que en la gestión de pérdidas reales, en las aparentes existe el término de “Pérdidas Aparentes Anuales Actuales”, conocido en inglés como “Current Annual Apparent Losses” o por sus siglas “CAAL”. También existe un volumen mínimo inevitable de fugas aparentes, conocido como “Unavoidable Annual Apparent Losses” (“UAAL”).

Entre el CAAL y el UAAL se encuentra un punto denominado ELAL, mismo que presenta el punto económico de fugas aparentes del sistema, como se muestra en la figura 4-4. Los componentes del sistema, que se pueden intervenir en la gestión de estas fugas son:

- Errores en la medición
- Consumos no autorizados
- Errores en el manejo de datos

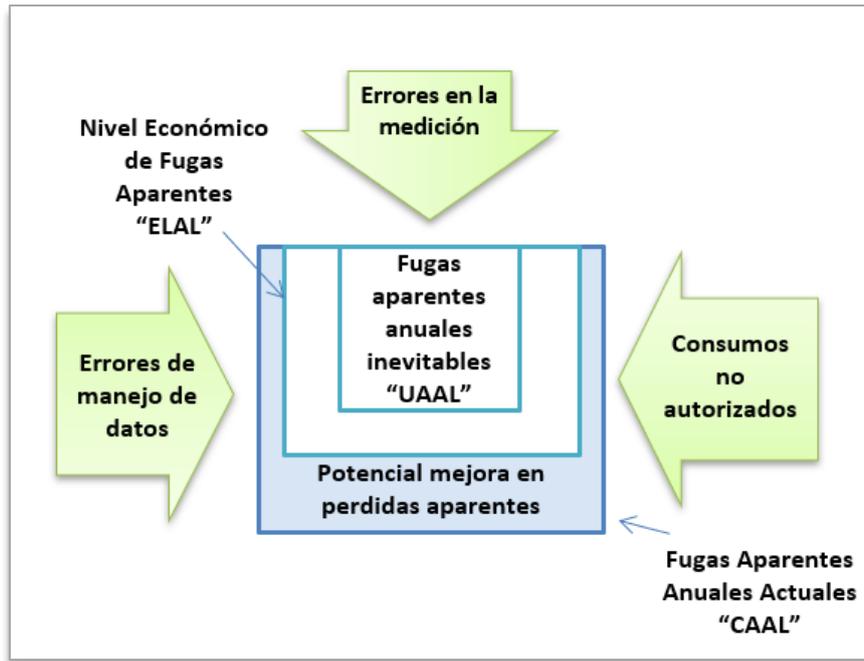


FIGURA 4-4 GESTIÓN DE LAS PÉRDIDAS APARENTES (ARREGUI ET AL., 2018)

Así como en las pérdidas reales se puede calcular el ILI, en las pérdidas aparentes se pueden calcular 3 indicadores:

- Índice de pérdidas aparentes (“Apparent Losses Index”): Relaciona las pérdidas actuales con las mínimas que puede presentar el sistema.

$$ALI = \frac{CAAL}{IIAAL} \quad \text{EC. 4-2}$$

- Índice económico de pérdidas aparentes (“Apparent Losses Economic Index”): Muestra que tan cerca se cuenta el sistema de llegar al nivel económico.

$$ALEI = \frac{CAAL}{ELAL} \quad \text{EC. 4-3}$$

- Índice económico potencial de pérdidas aparentes (“Apparent Losses Economic Potential Index”): Muestra que tan lejos está el nivel económico con respecto al mínimo posible.

$$ALEPI = \frac{ELAL}{IIAAL} \quad \text{EC. 4-4}$$

#### 4.4. DMA (DISTRICT METERED AREA)

Por lo general el cálculo del ELL se realiza para todo el sistema, sin embargo, hay sistemas de gran tamaño donde es recomendable realizarlo por sectores o DMA. Se conoce como DMA a un área discreta de la red de distribución de agua potable. Esta área se puede crear cerrando válvulas en el perímetro de esta o aislándola permanentemente desconectando tuberías.

En general pueden existir DMA de 3 tipos:

- DMA con entrada individual
- DMA con entrada múltiple
- DMA en cascada

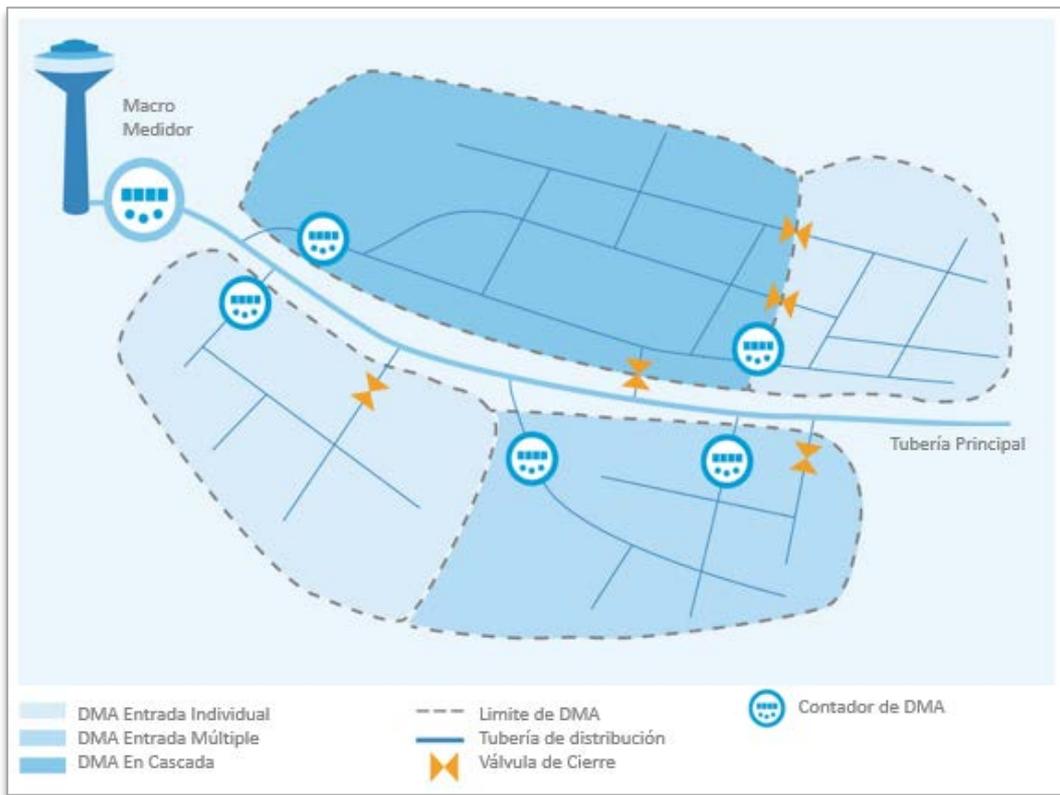


FIGURA 4-5 TIPOS DE DMA (FANNER, 2007)

#### 4.5. AZP (PRESIÓN PROMEDIO DE ZONA)

La Presión Promedio de Zona, conocida en inglés como "Average Zone Pressure" (AZP), es un punto cuya presión es igual a la presión promedio de la zona, por lo que es un valor importante para el cálculo del ELL.

Fanner (2007) presenta un método simplificado para calcular este punto:

1. Se debe calcular la altura promedio ponderada con respecto al número de acometidas que se encuentran en el sector.
2. Se debe ubicar un punto en la red que presente esta altura promedio, de preferencia que se encuentre en la zona central del sector. Este punto se denomina Punto AZP.
3. Luego se mide la presión de este punto por un periodo de 24 h.
4. La presión promedio de ese punto en ese periodo se considera el AZP.

#### **4.6. CÁLCULO DE ELL**

En un sistema que presenta estrategias de reducción de fugas, mientras menor sea el nivel de fugas, mayor será el coste de reducción de pérdidas. Esto se debe a la forma que presenta la curva de costes. (Fanner, 2007).

Al combinar las curvas del coste anual de aplicar un cierto método de reducción de pérdidas, con la curva de costes anuales de agua perdida, se obtiene la curva de costes totales anuales como se muestra en la figura 4-6.

El punto más bajo de esta curva se considera el ELL del sistema, asociado a ese método de reducción de pérdidas. La curva en la zona de los mínimos tiende a ser plana, lo que complica la obtención de este valor de manera visual, por ello es recomendable calcular ELL del sistema por otros métodos numéricos, como los presentados más adelante en este trabajo.

Un punto importante que considerar es que el ELL obtenido con una estrategia de reducción de pérdidas no necesariamente es el ELL mínimo que puede presentar el sistema. El ELL óptimo de un sistema se puede obtener con la combinación de las 4 estrategias de gestión mencionadas en apartados anteriores:

- Gestión de la presión
- Reparaciones rápidas y de calidad
- Control activo de fugas
- Gestión de tuberías y bienes, mantenimiento, reparación, reemplazo, instalación, etc.

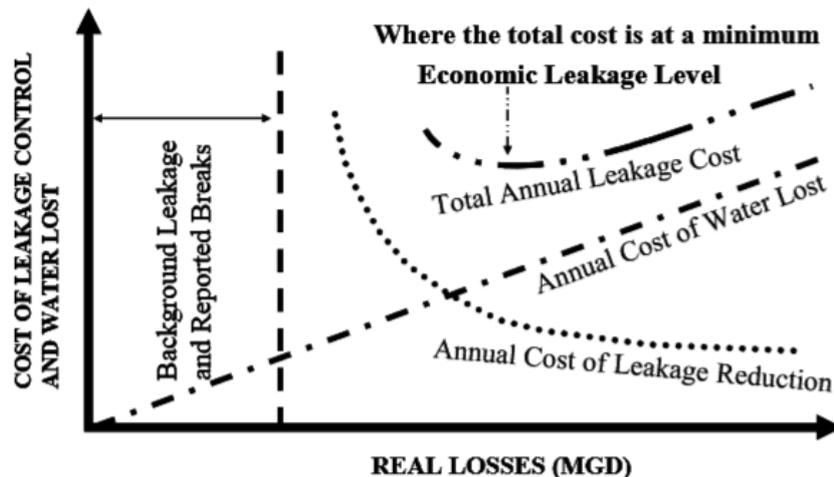


FIGURA 4-6 BALANCE ECONÓMICO DE FUGAS (FANNER, 2007)

Además de la manera gráfica de obtener el ELL, existen varias metodologías para calcularlo. En la literatura se puede encontrar también el término “ELL a Corto Plazo”, en inglés “Short-Run ELL” o “SRELL”. Este término se refiere al ELL que debería alcanzar un sistema de abastecimiento trabajando a la presión actual. (Lambert et al., 2005)

Para el presente trabajo se plantearon 2 metodologías de cálculo del SRELL. Sin embargo, previo a la descripción de ambas metodologías, se da una breve explicación de 4 parámetros que intervienen en estos cálculos.

#### 4.6.1. PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN EL CÁLCULO DEL ELL

##### A. COSTE DE INSPECCIÓN DE LA RED

Este valor representa lo que le cuesta a un abastecimiento inspeccionar toda la red con la finalidad de detectar fugas no reportadas y así poder repararlas. Este coste incluye tanto los equipos necesarios para la inspección como el personal requerido, pero excluye los costes de reparación.

En el Leakage Management Technologies, desarrollado por la AWWA Research Foundation (Fanner et al., 2007), se mencionan 2 tipos de metodologías para la detección de fugas.

- Método de localización: Son aquellas técnicas que indican la ubicación aproximada de la fuga, tales como:
  - Inspección visual

- Inspección con Noise Logger
  - Prueba de paso o “Step Testing”
  - Mapeo de ruido de fuga o “Leak noise mapping”
- Métodos para señalar con precisión una fuga: Son aquellas técnicas que indican la posición estimada de una fuga donde se realizará la excavación para su reparación.
- Inspección por sondeo acústico, esta técnica incluye el uso de correlador acústico y micrófono de tierra.

El tipo de inspección que realice cada sistema de abastecimiento dependerá de los recursos económicos que puedan invertir en los equipos y preparación del personal.

Los diferentes métodos y equipos presentan distintos rendimientos, costes de mantenimiento y años de vida útil, mismos que se verán reflejados en el coste final de inspección.

## **B. COSTE MARGINAL DEL AGUA**

El coste marginal o variable del agua representa el gasto que tiene un abastecimiento por cada m<sup>3</sup> que inyecta a la red. Este valor considera varios factores como pueden ser:

- Coste marginal de producción: Coste operativo, valor que se podría ahorrar el abastecimiento si logra reducciones en las fugas. Este valor varía dependiendo del abastecimiento, puede incluir costes como el tratamiento del agua, los químicos que se le puedan aplicar, bombeos hasta la planta de tratamiento, etc.
- Coste marginal de distribución: Este valor considera gastos adicionales que se pueden presentar en la distribución, tales como la energía que consumen posibles estaciones Booster o coste de químicos que se puedan aplicar en estas estaciones, etc.
- Coste capital: En algunos casos los abastecimientos pueden considerar costes de inversión futura. Por ejemplo, cuando un sistema no tiene la capacidad de abastecer nuevas demandas, deben buscar otra fuente de donde abastecerse, lo que implica la construcción de nuevas infraestructuras, etc. Estos costes suelen ser mayores que los de producción y distribución. Este valor es más representativo en el análisis de nivel económico de fugas a largo plazo.

- Coste social y ambiental: En algunos países se puede exigir a los abastecimientos que consideren un coste ambiental y social. Esto se hace con la intención de representar el valor del agua en la naturaleza, ya que la utilización de esta se ve reflejada en menores caudales en ríos, menores recargas en los acuíferos, en algunos casos creación de zonas más áridas, etc.

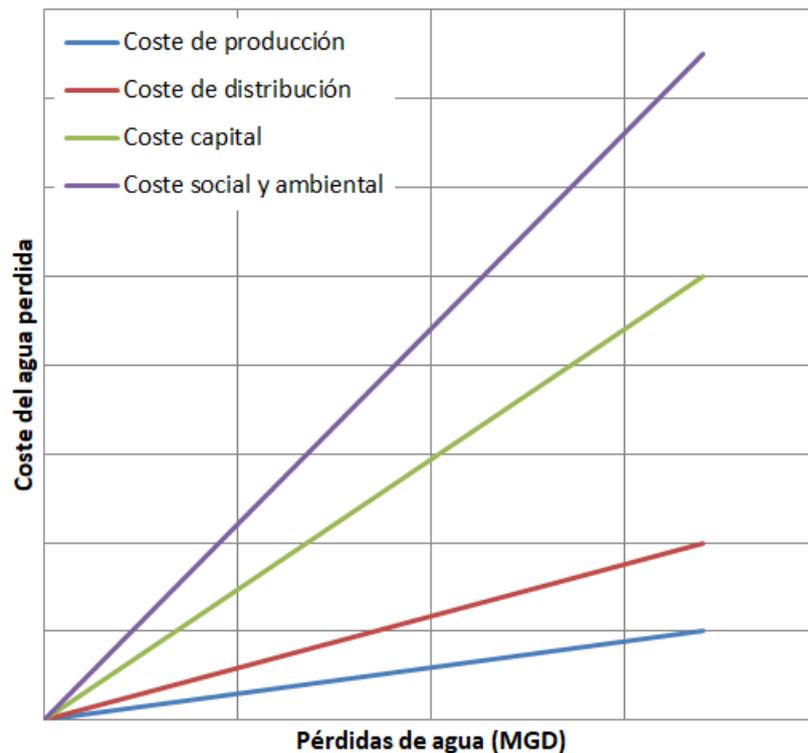


FIGURA 4-7 GRÁFICA PÉRDIDAS DE AGUA VS. COSTE (FANNER, 2007)

### C. NATURAL RATE OF RISE (NRR)

En general, todos los sistemas de abastecimiento de agua potable presentan fugas de algún tipo. Estas fugas muestran una tendencia natural a aumentar, conocida como “Índice Natural de Aumento de Fugas”, en inglés “Natural Rate of Rise” o por sus siglas “NRR”.

Se puede considerar que las fugas en el sistema aumentarán con esta relación (NRR) si no se presenta ningún tipo de intervención. Sin embargo, esta tendencia podría presentar variaciones debido a que este aumento puede provocar reducciones en la presión.

#### D. N1

El término N1 representa la relación entre la presión y pérdidas de agua por fugas.

Lambert (2001) desarrolló el concepto de la relación entre las presiones en la red y las fugas. Este estudio partió de la ecuación general de la velocidad con la que sale el agua por un orificio:

$$v = Cd * (2g P)^{0.5} \quad \text{EC. 4-5}$$

Donde

- v: Velocidad del agua por el orificio (m/s)
- Cd: Coeficiente de descarga
- P: Presión en la tubería (mca)
- g: Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Sin embargo, para el análisis en las tuberías el Cd no es una constante y puede variar dependiendo si el flujo es laminar o turbulento. Además de esto, el caudal fugado está dado por la velocidad y el área del orificio. Como se muestra en la siguiente ecuación:

$$L = v * A = Cd * A * (2g P)^{0.5} \quad \text{EC. 4-6}$$

- L (Leakage): Caudal fugado (m<sup>3</sup>/s)
- A: Área del orificio (m<sup>2</sup>)

Existen en general 2 formas en las que el orificio puede variar con respecto a la presión. La primera es que la rotura sea solo de forma longitudinal, lo que significa que el área varía con relación a la P<sup>1</sup> por lo que L (volumen fugado) varía con P<sup>1.5</sup>. Por otro lado, si la rotura puede variar de forma longitudinal y radial, el área varía con P<sup>2</sup> por lo que L (volumen fugado) varía con P<sup>2.5</sup>.

Así, de manera simplificada se tiene la siguiente expresión.

$$\frac{L1}{L0} = \left( \frac{P1}{P0} \right)^{N1} \quad \text{EC. 4-7}$$

Donde N1 es el exponente que relaciona la presión con las fugas y puede tomar valores en el rango de 0.5 a 2.5.

Según numerosas pruebas de laboratorio, los valores que puede tomar el coeficiente N1 se encuentran en el rango de 0.5 y 1.5. (Lambert, 2001).

Para fugas detectables cuando la tubería es rígida, se considera que el área de rotura será fija, por lo que para este tipo se considera valores de 0.5. Las tuberías flexibles, como las de PVC y Polietileno pueden presentar área de rotura variable con la presión por lo que para estas se estima un valor de 1.5.

Cuando no se puede obtener información del tipo de tuberías o del nivel de fugas, se puede asumir un valor de N1 de 1, considerando una relación lineal entre las fugas y la presión.

#### **4.6.2. MÉTODO 1 - CÁLCULO DEL ELL**

(Lambert et al., 2005) plantea que el SRELL del sistema se puede obtener como la suma de 3 volúmenes anuales:

- Volumen anual actual de fugas reportadas.
- Volumen “económico” anual de agua perdida por roturas no reportadas
- Volumen anual actual de fugas de fondo, incluyendo fugas no detectadas/no reparadas después de la inspección.

##### **A. VOLUMEN ACTUAL DE FUGAS REPORTADAS**

Este volumen se puede evaluar asignando un caudal permitido por rotura notificada y multiplicándolo por un tiempo promedio de reparación. Estos caudales pueden variar dependiendo del tipo de rotura, pero de manera simplificada Lambert (2001), a partir de cálculos del UARL, estimó los siguientes volúmenes fugados por rotura para una presión de trabajo de 50 mca.

- En tuberías: 864 m<sup>3</sup>/rot
  - Considerando un caudal de 36 m<sup>3</sup>/h durante un día o 12 m<sup>3</sup>/h durante 3 días.
- Acometidas: 307 m<sup>3</sup>/rot
  - Considerando un caudal de 16 m<sup>3</sup>/h durante un 8 días o 0.8 m<sup>3</sup>/h durante 16 días.

Estas consideraciones de tiempo se deben a que mientras mayor sea el caudal fugado, más rápido será notado por los abonados y reportado, lo que reduce el tiempo de duración. A caudales menores, más tiempo tardará en ser reportado.

Considerando que los caudales antes mencionados están dados para una presión de referencia de 50 mca y deben ser traídos a valores asociados a la presión actual del sistema, la ecuación para calcular el volumen Actual de Fugas Reportadas queda de la siguiente forma:

$$V_{FR} = \left( \frac{P_{prom}}{P_{ref}} \right)^{N1} * [A * N_{rot. tub} + B * N_{rot. acom}] \quad \text{EC. 4-8}$$

- $V_{FR}$ : Volumen anual de fugas de Reportadas en (m<sup>3</sup>/año)
- $P_{prom}$ : Presión promedio de la red (mca)
- $P_{ref}$ : Presión de referencia (50 mca)
- $N1$ : Parámetro que relaciona las presiones con las pérdidas (adimensional)
- $N_{rot.tub}$ : Número de roturas en tuberías al año
- $N_{rot.acom}$ : Número de roturas en acometidas al año
- $A$ : Caudal de referencia fugado por cada rotura en tubería a una presión de 50 mca
- $B$ : Caudal de referencia fugado por las acometidas a una presión de 50 mca

## **B. VOLUMEN “ECONÓMICO” ANUAL DE AGUA PERDIDA POR ROTURAS NO REPORTADAS**

El volumen económico de fugas no reportadas al año se obtiene cuando los costes anuales de inspección se igualan al coste marginal del volumen de agua perdida. En este cálculo intervienen los parámetros explicados previamente:

- Coste marginal del agua
- Coste de inspección de la red
- NRR

Una vez obtenidos estos parámetros, cuyas metodologías de cálculo se encuentran detalladas en el desarrollo de la herramienta (Apartado 5), se procede a realizar los siguientes cálculos:

### Periodo Económico de intervención

*“...es la frecuencia de intervenciones en la cual el coste marginal del control activo de fugas sea igual, en promedio, al coste variable del agua fugada”* (Lambert et al., 2005)

En la literatura, Lambert denomina este valor como “frecuencia económica”, sin embargo, el cálculo más bien refleja un “periodo óptimo” de inspección. Para no presentar confusiones en el cálculo, se mantienen las nomenclaturas presentadas en Lambert (2005).

$$EIF = \sqrt{\frac{2 * CI}{CV * NRR}} \quad \text{EC. 4-9}$$

*EIF*: Periodo Económico de intervención (año)

*CI*: Coste de intención (USD)

*CV*: Coste variable del agua perdida o coste marginal del agua (USD/m<sup>3</sup>)

*NRR*: Ratio de aumento de fugas no reportadas [m<sup>3</sup>/(año·año)]

### Porcentaje Económico de red inspeccionada al año

El periodo económico de inspección refleja el tiempo que debe haber entre una inspección de la red completa y otra. No obstante, el cálculo del ELL se realiza anual, por lo que es necesario saber el porcentaje de red que sería inspeccionado al año con ese periodo calculado. A continuación, se presenta la forma de calcularlo:

$$EP = \frac{100}{EIF} \quad \text{EC. 4-10}$$

*EP*: Porcentaje económico de red a ser inspeccionada anualmente (%)

*EIF*: Periodo Económico de intervención (año)

### Coste anual de inspección

El coste anual de inspección, conocido en inglés como “Annual Budget of Intervention”, o por sus siglas “ABI”, se obtiene multiplicando lo que cuesta inspeccionar toda la red (*CI*) por el porcentaje de red que se inspecciona al año (*EP*).

$$ABI = EP * CI \quad \text{EC. 4-11}$$

*ABI*: Coste anual de intervención (USD/año)

*CI*: Coste de intervención (USD)

### Pérdidas reales por roturas no notificadas

Finalmente se puede obtener el Volumen Económico de Agua Perdida por Roturas No Reportadas al año, denominado “EURL” o “Economic Unreported Real Losses”. Este valor representa el volumen de agua que se va a perder en el sistema al año haciendo inspecciones con el periodo óptimo y se calcula con la siguiente fórmula:

$$EURL = \frac{ABI}{CV} \quad \text{EC. 4-12}$$

*EURL*: Nivel económico de fugas no reportadas (m<sup>3</sup>/año)

*ABI*: Coste anual de intervención (USD/año)

*CV*: Coste variable del agua perdida (USD/m<sup>3</sup>)

### **C. VOLUMEN ANUAL ACTUAL DE FUGAS DE FONDO**

Las fugas de fondo, como ya se explicó anteriormente, son fugas que se presentan bajos caudales y que no son reparadas. El volumen anual de estas se calcula considerando un caudal fugado tanto por km de red como por número de cometidas. Al igual que el cálculo del volumen de fugas por roturas notificadas, los caudales considerados para estos fueron obtenidos a partir de parámetros utilizados en el UARL en Lambert et al (1999) con una presión de referencia de 50 mca.

- Tuberías: 20 l/(km·día)

- Acometidas: 1.25 l/(acom·día)

Considerando que los caudales antes mencionados están dados para una presión de referencia de 50 mca, la ecuación para calcular el volumen Actual de Fugas de Fondo queda de la siguiente forma:

$$V_{FF} = 8.76 * \left( \frac{P_{prom}}{P_{ref}} \right)^{N1} * [A * L_r + B * N_{acom}] \quad \text{EC. 4-13}$$

$V_{FF}$ : Volumen anual de fugas de fondo en (m<sup>3</sup>/año)

$P_{prom}$ : Presión promedio de la red (mca)

$P_{ref}$ : Presión de referencia (50 mca)

$N1$ : Parámetro que relaciona las presiones con las pérdidas (adimensional)

$L_r$ : Longitud de la red (km)

$N_{acom}$ : Número de acometidas

$A$ : Caudal de referencia fugado por las tuberías a una presión de 50 mca

$B$ : Caudal de referencia fugado por las acometidas a una presión de 50 mca

#### 4.6.3. MÉTODO 2 – CÁLCULO DEL ELL

La segunda metodología desarrollada en el presente trabajo considera la siguiente suma:

$$ELL: UARL + EURL \quad \text{EC. 4-14}$$

##### A. UARL

El UARL se considera como un mínimo técnico. Este término asume que un sistema bien manejado y con una infraestructura en buen estado presentaría anualmente lo siguiente:

- Tuberías principales: 13 roturas / 100 km de red (95% reportados)
- Acometidas: 3 roturas por acometidas (75% reportados)

En Lambert et al., (1999) se presentaron los caudales asumidos como mínimos, para una presión de 50 mca, por fuga según su tipo y ubicación en el sistema.

**TABLA 4-3** VOLÚMENES PERMITIDOS PARA FUGAS A UNA PRESIÓN DE 50 MCA (MUÑOZ, 2012)

Componente de la infraestructura	Fugas de Fondo Inevitables	Fugas reportadas	Fugas no reportadas
Red principal	20 l/ (km·h)	12.4 rot/100 km/año a 12 m <sup>3</sup> /h durante 3 días = <b>864 m<sup>3</sup>/rot</b>	0.6 rot/100km/año a 6 m <sup>3</sup> /h durante 50 días = <b>7200 m<sup>3</sup>/rot</b>
Acometidas, desde la red hasta la línea de propiedad	1.25 l / (acom·h)	2.25 /1000 acom/año a 1.6 m <sup>3</sup> /h durante 8 días = <b>307 m<sup>3</sup>/rot</b>	0.75/1000 acom/año a 1.6 m <sup>3</sup> /h durante 100 días = <b>3840 m<sup>3</sup>/rot</b>
Acometidas, desde la línea de propiedad hasta contador (Si el contador no se encuentra en la linead de propiedad)	0.50 l / (acom·h)*	1.5/1000 acom/año* a 1.6 m <sup>3</sup> /h durante 9 días = <b>346 m<sup>3</sup>/rot</b>	0.5/1000 acom/año* a 1.6 m <sup>3</sup> /h durante 101 días = <b>3878 m<sup>3</sup>/rot</b>
*Para longitud promedio de 15 m.			

Con los volúmenes presentados en la tabla 4-3 y los datos mencionados anteriormente, se llegó a una fórmula simplificada y más fácil de aplicar. (Lambert et al., 1999).

$$U_{ARL} = (18 * L_r + 0.8 * N_{acom} + 25 * L_{acom}) * P_{prom} \quad \text{EC. 4-15}$$

$L_r$ : Longitud de la red (km)

$N_{acom}$ : Número de acometidas

$L_{acom}$ : Longitud de acometidas (km)

$P_{prom}$ : Presión promedio (mca)

El UARL al ser un nivel mínimo que pueda presentar un sistema trabajando en óptimas condiciones, no es un objetivo apropiado para un abastecimiento, ya que esto implicaría gastos considerablemente altos en comparación a los beneficios obtenidos del ahorro de agua fugada. Por ello se considera que sumando este término con el EURL se puede obtener el ELL del sistema.

## **B. EURL**

Este valor se calcula como se mostró en el MÉTODO 1 - Volumen “Económico” Anual de Agua Perdida por Roturas No Reportadas. (Apartado 4.6.2.)

### **4.7. ANÁLISIS DEL ELL**

Una vez obtenido el Nivel Económico de Fugas para el estado actual del sistema, se pueden analizar cambios o mejoras en la red que permitan reducir ese nivel. Para ello, se evalúan los cambios de manera individual y se comparan los niveles obtenidos con cada uno. Se considera que el nivel más bajo se convierte en el objetivo del abastecimiento. Se pueden hacer también combinaciones de mejoras, evaluándolas previamente de manera individual y luego en conjunto para obtener resultados más claros.

Estos análisis pueden tener 2 enfoques: corto y largo plazo.

#### **4.7.1. ENFOQUE A CORTO PLAZO**

El enfoque a corto plazo pretende analizar los cambios en la gestión que sean de rápida aplicación. Entre los cambios que se pueden presentar están las mejoras en la calidad y velocidad de las reparaciones, implementación de controles activos de fugas, etc.

Este enfoque se realiza solo para el año de análisis ya que se considera que los cambios serán inmediatos.

#### **4.7.2. ENFOQUE A LARGO PLAZO**

Con respecto al enfoque a largo plazo, lo que se tiene son cambios que requieren una mayor inversión y tiempo de ejecución. El tiempo de análisis para cada caso dependerá del monto invertido y el tiempo que tarde su recuperación. Este periodo puede ser de pocos años para pequeñas mejoras o hasta periodos entre 25 o 30 años para proyectos más grandes de mejora (Fanner, P. 2007)

Entre los cambios que requieren un análisis a largo plazo se encuentra mejoras en la presión, cambios en las tuberías, redistribución de los DMA, mejoras en los métodos de reparación, etc., ya que todos estos cambios, como ya se mencionó, requieren altos costes de inversión.

Para poder realizar un correcto análisis del ELL a largo plazo se deben tener en consideración los siguientes factores:

- El ELL actual de la red
- Las pérdidas reales actuales
- El coste de implementar estos cambios (inversión)
- Los beneficios en ahorro de agua que presentaría esta mejora
- El periodo de recuperación de la inversión

En la práctica, los análisis a largo plazo se efectúan en rangos de entre 20 y 30 años y luego las distintas alternativas analizadas deben ser traídas a valor presente. Se considera que la alternativa que presente menores costes sería la correspondiente al ELL a largo plazo.

#### **4.8. CÁLCULO DE ELAL**

En la literatura técnica existen distintas publicaciones que presentan temas relacionados con los niveles de pérdidas aparentes, como modelos numéricos para estimar estas pérdidas, mediciones de errores en los contadores, etc., Sin embargo, ninguno presenta una metodología de cálculo, ni determina términos estándar o calcula niveles óptimos. (Arregui et al., 2018)

Debido a ello, en el documento Arregui et al. (2018), se presenta una metodología que pretende ser el equivalente al método de cálculo del ELL para el ELAL. Es decir, simplificada, estandarizada y bien estructurada. Dicha metodología es la que se desarrolla en el presente documento, misma que también ha sido incluida en la herramienta de Excel.

Las pérdidas aparentes están directamente relacionadas con los tipos de contadores y consumos que presente la red. Por lo que se debe tener en consideración que en un sistema de abastecimiento de agua potable puede existir más de un tipo de contador, mismo que se presentará un error inicial promedio, volúmenes de consumo promedio y frecuencia de fallo asociado. Además, una red puede presentar distintos tipos de consumos, por ejemplo, usuarios residenciales, industriales, etc.

Debido a lo antes mencionado, el cálculo presenta parámetros que se deben calcular para cada tipo de contador y consumo. Estos cálculos se representarán con subíndices “i” para los contadores y “j” para los usuarios, manteniendo la nomenclatura presentada en Arregui et al (2018).

A continuación, se describe el cálculo de:

- Cada tipo de fuga, cuya clasificación se mostró en la figura 4-2
- Costes relacionados con las policías de intervención
- Finalmente, el ELAL

##### **4.8.1. IIAAL**

Pérdidas aparentes anuales independientes de las intervenciones debido a errores de medición (IIAAL<sub>MES</sub>)

Este término está asociado al error inicial que presentan los contadores instalados en un sistema de abastecimiento, ya sea por daños de fábrica o una mala instalación. Por

ello es un valor que no depende de la frecuencia de intervenciones que se realicen la red.

Toda red presenta valores mínimos no medidos de la red, estos se pueden denominar “Volúmenes Anuales No Medidos Inevitables” conocido como “UAUV” por sus siglas en inglés “Unavoidable Annual Unmeasured Volume”. Este valor se puede calcular para cada tipo de contador con la siguiente formula:

$$UAUV = (-1) * \sum_i (\varepsilon_i(0) * ACV_i) \quad \text{EC. 4-16}$$

*UAUV*: Volúmenes Anuales No Medidos Inevitables (m<sup>3</sup>/año)

$\varepsilon_i(0)$ : Error promedio inicial para contadores tipo “i” (%)

*ACV<sub>i</sub>*: Volumen de consumo anual de todos los contadores del tipo “i” (m<sup>3</sup>/año)

Además del termino UAUV, existe la probabilidad de que los contadores fallen debido a distintas razones, ya sea por edad, calidad del agua, etc. Debido a la complejidad de calcular las probabilidades de fallo de los contadores, se asume que el volumen utilizado por un usuario con un contador dañado no fue registrado para nada. Con esto se puede estimar un volumen de fugas aparentes asociado a fallos en los contadores “Annual Detected Meter Failures Apparent Losses (ADMFAL)”.

$$ADMFAL = \sum_i \left( \frac{AMFF_i}{100} * ACV_i * ART_i \right) \quad \text{EC. 4-17}$$

*ADMFAL*: Volumen de fugas aparentes asociado a fallos en los contadores (m<sup>3</sup>/año)

*AMFF<sub>i</sub>*: Frecuencia de fallo anual de contadores tipo “i” (%/año)

*ACV<sub>i</sub>*: Volumen de consumo anual de todos los contadores del tipo “i” (m<sup>3</sup>/año)

*ART<sub>i</sub>*: Tiempo promedio de reparación (entre el fallo del contador y su reparación) (años)

Una vez obtenidos estos valores se puede calcular el IIAAL<sub>MES</sub> con la siguiente formula:

$$IIAAL_{MES} = ICF * UAUV + ADMFAL \quad \text{EC. 4-18}$$

$I A A L_{M E S}$ : Pérdidas aparentes anuales independientes de las intervenciones debido a errores de medición ( $m^3/año$ )

$I C F$ : Índice de Condición de la infraestructura (Adimensional)\*

$U A U V$ : Volúmenes Anuales No Medidos Inevitables ( $m^3/año$ )

$A D M F A L$ : Volumen de fugas aparentes asociado a fallos en los contadores ( $m^3/año$ )

El valor del ICF se puede estimar de manera similar a como se calcula para las pérdidas reales (*Índice no calculado en el presente trabajo*).

### Pérdidas aparentes anuales independientes de las intervenciones debido a conexiones ilícitas ( $I A A L_{I L L}$ )

A pesar de cualquier tipo de control o tecnología que se presente por parte del sistema de abastecimiento de agua potable, siempre va a existir un mínimo de consumo por conexiones ilícitas presentes en la red. Estos volúmenes están asociados a la situación sociocultural del sector donde se encuentre la red. Por ello, en países en vías de desarrollo pueden presentar valores altos en este parámetro.

Este volumen se puede estimar con la siguiente fórmula:

$$I A A L_{I L L} = \sum_j \left( \frac{A I F_j}{100} * A C V_j \right) \quad \text{EC. 4-19}$$

$I A A L_{I L L}$ : Pérdidas aparentes anuales independientes de las intervenciones debido a conexiones ilícitas ( $m^3/año$ )

$A I F_j$ : Frecuencia promedio de uso ilegal del tipo de usuario "j" (%/año)

$A C V_j$ : Volumen de consumo anual de todos los usuarios del tipo "j" ( $m^3/año$ )

### Pérdidas aparentes anuales independientes de las intervenciones debido a errores sistemáticos del manejo de datos ( $I A A L_{D H}$ )

Este componente se da debido a errores en la lectura de los contadores o porque no se puede tener acceso al mismo. Estos errores normalmente son corregidos por algoritmos automáticos o técnicos especializados, por lo que, al mantener el mismo sistema de corrección, estos no van a variar con respecto a la frecuencia de intervenciones. El  $I A A L_{D H}$  solo puede variar si existen cambios en la forma de obtener

los datos y la metodología de corrección de errores. Este término se puede estimar con la siguiente ecuación:

$$IIAAL_{DH} = DHE * \sum_i (NM_i) \quad \text{EC. 4-20}$$

$IIAAL_{DH}$ : Pérdidas aparentes anuales independientes de las intervenciones debido a errores sistemáticos de manejo de datos ( $m^3/año$ )

$DHE$ : Error de manejo de datos [ $m^3/(contador \cdot año)$ ]. Se asume un mismo valor para todo el sistema

$NM_i$ : Número de contadores del tipo “i”

#### 4.8.2. IDAAL

##### Pérdidas aparentes anuales dependientes de las intervenciones debido a errores de medición ( $IDAAL_{MES}$ )

Este término es el volumen de agua no medida por contadores en funcionamiento. Estos errores se deben al envejecimiento de los contadores instalados, esta degradación dependerá del tipo de contador, calidad de fabricación y patrones de consumo de los usuarios.

Similar al término utilizado en el cálculo del ELL, este aumento de pérdidas aparentes por cada tipo de contador se denomina “Índice Natural de Aumento de Fugas Aparentes debido a errores de medición”, en ingles denominado “Natural Rate of Rise of Apparent Losses due to meter inaccuracies ( $NRRAL_{mes}$ )”. Se puede estimar multiplicando el porcentaje de degradación anual de cada tipo de contador por el consumo de usuarios con ese tipo de medidor:

$$NRRAL_{MES_i} = \frac{ADR_i}{100} * ACV_i \quad \text{EC. 4-21}$$

$NRRAL_{MES_i}$ : Índice Natural de Aumento de Fugas Aparentes debido a errores de medición ( $m^3/año^2$ )

$ADR_i$ : Porcentaje anual de degradación de los contadores tipo “i” ( $\%/año$ )

$ACV_i$ : Consumo de los contadores tipo “i” ( $m^3/año$ )

Multiplicando este índice por la edad promedio de cada tipo de contador se puede estimar el  $IDAAL_{MES}$

$$IDAAL_{MES} = \sum_i (NRRAL_{MESi} * t) \quad \text{EC. 4-22}$$

$IDAAL_{MES}$ : Pérdidas aparentes anuales dependientes de las intervenciones debido a errores de medición ( $m^3/año$ )

$NRRAL_{MESi}$ : Índice Natural de Aumento de Fugas Aparentes debido a errores de medición de cada medidor tipo “i” ( $m^3/año^2$ )

$t$ : Edad promedio de cada tipo de medidor (años)

Pérdidas aparentes anuales dependientes de las intervenciones debido a conexiones ilícitas ( $IDAAL_{ILL}$ )

De manera similar a lo que ocurre en las pérdidas por errores de medición ( $IDAAL_{MES}$ ), las pérdidas debido a conexiones ilícitas también pueden presentar una tendencia a aumentar a lo largo del tiempo si no se presentan inspecciones en la red. A diferencia del  $NRRAL_{MES}$ , el  $NRRAL_{ILL}$  se obtiene multiplicando el porcentaje anual de usuarios de cada tipo de consumo que se estima se podrían convertir en ilícitos, por el volumen anual de consumo de este tipo de usuarios.

$$NRRAL_{ILLj} = \frac{AICR_j}{100} * ACV_j \quad \text{EC. 4-23}$$

$NRRAL_{ILLj}$ : Índice Natural de Aumento de Fugas Aparentes debido a conexiones ilícitas ( $m^3/año^2$ )

$AICR_j$ : Porcentaje de usuarios del tipo “j” que se podrían convertir en ilícitos al año. (%/año)

$ACV_j$ : Consumo de los usuarios tipo “j” ( $m^3/año$ )

Multiplicando este índice por el tiempo transcurrido desde la última inspección se puede estimar el  $IDAAL_{ILL}$

$$IDAAL_{ILL} = \sum_j (NRRAL_{ILLj} * t) \quad \text{EC. 4-24}$$

$IDAAL_{ILL}$ : Pérdidas aparentes anuales dependientes de las intervenciones debido a conexiones ilícitas ( $m^3/año$ )

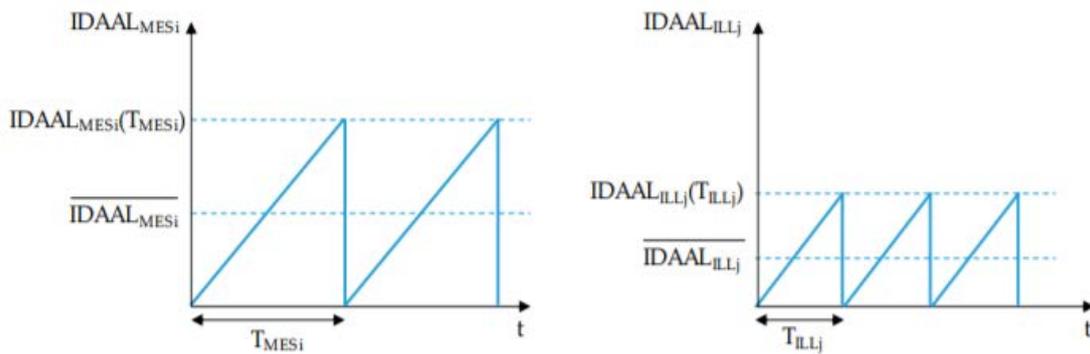
$NRRAL_{ILLj}$ : Índice Natural de Aumento de Fugas Aparentes debido a conexiones ilícitas ( $m^3/año^2$ )

$t$ : Tiempo transcurrido desde la última inspección (años)

#### 4.8.3. COSTES DE POLÍTICAS DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS APARENTES

Las dos principales políticas de reducción de pérdidas aparentes son: reemplazar los contadores para reducir los errores de medición e inspecciones para detectar conexiones ilícitas.

Con respecto a las  $IDAAL_{MES}$ , el tiempo que transcurre entre la instalación de un tipo de contador hasta que es reemplazo se denomina “Periodo de Intervención ( $T_{MES}$ )”, mientras que en las  $IDAAL_{ILL}$  se denomina “Periodo de Intervención ( $T_{ILL}$ )” al tiempo que requiere el abastecimiento para inspeccionar todas las conexiones de los usuarios.



**FIGURA 4-8** EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DE  $IDAAL_{MES}$  E  $IDAAL_{ILL}$ . Y VALORES PROMEDIO ASOCIADOS A  $T_{MES}$  Y  $T_{ILL}$  (ARREGUI ET AL., 2018)

Como se puede observar en la figura 4-8 los valores  $IDAAL_{MES}$  y  $IDAAL_{ILL}$  promedio se pueden estimar con la siguiente ecuación:

$$\overline{IDAAL_{MESi}} = \frac{1}{2} NRRAL_{MESi} * T_{MESi} \quad \text{EC. 4-25}$$

$$\overline{IDAAL_{ILLi}} = \frac{1}{2} NRRAL_{ILLi} * T_{ILLi} \quad \text{EC. 4-26}$$

$\overline{IDAAL_{MESi}}$	Pérdidas aparentes anuales promedio dependientes de las intervenciones debido errores de medición y conexiones ilícitas respectivamente ( $m^3/año$ )
$\overline{IDAAL_{ILLi}}$	

$NRRAL_{MES i}$ $NRRAL_{ILL i}$ :	Índice Natural de Aumento de Fugas Aparentes debido a errores de medición y conexiones ilícitas respectivamente ( $m^3/año^2$ )
$T_{MES i}$ $T_{ILL i}$	Periodo de intervención debido a errores de medición y conexiones ilícitas respectivamente (años)

De manera similar a lo que ocurre en el cálculo del ELL, para el ELAL se puede determinar también el Coste Anual de Intervención conocido en inglés como “Annual Intervention Budget (AIB)”

$$AIB_{MES i} = \frac{TIC_{MES i}}{T_{MES i}} \quad \text{EC. 4-27}$$

$$AIB_{ILL j} = \frac{TIC_{ILL j}}{T_{ILL j}} \quad \text{EC. 4-28}$$

- $AIB_{MES i}$  Coste anual de intervención debido errores de medición y conexiones ilícitas respectivamente ( $\$/año$ )
- $AIB_{ILL j}$  Coste anual de intervención debido errores de medición y conexiones ilícitas respectivamente ( $\$/año$ )
- $TIC_{MES i}$  Coste total de intervención debido a errores de medición y conexiones ilícitas respectivamente ( $m^3/año^2$ )
- $TIC_{ILL j}$  Coste total de intervención debido a errores de medición y conexiones ilícitas respectivamente ( $m^3/año^2$ )

#### 4.8.4. DETERMINACIÓN DE VALORES ÓPTIMOS DE INTERVENCIÓN

El ELAL es el nivel de fugas en el cual se presentan los costes mínimos, resultado de la suma de coste del agua perdida e intervenciones anuales. Teniendo en cuenta que para el análisis de las pérdidas aparentes, el coste del  $m^3$  de agua es dado por el precio de venta (PW) y no el coste marginal, este término podría alcanzar valores económicos de magnitud similar a los dados por las pérdidas reales.

En Arregui et al., (2018) se determinó una fórmula para obtener el Volumen Óptimo Promedio de  $IDAAL_{MES}$  e  $IDAAL_{ILL}$ ,

$$\overline{IDAAL_{OPT\ MESi}} = \sqrt{\frac{TIC_{MESi} * NRRAL_{MESi}}{2 * PW}} \quad \text{EC. 4-29}$$

$$\overline{IDAAL_{OPT\ ILLj}} = \sqrt{\frac{TIC_{ILLj} * NRRAL_{ILLj}}{2 * PW}} \quad \text{EC. 4-30}$$

$\overline{IDAAL_{OPT\ MESi}}$  Pérdidas aparentes anuales promedio dependientes de las intervenciones debido errores de medición y conexiones ilícitas respectivamente ( $m^3/año$ )

$NRRAL_{MESi}$  Índice Natural de Aumento de Fugas Aparentes debido a errores de medición y conexiones ilícitas respectivamente ( $m^3/año^2$ )

$TIC_{MESi}$  Coste total de intervención debido a errores de medición y conexiones ilícitas respectivamente ( $m^3/año^2$ )

$PW$ : Precio de venta del agua ( $\$/m^3$ )

Una vez obtenido este volumen óptimo se puede estimar el ELAL sumándole las pérdidas aparentes independientes de las intervenciones (IIAAL)

$$ELAL = IIAAL + \overline{IDAAL_{OPT}} \quad \text{EC. 4-31}$$

Además de estos, se pueden obtener los valores óptimos de intervención asociados a cada política de intervención de la siguiente forma:

#### Coste de intervención óptimo

$$ABI_{OPT\ MESi} = \frac{1}{2} \frac{TIC_{MESi} * NRRAL_{MESi}}{\overline{IDAAL_{OPT\ MES}}} \quad \text{EC. 4-32}$$

$$ABI_{OPT\ ILLi} = \frac{1}{2} \frac{TIC_{ILLi} * NRRAL_{ILLi}}{IDAAL_{OPT\ ILL}} \quad \text{EC. 4-33}$$

$$ABI_{OPT} = \sum_i (ABI_{OPT\ MESi}) + \sum_j (ABI_{OPT\ ILLi}) \quad \text{EC. 4-34}$$

Periodo óptimo de intervención

$$T_{OPT\ MESi} = \sqrt{\frac{2 * TIC_{MESi}}{NRRAL_{MESi} * PW}} \quad \text{EC. 4-35}$$

$$T_{OPT\ ILLj} = \sqrt{\frac{2 * TIC_{ILLj}}{NRRAL_{ILLj} * PW}} \quad \text{EC. 4-36}$$

## 5. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA

En este capítulo se presentan los esquemas de los métodos de cálculo del Nivel Económico de Fugas descritos en apartados anteriores. Además, se explica el funcionamiento de la herramienta de cálculo, incluyendo metodología, modo de uso y recomendaciones.

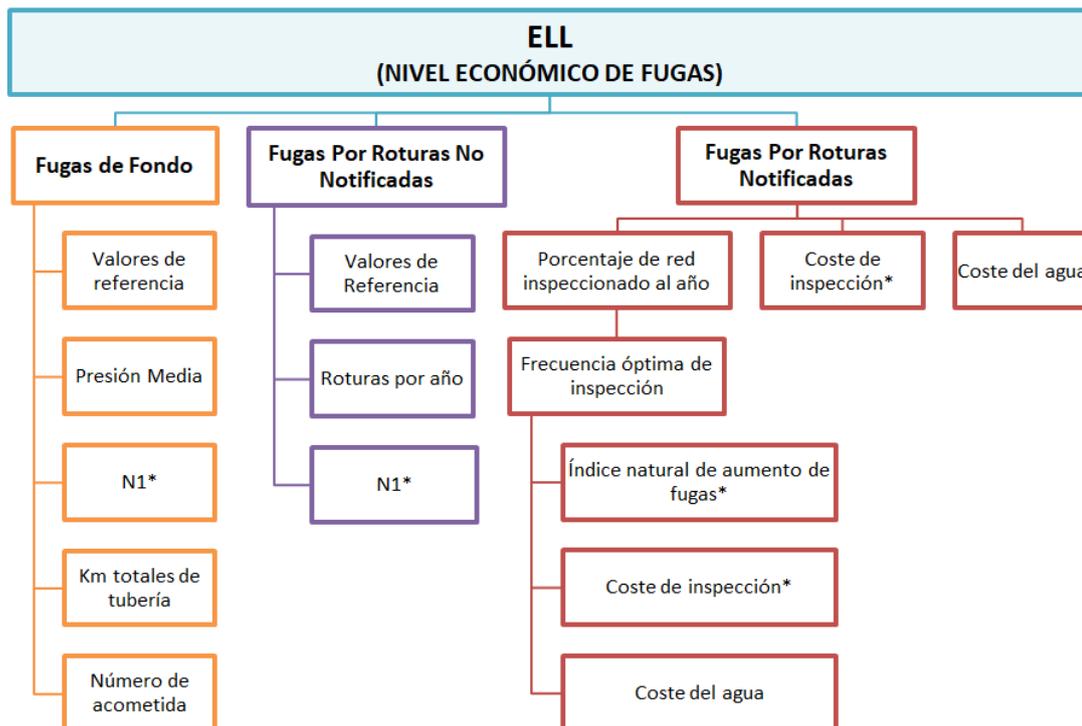
### 5.1. ESQUEMAS DE CÁLCULO DEL NIVEL ECONÓMICO DE FUGAS

Para el desarrollo de la herramienta se utilizaron las 2 metodologías:

MÉTODO 1:  $ELL = \text{Fugas de fondo} + \text{Fugas por roturas reportadas} + EURL$

MÉTODO 2:  $ELL = EURL + UARL$

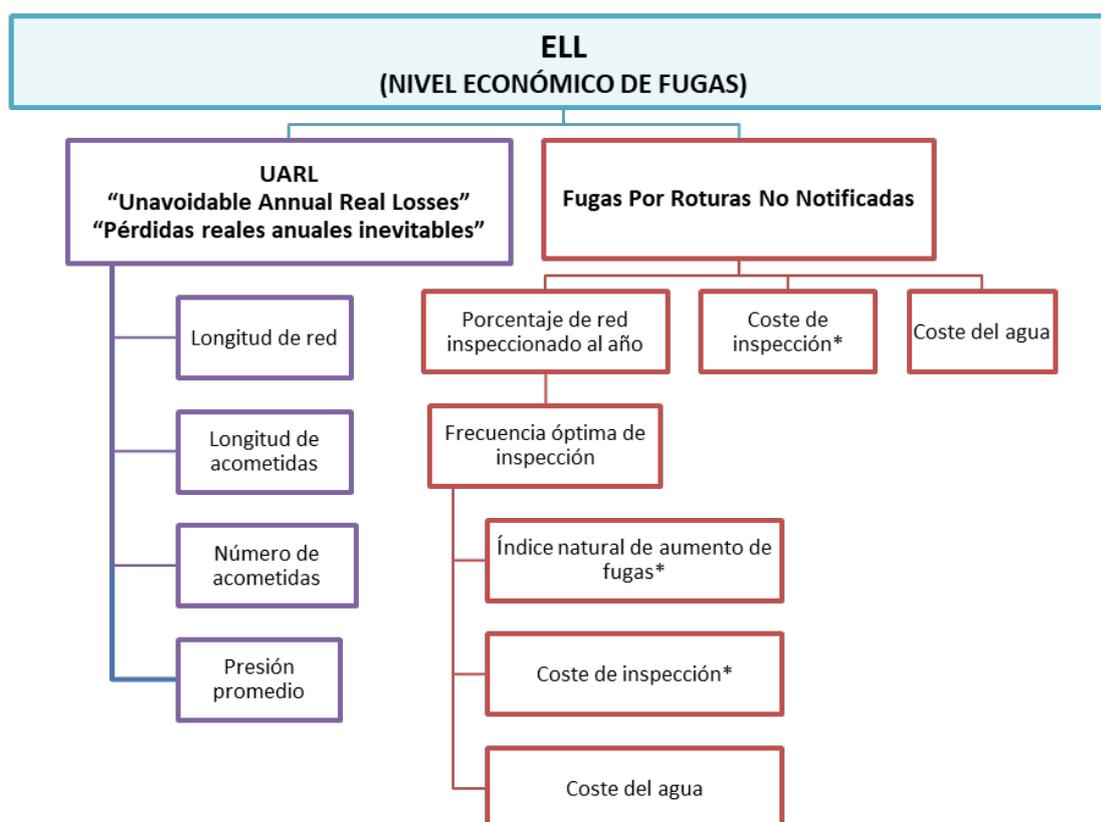
#### ESTRUCTURA DEL PRIMER MÉTODO DE CÁLCULO DE ELL



*\* Valores que no se pueden obtener por medición directa. En este proyecto se presentan diversas metodologías para calcularlos y/o estimarlos.*

FIGURA 5-1 ESQUEMA DEL MÉTODO 1 PARA EL CÁLCULO DEL ELL

## ESTRUCTURA DEL SEGUNDO MÉTODO DE CÁLCULO DE ELL



\* Valores que no se pueden obtener por medición directa. En este proyecto se presentan diversas metodologías para calcularlos y/o estimarlos.

**FIGURA 5-2** ESQUEMA DEL MÉTODO 2 PARA EL CÁLCULO DEL ELL

### 5.2. ESTRUCTURA DEL ANÁLISIS A LARGO PLAZO

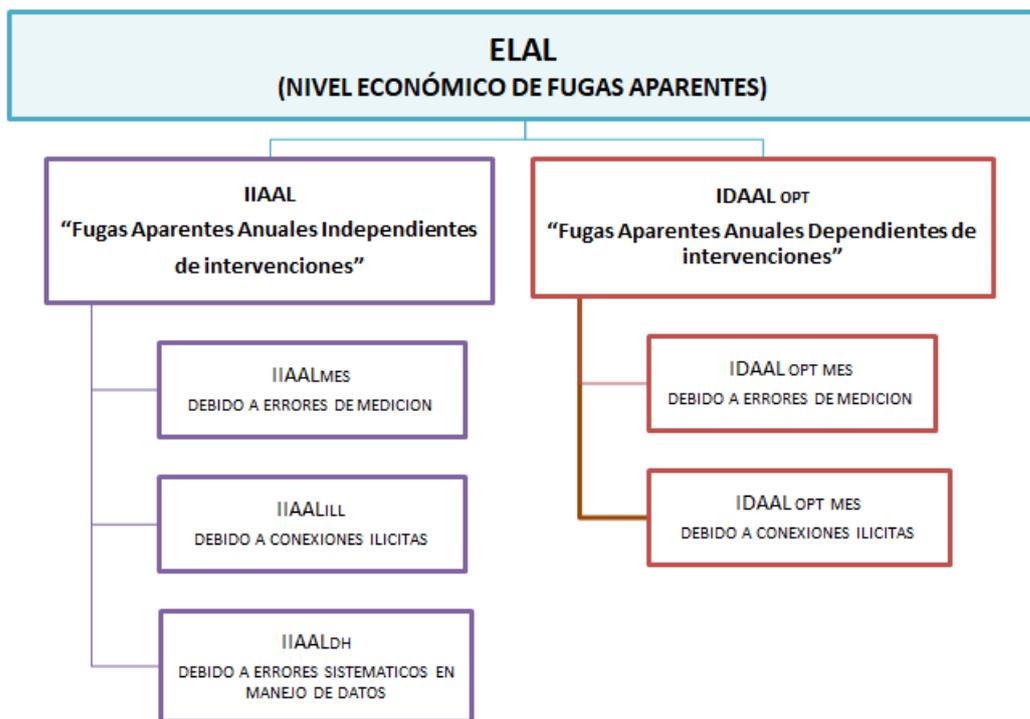
Con el propósito de que esta herramienta sea de mayor utilidad, además de calcular el Nivel Económico de Fugas del sistema, realiza una evaluación a largo plazo. Este análisis pretende estimar los cambios en el nivel económico de fugas considerando variaciones en los siguientes 3 aspectos del sistema:

- Desarrollo urbanístico
  - o Cambios en la longitud de la red
  - o Cambios en el número y longitud de acometidas
- Manejo de las presiones en la red
  - o Aumento o disminución de la presión promedio
- Cambios en el control activo de fugas

- Variación en los rendimientos de los grupos de trabajo
- Cambio en los costes

El análisis a largo plazo se planteó considerando que en distintos casos el periodo de análisis puede variar, por lo que se permitió que el usuario ingrese periodos desde 2 a 40 años, siendo recomendable trabajar con periodos de 20 años en términos generales y con 30 o 35 en casos en los que se tienen altos costes de inversión.

### 5.3. ESTRUCTURA DE CÁLCULO DEL NIVEL ECONÓMICO DE FUGAS APARENTES



**FIGURA 5-3** ESQUEMA DEL MÉTODO PARA EL CÁLCULO DEL ELAL

#### 5.4. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA

La herramienta (programa de Excel), está dividida en 3 partes, la primera se centra en el cálculo del ELL:



FIGURA 5-4 FICHAS DEL PROGRAMA PARA CALCULO DE ELL

La segunda en el análisis a largo plazo:

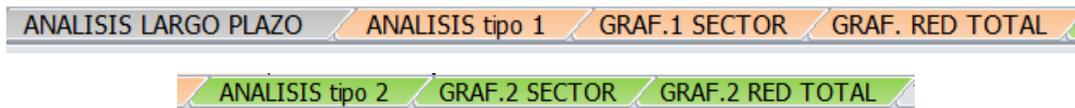


FIGURA 5-5 FICHAS DEL PROGRAMA PARA ANALISIS A LARGO PLAZO

La tercera presenta el cálculo del ELAL y un resumen de los resultados:



FIGURA 5-6 FICHAS DEL PROGRAMA PARA CALCULO ELAL

Para facilitar el uso del programa se ha desarrollado un código de color para distinguir los datos que serían entradas, sugeridos o calculados por la herramienta.

Codificación:
Dato de entrada
Dato de salida
Valor sugerido (editable)

FIGURA 5-7 CÓDIGO DE COLOR PARA PROGRAMA

A continuación, se presenta una explicación, a manera de manual, del contenido y función de cada ficha.

##### 5.4.1. ESQUEMA

En esta ficha se presentan los esquemas de las 2 metodologías de cálculo del ELL utilizadas por el programa, además del esquema de cálculo del ELAL. (Figuras 5-1, 5-2 y 5-3).



### **INFORMACIÓN SOBRE ROTURAS EN LA RED:**

<b><u>Roturas por año en tubería:</u></b>	Total anual de roturas presentadas en las tuberías de la red.
<b><u>Roturas por año en acometidas:</u></b>	Total anual de roturas localizadas específicamente en acometidas

### **CAUDALES DE REFERENCIA A 50 mca PARA EL CÁLCULO DE FUGAS NOTIFICADAS**

Dentro del cálculo de las fugas notificadas se encuentran unos caudales de referencia a una presión de 50 mca.

Estos valores representan, en caso de las tuberías, caudales de  $36 \text{ m}^3/(\text{hora}\cdot\text{rot})$  durante un día o de  $12 \text{ m}^3/(\text{hora}\cdot\text{rot})$  durante 3 días, y en el caso de las acometidas caudales de  $1.6 \text{ m}^3/(\text{hora}\cdot\text{rot})$  durante 8 días o de  $0.8 \text{ m}^3/(\text{hora}\cdot\text{rot})$  durante 16 días. La recomendación es utilizar estos valores que tienen fundamentos bibliográficos, sin embargo, se podría dar el caso de que algún abastecimiento considere que esos valores deberían ser distintos, por lo cual se dejó la opción de colocar un valor distinto de caudal por rotura y días que tarden las reparaciones.

#### **5.4.3. N1**

En esta ficha se realiza el cálculo del valor de N1. A continuación, se describirán las distintas metodologías aplicadas.

#### **PROYECTO**

Dentro del programa se pretende dar varias opciones de cálculo para este parámetro dependiendo del nivel de información que se pueda obtener del abastecimiento a ser evaluado.

<b>CODIFICACION:</b> DATO DE ENTRADA DATO DE SALIDA VALOR SUGERIDO (EDITABLE)		N1 - Nivel Basico					N1 - Nivel Intermedio		
ID DMA	NOMBRE DEL DMA	% aprox de red rigida	% aprox de red elastica	N1 Aproximado	N1 Lineal	N1 Seguridad	Longitud de Tuberías Rígidas (km)	Longitud de Tuberías Elastica (km)	N1 Calculado
-	-			-	1	1.5			-
-	-			-	1	1.5			-
-	-			-	1	1.5			-
-	-			-	1	1.5			-
-	-			-	1	1.5			-
-	-			-	1	1.5			-
-	-			-	1	1.5			-
-	-			-	1	1.5			-
-	-			-	1	1.5			-
ESQUEMA		RED	N1	NRR	COSTES	ELL	GRAFICO ELL METODO 2	GRAFICO ELL METODO 1	ELAL

FIGURA 5-9 PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA N1 (1/2)

<b>CODIFICACION:</b> DATO DE ENTRADA DATO DE SALIDA VALOR SUGERIDO (EDITABLE)		N1 - Nivel Avanzado				Otros métodos		
		Valores sugeridos de N1 *Pueden ser cambiados						
		0.5	0.7	1.2	1.5			
ID DMA	NOMBRE DEL DMA	Km red rígida con diámetros menores a:	Km red rígida con diámetros mayores a:	Km red elástica con diámetros menores a:	Km red elástica con diámetros mayores a:	N1 Calculado	N1	
-	-	80 mm	80 mm	80 mm	80 mm	-		
-	-					-		
-	-					-		
-	-					-		
-	-					-		
-	-					-		
-	-					-		
-	-					-		
ESQUEMA		RED	N1	NRR	COSTES	ELL	GRAFICO ELL METODO 2	GRAFICO ELL METODO 1

FIGURA 5-10 PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA N1 (2/2)

La clasificación se describe en las siguientes tablas, incluyendo además el método de aplicación.

<b>N1 – NIVEL BÁSICO</b>	
<b>Datos necesarios:</b>	Ninguno
<b>Metodología:</b>	<p>Para los casos en los cuales no existe información disponible sobre el tipo de tuberías instaladas en el sistema el programa presenta 3 opciones para obtener de manera simple un valor de N1:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aproximado: En este caso lo que se pretende es obtener un promedio ponderado considerando un valor de 0.5 para el porcentaje de tuberías rígidas y de 1.5 para el de tuberías flexibles. Para usar esta opción solo es necesario colocar un valor aproximado del porcentaje de tuberías de cada tipo (rígida o flexible).</li> <li>2. Lineal: Esta opción da como resultado un N1 igual a 1, ya que como su nombre lo indica, considera una relación lineal entre la presión y las fugas.</li> <li>3. Seguridad: Esta opción lleva ese nombre ya que considera un valor de N1 igual a 1.5. Con esto se pretende considerar como tubería flexible todas las tuberías del sistema, dando como resultado mayores niveles de fugas.</li> </ol>
<b>Modo de uso:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Para el aproximado de debe ingresar en las 2 columnas correspondientes los 2 porcentajes aproximados de red de cada tipo, en este caso rígidas o flexibles.</li> <li>2. Lineal: viene establecido el valor de 1 por defecto.</li> <li>3. Seguridad: viene establecido el valor de 1.5 por defecto.</li> </ol>

<b>N1 – NIVEL INTERMEDIO</b>	
<b>Datos necesarios:</b>	Longitud de tuberías rígidas Longitud de tuberías flexibles
<b>Metodología:</b>	Para este método se necesita como dato de entrada la longitud de

	<p>tubería tanto rígida como flexible. De esta manera aplicando un promedio ponderado, considerando para los km de tubería rígida 0.5 y para la tubería flexible 1.5, se obtiene un valor de N1. Como se muestra en la siguiente fórmula:</p> $N1 = \left( \frac{Lr * 0.5 + Lf * 1.5}{Lr + Lf} \right) \quad \text{EC. 5-1}$ <p>Siendo:</p> <p>Lr= longitud de tubería rígida (km)</p> <p>Lf= Longitud de tubería flexible (km)</p>
<b>Modo de uso:</b>	<p>Para utilizar este método se debe colocar en las columnas correspondientes las longitudes de cada tipo de tuberías en km, tanto rígidas como flexibles.</p>

<b>N1 – NIVEL AVANZADO</b>	
<b>Datos necesarios:</b>	<p style="text-align: center;">Longitud de tuberías rígidas</p> <p style="text-align: center;">Longitud de tuberías flexibles</p> <p style="text-align: center;">Diámetros de tuberías</p>
<b>Metodología:</b>	<p>Como método avanzado se propone hacer, además del promedio ponderado explicado en el método intermedio, una sub-clasificación dentro de cada tipo de tubería con respecto al diámetro de tubería.</p> <p>Se quiso incluir esta opción ya que las tuberías a pesar de estar dentro del grupo de rígidas o flexibles, tienden a ser más rígidas a menores diámetros y más flexibles a mayores diámetros.</p> <p>Como referencia se colocó el diámetro de 110mm, sin embargo, se puede clasificar con respecto a los diámetros que presente cada proyecto, así como también se puede modificar los valores de N1 con</p>

	<p>respecto a cada grupo.</p> <p>A continuación, fórmula empleada en el proyecto:</p> $N1 = \left( \frac{L1 * 1.2^* + L2 * 1.5^* + L3 * 0.5^* + L4 * 0.7^*}{L1 + L2 + L3 + L4} \right) \quad \text{EC. 5.2}$ <p>Siendo</p> <p>L1= Longitud de tubería flexible &lt;110 mm</p> <p>L2= Longitud de tubería flexible &gt;110 mm</p> <p>L3= Longitud de tubería rígida &lt;110 mm</p> <p>L4= Longitud de tubería rígida &gt;110 mm</p> <p><i>* Los valores de N1 mostrados en la fórmula son solo sugeridos.</i></p>
<p><b>Modo de uso:</b></p>	<p>Las filas de los valores de N1 de cada rango y del diámetro de referencia para la clasificación es un valor asumido que puede cambiar en cada proyecto. Si no se tiene información suficiente se puede utilizar los valores que vienen en el programa.</p> <p>Se debe colocar en las columnas correspondientes las longitudes de cada tipo de tuberías en km.</p>

<p align="center"><b>N1 – OTROS METODOS</b></p>	
<p><b>Datos necesarios:</b></p>	<p align="center">Dependiendo del método utilizado</p>
<p><b>Metodología:</b></p>	<p>Como alternativa a los métodos anteriores se colocó la opción de que el usuario pueda ingresar directamente los valores de N1 para cada DMA o sector.</p> <p>Uno de los posibles métodos a ser utilizados para la obtención de este parámetro es el ensayo “Pressure Step Test”, mismo que se encuentra descrito en el documento “Leakage Management Technologies”,</p>

	publicado por la AWWA Research Foundation.
<b>Modo de uso:</b>	Se debe calcular o estimar valores de N1. La forma de obtenerlo dependerá de cada usuario.  Se ingresa manualmente el valor para cada sector o DMA.

#### 5.4.4. NRR

El NRR es complicado de calcular y varios autores consideran metodologías distintas. En este proyecto se trató de incluir la mayor cantidad de metodologías para dar mayor flexibilidad al usuario.

#### PROYECTO

Al igual que para el parámetro N1, el programa presenta una ficha con el nombre de NRR. En esta ficha se encuentran diversas metodologías para el cálculo del NRR.

CODIFICACION: DATO DE ENTRADA DATO DE SALIDA VALOR SUGERIDO (EDITABLE)		NRR BÁSICO 1	NRR BÁSICO 2
ID DMA	NOMBRE DEL DMA	Valor de NRR asumido (m3/acom-año-año)	Periodo mediciones: 2 años Volumen de pérdidas reales (m3/año)   NRR (m3/acom-año-año) Año N   Año 1
-	-	0.00	-
-	-	0.00	-
-	-	0.00	-
-	-	0.00	-

ESQUEMA RED N1 NRR COSTES ELL GRAFICO ELL METODO 2

FIGURA 5-11 PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA NRR (1/2)

NRR MEDIO 1 y 2										NRR Avanzado		
Caudal por tipo de fuga (m3/h)										Pestaña Adicionales		
0.15 m3/h   1.00 m3/h   5.00 m3/h   0.15 m3/h   1.00 m3/h   5.00 m3/h												
Fugas encontradas durante 1 CAF	# de fugas tipo A	# de fugas tipo B	# de fugas tipo C	# de fugas tipo D	# de fugas tipo E	# de fugas tipo F	Flujo agregado de todos los caudales encontrados	Años	NRR (m3/h/año)	NRR (m3/acom-año-año)	NRR (m3/día-día)	NRR (m3/año-año)
	Tuberías			Acometidas								
0							0		-	-		0
0							0		-	-		0
0							0		-	-		0
0							0		-	-		0

ESQUEMA RED N1 NRR COSTES ELL GRAFICO ELL METODO 2 GRAFICO ELL METODO 1 ELAL RES. ELAL ANALISIS LA

FIGURA 5-12 PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA NRR (2/2)

Se han clasificado las metodologías según el nivel de información necesaria para su cálculo. Dicha clasificación se describe en las siguientes tablas, incluyendo además el método de aplicación.

<b>NRR – BÁSICO 1</b>	
<b>Datos necesarios:</b>	Opcional
<b>Metodología:</b>	<p>Teniendo en cuenta que los cálculos de NRR no son exactos se dejó la opción de poder ingresar un valor “asumido” para dar libertad al usuario de utilizar cualquier método que no se encuentre en el programa y simplemente ingresar el resultado.</p> <p>En el programa se encuentra como la opción más básica ya que no se debe ingresar ninguna otra información para obtenerla.</p>
<b>Modo de uso:</b>	Se debe ingresar el valor “asumido” en $m^3/(acom \cdot año \cdot año)$

<b>NRR – BÁSICO 2</b>	
<b>Datos necesarios:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volumen de fugas reales en 2 años distintos.</li> <li>- Número de años entre mediciones</li> </ul>
<b>Metodología:</b>	<p>El método planteado en este apartado es el llamado “Method 1” en el apéndice A de Lambert (2005). Consiste en calcular el NRR como la pendiente entre 2 volúmenes de pérdidas reales separadas por un periodo de tiempo de varios años. Los volúmenes mencionados se obtienen por medio de balances anuales de agua del sistema.</p> <p>Este método se presenta como básico 2 porque sirve para sistemas sin medición nocturna de caudales y que además no presenten control activo de fugas entre los años registrados.</p> <p>La fórmula utilizada es la siguiente:</p>

	$NRR = \frac{RL_1 - RL_N}{N}$ <p style="text-align: right;">EC. 5.3</p> <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- RL<sub>1</sub>: El volumen anual de fugas reales del sistema en el año 1 (actual).</li> <li>- RL<sub>N</sub>: El volumen anual de fugas reales del sistema en N años previos al año 1.</li> <li>- N: Número de años</li> </ul> <p>Se debe tener en cuenta que, si cambian, tanto el número de conexiones como la presión promedio, se debe ajustar el volumen del año "N" al número de conexiones y presión del año 1 (actual).</p> $\frac{L1}{L0} = \left(\frac{P1}{P0}\right)^{N1}$ <p style="text-align: right;">EC. 5.4</p> <p>Donde N1 es el exponente que relaciona la presión con las fugas y puede tomar valores en el rango de 0.5 a 2.5.</p> <p>L: Caudal fugado (m<sup>3</sup>/s)</p> <p>P: Presión de la red (mca)</p>
<p><b>Modo de uso:</b></p>	<p>Se deben llenar las celdas:</p> <p><u>Periodo entre años:</u> Valor en años del tiempo transcurrido entre ambas mediciones.</p> <p><u>Año 1:</u> Volumen anual de fugas reales del sistema en el año más reciente (actual) en m<sup>3</sup>/año.</p> <p><u>Año N:</u> Volumen anual de fugas reales del sistema en N años previos al año 1 en m<sup>3</sup>/año.</p> <p><u>NRR:</u> El programa calcula el NRR con la formula EC 5.6 y luego lo divide para el numero de acometidas de cada sector.</p>

<b>NRR – MEDIO 1 y 2</b>	
<b>Datos necesarios:</b>	<p><b>Medio 1:</b></p> <p>Un control activo de fugas (CAF):</p> <p>Se necesita las fugas encontradas clasificadas por caudal promedio y en qué parte de la infraestructura se encuentran (red principal o acometidas).</p> <p><b>Medio 2:</b></p> <p>Dos o más controles activo de fugas (CAF):</p> <p>Se necesita las fugas encontradas clasificadas por caudal promedio y en qué parte de la infraestructura se encuentran (red principal o acometidas).</p> <p>Con sucesivas intervenciones al 100%</p>
<b>Metodología:</b>	<p>Igual que el método anterior, estos se encuentran descritos en el Apéndice A de Lambert (2005), por el nombre “Method 2A” y “Method 2B”. No necesitan medición de caudales nocturnos.</p> <p>Para poder aplicar estos métodos se debe tener las fugas registradas en el “control activo” clasificadas con respecto al caudal promedio y al lugar donde se encuentran. La idea es asignar un caudal promedio a cada tipo de fuga encontrada para contabilizar el volumen fugado promedio actual.</p> <p>Para el proyecto se dejó 3 clasificaciones (A, B y C) para tuberías y 3 (D, E y F) para acometidas, sin embargo, esto puede ser modificado dependiendo de la información que se tenga disponible.</p> <p>El volumen total fugado se lo divide para un periodo de tiempo estimado en el que se cree que se acumularon las fugas y así obtener el valor de NRR.</p> <p>La fórmula empleada es:</p>

	$NRR = \frac{(Q_1 * A) + \dots + (Q_6 * F)}{N} \times 8760$ <p style="text-align: right;">EC. 5.5</p> <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>Q_{1-2-3}</math>= Caudal para fugas tipo A, B y C en tuberías respectivamente (m<sup>3</sup>/h)</li> <li>- <math>Q_{4-5-6}</math>= Caudal para fugas tipo D, E y F en acometidas respectivamente (m<sup>3</sup>/h)</li> <li>- A, B y C = Número de fugas registradas de cada tipo en tuberías</li> <li>- D, E y F = Número de fugas registradas de cada tipo en acometidas</li> <li>- N = Número de años en los cuales se acumularon estas fugas.</li> </ul>
<p>Modo de uso:</p>	<p>Se deben llenar las celdas:</p> <p><u>Caudal por tipo de fuga:</u></p> <p>Esta sección representa el caudal promedio por cada tipo de fuga encontrada en el CAF. Estos valores se encuentran en el trabajo como <i>Datos Sugeridos</i>, sin embargo, pueden ser editados si el usuario lo considera necesario. Se deben ingresar en m<sup>3</sup>/h</p> <p><u># de fugas Tipo "A-F":</u></p> <p>Estos valores representan el número de fugas que se han encontrado en el último CAF realizado en cada DMA o sector. El programa realiza la suma de estas fugas de forma que el usuario pueda comprobar que se han ingresado el total de fugas encontradas.</p> <p><u>Años:</u></p> <p><i>Si se trabaja el Medio 1:</i> Los años que se deben ingresar son valores estimados de tiempo en los cuales se cree que se han acumulado estas fugas. Una condición importante es que durante ese lapso no se haya realizado ningún tipo de control activo de fugas.</p> <p><i>Si se trabaja el Medio 2:</i> Los años son el periodo de tiempo entre los CAF realizados. Se debe tener en consideración que el control activo de fugas debe realizar intervenciones al 100%.</p>

<b>NRR – AVANZADO</b>	
<b>Datos necesarios:</b>	Dependiendo del método que se desee emplear
<b>Metodología:</b>	<p>El programa presenta la opción de ingresar el valor de NRR calculado por otros métodos.</p> <p>Como anexo se incluyen plantillas para los métodos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Caudales nocturnos</li> <li>- Volumen mensual o diario.</li> </ul> <p>Uno de los mayores inconvenientes de estos métodos es que se debe realizar un cálculo individual para cada DMA o sector, esto significa usar una plantilla por cada uno.</p>
<b>Modo de uso:</b>	<p>La idea de las plantillas presentadas en el proyecto es que el usuario cree un número de copias (de preferencia en otro documento de Excel) igual al número de DMAs o sectores que tenga en el programa, para así poder realizar un cálculo individual para cada uno.</p> <p>Otra opción es realizar un cálculo general para todo el sector evaluado y asumir que todos lo DMA presentan fugas con el mismo ratio NRR. Sin embargo, esto solo es recomendable dentro de sectores que presenten características similares, como presión promedio, fechas de instalación de tuberías y acometidas similares o dentro de un rango aceptable, etc. Es poco realista asumir que un sector que presenta presiones promedio altas o que sus tuberías son relativamente nuevas, presente fugas a la misma velocidad que un sector antiguo o con presiones bajas.</p> <p><b>NOTA:</b> Al asumir un mismo ratio de aumento de fugas, se debe tener en cuenta que este debe estar relacionado al tamaño de cada sector. Es decir, se puede considerar el mismo NRR [<math>m^3/(acom \cdot día \cdot día)</math>] o NRR [<math>m^3/(km \cdot día \cdot día)</math>] pero no el mismo NRR [<math>m^3/(día \cdot día)</math>].</p>

A continuación, se describen las formas de utilizar las plantillas “caudales nocturnos” y “volumen mensual o diario”

NRR POR MÉTODO DE CAUDALES NOCTURNOS

<b>NRR - CAUDALES NOCTURNOS</b>	
<b>Datos necesarios:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudales medidos a cada hora de la noche (m<sup>3</sup>/h) [Periodo: 1 año]</li> <li>- Población aproximada</li> <li>- Presiones medidas a cada hora de la noche (mca) [Periodo: 1 año]</li> <li>– Opcional</li> </ul>
<b>Metodología:</b>	<p>Este método se encuentra descrito en el Apéndice A de Lambert (2005), por el nombre “Method 3” y en el artículo de Taha Al-Washai (2016)</p> <p>Se utiliza la fórmula:</p> $NMF = MNF - LNF \quad \text{EC. 5.6}$ <p><i>NMF</i>: Net Night Flow o caudal neto nocturno (m<sup>3</sup>/h)  <i>MNF</i>: Minimum Night Flow o caudal nocturno a hora de mínima demanda (m<sup>3</sup>/h)  <i>LNF</i>: Legitimate Night Flow o caudal nocturno consumido (m<sup>3</sup>/h)</p> <p>El caudal nocturno consumido se lo considera como un estimado de 6% de población activa usando un baño (aproximadamente 10 l).</p> <p>Como las pérdidas dependen de la presión, y este caudal está calculado para el momento de máxima presión en la noche, se debe multiplicar este valor por un coeficiente día-noche (NDF). Este se puede calcular por la siguiente ecuación:</p> $NDF = 24 * \left( \frac{P_{prom}}{P_{max}} \right) \quad \text{EC. 5.7}$ <p><i>NDF</i>: Night Day Factor o Factor Día Noche (h/d)</p>

	<p><i>Pprom</i>: Presión promedio del día (mca)</p> <p><i>Ppmax</i>: Presión a la hora de mínimo consumo (mca)</p> <p>Otra opción es asumir un coeficiente NDF:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- NDF ≤ 24 (h/d): Redes con suministro a gravedad</li> <li>- NDF = 12 (h/d): Redes con suministro con poca presión y grandes pérdidas de fricción</li> <li>- 24 &lt; NDF ≤ 36 (h/d): Redes con suministro presión directa.</li> </ul> <p>Aplicando la fórmula 5.1 se obtiene el volumen diario de pérdidas de la red.</p> $V = NNF * NDF \qquad \text{EC. 5.8}$ <p><i>V</i>: Volumen Diario de Pérdidas en la red. (m<sup>3</sup>)</p> <p><i>NNF</i>: Net Night Flow o caudal neto nocturno (m<sup>3</sup>/h)</p> <p><i>NDF</i>: Night Day Factor o Factor Día Noche (h/d)</p> <p>Luego de obtener el volumen para cada día del año, y asegurándose de que todas estén calculadas con la misma presión promedio, se puede graficar la línea de tendencia de estos caudales, misma que representa el NRR del sector.</p> <p>Este método es muy poco práctico para la obtención del NRR.</p>
<p><b>Modo de uso:</b></p>	<p>Se deben llenar las celdas de la siguiente manera:</p> <p><u>Población</u>: Población aproximada del sector.</p> <p><u>Uso</u>: Se recomienda 10 l por uso del baño.</p> <p><u>% activo</u>: Se considera 6% de la población activa en las noches</p> <p><u>NDF asumido</u>: Se llena solo en caso de necesitarse.</p> <p>El programa permite ingresar los caudales y presiones medidas por hora, para llenar automáticamente los siguientes parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal mínimo</li> <li>- Hora mínimo consumo</li> <li>- Presión máxima</li> </ul>

	<p>- Presión promedio</p> <p><u>Caudal consumido estimado:</u></p> $LNF: uso * habitantes * \% activo \quad EC. 5.9$ <p><u>NDF Calculado:</u> Calculado con la fórmula 5.10</p> <p><u>NNF:</u> Calculado con la fórmula 5.9</p> <p><u>Vol. Fugado calculado:</u> Calculado con la fórmula 5.11</p> <p><u>Vol. Fugado ajustado:</u> De existir un cambio de presión promedio, se deben ajustar a la presión actual.</p> $\frac{Vol. Ajustado}{Vol. Calculado} = \left( \frac{Presion Actual}{Presion Anterior} \right)^{N1} \quad EC. 5.10$ <p><u>Vol. Fugado:</u> Se debe seleccionar si se graficará con el volumen fugado calculado o ajustado. Este gráfico se encuentra en la ficha “Q nocturnos- Gráfico”.</p> <p>El valor de NRR [m<sup>3</sup>/(día·día)] que se debe ingresar en el programa es la pendiente de este gráfico.</p> <p><b>NOTA:</b> El valor de NRR se debe obtener de cada sector. Si se quiere considerar el mismo para todos los sectores se debe dividir este valor ya sea para el número de acometidas o km de red del sector real donde fue calculado y luego multiplicarlo por el número de acometidas o km de red del sector donde se lo usará.</p>
--	---

#### NRR POR METODO DE VOLUMEN MENSUAL

<b>NRR – VOLUMEN MENSUAL</b>	
<b>Datos necesarios:</b>	Volumen inyectado mensual (m <sup>3</sup> ) [Periodo: 1 año] Volumen facturado mensual (m <sup>3</sup> ) [Periodo: 1 año]
<b>Metodología:</b>	Este método considera que el volumen consumido se mantendrá más o menos constante y por ende el aumento de volumen inyectado al

	<p>mes se deberá al aumento de fugas. La pendiente obtenida del incremento de este volumen mensual representa el NRR [<math>m^3/(\text{mes}\cdot\text{mes})</math>].</p> <p>Es un método sencillo y fácil de aplicar, sin embargo, tiene el inconveniente de que debe ser calculado para cada sector de manera individual.</p>
<p>Modo de uso:</p>	<p><u>Volumen inyectado mensual:</u> Se debe ingresar el volumen que fue inyectado al sector por mes. (<math>m^3</math>)</p> <p><u>Volumen facturado mensual:</u> Se debe ingresar el valor del volumen de agua que fue facturada en cada mes (<math>m^3</math>).</p> <p><u>Línea de tendencia:</u> La línea de tendencia se obtiene automáticamente. De no aparecer directamente se debe hacer clic derecho al gráfico y agregar la línea de tendencia del tipo lineal.</p> <p><u>Conversión de unidades:</u> El valor del NRR es la pendiente obtenida en la línea de tendencia.</p> <p><b>NOTA:</b> El valor de NRR se debe obtener de cada sector. Si se quiere considerar el mismo para todos los sectores se debe dividir este valor ya sea para el número de acometidas o km de red del sector real donde fue calculado y luego multiplicarlo por el número de acometidas o km de red del sector donde se lo usará.</p> <p>Para facilitar este cálculo se incluyó una celda donde se coloca el número de acometidas del sector real. Luego en la tabla que se encuentra a la derecha se debe colocar las acometidas correspondientes a los sectores donde se asumirá el mismo NRR [<math>m^3/(\text{día}\cdot\text{día})</math>]. Este es el valor, por sector, que se debe ingresar en el programa.</p>

De manera similar a este cálculo se puede hacer realizar con volúmenes diarios, graficando la tendencia de aumento. Este valor de pendiente se obtendría

directamente [m<sup>3</sup>/(día-día)]. De igual manera se debe dividir para el número total de acometidas y luego multiplicarlo por el número de acometidas de cada sector.

#### 5.4.5. COSTES

Uno de los parámetros más importantes en el cálculo del nivel económico de fugas notificadas es el coste, tanto de inspección de la red como marginal del agua. En el siguiente apartado se muestra cómo utilizar la ficha de cálculo “Costes” y su respectiva metodología.

#### COSTE MARGINAL O VARIABLE DEL AGUA

El programa presenta una celda donde se debe colocar el coste marginal del agua. Por lo general este valor es dato del abastecimiento.

#### COSTE DE INSPECCION DE LA RED

A continuación, se describe el uso de la herramienta para el cálculo del coste de inspección de la red.

#### PROYECTO

CODIFICACION:		RESUMEN				UNIDAD MONETARIA				
DATO DE ENTRADA		Coste Marginal del agua (USD/m <sup>3</sup> )				USD - United States				
DATO DE SALIDA		Coste de inspeccion (USD/día)				Dólar				
VALOR SUGERIDO (EDITABLE)										
Días laborables al año		250				Grupo de trabajo				
						Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	
Equipo	Coste	Costo de mantenimiento	Vida util	Coste total	Coste amortizado por día laborable					
	(USD)	(% del coste del equipo)	(Años)	(USD)	(USD)					
						0,00	0,00	0,00	0,00	
ESQUEMA		RED	N1	NRR	<b>COSTES</b>	ELL	ANALISIS LARGO PLAZO	ANALISIS tipo 1	GRAF.1 SECTOR	GRAF. RED TOTAL

FIGURA 5-13 PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA COSTES (1/2)

Grupos de trabajo Actualmente activos	Coste (USD/día)	Longitud de red inspeccionada diaria (km/día)
Activos		

Resultados	Coste	Unidades
Coste diario de inspeccion		USD/día
Coste totales por km inspeccionado		USD/km

► ESQUEMA RED N1 NRR **COSTES** ELL ANALISIS LARGO PLAZO

FIGURA 5-14 PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA COSTES (2/2)

En la parte superior de la ficha se presenta el resumen de los 2 tipos de coste.

<b>Coste Marginal del agua (USD/m<sup>3</sup>)</b>	Este valor debe ser ingresado manualmente.
<b>Coste de inspección (USD/día)</b>	Valor calculado automáticamente por la ficha. La metodología de cálculo se presenta a continuación.

### CÁLCULO DEL COSTE DE INSPECCIÓN

La ficha de los costes está elaborada de manera que se pueda ingresar todos los posibles equipos a ser utilizados en un Control Activo de Fugas. La tabla de los equipos incluye lo siguiente:

<b>Días laborables al año</b>	Se debe ingresar el número de días laborables al año. El programa por defecto presenta el valor de 250 días. Se considera un solo valor para todo el análisis.
<b>Equipo</b>	Nombre del equipo, maquinaria, vehículo, etc. a ser utilizado en el CAF.  También se debe ingresar el personal que participará en los grupos de trabajo.
<b>Coste (USD)</b>	Precio de los equipos utilizados. En el caso del personal se debe colocar el sueldo anual por cada trabajador.

<b>Coste de manteniendo (% del coste del equipo)</b>	Coste anual del mantenimiento del equipo expresado en porcentaje del precio de compra. En el caso del personal esta celda se queda en blanco.
<b>Vida útil (Años)</b>	Años de vida útil de los equipos. En el caso del personal esta celda se queda en blanco.
<b>Coste total (USD)</b>	$(C_{equip} + C_{mant})$ <p style="text-align: right;">EC. 5.11</p> <p><i>C<sub>equip</sub></i>: Coste de equipos  <i>C<sub>mant</sub></i>: Coste de mantenimiento</p> <p>En el caso del personal esta celda contiene el mismo valor que la celda "Coste".</p>
<b>Coste amortizado por día laborable (USD)</b>	$\left[ \frac{Coste\ Total}{Años\ de\ vida\ útil * dias\ lab.\ al\ año} \right]$ <p style="text-align: right;">EC. 5.12</p> <p>En el caso del personal es solo el coste total dividido para el número de días laborables al año.</p>

Luego de ingresar los equipos se puede obtener los costes totales de distintos grupos de trabajo. Sin embargo, el cálculo final permite colocar solo 1 valor de grupo de trabajo y su respectivo rendimiento.

<b>Grupos de trabajo actualmente activos</b>	Simplemente en una referencia sobre el grupo de trabajo que se esté analizando. Por ejemplo, si se está realizando una inspección con geófono se puede colocar como nombre de referencia "Grupo Geófono".
<b>Coste (USD/día)</b>	Coste de inspección total del grupo de trabajo por día.

<b>Longitud de red inspeccionada diaria  (km/día)</b>	<b>Rendimiento del grupo de trabajo.</b>
---	--

Una vez colocados estos valores, se procede al cálculo de los costes totales por km inspeccionado.

$$CI = \frac{CDI}{Rend} \quad \text{EC. 5.13}$$

*CI*: Coste total por km inspeccionado (USD)

*CDI*: Coste diario de inspección (USD/día)

*Rend*: Rendimiento o longitud de red inspeccionada al día (km/día)

Como ya se mencionó antes, este resultado, junto con el coste marginal del agua se presentan como resumen en la parte superior de la ficha.

#### 5.4.6. CÁLCULO DEL ELL

#### FUGAS POR ROTURAS NO NOTIFICADAS

CODIFICACION: DATO DE ENTRADA DATO DE SALIDA VALOR SUGERIDO (EDITABLE)		Fugas por roturas no notificadas							
		Escoger nivel de cálculo: Avanzado		Pestañas con la información:					
DMA Number	DMA Name	NRR	RED	COSTES	COSTES	COSTES	Frecuencia Económica de intervención ("EIF") (Años)	% Económico del sistema a ser inspeccionado al año ("EP")	Nivel Económico de Perdidas Reales ("EURL") (m3)
Indice Natural de Aumento de Fugas NRR (m3/año/año)	Longitud de tubería (km)	Rendimiento (km/día)	Coste (USD/día)	Coste del agua ("CV") (USD/m3)	Coste de intervención ("CI") (USD)				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ESQUEMA RED N1 NRR COSTES ELL ANALISIS LARGO PLAZO ANALISIS tipo 1 GRAF.1 SECTOR GRAF. RED TOTAL

FIGURA 5-15 PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA ELL- FUGAS NO NOTIFICADAS

Esta parte el único dato que se debe ingresar es el nivel de cálculo del NRR. El resto de los valores los calcula el programa.

<p><b>Escoger nivel de cálculo</b></p>	<p>En esta celda se debe seleccionar el tipo de cálculo del NRR, según los métodos ya mencionados en el apartado 5.3.5:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Básico 1</li> <li>- Básico 2</li> <li>- Medio</li> <li>- Avanzado</li> </ul>
<p><b>Índice Natural de Aumento de Fugas NRR [m<sup>3</sup>/(año·año)]</b></p>	<p>Esta columna se rellenará automáticamente con respecto al nivel de cálculo seleccionado en la celda superior y al ID DMA. Este valor se obtiene de la ficha NRR.</p>
<p><b>Longitud de tubería (km)</b></p>	<p>Estas columnas se rellenarán automáticamente con respecto al ID DMA y la información ingresada en la ficha RED.</p>
<p><b>Rendimiento (km/día)</b></p>	
<p><b>Coste (USD/día)</b></p>	
<p><b>Coste del agua ("CV") (USD/m<sup>3</sup>)</b></p>	
<p><b>Coste de intervención ("CI") (USD)</b></p>	$CI = Long * \left( \frac{Coste}{Rendimiento} \right) \quad EC. 5.14$ <p><i>Long.:</i> Longitud total de tuberías en el sector (km)  <i>Coste:</i> Coste de inspección por día (USD/día)  <i>Rendimiento:</i> Kilómetros de tubería inspeccionada al día (km/día)</p>
<p><b>Frecuencia Económica de intervención ("EIF") (Años)</b></p>	$EIF = \sqrt{\left( \frac{2 * CI}{CV * NRR} \right)} \quad EC. 5.15$ <p><i>CI:</i> Coste de intervención (USD/m<sup>3</sup>)  <i>CV:</i> Coste del agua (USD/m<sup>3</sup>)</p>

	$NRR: \text{Índice Natural de Aumento de Fugas [m}^3/(\text{año}\cdot\text{año})]$
<b>% Económico del sistema a ser inspeccionado al año ("EP")</b>	$EP = \frac{100}{EIF}$ <p style="text-align: right;">EC. 5.16</p> <p><i>EIF</i>: Frecuencia Económica de Intervención (Años)</p>
<b>Nivel Económico de Pérdidas Reales ("EURL") (m<sup>3</sup>)</b>	$EURL = \frac{EP * CI}{CV}$ <p style="text-align: right;">EC. 5.17</p> <p><i>EP</i>: Económico del sistema a ser inspeccionado al año (%)  <i>CI</i>: Coste de intervención (USD/m<sup>3</sup>)  <i>CV</i>: Coste del agua (USD/m<sup>3</sup>)</p>

**FUGAS POR ROTURAS NOTIFICADAS**

Fugas por roturas notificadas

<b>CODIFICACION:</b>
DATO DE ENTRADA
DATO DE SALIDA
VALOR SUGERIDO (EDITABLE)

Escoger	Escoger	Escoger
nivel de	valores* de	valores* de
Avanzado	Referencia	Referencia

\*Opciones disponibles en ficha "RED"

DMA Number	DMA Name
-	-
-	-
-	-
-	-

Pestañas con la información:						
RED	RED	RED	N1			
Roturas por año en tuberías	Roturas por año en acometidas	Presion promedio (mca)	N1	Volumen anual fugado por tuberías en roturas notificadas (m3/año)	Volumen anual fugado por acometidas en roturas notificadas (m3/año)	Volumen anual de fugas por roturas notificadas (m3/año)
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

**FIGURA 5-16 PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA ELL- FUGAS NOTIFICADAS**

Esta parte los únicos datos que se deben ingresar son: el nivel de cálculo del N1 y los valores de referencia mínima de fugas en tuberías y acometidas. El resto de los valores los calcula el programa.

<b>Escoger nivel de cálculo</b>	En esta celda se debe seleccionar el tipo de cálculo del N1, según los métodos ya mencionados en el apartado 5.3.6:
---------------------------------	---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Básico Lineal</li> <li>- Básico Aproximada</li> <li>- Básico Seguridad</li> <li>- Intermedio</li> <li>- Avanzado</li> <li>- Otros</li> </ul>
<b>Escoger valores de referencia a 50 mca</b>	<p>En ambas celdas se debe seleccionar si los valores de referencia mínima a 50 mca, las opciones se encuentran detalladas en la ficha RED:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Referencia: Valores dados por la fórmula</li> <li>- Calculados: Valores dados por el usuario</li> </ul>
<b>Roturas por año en tuberías</b>	<p>Estas columnas se rellenarán automáticamente con respecto al ID DMA y la información ingresada en la ficha RED.</p>
<b>Roturas por año en acometidas</b>	
<b>Presión promedio (mca)</b>	
<b>N1</b>	<p>Esta columna se rellenará automáticamente con respecto al nivel de cálculo seleccionado en la celda superior.</p>
<b>Volumen anual fugado por roturas notificadas en tuberías (m<sup>3</sup>/año)</b>	$V_{FR.tub} = \left( \frac{P_{prom}}{P_{ref}} \right)^{N1} * [A * N_{rot. tub}] \quad \text{EC. 5.18}$ <p><math>P_{prom}</math>: Presión promedio (mca)  <math>P_{ref}</math>: Presión de referencia, (50 mca)  <math>A</math>: Caudal fugado promedio por rotura en tuberías a una presión de referencia de 50 mca (m<sup>3</sup>/rot).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Si se ha seleccionado “referencia”, este valor es igual a 864 m<sup>3</sup>/rot.</li> <li>- Si se ha seleccionado “calculado”, este valor dependerá del ingresado en la fichas RED</li> </ul> <p><math>N_{rot. tub}</math>: Número de roturas al año (rot/año)</p>
<b>Volumen anual fugado por roturas notificadas en</b>	$V_{FR.acom} = \left( \frac{P_{prom}}{P_{ref}} \right)^{N1} * [B * N_{rot. acom}] \quad \text{EC. 5.19}$

<b>acometidas (m<sup>3</sup>/año)</b>	<p><math>P_{prom}</math>: Presión promedio (mca)</p> <p><math>P_{ref}</math>: Presión de referencia, (50 mca)</p> <p><math>B</math>: Caudal fugado promedio por rotura en acometidas a una presión de referencia de 50 mca (m<sup>3</sup>/rot).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Si se ha seleccionado “referencia”, este valor es igual a 307.2 (m<sup>3</sup>/rot).</li> <li>- Si se ha seleccionado “calculado”, este valor dependerá del ingresado en la fichas RED</li> </ul> <p><math>N_{rot. acom}</math>: Número de roturas al año (rot/año)</p>
<b>Volumen anual de fugas por roturas notificadas (m<sup>3</sup>/año)</b>	<p style="text-align: right;"><math>V_{FR} = V_{FR.tub} + V_{FR.acom}</math> <span style="float: right;">EC. 5.20</span></p> <p><math>V_{FR.tub}</math>: Volumen anual fugado por roturas notificadas en tuberías. (m<sup>3</sup>/año)</p> <p><math>V_{FR.acom}</math>: Volumen anual fugado por roturas notificadas en acometidas. (m<sup>3</sup>/año)</p>

### FUGAS DE FONDO

<b>CODIFICACION:</b>		<b>Fugas de fondo</b>						
DATO DE ENTRADA		Escoger nivel de Basico-Seg.		Ref a 50 mca (20 l/km/h)		Ref a 50 mca (1.25 l/acom/h)		
DATO DE SALIDA								
VALOR SUGERIDO (EDITABLE)								
		<b>Pestañas con la información:</b>						
		RED	RED	RED	N1			
DMA Number	DMA Name	Longitud de tuberías (km)	Número de acometidas	Presión promedio (mca)	N1	Volumen anual por fugas de fondo en tuberías (m3/año)	Volumen anual por fugas de fondo en acometidas (m3/año)	Volumen anual de fugas de fondo (m3/año)
-	-	-	-	-	1.50	-	-	-
-	-	-	-	-	1.50	-	-	-
-	-	-	-	-	1.50	-	-	-

**FIGURA 5-17** PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA ELL- FUGAS DE FONDO

Esta parte el único dato que se debe ingresar es el nivel de cálculo del N1. El resto de los valores los calcula el programa.

<p><b>Escoger nivel de cálculo</b></p>	<p>En esta celda se debe seleccionar el tipo de cálculo del N1, según los métodos ya mencionados en el apartado 5.3.6:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Básico Lineal</li> <li>- Básico Aproximada</li> <li>- Básico Seguridad</li> <li>- Intermedio</li> <li>- Avanzado</li> <li>- Otros</li> </ul> <p>No es necesario que se escoja el mismo nivel de cálculo de N1 para fugas por roturas notificadas y fugas de fondo.</p>
<p><b>Valores de referencia a 50 mca</b></p>	<p>En ambas celdas se muestran los valores de referencia mínima a 50 mca.</p> <p>Para tuberías: 20 l/km/h    Para acometidas: 1.25 l/acom/h</p>
<p><b>Longitud de tuberías (km)</b></p>	<p>Estas columnas se rellenarán automáticamente con respecto al ID DMA y la información ingresada en la ficha RED.</p>
<p><b>Número de acometidas</b></p>	
<p><b>Presión promedio (mca)</b></p>	
<p><b>N1</b></p>	<p>Esta columna se rellenará automáticamente con respecto al nivel de cálculo seleccionado en la celda superior.</p>
<p><b>Volumen anual de fugas de fondo en tuberías (m<sup>3</sup>/año)</b></p>	$V_{FFtub} = 8.76 * \left( \frac{P_{prom}}{P_{ref}} \right)^{N1} * [A * L_r] \quad \text{EC. 5.21}$ <p><math>P_{prom}</math>: Presión promedio (mca)  <math>P_{ref}</math>: Presión de referencia, (50 mca)  <math>A</math>: Caudal fugado promedio por km de tuberías a una presión de referencia de 50 mca (20 l/km-h).  <math>L_r</math>: Longitud total de tuberías en el sector (km)</p>
<p><b>Volumen anual de fugas de fondo en acometidas</b></p>	$V_{FFacom} = 8.76 * \left( \frac{P_{prom}}{P_{ref}} \right)^{N1} * [B * N_{acom}] \quad \text{EC. 5.22}$

<b>(m<sup>3</sup>/año)</b>	$P_{prom}$ : Presión promedio (mca) $P_{ref}$ : Presión de referencia, (50 mca) $B$ : Caudal fugado promedio por acometida a una presión de referencia de 50 mca (1.25 l/acom-h). $N_{acom}$ : Número total de acometidas en el sector
<b>Volumen anual de fugas de fondo (m<sup>3</sup>/año)</b>	$V_{FF} = V_{FF.tub} + V_{FF.acom}$ <p style="text-align: right;">EC. 5.23</p> $V_{FF.tub}$ : Volumen anual de fugas de fondo en tuberías. (m <sup>3</sup> /año) $V_{FF.acom}$ : Volumen anual de fugas de fondo en acometidas. (m <sup>3</sup> /año)

NIVEL ECONOMICO DE FUGAS (ELL) METODO 1

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">CODIFICACION:</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">DATO DE ENTRADA</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">DATO DE SALIDA</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">VALOR SUGERIDO (EDITABLE)</td></tr> </table>		CODIFICACION:	DATO DE ENTRADA	DATO DE SALIDA	VALOR SUGERIDO (EDITABLE)	<div style="background-color: yellow; padding: 5px; border: 1px solid black; text-align: center;"> <b>F. NO NOTIFICADAS + F. NOTIFICADAS + F. DE FONDO</b> </div>										
CODIFICACION:																
DATO DE ENTRADA																
DATO DE SALIDA																
VALOR SUGERIDO (EDITABLE)																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">DMA Number</th> <th style="width: 65%;">DMA Name</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">-</td><td style="text-align: center;">-</td></tr> </tbody> </table>	DMA Number	DMA Name	-	-	-	-	-	-	-	-	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;"> <b>ELL (m3)</b> </td> </tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> </table>	<b>ELL (m3)</b>				
DMA Number	DMA Name															
-	-															
-	-															
-	-															
-	-															
<b>ELL (m3)</b>																

FIGURA 5-18 PANTALLA DEL PROGRAMA. FICHA ELL- ELL METODO 1

<b>(EURL)</b>  <b>F. NO NOTIFICADAS</b>  <b>+</b>  <b>F. NOTIFICADAS</b>  <b>+</b>  <b>F. DE FONDO</b>  <b>(m<sup>3</sup>/año)</b>	Este valor se obtiene con las suma de los 3 volúmenes anuales de fugas:  <ul style="list-style-type: none"> <li>- Volumen anual de fugas de fondo (m3/año)</li> <li>- Volumen anual de fugas por roturas notificadas (m<sup>3</sup>/año)</li> <li>- Nivel Económico de Pérdidas Reales ("EURL") (m<sup>3</sup>/año)</li> </ul>
--	--



<p><b>(EURL)</b></p> <p><b>F. NO NOTIFICADAS</b></p> <p><b>+</b></p> <p><b>(UARL)</b></p> <p><b>FUGAS REALES ANUALES INEVITABLES</b></p> <p><b>(m<sup>3</sup>/año)</b></p>	<p>Este valor se obtiene con la suma de los 2 volúmenes anuales de fuga:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fugas Reales Anuales Inevitables "UARL"</li> <li>- Nivel Económico de Pérdidas Reales ("EURL") (m<sup>3</sup>/año):</li> </ul>
--	--

#### 5.4.7. GRÁFICO ELL- METODO 1

Con la intención de hacer más visual los resultados obtenidos en el cálculo del ELL, se incluye también en la herramienta una ficha que presenta el gráfico de COSTES VS. VOLUMEN DE AGUA FUGADA (m<sup>3</sup>) para el método 1.

Para la realización de esta gráfico se consideró lo siguiente:

1. Las fugas de fondo se mantienen constantes con respecto a los costes.
2. Las fugas por rotura notificadas también se mantienen constantes.
3. Para poder obtener la curva de las fugas de no notificadas (EURL) se mantiene igual los valores de NRR, longitud de red, rendimiento, coste por día de inspección y coste marginal del agua.
4. Variando el periodo de intervención se calcula los costes anuales de intervención y el volumen de agua fugada (para cada periodo).
5. Para obtener la curva de costes totales se suma el coste anual de intervención (de cada periodo de inspección) con el coste marginal del volumen de agua fugado asociado a ese periodo.

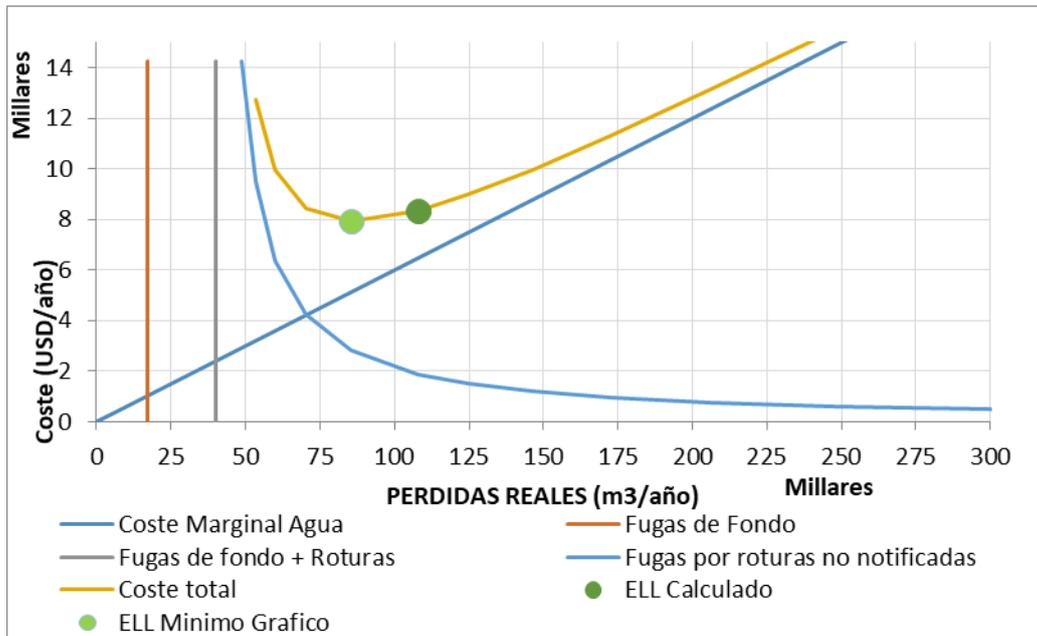


FIGURA 5-20 PANTALLA DEL PROGRAMA. GRÁFICO ELL-MÉTODO 1

El programa automáticamente genera el gráfico, sin embargo, en cada caso de estudio se debe editar el rango de valores en los ejes X y Y.

Como se puede observar en la figura 5-20, el gráfico presenta 2 puntos de ELL, uno calculado y el otro es el mínimo obtenido del gráfico. Esto se debe a que al momento de considerar el volumen de fugas de fondo y por roturas notificadas, el valor ELL calculado se desplaza un poco del punto mínimo de la curva. A pesar de ello, no se considera que el valor calculado sea incorrecto, ya que este se encuentra en la zona baja de la curva.

#### 5.4.8. GRÁFICO ELL- METODO 2

De igual manera se realizó el gráfico para el método 2. La principal diferencia de estos es que, al momento de sumar los distintos tipos de fugas, este solo considera el EURL y el UARL.

La curva del EURL se la obtuvo como se describe en el apartado anterior.

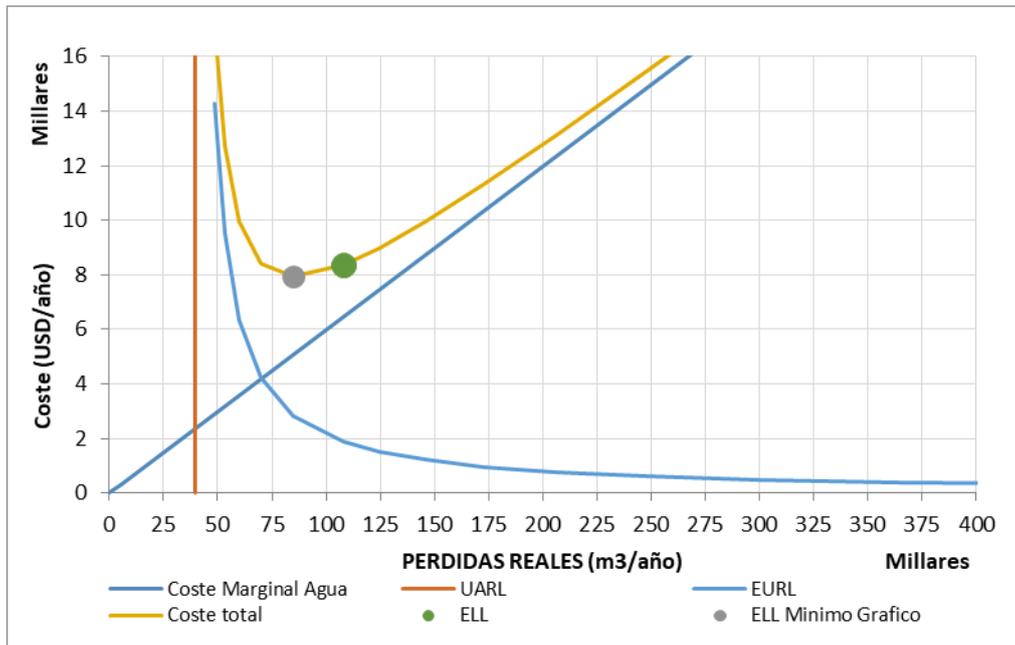


FIGURA 5-21 PANTALLA DEL PROGRAMA. GRÁFICO ELL-MÉTODO 2

#### 5.4.9. ANÁLISIS A LARGO PLAZO

Una vez calculado el ELL se puede proceder al análisis a largo plazo. El programa permite analizar cambios en los siguientes aspectos de la red:

- Cambios en la longitud de la red
- Cambios en el número y longitud de acometidas
- Aumento o disminución de la presión promedio
- Variación en los rendimientos de los grupos de trabajo
- Cambio en los costes

Los datos se deben ingresar en porcentaje. Este valor representa el aumento o disminución, según el signo con el que se lo ingrese, de las variables con respecto al año anterior. El programa realiza un análisis de un periodo entre 2 y 40 años. Sin embargo, se recomienda usar 20 años en la mayoría de los casos y valores máximos de 30 o 35 años, en casos en los que la inversión es muy alta y no se puede recuperar en periodos menores.

Como se muestra en la figura 5.22 las variables se encuentran agrupadas de acuerdo con el tipo de fuga que influyen.

Para evitar errores al ingresar los datos, cuando la variable se repite, no permite ingresar un nuevo valor y toma automáticamente del anterior.

<b>CODIFICACION:</b>			
DATO DE ENTRADA			
DATO DE SALIDA			
VALOR SUGERIDO (EDITABLE)			

<b>PERIODO DE ANALISIS</b>	20 años
----------------------------	---------

F. NO NOTIFICADAS+ F. NOTIFICADAS+ F. DE FONDO	<b>ANALISIS tipo 1</b>
EURL+UURL	<b>ANALISIS tipo 2</b>

<b>RESTRICCIONES</b>	
	<b>min      max</b>
El programa solo permite mejoras en presion en el rango de:	15 mca    25 mca

<b>FUGAS POR ROTURAS NO NOTIFICADAS</b>	
Longitud de tubería (km)	0.00%
Rendimiento (km/día)	0.00%
Coste (USD/día)	0.00%

<b>FUGAS POR ROTURAS NOTIFICADAS</b>	
Presión promedio (mca)	0.00%

<b>FUGAS DE FONDO</b>	
Longitud de tuberías (km)	0.00%
Numero de acometidas	0.00%
Presión promedio (mca)	0.00%

<b>FUGAS REALES ANUALES INEVITABLES "UURL"</b>	
Longitud de tuberías (km)	0.00%
Longitud de acometidas (km)	1.00%
Número de acometidas	0.00%
Presión promedio (mca)	0.00%

GRAFICO ELL METODO 1 / GRAFICO ELL METODO 2 / **ANALISIS LARGO PLAZO** / ANALISIS tipo 1 / GRAF.1 SECTOR

FIGURA 5-22 PANTALLA DEL PROGRAMA. ANALISIS LARGO PLAZO

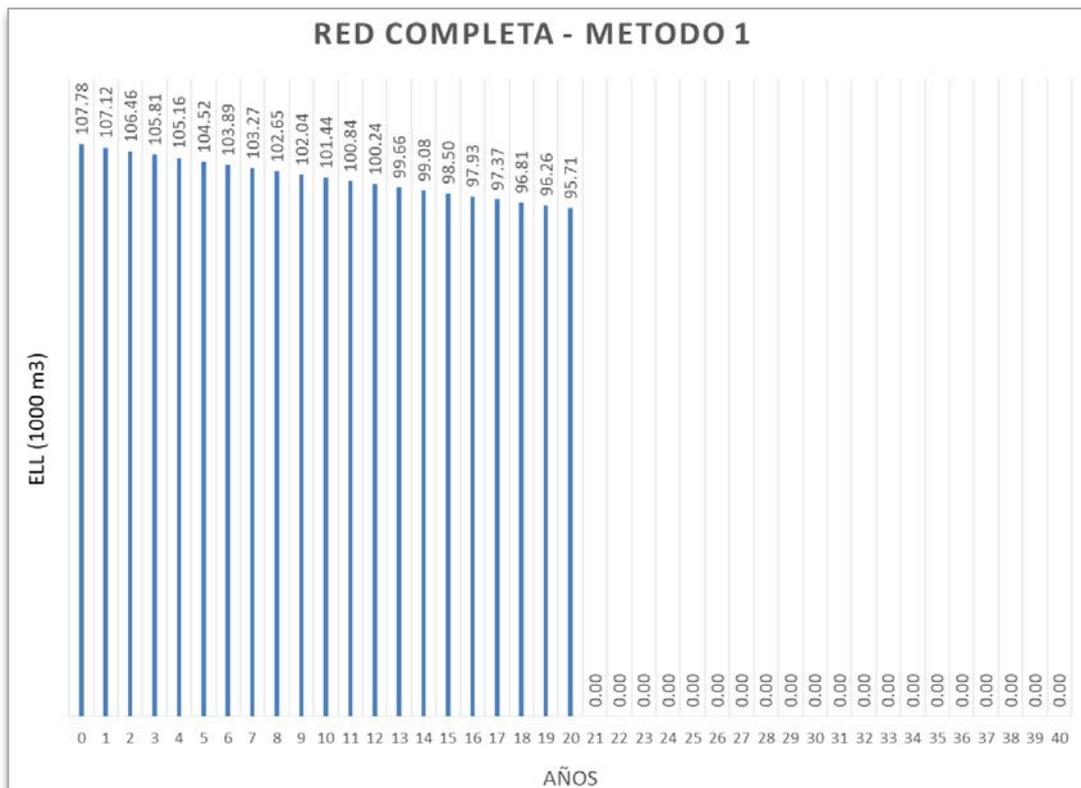
VARIABLES

<b>Longitud de tuberías (km)</b>	El aumento de esta variable puede representar un crecimiento poblacional, nuevas conexiones y por ende aumenta la longitud total de red en el sector.
<b>Rendimiento (km/día)</b>	Rendimiento de las inspecciones de la red. Este cambio puede ser aumento o disminución según sea el caso analizado.
<b>Coste (USD/día)</b>	Coste de inspección. Este cambio puede ser aumento o disminución según sea el caso analizado.





- **GRAF. 1 SECTOR:** Esta ficha permite seleccionar un solo sector para ver su evolución en el periodo de análisis. Los resultados que presenta son los obtenidos a partir del método 1.
- **GRAF. RED TOTAL 1:** Muestra la gráfica total de toda la red, calculado por el método 1.
- **GRAF. 2 SECTOR:** Esta ficha permite seleccionar un solo sector para ver su evolución en el periodo de análisis. Los resultados que presenta son los obtenidos a partir del método 2.
- **GRAF. RED TOTAL 2:** Muestra la gráfica total de toda la red, calculado por método 2.



**FIGURA 5-26** GRÁFICO EJEMPLO DE ANALISIS A LARGO PLAZO

#### 5.4.10. ELAL

La metodología de cálculo de este término fue descrita en su totalidad en el apartado 4.8, por lo que en esta sección se mostrará simplemente un listado de información que debe ser ingresada en el programa para permitir el cálculo y las pantallas correspondientes a cada parte del cálculo.

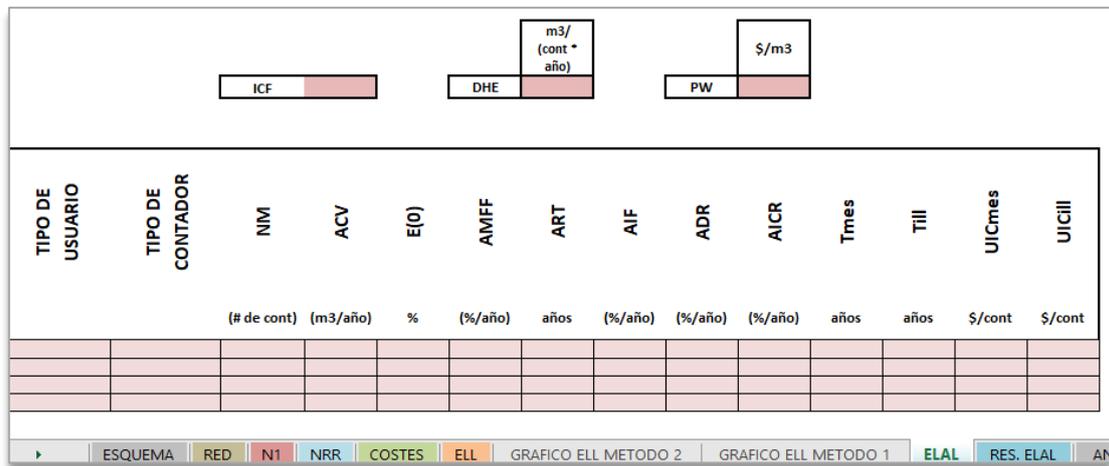


FIGURA 5-27 PANTALLA DEL PROGRAMA - ELAL

TABLA 5-1 DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DEL ELAL

Variable	Unidad	Definición
PW	\$/m <sup>3</sup>	Precio de venta del agua
DHE	m <sup>3</sup> /(cont * año)	Parámetro de error en el manejo de datos
ICF		Factor de condición de infraestructura
<b>Tipo de usuario</b>		Residencial, pequeñas industrias, grandes consumidores, etc.
<b>Tipo de contador</b>		De velocidad, volumétricos, etc
NM	(# cont)	Número de contadores
ACV	(m <sup>3</sup> /año)	Volumen de Consumo Anual
ε(0)	%	Porcentaje promedio de error inicial en contadores
AMFF	(%/año)	Frecuencia anual de fallo en contadores
ART	años	Tiempo promedio de reparación de contadores entre la ocurrencia y la resolución del problema
AIF	(%/año)	Frecuencia de consumo ilegal

<b>ADR</b>	(%/año)	Ratio de degradación anual del porcentaje de error en contadores
<b>AICR</b>	(%/año)	Ratio de aumento de consumos ilegales anual
<b>Tmes</b>	años	Tiempo requerido para reemplazar todos los medidores
<b>Till</b>	años	Tiempo requerido para inspeccionar toda la red en busca de conexiones ilícitas
<b>UICmes</b>	\$/cont	Coste de intervención por unidad reemplazada(medidor)
<b>UICill</b>	\$/cont	Coste de intervención por unidad inspeccionada(medidor)

IIAAL - PERDIDAS APARENTES ANUALES INDEPENDIENTES DE LAS INSPECCIONES									
DEBIDO A INEXACTITUD DE CONTADORES									
	DATO FABRICANTE		PARCIAL				PARCIAL		1 TERMINO IIAAL
TIPO DE CONTADOR	e(0)	ACV	UAUV	UAUV	AMFF	ART	ADMFAL	ADMFAL	IIAAL MES
		m3/año	m3/año	m3/año	%año	años	m3/año	m3/año	m3/año

FIGURA 5-28 PANTALLA DEL PROGRAMA - IIAAL (1/2)

DEBIDO A CONEXIONES ILEGALES					DEBIDO A ERRORES DE MANEJO DE DATOS			1 TERMINO IIAAL	
TIPO DE USUARIO	ACV	AIF	PARCIAL IIAAL ILL	2 TERMINO IIAAL	TIPO DE CONTADOR	NM	Σ NM	3 TERMINO IIAAL	TOTAL IIAAL
	m3/año	%año	m3/año	m3/año		# de cont.		m3/año	m3/año

FIGURA 5-29 PANTALLA DEL PROGRAMA - IIAAL (2/2)



FRECUENCIA OPTIMA DE CONTROL Y NIVEL ECONOMICO DE PERDIDAS APARENTES											2 TERMINO ELAL		
DEBIDO A CONEXIONES ILEGALES													
TIPO DE USUARIO	TIC ill	NRRAL ill	IDAAL opt ill	IDAAL opt ill	T opt ill	PAIM opt ill	ACWopt ill	AIB opt ill	TAC opt ill	TAC opt mes	TOTAL IDAAL opt m3/año	ELAL m3/año	TAC opt \$/año
	\$	m3/año 2	m3/año	m3/año	años	%año	\$/año	\$/año	\$/año	\$/año			

FIGURA 5-33 PANTALLA DEL PROGRAMA – VALORES OPTIMOS (2/2)

5.4.11. RESUMEN ELAL

En esta ficha se presentan resumidos los valores obtenidos para el cálculo del ELAL. Además, incluye el cálculo de 3 indicadores: ALI, ALEI y ALEPI

CAAL 0.00 m3/año	IIAAL 0.00 m3/año	IIAALmes 0.00 m3/año
		IIAALill 0.00 m3/año
		IIAALdh 0.00 m3/año
ELAL 0.00 m3/año	IDAAL 0.00 m3/año	IDAALmes 0.00 m3/año
		IDAALill 0.00 m3/año
		IDAALdh 0.00 m3/año
ELAL 0.00 m3/año	IIAAL 0.00 m3/año	IIAALmes 0.00 m3/año
		IIAALill 0.00 m3/año
		IIAALdh 0.00 m3/año
ELAL 0.00 m3/año	IDAALopt 0.00 m3/año	IDAAL opt mes 0.00 m3/año
		IDAAL opt ill 0.00 m3/año

FIGURA 5-34 PANTALLA DEL PROGRAMA – RESUMEN DE RESULTADOS

	AIBmes	ABI ill	ACW mes	ACW ill	TAC mes	TAC ill	TAC
	\$/año	\$/año	\$/año	\$/año	\$/año	\$/año	\$/año
<b>ACTUAL</b>							
<b>MINIMIZADO</b>							

	FORMULA	RESULTADO
<b>ALI</b>	CAAL/IIAAL	
<b>ALEI</b>	CAAL/ELAL	
<b>ALEPI</b>	ELAL/IIAAL	

**FIGURA 5-35** PANTALLA DEL PROGRAMA – RESUMEN DE RESULTADOS ECONÓMICOS E INDICADORES

## 6. APLICACIÓN A UN CASO PRÁCTICO (ELL)

Una vez desarrollada la herramienta de cálculo, se ha procedido a la comprobación de su funcionamiento. Para ello, se planteó la aplicación a un caso real en la ciudad de Guayaquil, específicamente en la zona centro-sur.

La información necesaria para desarrollar el caso fue proporcionada por la empresa privada Interagua, misma que se encarga de brindar el servicio de agua potable, alcantarillado pluvial y sanitario de la ciudad.

En la imagen 6-2 se muestra un plano de la ciudad y la ubicación del área de estudio (área color rojo). Este caso, a pesar de estar realizado con base en datos reales, es un ejercicio netamente académico, es decir, no se debe tomar los resultados obtenidos del caso práctico como base para otros estudios.

### 6.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO

Guayaquil, oficialmente denominado Santiago de Guayaquil, es la segunda ciudad más importante y poblada del Ecuador. Tiene una extensión superficial de 347 km<sup>2</sup> y una población total de 2 698 077 hab. Se encuentra a una altitud promedio de 4 m.s.n.m. Es una ciudad principalmente plana, pero presenta sectores altos como los cerros Santa Ana y del Carmen, la Cordillera Chongon-Colonche y Los Ceibos.



FIGURA 6-1 UBICACIÓN DE GUAYAQUIL EN ECUADOR (WIKIPEDIA, 2019)

El área de estudio se encuentra ubicada en la zona denominada centro-sur de la ciudad. Abarca un área total de 1.64 km<sup>2</sup>, compuesto por 5 sectores hidráulicos denominados por Interagua como: CTC-020, CTC-021, CTC-022, CTC-023 y CTC-024.



FIGURA 6-2 MAPA DE GUAYAQUIL Y AREA DE ESTUDIO – (GOOGLE EARTH, 2019)

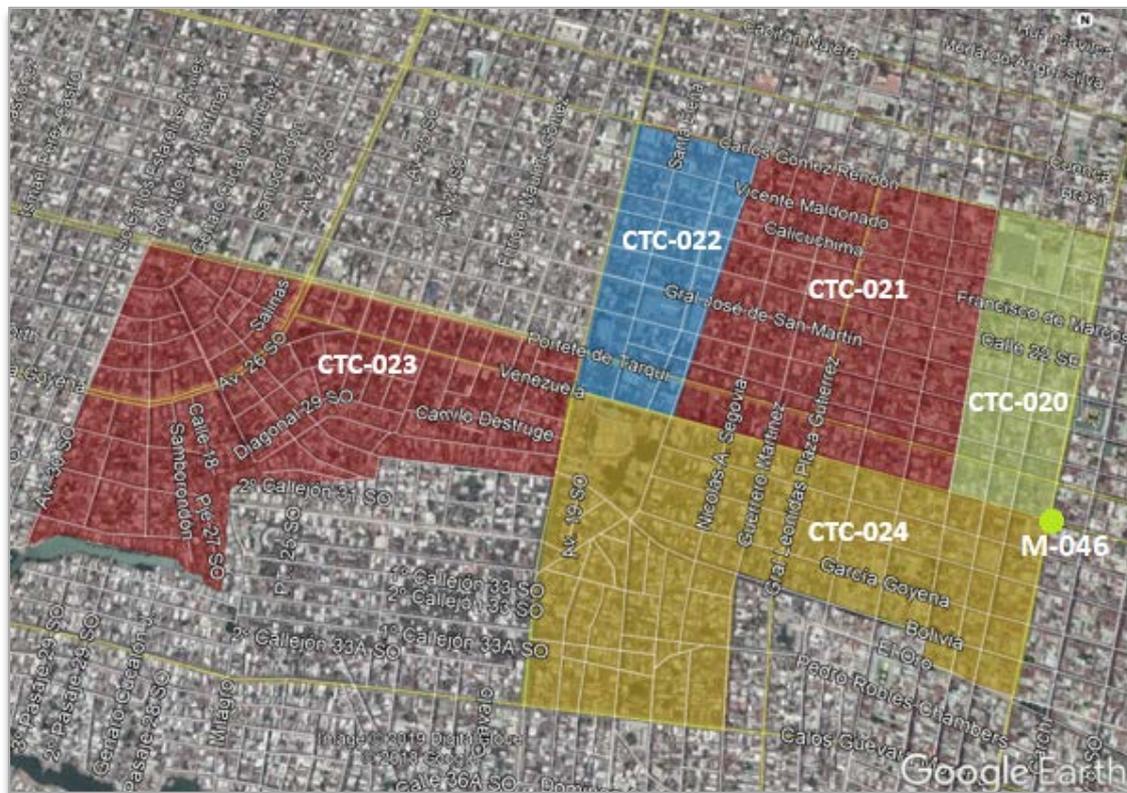


FIGURA 6-3 SECTORES HIDRAULICOS– (GOOGLE EARTH, 2019)

El caudal inyectado al sector y su presión en ese punto es medido en un punto de macromedición denominado M-046. Para este trabajo se asumirá que desde el punto M-046 hasta los sectores CTC-020, CTC-021 Y CTC-024 existe una pérdida de carga de 1 mca, y para los sectores CTC-022 y CTC-023 esta pérdida es de 1.5 mca. Sin embargo, es recomendable tener información de presión en el Punto AZP de cada sector hidráulico.

## 6.2. DATOS DISPONIBLES

Los datos de los que se dispuso y como han sido ingresados en el programa se presenta a continuación.

### DATOS DE LA RED

CODIFICACION:		Datos generales de a red				Informacion sobre roturas en la red	
VALOR SUGERIDO (EDITABLE)							
DATO DE ENTRADA							
DATO DE SALIDA							
ID DMA	NOMBRE DEL DMA	Longitud de tuberías (km)	Longitud de acometidas (km)	Número de acometidas	Presión promedio (mca)	Roturas por año en tuberías	Roturas por año en acometidas
1	CTC-020	4.538	0.043	403	18.5	9	1
2	CTC-021	12.630	0.298	1239	18.5	26	3
3	CTC-022	5.385	0.042	477	18.0	13	0
4	CTC-023	21.782	0.567	2013	18.0	20	55
5	CTC-024	15.335	0.400	1918	18.5	28	1

FIGURA 6-4 DATOS RED- CASO PRÁCTICO

La empresa que abastece de agua potable a la ciudad (Interagua), presenta registros de los sectores en los cuales incluye, entre otros:

- Longitud de tuberías clasificadas por:
  - o Tipo (red o acometida)
  - o Material
  - o Diámetros
  - o Etc.
- Número de acometidas

Esto facilitó la obtención de la información de longitud de tuberías, de acometidas y número de acometidas.

Para el dato de presión se partió del valor promedio del punto de macromedición M-046 (19.5 mca) y se consideró para 3 sectores una pérdida de carga de 1 mca y para los otros 2 una de 1.5 mca.

Para los datos de roturas notificadas de la red, el abastecimiento dispone de registros sobre “Solicitudes de reparación”, valores que se ingresaron como se muestra en la figura 6-4.

### DATOS PARA EL CÁLCULO DEL N1

Como se mencionó en el apartado anterior, la información de las tuberías se encuentra clasificada por material y diámetros, lo que permitió calcular el N1 por los métodos del nivel intermedio y avanzado, tal como se muestra en la figura 6-5.

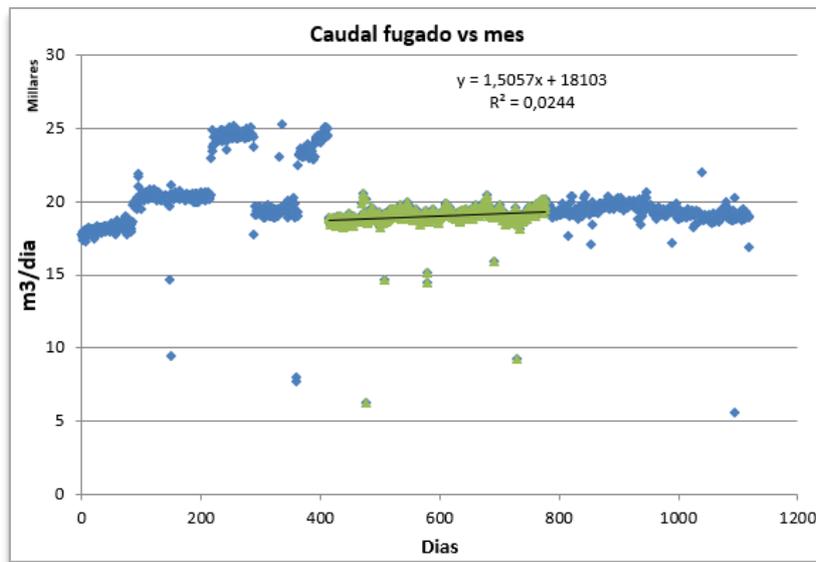
CODIFICACION:		N1 - Nivel Intermedio			N1 - Nivel Avanzado				
DATO DE ENTRADA					Valores sugeridos de N1 *Pueden ser cambiados				
DATO DE SALIDA		Longitud de Tuberías Rígidas (km)	Longitud de Tuberías Elástica (km)	N1 Calculado	Km red rígida con diámetros menores a:	Km red rígida con diámetros mayores a:	Km red elástica con diámetros menores a:	Km red elástica con diámetros mayores a:	N1 Calculado
VALOR SUGERIDO (EDITABLE)					80 mm	80 mm	80 mm	80 mm	
1	CTC-020	3.231	1.307	0.79	0.000	3.230	0.040	1.260	0.93
2	CTC-021	8.376	4.271	0.84	0.000	8.376	0.268	3.973	0.96
3	CTC-022	4.457	0.935	0.67	0.000	4.457	0.042	0.894	0.84
4	CTC-023	0.764	21.025	1.46	0.000	0.764	0.574	20.451	1.46
5	CTC-024	10.372	5.004	0.83	0.072	10.300	0.403	4.601	0.95

**FIGURA 6-5 DATOS N1- CASO PRÁCTICO**

### DATOS PARA EL CÁLCULO DEL NRR

Para la obtención del NRR (Índice Natural de Aumento de Fuga), se aplicó el método avanzado por medio del uso de la plantilla de volúmenes diarios inyectados a la red. La información necesaria para aplicar este método son los volúmenes inyectados al sector.

El punto de macromedición presenta registros diarios del caudal promedio inyectado al sector. Para este análisis se ingresaron los registros de los últimos 1200 días. Al ingresar estos valores, se escogió el intervalo de tiempo en el que se quiere graficar la pendiente. Al escoger el periodo se trata de evitar los que se presentan mayor cantidad de picos, ya sean positivos o negativos, ya que pueden representar errores en la medición o días de consumos extraordinarios. Todo esto considerando que el consumo diario permanece relativamente constante, por lo que no influye en la pendiente de aumento de fugas.



**FIGURA 6-6** GRÁFICO [(m<sup>3</sup>/día) vs día] – CASO PRÁCTICO

Una vez calculado el valor de NRR [m<sup>3</sup>/(día·día)], y teniendo en cuenta que este dato representa a un aumento de fugas de todo el sector, se procedió a dividirlo para el número total de acometidas, que en este caso es 6050. Obteniendo como resultado 0.249 l/(acom·día·día). Las unidades con las que se debe ingresar este valor en el programa con m<sup>3</sup>/(día·día), por lo que para cada sector debe ser multiplicado por su respectivo número de acometidas, tal como se muestra en la figura 6-7.

NRR	1.51	m3/día-día
	6050	acometidas todo el sector
NRR	0.0002	m3/acom-día-día

NOMBRE DEL DMA	NRR (m3/acom-día-día)	Número de acometidas	NRR (m3/día-día)
CTC-020	0.0002	403	0.10
CTC-021	0.0002	1239	0.31
CTC-022	0.0002	477	0.12
CTC-023	0.0002	2013	0.50
CTC-024	0.0002	1918	0.48

FIGURA 6-7 PLANTILLA VOLUMENES MENSUALES – CASO PRACTICO

Los valores obtenidos en la unidades correspondientes ( $m^3/(día-día)$ ), se copiaron en el programa, en la ficha NRR como método avanzado.

<table border="1"> <tr><td>CODIFICACION:</td></tr> <tr><td>DATO DE ENTRADA</td></tr> <tr><td>DATO DE SALIDA</td></tr> <tr><td>VALOR SUGERIDO (EDITABLE)</td></tr> </table>		CODIFICACION:	DATO DE ENTRADA	DATO DE SALIDA	VALOR SUGERIDO (EDITABLE)	<table border="1"> <tr><td>NRR Avanzado</td></tr> </table>		NRR Avanzado
CODIFICACION:								
DATO DE ENTRADA								
DATO DE SALIDA								
VALOR SUGERIDO (EDITABLE)								
NRR Avanzado								
		Pestaña Adicionales						
ID DMA	NOMBRE DEL DMA	NRR (m3/día-día)	NRR (m3/año-año)					
1	CTC-020	0.10	13362					
2	CTC-021	0.31	41081					
3	CTC-022	0.12	15816					
4	CTC-023	0.50	66744					
5	CTC-024	0.48	63594					

FIGURA 6-8 DATOS NRR AVANZADO- CASO PRÁCTICO

### DATOS PARA COSTES

Para el coste marginal del agua se utilizó un valor de  $0.06 \$/m^3$ , mismo que considera solamente el coste de producción, es decir, los gastos por tratamientos y químicos.

Lo más recomendable es considerar los costes de producción y distribución de agua, sin embargo, la información necesaria para calcular el coste de distribución no se puede obtener, por lo que simplemente se consideró el de producción.

Los valores considerados para los equipos fueron facilitados por el abastecimiento, mismo que recomendó utilizar 5 años de vida útil y un aproximado de 5% del coste de

adquisición como gastos anuales de mantenimiento. Para el “personal” se utilizó un sueldo de \$800 por 12 meses.

En la actualidad con lo que más trabaja este abastecimiento es búsqueda con geófono, por lo que este fue el grupo de trabajo que se plateo. Ese tipo de búsqueda tiene un rendimiento de 2.5 km/día y requiere:

- 1 geófono
- 2 personas
- 1 camioneta

Con todo lo anterior, se obtiene como resultado un coste igual a 46.44 \$/km inspeccionado. Tal como se muestra en la figura 6-9.

CODIFICACION:		RESUMEN		UNIDAD MONETARIA			
DATO DE ENTRADA		Coste Marginal del agua (USD/m <sup>3</sup> )		USD - United States			
DATO DE SALIDA		Coste de inspeccion (USD/dia)		Dólar			
VALOR SUGERIDO (EDITABLE)							
Dias laborables al año		250					
EQUIPO	Coste	Costo de mantenimiento	Vida util	Coste total	Coste amortizado por día laborable		
	(USD)	(% del coste del equipo)	(Años)	(USD)	(USD)		
Geofono	\$ 6,800.00	5%	5	\$ 7,140.00	\$ 5.71		
Caudalímetro Ultrasonido portátil	\$ 12,000.00	5%	5	\$ 12,600.00	\$ 10.08		
Data Logger	\$ 1,550.00	5%	5	\$ 1,627.50	\$ 1.30		
Detector de tubería metálicas	\$ 8,000.00	5%	5	\$ 8,400.00	\$ 6.72		
Detector de tubería no metálicas	\$ 8,000.00	5%	5	\$ 8,400.00	\$ 6.72		
Generador eléctrico portátil	\$ 2,000.00	5%	5	\$ 2,100.00	\$ 1.68		
Bomba centrífuga portátil	\$ 2,500.00	5%	5	\$ 2,625.00	\$ 2.10		
Personal	\$ 9,600.00			\$ 9,600.00	\$ 38.40		
Camioneta	\$ 40,000.00	5%	5	\$ 42,000.00	\$ 33.60		
Grupos de trabajo Actualmente activos		Coste (USD/día)	Longitud de red inspeccionada diaria (km/día)				
Activos		Grupo geofono	116.11	2.5			
Resultados		Coste	Unidades				
Coste diario de inspeccion		116.11	USD/día				
Coste totales por km inspeccionado		46.44	USD/km				
Grupo de trabajo				Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Grupo geofono							
1							
2							
1							
116.11					0.00		0.00

FIGURA 6-9 PLANTILLA COSTES – CASO PRÁCTICO

### 6.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Una vez ingresados los datos mencionados en los apartados anteriores, se procedió a calcular el ELL con ambos métodos.

En este apartado además de calcular el ELL en las condiciones actuales del sistema, se realiza un análisis a largo plazo, considerando escenarios hipotéticos de cambios a presentarse en la red. Estos cambios no son necesariamente reales o posibles, sino que solamente servirán para demostrar el funcionamiento del programa.

### 6.3.1. CÁLCULO ELL - SITUACIÓN ACTUAL

#### MÉTODO 1

Los niveles de cálculo que se seleccionaron para este método fueron los siguientes:

En fugas por roturas no notificadas

- NRR: Nivel Avanzado

En fugas por rotura notificadas

- N1: Avanzado (Aunque también está disponible la opción de intermedio).
- Valores de caudales fugados en tuberías a presión de referencia (50 mca): Referencia bibliográfica
- Valores de caudales fugados en acometidas a presión de referencia (50 mca): Referencia bibliográfica

Fugas de fondo

- N1: Seguridad – básico.
  - o Para las fugas de fondo, se puede considerar valores de N1 igual a 1.50 por seguridad. Esto se debe a que son caudales que duran periodos largos de tiempo antes de ser reparados.

Con estas consideraciones los resultados que se obtuvieron se muestran a continuación:

		Fugas por roturas no notificadas								
<b>CODIFICACION:</b>		Escoger nivel de								
DATO DE ENTRADA		cálculo:								
DATO DE SALIDA		Avanzado								
VALOR SUGERIDO (EDITABLE)										
		Pestañas con la información:								
		NRR	RED	COSTES	COSTES	COSTES				
DMA Number	DMA Name	Indice Natural de Aumento de Fugas NRR (m3/año/año)	Longitud de tubería (km)	Rendimiento (km/día)	Coste (USD/día)	Coste del agua ("CV") (USD/m3)	Coste de intervención ("CI") (USD)	Periodo Economica de intervención ("EIF") (Años)	% Economico del sistema a ser inspeccionado al año ("EP")	Nivel Economico de Perdidas Reales ("EURL") (m3/año)
1	CTC-020	13362	4.538	2.50	\$ 116.11	0.06	\$ 210.76	0.73	138	4844
2	CTC-021	41081	12.630	2.50	\$ 116.11	0.06	\$ 586.59	0.69	145	14171
3	CTC-022	15816	5.385	2.50	\$ 116.11	0.06	\$ 250.13	0.73	138	5742
4	CTC-023	66744	21.782	2.50	\$ 116.11	0.06	\$ 1,011.65	0.71	141	23721
5	CTC-024	63594	15.335	2.50	\$ 116.11	0.06	\$ 712.25	0.61	164	19428

FIGURA 6 10 CASO PRÁCTICO- FUGAS POR ROTURAS NO NOTIFICADAS

CODIFICACION:		Fugas por roturas notificadas						
DATO DE ENTRADA		Escoger Escoger Escoger						
DATO DE SALIDA		nivel de valores* de valores* de						
VALOR SUGERIDO (EDITABLE)		Avanzado Referencia Referencia						
		*Opciones disponibles en ficha "RED"						
DMA Number	DMA Name	Pestañas con la información:				Volumen anual fugado por tuberías en roturas notificadas (m3/año)	Volumen anual fugado por acometidas en roturas notificadas (m3/año)	Volumen anual de fugas por roturas notificadas (m3/año)
		RED	RED	RED	N1			
Roturas por año en tuberías	Roturas por año en acometidas	Presión promedio (mca)	N1					
1	CTC-020	1	9	18.5	0.93	344	1100	1444
2	CTC-021	3	26	18.5	0.96	995	3067	4063
3	CTC-022	0	13	18.0	0.84	0	1699	1699
4	CTC-023	55	20	18.0	1.46	10649	1377	12025
5	CTC-024	1	28	18.5	0.95	335	3340	3675

FIGURA 6 11 CASO PRÁCTICO- FUGAS POR ROTURAS NOTIFICADAS

CODIFICACION:		Fugas de fondo						
DATO DE ENTRADA		Escoger						
DATO DE SALIDA		Ref a 50 mca (20 l/km/h) Ref a 50 mca (1.25 l/acom/h)						
VALOR SUGERIDO (EDITABLE)		Basico-Seg						
DMA Number	DMA Name	Pestañas con la información:				Volumen anual por fugas de fondo en tuberías (m3/año)	Volumen anual por fugas de fondo en acometidas (m3/año)	Volumen anual de fugas de fondo (m3/año)
		RED	RED	RED	N1			
Longitud de tuberías (km)	Número de acometidas	Presión promedio (mca)	N1					
1	CTC-020	4.538	403	18.5	1.50	179	993	1172
2	CTC-021	12.630	1239	18.5	1.50	498	3053	3551
3	CTC-022	5.385	477	18.0	1.50	204	1128	1332
4	CTC-023	21.782	2013	18.0	1.50	824	4761	5585
5	CTC-024	15.335	1918	18.5	1.50	605	4727	5331

FIGURA 6-10 CASO PRÁCTICO- FUGAS DE FONDO

Luego de obtener los valores de cada tipo de fuga se sumó los resultados para obtener el ELL tanto de cada sector como de la red completa.

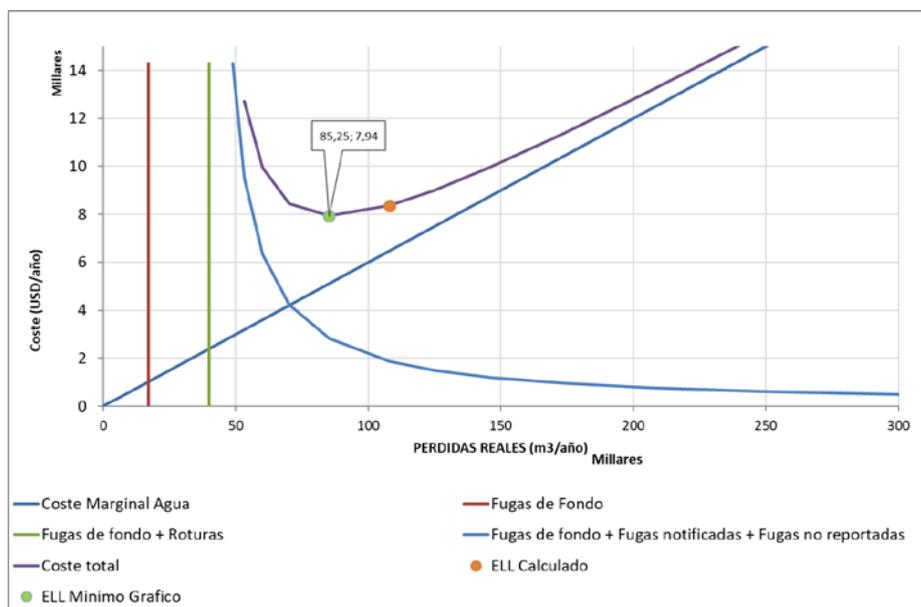
TABLA 6-1 RESULTADOS ELL - MÉTODO 1

	Nivel Económico de Pérdidas Reales ("EURL") (m <sup>3</sup> /año)	Volumen anual de fugas por roturas notificadas (m <sup>3</sup> /año)	Volumen anual de fugas de fondo (m <sup>3</sup> /año)	ELL (m <sup>3</sup> /año)
CTC-020	4844	1443	1172	7460
CTC-021	14170	4062	3551	21785
CTC-022	5741	1699	1332	8772
CTC-023	23720	12025	5585	41331
CTC-024	19428	3675	5331	28434
<b>RED TOTAL</b>	<b>67905</b>	<b>22906</b>	<b>16972</b>	<b>107784</b>

Además de obtener estos valores, el programa realiza un gráfico con los distintos tipos de fugas (de la red completa), y ubica el valor del ELL calculado. El funcionamiento de esta gráfica ya fue explicado en la descripción de la herramienta.

Como se puede observar en la gráfica 6-11, el ELL calculado no coincide exactamente con el punto más bajo, aunque se encuentra en la zona baja de la curva, esto se debe a que al considerar los volúmenes de fugas de fondo y por roturas notificadas, la curva de fugas no reportadas se desplaza un poco.

El programa permite obtener los valores del punto más bajo en la gráfica.



**FIGURA 6-11** GRÁFICO ELL – MÉTODO 1 (RED COMPLETA)

## MÉTODO 2

El método 2, como ya se ha mencionado en apartados anteriores, es la suma del EURL y el UARL.

Para el EURL, se consideró:

- NRR: Nivel Avanzado

Para el UARL no es necesario hacer ningún otro tipo de consideración adicional, obteniendo así los siguientes resultados:

Fugas reales anuales inevitables "UARL"						
<b>CODIFICACION:</b>						
DATO DE ENTRADA						
DATO DE SALIDA						
VALOR SUGERIDO (EDITABLE)						
DMA Number	DMA Name	Pestañas con la información:				Unavoidable Annual Real Losses ("UARL") (m3/año)
		RED	RED	RED	RED	
		Longitud de tuberías (km)	Longitud de acometidas (km)	Número de acometidas	Presión promedio (mca)	
1	CTC-020	4.538	0.043	403	18.5	2736
2	CTC-021	12.630	0.298	1239	18.5	8278
3	CTC-022	5.385	0.042	477	18	3151
4	CTC-023	21.782	0.567	2013	18	13249
5	CTC-024	15.335	0.400	1918	18.5	12292

FIGURA 6-12 CASO PRÁCTICO- UARL

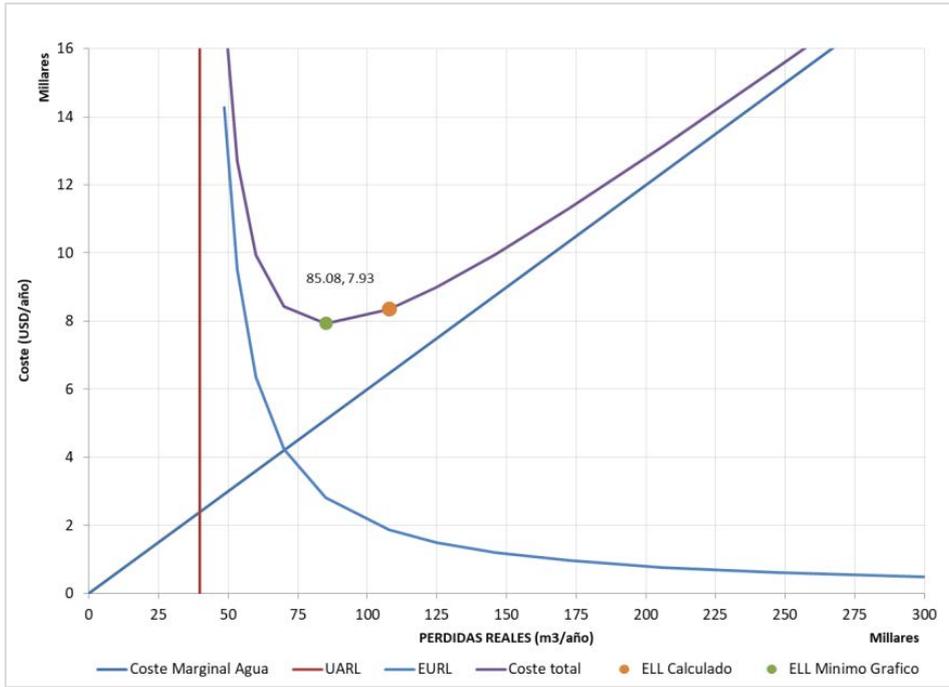
Fugas por roturas no notificadas										
<b>CODIFICACION:</b>										
DATO DE ENTRADA		Escoger nivel de cálculo:								
DATO DE SALIDA		Avanzado								
VALOR SUGERIDO (EDITABLE)										
DMA Number	DMA Name	Pestañas con la información:					Coste de intervención ("CI") (USD)	Periodo Económica de intervención ("EI") (Años)	% Económico del sistema a ser inspeccionado al año ("EP")	Nivel Económico de Pérdidas Reales ("EURL") (m3/año)
		NRR	RED	COSTES	COSTES	COSTES				
		Indice Natural de Aumento de Fugas NRR (m3/año/año)	Longitud de tubería (km)	Rendimiento (km/día)	Coste (USD/día)	Coste del agua ("CV") (USD/m3)				
1	CTC-020	13362	4.538	2.50	\$ 116.11	0.06	\$ 210.76	0.73	138	4844
2	CTC-021	41081	12.630	2.50	\$ 116.11	0.06	\$ 586.59	0.69	145	14171
3	CTC-022	15816	5.385	2.50	\$ 116.11	0.06	\$ 250.13	0.73	138	5742
4	CTC-023	66744	21.782	2.50	\$ 116.11	0.06	\$ 1,011.65	0.71	141	23721
5	CTC-024	63594	15.335	2.50	\$ 116.11	0.06	\$ 712.25	0.61	164	19428

FIGURA 6 15 CASO PRÁCTICO – EURL

TABLA 6-2 RESULTADOS ELL - MÉTODO 2

	("EURL") (m <sup>3</sup> /año)	(UARL) (m <sup>3</sup> /año)	ELL (m <sup>3</sup> /año)
CTC-020	4844	2735	7580
CTC-021	14170	8278	22449
CTC-022	5741	3150	8892
CTC-023	23720	13249	36970
CTC-024	19428	12292	31720
<b>RED TOTAL</b>	<b>67905</b>	<b>39707</b>	<b>107612</b>

Así como se presentó para el método 1, en este también se puede obtener la gráfica del volumen fugado vs costes.



**FIGURA 6-13** GRÁFICO ELL – MÉTODO 2 (RED COMPLETA)

### 6.3.2. ANÁLISIS A LARGO PLAZO

Para este análisis se evaluaron distintos escenarios, algunos de los cuales no son posibles en la realidad debido a la ubicación del sector. Al no presentar grandes costes de inversión, los distintos escenarios serán evaluados solo para periodos de 20 años.

**TABLA 6-3** ESCENARIOS A EVALUAR A LARGO PLAZO

<b>Caso</b>	<b>Escenario</b>	<b>Cambios</b>	<b>Tiempo de análisis</b>
1	Mejoras en el rendimiento de las intervenciones	Aumento de 2% anual en rendimiento de intervenciones	20 años
2	Aumento de población	Aumento de un 1% de la longitud de la red Aumento de 1% en el número de acometidas	20 años
3	Reducción de presión	Reducción de 1% de presión anual hasta un mínimo de 16 mca	20 años
4	Combinación casos 1 y 2	+ 2% rendimiento + 1% longitud tuberías +1% número de acometidas	20 años
5	Combinación casos 1 y 3	+ 2% rendimiento -1% presión	20 años
6	Combinación casos 2 y 3	+ 1% longitud tuberías +1% número de acometidas -1% presión	20 años
7	Combinación casos 1, 2 y 3	+ 2% rendimiento + 1% longitud tuberías +1% número de acometidas -1% presión	20 años

## CASO 1

Este caso contempla realizar mejoras en el rendimiento de las inspecciones de la red. Para ello se consideró que el rendimiento, mismo que en la situación actual se encuentra en 2.5 km/día, aumente un 2% anual. Para un análisis de 20 años el valor al final del periodo sería de 3.71 km/día. Esto quiere decir que se mejoraría en un 50 % aproximadamente.

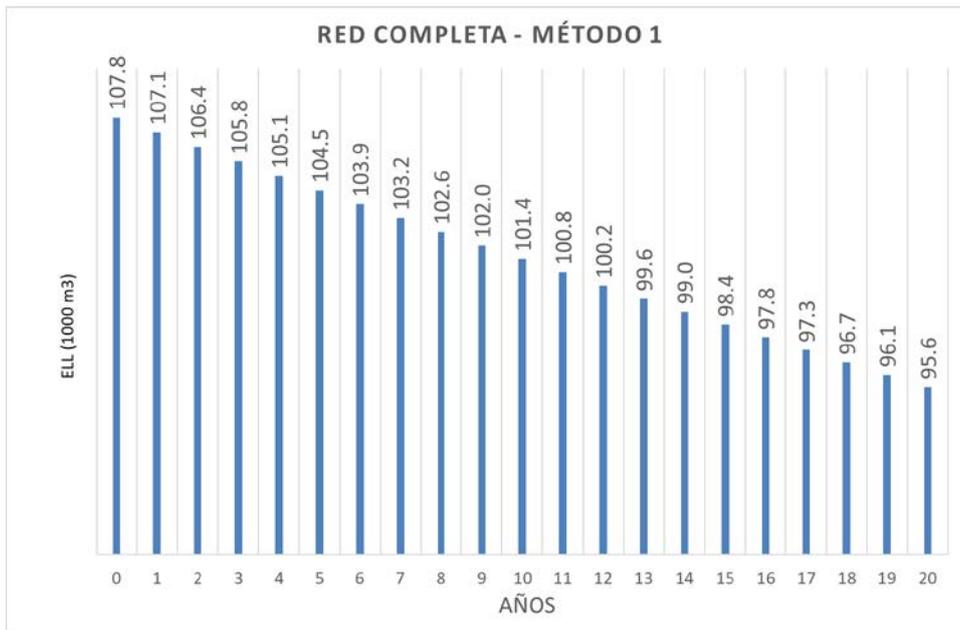


FIGURA 6-14 GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 1- MÉTODO 1 (RED COMPLETA)

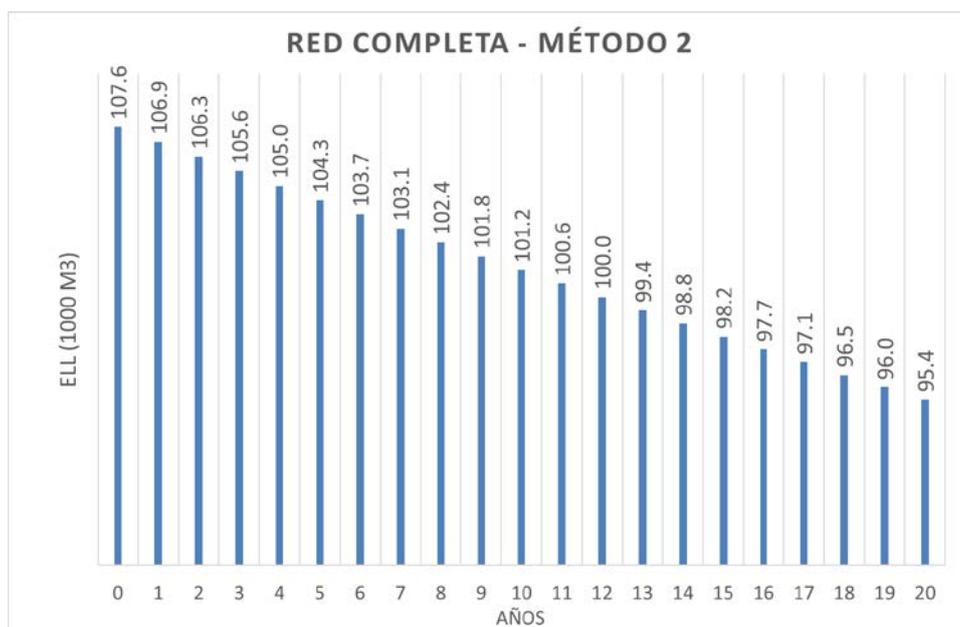


FIGURA 6-15 GRÁFICO ANALISIS A LARGO PLAZO- CASO 1- METODO 2 (RED COMPLETA)

Como se puede observar en los gráficos 6-14 y 6-15, los valores obtenidos con ambos métodos son bastante similares, por lo que el análisis que se presenta a continuación se realizó solo con los valores obtenidos por el método 1.

Una vez calculados los valores anuales de ELL y asumiendo que el sistema logra mantener estos valores como objetivos anuales, se puede observar cómo se presenta una reducción anual del ELL.

Considerando \$0.06/m<sup>3</sup> como coste marginal del agua y una tasa de interés anual para el sector público de 8.41% (BCE, 2019) se puede determinar que el ahorro económico que presenta la reducción de fugas. Esto quiere decir, que si la inversión inicial realizada por el abastecimiento para poder implementar esta medida supera los \$2878.01, esta no generaría beneficios para el abastecimiento en un plazo de 20 años.

Hay que tener en cuenta que el cambio en el rendimiento de la red genera cambios en el periodo óptimo de inspección, para saber el valor de cada año, en la herramienta se debe mostrar la ficha de cada uno.

**TABLA 6-4 CASO 1 – ANÁLISIS A LARGO PLAZO**

<b>Año</b>	<b>ELL (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Ahorro (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Ahorro (\$/año)</b>	<b>VAN</b>
<b>2019</b>	107777	0	0.00	\$2878.01
<b>2020</b>	107108	669	40.14	
<b>2021</b>	106446	1331	79.89	
<b>2022</b>	105790	1987	119.24	
<b>2023</b>	105140	2636	158.21	
<b>2024</b>	104497	3279	196.80	
<b>2025</b>	103861	3916	235.00	
<b>2026</b>	103230	4547	272.83	
<b>2027</b>	102606	5171	310.28	
<b>2028</b>	101988	5789	347.37	
<b>2029</b>	101376	6401	384.09	
<b>2030</b>	100770	7007	420.44	
<b>2031</b>	100170	7607	456.44	
<b>2032</b>	99576	8201	492.09	
<b>2033</b>	98988	8789	527.38	
<b>2034</b>	98405	9372	562.33	
<b>2035</b>	97828	9948	596.93	
<b>2036</b>	97257	10519	631.19	
<b>2037</b>	96692	11085	665.12	
<b>2038</b>	96132	11645	698.71	
<b>2039</b>	95578	12199	731.96	

## CASO 2

Este caso no se considera una mejora en el sistema sino más bien un cambio por un desarrollo urbanístico del sector. Este análisis es poco realista realizarlo en los sectores presentados en este trabajo, debido a que se encuentran en el centro de un macrosector completamente urbanizado. Sin embargo, se consideró necesario desarrollarlo para poder demostrar cómo influyen este tipo de cambios en los niveles de ELL.

En este escenario se planteó un crecimiento de la longitud de tuberías de la red y del número de acometidas de un 1% en ambos casos. Este valor fue seleccionado de manera arbitraria sin ningún tipo de análisis previo.

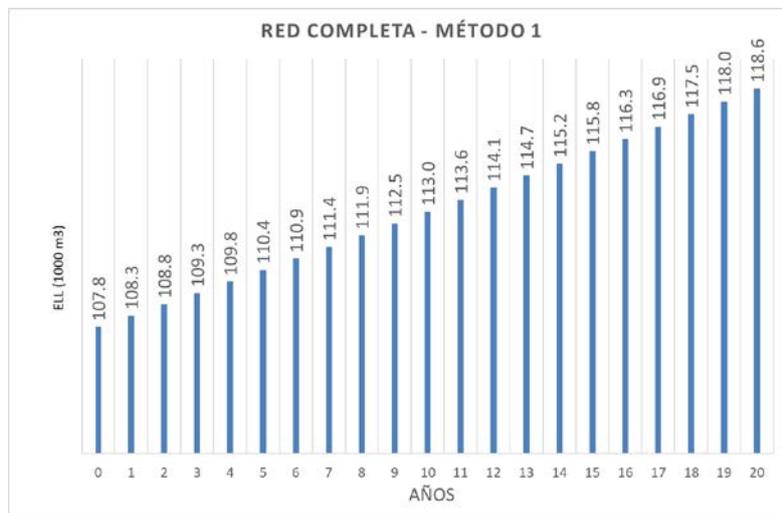


FIGURA 6-16 GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 2- MÉTODO 1 (RED COMPLETA)

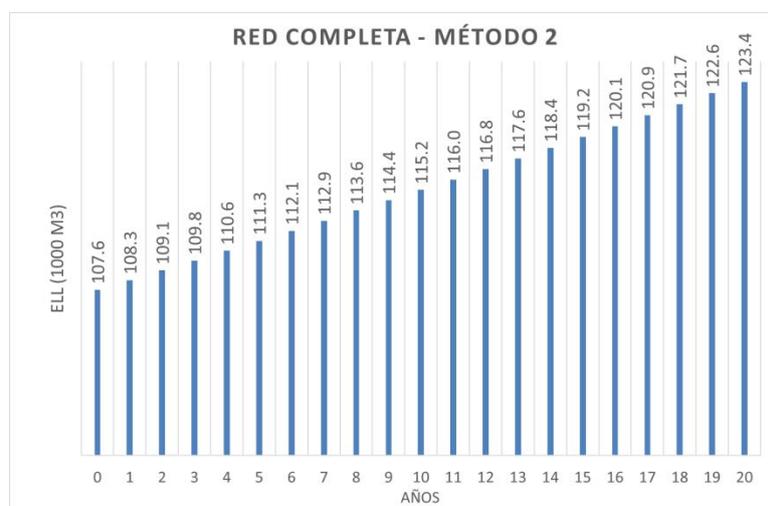


FIGURA 6-17 GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 2- MÉTODO 2 (RED COMPLETA)

Como en el caso anterior, los valores obtenidos con ambos métodos son bastante similares (con una diferencia de 5000 m<sup>3</sup> en el último año), por lo que el análisis que se presenta a continuación se realizó solo con los valores obtenidos por el método 1.

El presente análisis muestra como el aumento del tamaño de la red influye en el volumen de agua que se pierde a través de ella, y esto a su vez aumenta el ELL. Estas pérdidas expresadas en valor presente dan un total de \$2386.92. Este valor es obtenido considerando la misma tasa de interés y coste marginal del agua del caso 1.

En este caso, como en el anterior, al cambiar la longitud de tuberías varía el periodo óptimo de intervención.

Por lo tanto, al momento de considerar la inversión que representa expandir la red, se debe sumar el coste del agua perdida adicional, resultado de esta expansión.

**TABLA 6-5 CASO 2 – ANÁLISIS A LARGO PLAZO**

<b>Año</b>	<b>ELL (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Ahorro (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Ahorro (\$/año)</b>	<b>VAN</b>
2019	107777	0	0.00	<b>\$-2386.92</b>
2020	108286	-508	-30.50	
2021	108797	-1020	-61.21	
2022	109313	-1535	-92.12	
2023	109831	-2054	-123.24	
2024	110353	-2576	-154.57	
2025	110879	-3101	-186.11	
2026	111408	-3630	-217.85	
2027	111941	-4163	-249.81	
2028	112477	-4699	-281.99	
2029	113017	-5239	-314.37	
2030	113560	-5783	-346.98	
2031	114107	-6330	-379.81	
2032	114658	-6880	-412.85	
2033	115213	-7435	-446.12	
2034	115771	-7993	-479.61	
2035	116333	-8555	-513.33	
2036	116899	-9121	-547.28	
2037	117468	-9690	-581.45	
2038	118042	-10264	-615.86	
2039	118619	-10841	-650.50	

### CASO 3

En Guayaquil, un requisito que debe cumplir el abastecimiento de agua potable es garantizar 15 mca en el punto de conexión de cada usuario. Esto demuestra que los sectores analizados en este trabajo se encuentran dentro de valores aceptables de trabajo, ya que son un poco mayores de mínimo aceptable. A pesar de esto, y partiendo de la misma razón del caso 2 (demostrar el funcionamiento de la herramienta), se asumió una reducción de la presión en un 1 % anual hasta un mínimo de 16 mca. Obteniendo así los siguientes resultados para cada método:

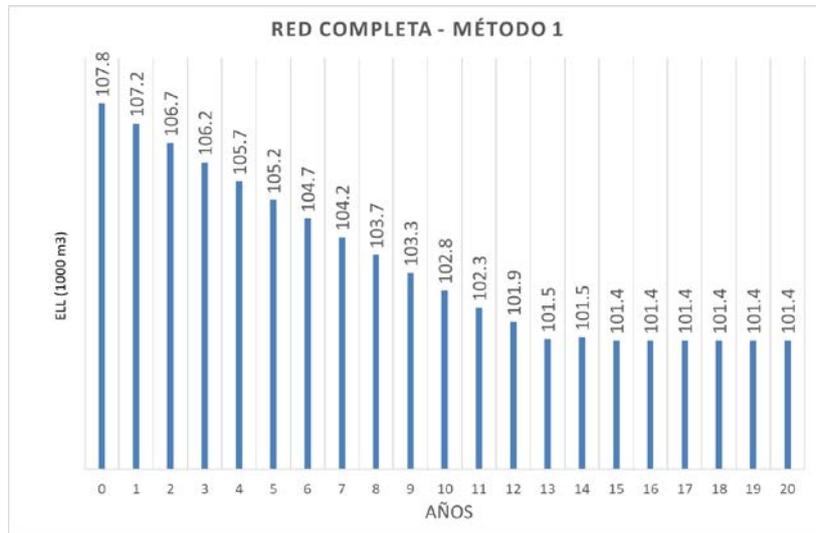


FIGURA 6-18 GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 3- MÉTODO 1 (RED COMPLETA)

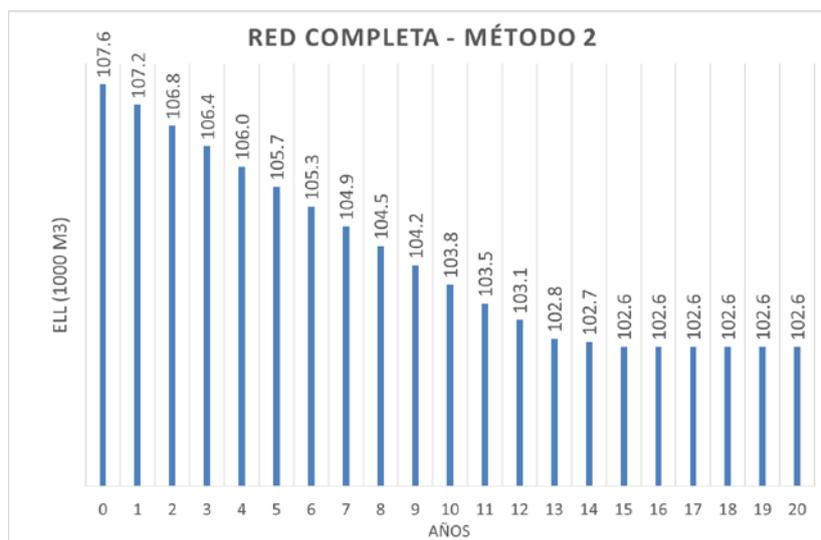


FIGURA 6-19 GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 3- MÉTODO 2 (RED COMPLETA)

Al igual que en los casos anteriores, los valores de ambas metodologías se mantienen similares, por lo que se realiza el análisis solo con los datos de método 1.

En las figuras 6-18 y 6-19 se puede apreciar claramente que a partir del año 15 se llega a los valores mínimos de presión establecidos en la herramienta (16 mca), por lo que, a partir de este punto el ELL se mantiene constante.

Una vez hecho el análisis económico de esta alternativa se puede ver que el VAN es de \$2060.61, lo que quiere decir que si la inversión que haga el abastecimiento para reducir la presión, y pasar de valores de 18.5 mca y 18 mca a 16 mca, es mayor a este coste, no habrá beneficios económicos en un periodo de 20 años.

**TABLA 6-6 CASO 3 – ANALISIS A LARGO PLAZO**

<b>Año</b>	<b>ELL (m3/año)</b>	<b>Ahorro (m3/año)</b>	<b>Ahorro (\$/año)</b>	<b>VAN</b>
2019	107777	0	0.00	\$2060.61
2020	107246	531	31.87	
2021	106722	1055	63.31	
2022	106205	1571	94.31	
2023	105696	2081	124.89	
2024	105193	2584	155.04	
2025	104698	3079	184.78	
2026	104209	3568	214.11	
2027	103727	4050	243.04	
2028	103251	4526	271.57	
2029	102782	4995	299.71	
2030	102320	5457	327.46	
2031	101933	5844	350.64	
2032	101482	6294	377.70	
2033	101529	6248	374.90	
2034	101440	6337	380.22	
2035	101440	6337	380.22	
2036	101440	6337	380.22	
2037	101440	6337	380.22	
2038	101440	6337	380.22	
2039	101440	6337	380.22	

## CASO 4

Este caso es la combinación de caso 1 y 2, es decir, aumento de rendimiento de las inspecciones en un 2 % anual y aumento de la longitud de redes y número de acometidas en 1% anual.

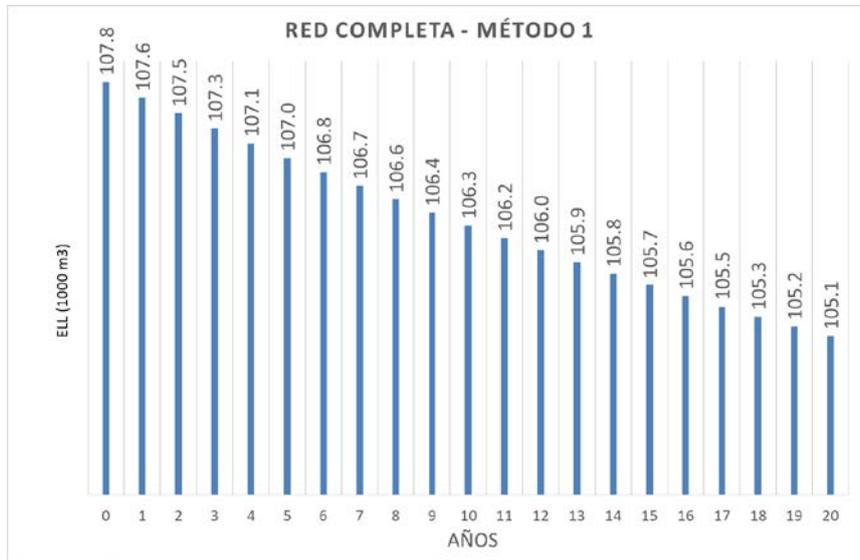


FIGURA 6-20 GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 4- MÉTODO 1 (RED COMPLETA)

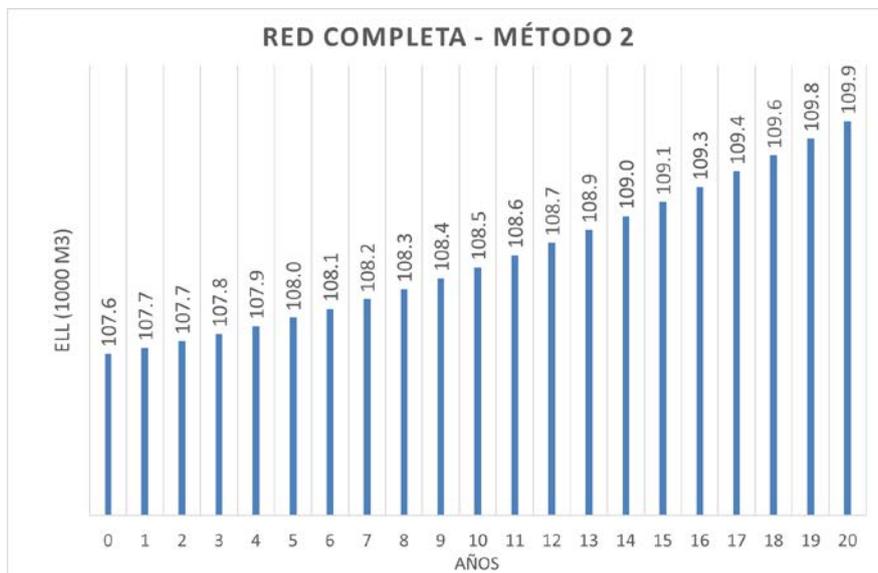


FIGURA 6-21 GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 4- MÉTODO 2 (RED COMPLETA)

En este caso, las gráficas 6-20 y 6-21 muestran tendencias opuestas, esto se debe a que:

- En el caso 1 (aumento de rendimiento) ambos métodos tenían valores muy cercanos, que en ningún año superaba los 1000 m<sup>3</sup>
- En el caso 2 (expansión de red) ambos métodos presentaban la misma tendencia, sin embargo, cada año se obtenían valores más lejanos, llegando en el año 20 a una diferencia de 5000 m<sup>3</sup>

Debido a esto, en el método 1, los ahorros dados por la mejora del rendimiento compensan el aumento de ELL por la expansión. Situación que no se repite en el método 2, en el cual se atenúa un poco el aumento del ELL, pero no se llega a compensar.

Además de estos valores se debe sumar el coste de inversión para la aplicación de ambos cambios en la red.

**TABLA 6-7 CASO 4 – ANÁLISIS A LARGO PLAZO**

	<b>MÉTODO 1</b>	<b>MÉTODO 2</b>
<b>VAN</b>	\$661.48	<b>\$-320.32</b>

## CASO 5

Este caso es la combinación de caso 1 y 3, es decir, aumento de rendimiento de las inspecciones en un 2 % anual y reducción de la presión 1% anual hasta un mínimo de 16 mca.

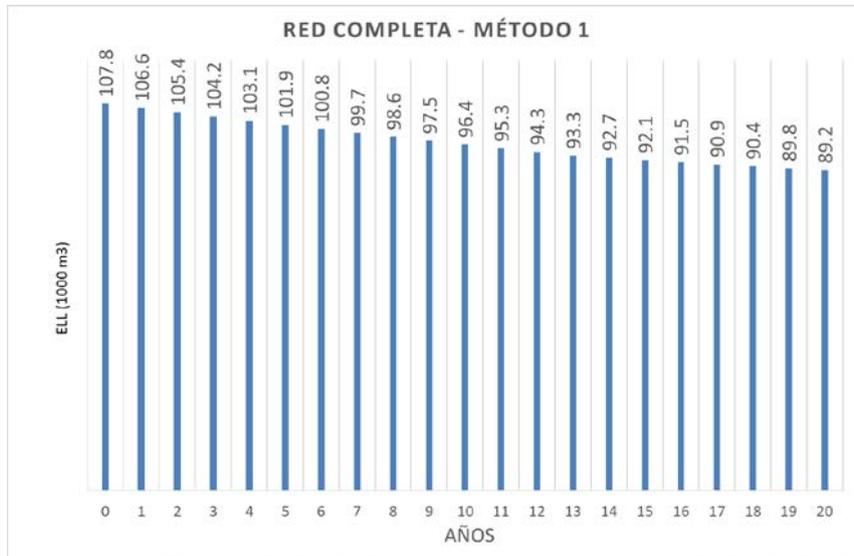


FIGURA 6-22 GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 5- MÉTODO 1 (RED COMPLETA)

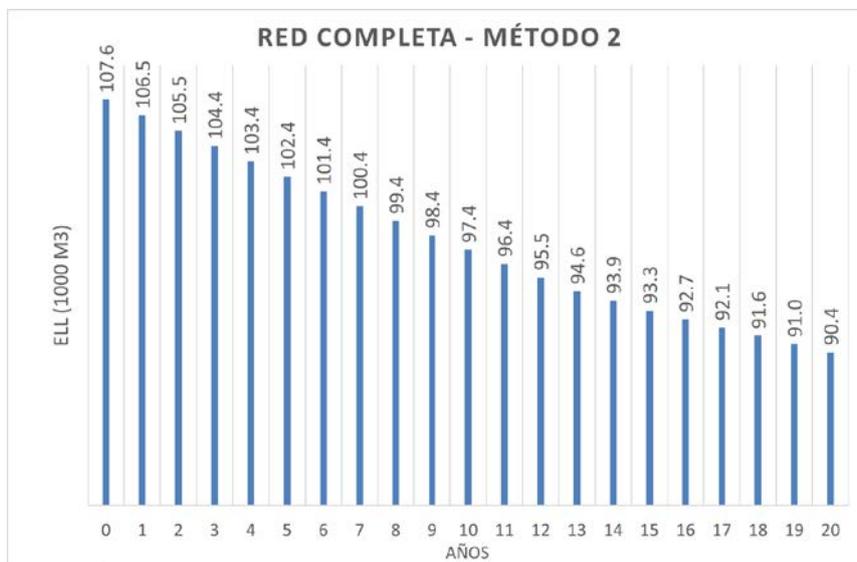


FIGURA 6-23 GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 5- MÉTODO 2 (RED COMPLETA)

En este caso las gráficas de ambos métodos muestran valores similares, por lo que el análisis se realiza solo con los valores obtenidos del método 1.

Con los resultados obtenidos se puede ver que ahorro que se consigue con ambos cambios combinados es justamente la suma del VAN de los casos 1 y 3 individuales. En este caso sucede esto porque los cambios influyen a distintos tipos de fugas. Sin embargo, hay que tener claro que sumar los resultados obtenidos de distintos análisis a largo plazo es incorrecto, siempre se debe analizar el conjunto completo.

Al igual que en los casos 1 y 3, se puede concluir que si la inversión necesaria para aplicar estos cambios no supera los \$4938.62, se pueden obtener beneficios económicos en un plazo de 20 años.

**TABLA 6-8 CASO 5 – ANALISIS A LARGO PLAZO**

<b>ELL (m3/año)</b>	<b>Ahorro (m3/año)</b>	<b>Ahorro (\$/año)</b>	<b>VAN</b>
<b>107777,78</b>	0	0.00	<b>\$4938.62</b>
<b>106577,51</b>	1200	72.02	
<b>105391,15</b>	2386	143.20	
<b>104218,53</b>	3559	213.56	
<b>103059,48</b>	4718	283.10	
<b>101913,85</b>	5863	351.84	
<b>100781,46</b>	6996	419.78	
<b>99662,16</b>	8115	486.94	
<b>98555,80</b>	9221	553.32	
<b>97462,20</b>	10315	618.93	
<b>96381,23</b>	11396	683.79	
<b>95312,73</b>	12465	747.90	
<b>94326,36</b>	13451	807.09	
<b>93281,34</b>	14496	869.79	
<b>92739,67</b>	15038	902.29	
<b>92068,58</b>	15709	942.55	
<b>91491,88</b>	16285	977.15	
<b>90920,86</b>	16856	1011.42	
<b>90355,46</b>	17422	1045.34	
<b>89795,64</b>	17982	1078.93	
<b>89241,33</b>	18536	1112.19	

## CASO 6

Este caso es la combinación de caso 2 y 3, es decir, aumento de la longitud de redes y número de acometidas en 1% anual y reducción de presión 1% anual hasta un mínimo de 16 mca.

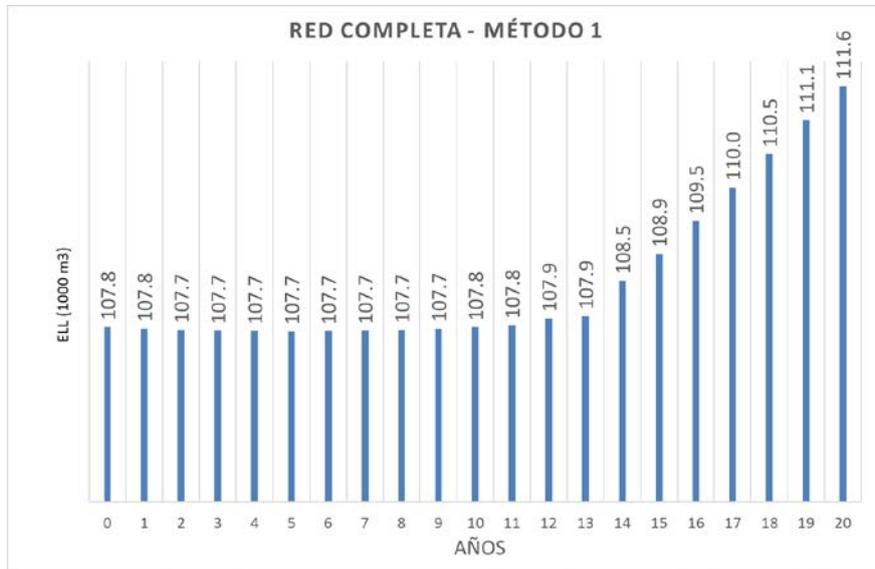


FIGURA 6-24 GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 6- MÉTODO 1 (RED COMPLETA)

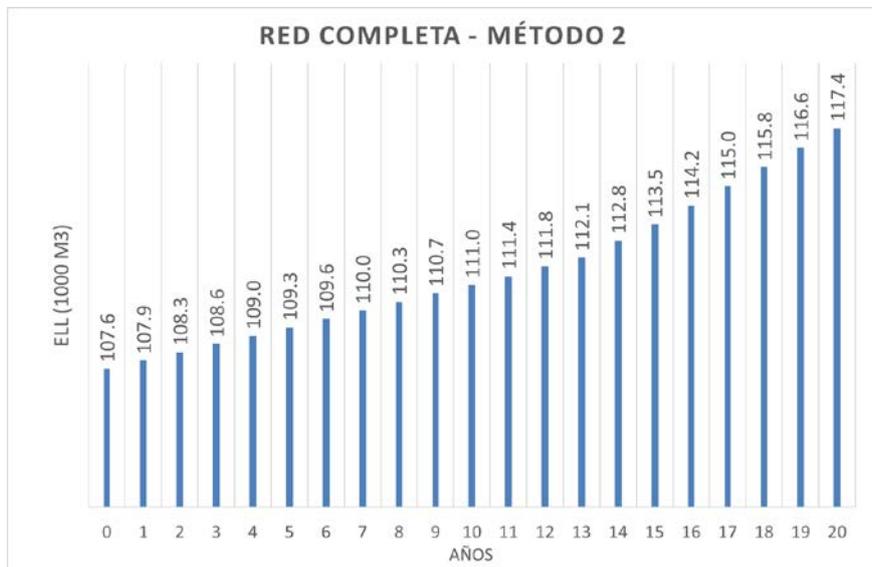


FIGURA 6-25 GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 6- MÉTODO 2 (RED COMPLETA)

Al igual que sucede en el caso 4, los valores obtenidos por ambas metodologías son un poco distintos. Por ello, se realizó el análisis con ambos métodos.

Para el método 1 se puede ver que en los primeros años casi queda compensado el aumento de fugas debido a la expansión de la red, con la reducción debido a la disminución de la presión. Pero una vez la presión llega a sus valores mínimos, el aumento del ELL empieza a crecer de nuevo.

Por otro lado, para el método 2 no se llegan ni a estar cerca de compensarse los cambios, pero se puede observar que en el año 14 aproximadamente tiene un pequeño cambio de pendiente, esto se debe a que la presión llega a sus valores mínimos cerca de ese año.

En ambos casos se obtiene un VAN negativo, y además de esto se debe sumar los costes de inversión de ambos cambios.

**TABLA 6-9 CASO 6 – ANÁLISIS A LARGO PLAZO**

	<b>MÉTODO 1</b>	<b>MÉTODO 2</b>
<b>VAN</b>	<b>\$-211.10</b>	<b>\$-1605.75</b>

## CASO 7

Este caso es la combinación de los 3 casos base, lo que implica aumento de rendimiento de inspección en 2% anual, aumento de longitud de red y número de acometidas 1% anual y reducción de presión 1% anual hasta un mínimo de 16 mca.

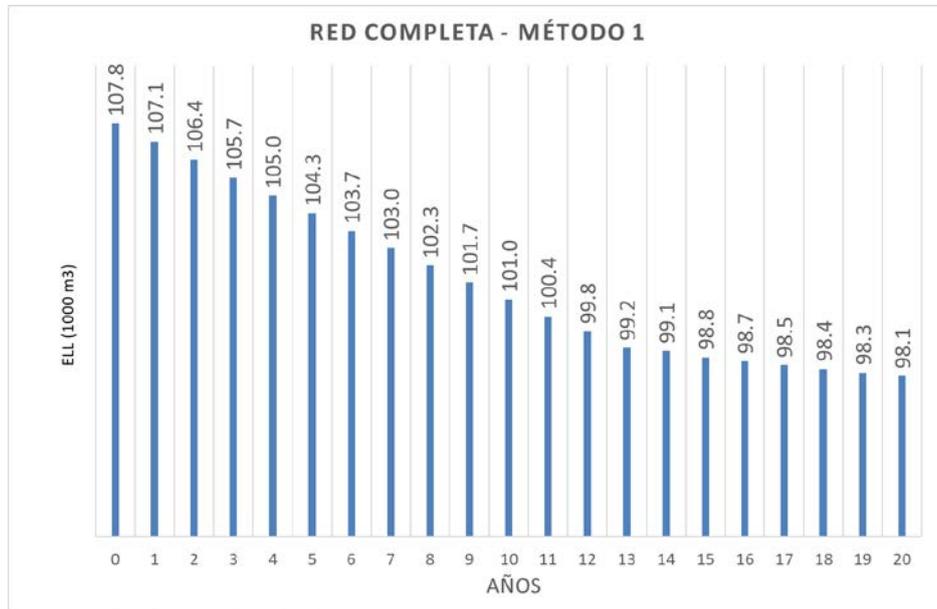


FIGURA 6-26 GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 7- MÉTODO 1 (RED COMPLETA)

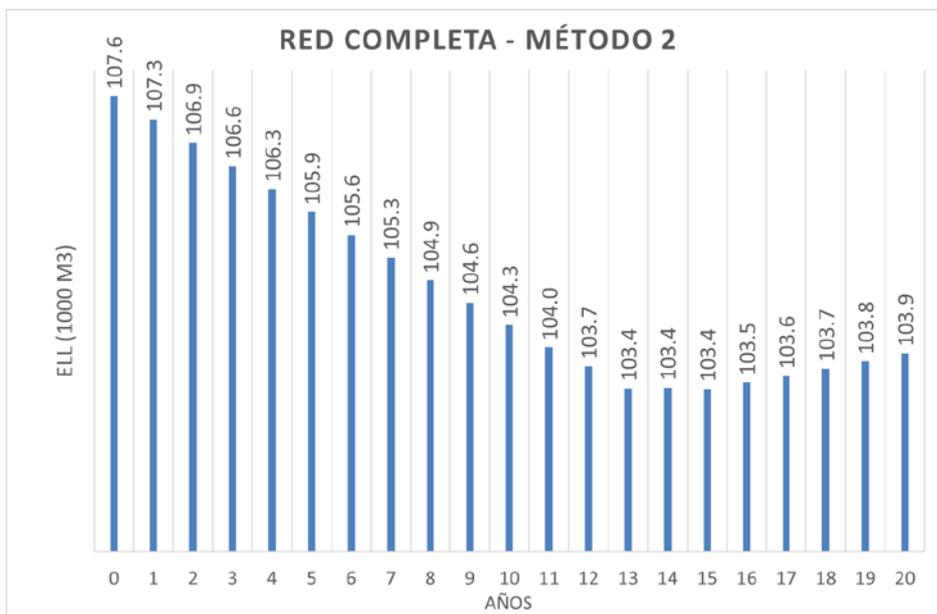


FIGURA 6-27 GRÁFICO ANÁLISIS A LARGO PLAZO- CASO 7 - MÉTODO 2 (RED COMPLETA)

En este caso se puede observar que existe una mejora anual en los niveles óptimos de fugas, sin embargo, al llegar la presión a su valor mínimo permitido (aproximadamente por el año 13), en el caso de la primera metodología sigue existiendo reducción, pero con una pendiente menor. Por el contrario, en la metodología 2, luego de que la presión llega a sus valores mínimos, existe un aumento de los valores óptimos de fugas.

Con ambas metodologías, sigue existiendo un ahorro en términos económicos. Lo que significa que mientras la inversión de implementar estos cambios en la red se mantenga por debajo de estos valores, se pueden considerar cambios rentables.

Hay que tener en consideración que el aumento del tamaño del sistema no es una mejora, sino más bien un cambio necesario cuyos costos debe asumir el abastecimiento, sin embargo, su aumento de pérdidas puede ser compensado por otros cambios.

**TABLA 6-10 CASO 7 – ANÁLISIS A LARGO PLAZO**

	<b>MÉTODO 1</b>	<b>MÉTODO 2</b>
<b>VAN</b>	\$2837.29	\$1442.64

### 6.3.3. CONCLUSIONES DEL ANALISIS A LARGO PLAZO

El propósito del análisis aquí efectuado es principalmente demostrar cómo afectan ciertos cambios en el ELL a largo plazo.

Como se puede observar, los casos 1 y 3 (aumento de rendimiento de inspecciones y reducción de presión respectivamente), son acciones que dependen de los gestores, es decir está en sus manos decidir si las realizan o no. Sin embargo, en el caso 2 (aumento de población) es una situación que no depende del gestor, desfavorable en términos de pérdida de agua y aun así debe ser afrontada por el mismo.

Por lo antes mencionado, este estudio de sensibilidad a largo plazo sirve a los gestores para mejorar su estrategia futura, tanto para optimizar lo que está en sus manos como para determinar la mejor forma de enfrentarse a lo que no lo está.

Teniendo esto claro, se debe recalcar que los cambios aquí aplicados han sido escogidos arbitrariamente, no todos serían posibles en la realidad, ya sea por la ubicación del sector o por los costes que estos cambios representarían.

Además, es importante tener presente que el coste marginal de agua utilizado en el ELL solo considera el coste de producción, por lo que es un valor bastante bajo (0.06 \$/m<sup>3</sup>).

- En este caso la presión promedio de los sectores se encuentra en valores bastante razonables, considerando que el mínimo permitido por Interagua es 15 mca. A pesar de esto se probó reducir la presión solo para ver cuando se podrían reducir los niveles de fugas. En el caso 3 se puede observar que los niveles en los últimos años del periodo de análisis llegaron a ser aproximadamente 4% menores, es decir se perderían 5000 m<sup>3</sup> menos al año, con una reducción de solo 2 mca en la presión.
- Aumentar el rendimiento de los equipos de inspección también se puede considerar una mejora para el ELL. Un aumento del 2% anual, representa una mejora del rendimiento de aproximadamente un 50 % en un periodo de 20 años. Este cambio se transforma en un ahorro de agua, en el último año de análisis, de un 12% con respecto al primero.
- Un cambio que también se analizó, pero no necesariamente representa una mejora en la red, es el aumento de las longitudes de red y número de acometidas. Este

aumento, como se puede ver en el caso 2, claramente genera un aumento en el ELL. Lo que quiere decir que, al momento de analizar el volumen necesario para abastecer la demanda adicional, se deberá considerar también ese volumen adicional de agua que se pierde en el sistema, mismo que podría ser mayor si el abastecimiento no se encuentra en los niveles mínimos económicos.

- En el caso de que el problema principal de un abastecimiento en expansión sea tener un recurso hídrico limitado, el aumento de pérdidas debido a la expansión se podría ver compensado implementando mejoras en el sistema. Tal como se puede observar en los casos 4, 6 y 7.
- En algunos casos implementar varias mejoras en la red no presenta los resultados esperados. Es recomendable siempre analizar cada cambio de manera individual y luego realizar todas las combinaciones posibles para poder seleccionar la mejor alternativa o combinación.
- Un punto importante para considerar es que, a pesar de presentar mejoras en la red y reducciones en el ELL, la implementación de algunos cambios puede llegar a ser realmente costosos. Dichos costes no están considerados en el análisis del ELL. Por lo que se debe hacer una comparación del beneficio económico que dichos cambios representan para el abastecimiento con el coste de inversión de estos.

Algo que se puede apreciar en los gráficos obtenidos por ambos métodos, especialmente en los casos 3 – 7, es la diferencia en los valores de ELL anuales a largo plazo. Esta diferencia se debe a que en el método 1, tanto las fugas de fondo como las reportadas se ven afectadas por el valor que el usuario selecciona de N1, además en las fugas reportadas son obtenidas en relación con el número real de roturas registradas en la red. Por otro lado, en el método 2, las fugas inevitables son calculadas solo considerando la longitud de redes y acometidas y número de acometidas. Por lo que ambas metodologías se ven afectadas de manera distinta a los posibles cambios implementados en el sistema.

## 7. APLICACIÓN A UN CASO PRÁCTICO (ELAL)

A pesar de que la intención inicial del trabajo era aplicar la herramienta en un caso práctico para, además de demostrar su correcto funcionamiento, realizar un breve análisis del sector y comparar entre los valores obtenidos en el ELL y el ELAL, en el presente trabajo no fue posible estimar el ELAL del sector por falta de información.

La totalidad de datos necesarios para estimar el ELAL no se obtuvo dentro del plazo de realización del presente trabajo, por lo que para la demostración del correcto funcionamiento de la herramienta se desarrolló el caso práctico que se encuentra en el mismo documento del cual se tomó la metodología (Arregui et al., 2018). Esto impide cualquier tipo de comparación de resultados con el caso analizado en el cálculo del ELL y respectivo análisis a largo plazo.

### 7.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO

El caso de estudio que se presenta a continuación es de una ciudad de España de tamaño mediano con una población total de 175 000 habitantes aproximadamente. El total de abonados es de 50 000. Presenta dos tipos de contadores: Volumétrico y de velocidad y 3 tipos de abonados, residencial, pequeños ICI\* y medianos-grandes ICI\*. La única consideración adicional que se hizo para este caso fue asumir que los valores en dólares y en euros son los mismos, para así evitar el cambio de unidad en la herramienta.

\*ICI: corresponde a industrias, comercios o instituciones.

### 7.2. DATOS DISPONIBLES

USER TYPE	RESIDENTIAL		SMALL ICI	MEDIUM-LARGE ICI
METER TYPE	VELOCITY	VOLUMETRIC	VELOCITY	VELOCITY
$NM_i$ (meters)	30,000	17,250	2500	250
$ACV_i$ (m <sup>3</sup> /year)	4,500,000	2,587,500	1,250,000	750,000
$\varepsilon_i(0)$ (%)	-5	-1	-3	0
$AMFF_i$ (%/year)	0.5	0.5	0.5	0.2
$ART_i$ (year)	0.7	0.7	0.7	0.2
$AIF_j$ (%/year)	0.3	0.3	0.4	0
$ADR_i$ (%/year)	0.5	0.5	0.3	0.1
$AICR_j$ (%/year)	0.15	0.15	0.05	0
$T_{MESi}$ (years)	14	14	14	14
$T_{ILLj}$ (years)	3	3	3	3
$UIC_{MESi}$ (€/meter)	32	37	62	400
$UIC_{ILLj}$ (€/meter)	5	5	5	50
ICF			1.21	
$DHE$ (m <sup>3</sup> /(meter × year))			0.18	
PW (€/m <sup>3</sup> )			0.9	

FIGURA 7-1 DATOS GENERALES DEL CASO DE ESTUDIO (ARREGUI ET AL., 2018)

Los datos disponibles fueron ingresados en el programa, esta es la única información que debe ser ingresada en el programa, el resto de los cálculos se realiza de forma automática.

		ICF 1.21		DHE 0.18		PW 0.80							
				m3/ (cont * año)								\$/m3	
TIPO DE USUARIO	TIPO DE CONTADOR	NM	ACV	E(0)	AMFF	ART	AIF	ADR	AICR	Tmes	TIII	UICmes	UICIII
		(# de cont)	(m3/año)	%	(%/año)	años	(%/año)	(%/año)	(%/año)	años	años	\$/cont	\$/cont
RESIDENCIAL	VELOCIDAD	30250	4500000	-5%	0.50%	0.7	0.30%	0.50%	0.15%	14	3	32	5
RESIDENCIAL	VOLUMETRICO	17250	2587500	-1%	0.50%	0.7	0.30%	0.50%	0.15%	14	3	37	5
PEQUEÑO ICI	VELOCIDAD	2500	1250000	-3%	0.50%	0.7	0.40%	0.30%	0.05%	14	3	62	5
MED-GRAN	VELOCIDAD	250	750000	0%	0.20%	0.2	0.00%	0.10%	0.00%	14	3	400	50

FIGURA 7-2 DATOS GENERALES INGRESADOS EN EL PROGRAMA

### 7.3. ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La primera parte del cálculo es estimar las IIAAL de los 3 tipos: IIAAL<sub>MES</sub>, IIAAL<sub>ILL</sub> e IIAAL<sub>DH</sub>.

DEBIDO A INEXACTITUD DE CONTADORES									
TIPO DE CONTADOR	DATO FABRICANTE	PARCIAL	1 TERMINO IIAAL						
	e(0)	ACV	UAUV	UAUV	AMFF	ART	ADMFAL	ADMFAL	IIAAL MES
		m3/año	m3/año	m3/año	%/año	años	m3/año	m3/año	m3/año
VELOCIDAD	-0.05	4500000	-225000	288375	0.01	0.70	15750	29481	378415
VOLUMETRICO	-0.01	2587500	-25875		0.01	0.70	9056		
VELOCIDAD	-0.03	1250000	-37500		0.01	0.70	4375		
VELOCIDAD	0.00	750000	0		0.00	0.20	300		

FIGURA 7-3 RESULTADOS IIAAL<sub>MES</sub>

DEBIDO A CONEXIONES ILEGALES					DEBIDO A ERRORES DE MANEJO DE DATOS			
TIPO DE USUARIO	ACV	AIF	PARCIAL	2 TERMINO IIAAL	TIPO DE CONTADOR	NM	Σ NM	3 TERMINO IIAAL
			IIAAL ILL	IIAAL ILL				IIAAL DHE
	m3/año	%/año	m3/año	m3/año	# de cont.			m3/año
RESIDENCIAL	4500000	0.30%	13500	26262.50	VELOCIDAD	30250	50250	9045
RESIDENCIAL	2587500	0.30%	7763		VOLUMETRICO	17250		
PEQUEÑO ICI	1250000	0.40%	5000		VELOCIDAD	2500		
MED-GRAN	750000	0.00%	0		VELOCIDAD	250		

FIGURA 7-4 RESULTADOS IIAAL<sub>ILL</sub> e IIAAL<sub>DH</sub>

$$IIAAL = 413\,722.50 \text{ m}^3/\text{año}$$

Luego para determinar el CAAL (“Current Annual Apparent Losses” o “Pérdidas Anuales Aparentes Actuales”) se debe calcular las IDAAL considerando la situación actual, es decir, considerando el tiempo que se requiere para cambiar todos los contadores e inspeccionar toda la red ( $T_{MES}$  y  $T_{ILL}$ ).

DEBIDO A ENEXACTITUD DE CONSTADORES						
TIPO DE CONTADOR	ACV	ADR	NRRAL	TMES	IDAAL MES	1 TERMINO IDAAL
						IDAAL MES(prom)
	m3/año	%/año	m3/año2	año	m3/año	m3/año
VELOCIDAD	4500000	0.50%	22500	14	157500	279563
VOLUMETRICO	2587500	0.50%	12938	14	90563	
VELOCIDAD	1250000	0.30%	3750	14	26250	
VELOCIDAD	750000	0.10%	750	14	5250	

FIGURA 7-5 RESULTADOS IDAAL<sub>MES</sub>

DEBIDO A CONEXIONES ILEGALES						
TIPO DE USUARIO	ACV	AICR	NRRAL	TILL	IDAAL ILL	2 TERMINO IDALL
						IDAAL ILL(prom)
	m3/año	%/año	m3/año2	año	m3/año	m3/año
RESIDENCIAL	4500000	0.15%	6750	3	10125	16884
RESIDENCIAL	2587500	0.15%	3881	3	5822	
PEQUENO ICI	1250000	0.05%	625	3	938	
MED-GRAN	750000	0.00%	0	3	0	

FIGURA 7-6 RESULTADOS IDAAL<sub>ILL</sub>

$$IDAAL = 296\,447.00 \text{ m}^3/\text{año}$$

Con la suma del IIAAL e IDAAL se obtiene el CAAL:

$$CAAL = 710\,169\text{ m}^3/\text{año}$$

Lo siguiente que calcula la herramienta son los costes anuales de las políticas de intervención actuales. Estos costes se deben calcular para cada tipo de intervención, es decir, para el reemplazo de los contadores debido a errores en los mismos y para las inspecciones en busca de conexiones ilícitas.

DEBIDO A INEXACTITUD DE CONTADORES										
TIPO DE CONTADOR	NIM	UCIMES	TICMES	TMES	AIB MES	IDAAL MES(prom)	ACW MES	TAC MES	PARCIAL	1 TERMINO TAC
										TAC MES
	# de cont.		\$	año	\$/año	m3/año	\$/año	\$/año		\$/año
VELOCIDAD	30250	32	968000	14	69143	157500	126000	195143		356596
VOLUMETRICO	17250	37	638250	14	45589	90563	72450	118039		
VELOCIDAD	2500	62	155000	14	11071	26250	21000	32071		
VELOCIDAD	250	400	100000	14	7143	5250	4200	11343		

FIGURA 7-7 RESULTADO TAC<sub>MES</sub>

DEBIDO A CONEXIONES ILEGALES									
TIPO DE CONTADOR	NIM	UCILL	TICILL	TILL	AIB ILL	IDAAL ILL(prom)	ACW ILL	TAC ILL	2 TERMINO TAC
									TAC ILL
	# de cont.		\$	año	\$/año	m3/año	\$/año	\$/año	\$/año
VELOCIDAD	30250	5	151250	3	50417	10125	8100	58517	101008
VOLUMETRICO	17250	5	86250	3	28750	5822	4658	33408	
VELOCIDAD	2500	5	12500	3	4167	938	750	4917	
VELOCIDAD	250	50	12500	3	4167	0	0	4167	

FIGURA 7-8 RESULTADO TAC<sub>ILL</sub>

$$TAC = 457\,604\text{ \$/año}$$

Por último, se determina la frecuencia óptima de intervenciones y la estimación del ELAL. En esta parte se calculan todos los valores óptimos de para poder compararlos luego con los costes actuales.

DEBIDO A INEXACTITUD DE CONTADORES										
TIPO DE CONTADOR	TICmes	NRRALmes	IDAAL opt mes	IDAAL opt mes	T opt mes	PAIM opt mes	ACW opt mes	AIB opt mes	TAC opt mes	TAC opt mes
	\$	m3/año2	m3/año	m3/año	años	%/año	\$/año	\$/año	\$/año	\$/año
VELOCIDAD	968000	22500	116673	214418	10	10%	93338	93338	186676	343069
VOLUMETRICO	638250	12938	71839		11	9%	57471	57471	114942	
VELOCIDAD	155000	3750	19060		10	10%	15248	15248	30496	
VELOCIDAD	100000	750	6847		18	5%	5477	5477	10954	

FIGURA 7-9 RESULTADOS OPTIMOS IDAAL<sub>MES</sub>

DEBIDO A CONEXIONES ILEGALES										
TIPO DE USUARIO	TICill	NRRALill	IDAAL opt ill	IDAAL opt ill	T opt ill	PAIM opt ill	ACW opt ill	AIB opt ill	TAC opt ill	TAC opt mes
	\$	m3/año2	m3/año	m3/año	años	%/año	\$/año	\$/año	\$/año	\$/año
RESIDENCIAL	151250	6750	25260	41935	7	13%	20208	20208	40417	67095
RESIDENCIAL	86250	3881	14465		7	13%	11572	11572	23143	
PEQUENO ICI	12500	625	2210		7	14%	1768	1768	3536	
MED-GRAN	12500	0	0		0	0%	0	0	0	

FIGURA 7-10 RESULTADOS OPTIMOS IDAAL<sub>ILL</sub>

$$IDAAL\ opt = 256\ 352.78\ m^3/año$$

Sumando el IIAAL con el IDAALopt se obtiene el ELAL:

$$ELAL = 670\ 075.28\ m^3/año$$

## RESUMEN

CAAL 710169 m3/año	IIAAL 413723 m3/año	IIAALmes 378415 m3/año
		IIAALill 26263 m3/año
		IIAALdh 9045 m3/año
	IDAAL 296447 m3/año	IDAALmes 279563 m3/año
		IDAALill 16884 m3/año
		IIAALmes 378415 m3/año
ELAL 670075 m3/año	IIAAL 413723 m3/año	IIAALill 26263 m3/año
		IIAALdh 9045 m3/año
		IDAAL opt mes 214418 m3/año
	IDAALopt 256353 m3/año	IDAAL opt ill 41935 m3/año

**FIGURA 7-11 RESUMEN DE LOS RESULTADOS**

	AIBmes \$/año	ABI ill \$/año	ACW mes \$/año	ACW ill \$/año	TAC mes \$/año	TAC ill \$/año	TAC \$/año
<b>ACTUAL</b>	132946	87500	223650	13508	356596	101008	457604
<b>MINIMIZADO</b>	171535	33548	171535	33548	343069	67095	410164

**FIGURA 7-12 COMPARACION DE COSTES ACTUALES Y MINIMIZADOS**

	FORMULA	RESULTADO
<b>ALI</b>	CAAL/IIAAL	1.72
<b>ALEI</b>	CAAL/ELAL	1.06
<b>ALEPI</b>	ELAL/IIAAL	1.62

**FIGURA 7-13 INDICES DE SITUACION ACTUAL**

## CONCLUSIONES DEL CÁLCULO DEL ELAL

Al observar los resultados obtenidos, se comprueba que existe una posible mejora en el nivel de pérdidas aparentes.

En términos de volumen de agua ahorrada, se puede trabajar en un rango de mejora de aproximadamente un 6%. Con estas mejoras, se puede obtener un ahorro económico de un 11% aproximadamente, mismo que representa \$47 000 anuales.

Al analizar de manera individual los 2 tipos de intervenciones, se puede ver que en lo que respecta a los cambios de contadores, el nivel óptimo considera una mayor inversión, es decir un aumento en la frecuencia de intervención para así poder reducir los niveles de agua pérdida por errores de medición.

Por otro lado, en lo respecta a la inspección en búsqueda de conexiones ilícitas, el coste de intervención óptimo es menor al actual, es decir, la frecuencia actual no genera el ahorro de agua suficiente para que sea rentable, por lo que es necesario reducir la frecuencia de estas. Esto genera un aumento en la fugas debido a conexiones ilícitas, sin embargo, se puede observar que el aumento en costes de agua fugada es menor en comparación al ahorro en términos de inspección.

## 8. CONCLUSIONES

En lo que respecta al cálculo del ELL:

- El presente trabajo pretendió recopilar la mayor cantidad de metodologías de obtención de los parámetros que intervienen en este, organizarlos de manera sencilla y desarrollar una herramienta de cálculo fácil de usar. La idea principal es que cualquier abastecimiento pueda implementar su uso. En el caso de no disponer de la información necesaria para el cálculo, pueda tener una idea de la información mínima necesaria.
- Se demostró el correcto funcionamiento de la herramienta y se pudo observar la diferencia en los resultados que muestran ambas metodologías de cálculos del ELL.
- Aún quedan muchas mejoras que se pueden implementar en la herramienta, como incluir otros métodos de estimación de los parámetros, recomendaciones para ciertos parámetros basados en experiencias en campo o pruebas de laboratorio, etc.

En el análisis a largo plazo del ELL:

- Se pudo observar cómo afectan ciertos cambios, ya sean por mejoras o por el desarrollo del abastecimiento.
- La herramienta se puede mejorar en lo que respecta a los cambios que permite analizar a largo plazo, implementar límites en los parámetros, entre otras cosas. Mejoras que no se incluyeron en este trabajo debido al tiempo, ya que se notaron en la última fase del trabajo.
- El análisis a largo plazo no se debe hacer exclusivamente analizando los niveles económicos de fugas de cada año, sino más bien se debe complementar con un análisis económico que compare la implementación de estos cambios y su respectiva inversión con respecto a no hacer ninguno cambio. Siempre trayendo a valor presente los valores obtenidos para que sean comparables con otras opciones.

En lo que respecta al cálculo del ELAL:

- La idea inicial de incluir este cálculo era poder comparar en el caso práctico los niveles de fugas obtenidos en este y sus posibles mejoras con respecto al ELL. Sin embargo, no fue posible por falta de información.
- Se pudo observar que, en el análisis de estas fugas, según la metodología desarrollada en el trabajo de Arregui et al., (2018), se mantuvo un esquema similar de cálculo de niveles óptimos de fugas. Esto facilita la comprensión del cálculo una vez que se ha comprendido la metodología de cálculo del ELL.
- El cálculo del ELAL quedó incluido en la herramienta, de manera que cualquier abastecimiento pueda aplicarlo. La ficha de resultados permite una mejor comprensión de estos.
- El análisis desarrollado en la herramienta podría presentar mejoras como la estimación del precio del agua en sectores donde existen costes escalonados, incluir metodologías de obtención de ciertos parámetros, o recomendaciones para los mismos. Mejoras que, como ya se mencionó anteriormente, no pudieron ser incluidas por el tiempo que requieren para ser implementadas.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. AL-Washali, T., Sharma, S. & Kennedy, M., (2016). *Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review*. Water Resources Management. October 2016
2. Arregui, F., Cobacho, R., Soriano, J. & Jimenez-Redal, R. (2018). *Calculation Proposal for the Economic Level of Apparent Losses (ELAL) in a Water Supply System*. WATER, MDPI. December 2018.
3. Banco Central del Ecuador. (2019). "Tasas de interés - mayo 2019". Febrero 2019, de BCE Sitio web:  
<https://contenido.bce.fin.ec/docs.php?path=/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>
4. Cobacho, R. (2018) "Gestión técnica de abastecimientos de agua urbanos sostenibles" Universidad Politécnica de Valencia. Junio 2018
5. Fanner, P.; Sturm, R.; Thornton, J.; Liemberger, R.; Davis, S. and Hoogerwerf, T. (2007). *Leakage Management Technologies*. Estados Unidos: Awwa Research Foundation. IWA Publishing.
6. Fanner, P. y Lambert, A. (s.f.). *Calculating SRELL with Pressure Management, Active Leakage Control and Leak Run-Time Options, with confidence limits*.
7. Kayaga, S.; Munoz-Tronchez, C. y Smout, I. (2010). *Incorporating energy use into the economic level of Leakage Model*. World Wide Workshop for Young Environmental Scientists: 2010, May 2010, Arcueil, France.
8. Kayaga, S.; Munoz-Tronchez, C. y Smout, I. (2010). *Adapting the economic level of leakage concept to include carbon emissions, and application with limited data*. IWA World Water Congress 2010, Montreal, Canada, 19-24 September
9. Lambert, A., Brown, T.G., Takizawa, M. and Weimer, D. (1999). A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems. AQUA, December 1999.
10. Lambert, A. (2001). *What do we know about pressure: leakage relationships in distribution systems?*. International Water Data Comparisons Ltd. UK, 2001

11. Lambert, A. y Lalonde, A. (2005). *Using practical predictions of Economic Intervention Frequency to calculate Short-run Economic Leakage Level, with or without Pressure Management*. Conference Proceedings – Leakage 2005.
12. Munoz-Trochez, C. (2012). *Inclusion of energy externalities in the economic level of leakage (ELL) model*. Julio, 2018, de Loughborough University.  
Sitio web: <https://dspace.lboro.ac.uk/2134/9533>
13. Thornton, J. (2002). *Water loss control manual*. Estados Unidos: McGraw-Hill.
14. Wikipedia. (2019). Guayaquil. Enero 2019, de Wikipedia Sitio web: [https://es.wikipedia.org/wiki/Guayaquil#/media/File:Ecuador\\_location\\_map.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Guayaquil#/media/File:Ecuador_location_map.svg)
15. Wyatt, A. (2010). *Non-Revenue Water: Financial Model for Optimal Management in Developing Countries*. RTI International.