

Trabajo Fin de Máster

CALCULO DEL NIVEL ECONÓMICO DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A CORTO PLAZO. APLICACIÓN A UN SECTOR DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL (ECUADOR)

Intensificación: *HIDRAULICA URBANA*

Autor:

KARIN FRANCO SILVA

Tutor:

FRANCISCO ARREGUI DE LA CRUZ

Cotutor:

RICARDO COBACHO JORDAN

MAYO, 2019



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma



Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título del TFM en español: Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

Título del TFM en inglés: Calculation of the Economic Level of Leakage in water distribution networks and sensitivity analysis in the short term. Application to a sector of the city of Guayaquil (Ecuador)

Título del TFM en Valenciano: Calcul del Nivell Econòmic de Fugides en xarxes de distribució d'aigua i anàlisis de sensibilitat a curt termini. Aplicació a un sector de la ciutat de Guayaquil (Ecuador)

Alumno: Karin Lynnethe Franco Silva.

Tutor: Francisco Arregui de la Cruz

Cotutor/es: Ricardo Cobacho Jordán

Fecha de Lectura: Mayo, 2019

Resumen

En español (máximo 5000 caracteres)

La gestión del agua, tanto para uso agrícola como urbano, es un tema que ha tenido un impacto significativo en las últimas décadas. Desde el punto de vista ambiental, a nivel mundial se realizan campañas de concienciación para que empresas y ciudadanos contribuyan a la conservación de este recurso tan importante. Una utilización eficiente por parte de los usuarios finales consigue reducir las necesidades totales de agua, pero no es la única perspectiva que debe considerarse para realizar una mejor gestión. Las fugas en los sistemas de abastecimiento pueden afectar la estabilidad del sistema, la edad funcional de la red y la calidad del agua y servicio prestado por las empresas.

Es por ello, que los abastecimientos deben tomar decisiones estratégicas en torno a la gestión de las pérdidas de agua, especialmente en lo que refiere a la magnitud de las inversiones a realizar para reducir los volúmenes fugados. En este sentido,

resulta necesario conocer el punto de equilibrio entre los costes que supone las políticas de control de fugas y los costes del agua pérdida. En dicho punto de equilibrio, denominado Nivel Económico de Fugas, el sistema funcionará de forma efectiva. El problema es que no todos los abastecimientos son capaces de calcular este nivel de fugas debido a las simplificaciones y suposiciones que deben realizarse.

Actualmente existen varias metodologías para obtener el Nivel Económico de Fugas. Sin embargo, el principal inconveniente al que se enfrentan los gestores de los abastecimientos de agua, es que la información disponible se encuentra disgregada y en muchos casos su calidad no es suficientemente buena. Además, no existe una herramienta que recopile esta información de forma organizada, fácil y accesible.

En el presente trabajo se desarrollará una herramienta para el cálculo del Nivel Económico de Fugas, para distintos grados de información disponible, teniendo en consideración varias metodologías desarrolladas. De esta forma, cualquier abastecimiento puede realizar el cálculo del Nivel Económico de Fugas, que servirá como base para tomar decisiones adecuadas en torno a la gestión del agua potable.

Por otro lado, se realizará un análisis de sensibilidad a corto plazo de forma que se pueda estimar el grado de afección de cada parámetro en el cálculo del Nivel Económico de Fugas y la importancia de la fiabilidad de estos. De esta forma, los gestores podrán tener en consideración al momento de recolectar la información, que datos deben tener una mayor precisión, por lo que requieren mayor esfuerzo e inversión de recursos, y cuales se pueden estimar.

Finalmente, para determinar la calidad de la herramienta desarrollada, se aplica la misma a un caso práctico con datos reales, de un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador).

En valenciano (máximo 5000 caracteres)

La gestió de l'aigua, tant per a ús agrícola com urbà, és un tema que ha tingut un impacte significatiu en les últimes dècades. Des del punt de vista ambiental, a nivell mundial es realitzen campanyes de conscienciació perquè empreses i ciutadans contribuïsqen a la conservació d'aquest recurs tan important. Una utilització eficient

per part dels usuaris finals aconseguir reduir les necessitats totals d'aigua, però no és l'única perspectiva que ha de considerar-se per a realitzar una millor gestió. Les fugides en els sistemes de proveïment poden afectar l'estabilitat del sistema, l'edat funcional de la xarxa i la qualitat de l'aigua i servei prestat per les empreses.

És per això, que els proveïments han de prendre decisions estratègiques entorn de la gestió de les pèrdues d'aigua, especialment en el que refereix a la magnitud de les inversions a realitzar per a reduir els volums escapolits. En aquest sentit, resulta necessari conèixer el punt d'equilibri entre els costos que suposa les polítiques de control de fugides i els costos de l'aigua perduda. En aquest punt d'equilibri, denominat Nivell Econòmic de Fugides, el sistema funcionarà de forma efectiva. El problema és que no tots els proveïments són capaços de calcular aquest nivell de fugides a causa de les simplificacions i suposicions que han de realitzar-se.

Actualment existeixen diverses metodologies per a obtenir el Nivell Econòmic de Fugides. No obstant això, el principal inconvenient al qual s'enfronten els gestors dels proveïments d'aigua, és que la informació disponible es troba disgregada i en molts casos la seua qualitat no és prou bona. A més, no existeix una eina que recopile aquesta informació de forma organitzada, fàcil i accessible.

En el present treball es desenvoluparà una eina per al càlcul del Nivell Econòmic de Fugides, per a diferents graus d'informació disponible, tenint en consideració diverses metodologies desenvolupades. D'aquesta forma, qualsevol proveïment pot realitzar el càlcul del Nivell Econòmic de Fugides, que servirà com a base per a prendre decisions adequades entorn de la gestió de l'aigua potable.

D'altra banda, es realitzarà una anàlisi de sensibilitat a curt termini de manera que es pugui estimar el grau d'afecció de cada paràmetre en el càlcul del Nivell Econòmic de Fugides i la importància de la fiabilitat d'aquests. D'aquesta forma, els gestors podran tindre en consideració al moment de recol·lectar la informació, que dades han de tindre una major precisió, per la qual cosa requereixen major esforç i inversió de recursos, i quals es poden estimar.

Finalment, per a determinar la qualitat de l'eina desenvolupada, s'aplica la mateixa a un cas pràctic amb dades reals, d'un sector de la ciutat de Guayaquil (l'Equador).

En inglés (máximo 5000 caracteres)

Water management, both for agricultural and urban use, is an issue that has had a significant impact in recent decades. From the environmental point of view, awareness-raising campaigns are carried out worldwide so that companies and citizens can contribute to the conservation of this important resource. An efficient use may reduce the total water needs, but it is not the only perspective that should be considered in order to improve management. Leaks in the supply systems can affect the stability of the system, the functional age of the network and the quality of the water and service provided by the companies.

It is for this reason that supplies must make strategic decisions regarding the management of water losses, especially as regards the magnitude of the investments to be made in order to reduce the volumes leaked. In this sense, it is necessary to know the equilibrium point between the costs involved in leakage control policies and the costs of lost water. At this equilibrium point, called the Economic Leakage Level, the system will work effectively. The problem is that not all supplies are able to calculate this level of leakage due to the simplifications and assumptions that must be made.

Currently, there are several methodologies to obtain the Economic Leakage Level. However, the main problem faced by managers of water supplies is that the available information is scattered and in many cases its quality is not good enough. In addition, there is no tool that collects this information in an organized, easy and accessible way.

In this project, will be developed a tool for the calculation of the Economic Level of Leakage, for different degrees of available information, taking into account several developed methodologies. In this way, any company can perform the calculation of the Economic Leakage Level, which will serve as a basis to make appropriate decisions regarding the management of water.

On the other hand, a short-term sensitivity analysis will be carried out so that the degree of affection of each parameter can be estimated in the calculation of the Economic Leakage Level and the importance of the reliability of these. In this way, managers can take into account when collecting information, which data should be

more accurate, so it requires more effort and investment of resources, and which can be estimated.

Finally, to determine the quality of the tool developed, it is applied to a practical case with real data from a sector of the city of Guayaquil (Ecuador).

Palabras clave español (máximo 5): Fugas, gestión del agua, análisis de sensibilidad, Nivel Económico de Fugas

Palabras clave valenciano (máximo 5): Fugides, gestió de l'aigua, anàlisi de sensibilitat, Nivell Econòmic de Fugides

Palabras clave inglés (máximo 5): Leakage, water management, sensitivity analysis, Economic Level of Leakage

TABLA DE CONTENIDO

Índice de gráficos	10
Índice de tablas	13
1. Introducción	14
2. Importancia del tema	15
3. Objetivos.....	16
4. Marco teorico.....	17
5. Nivel económico de fugas.....	22
5.1. Metodo 1	23
5.1.1. Fugas de fondo.....	23
5.1.2. Fugas por roturas notificadas.....	25
5.1.3. Fugas por roturas no notificadas.....	26
5.2. Metodo 2 – EARL y UARL	35
6. Desarrollo de la herramienta de cálculo.....	36
6.1. Pestaña 1 – Esquema	39
6.2. Pestaña 2 – ELL.....	39
6.2.1. Información necesaria.....	39
6.3. Pestaña 3 – N1.....	40
6.3.1. Información necesaria.....	42
6.4. Pestaña 4 – Nrr	43
6.4.1. Información necesaria.....	44
6.5. Pestaña 5 – Costes	45
6.5.1. Información necesaria.....	46
6.6. Pestaña 6 – Rot. Not	46
6.6.1. Información necesaria.....	47
6.7. Pestaña 7 – Q Nocturnos.....	48
6.7.1. Información necesaria.....	48

6.8.	Pestaña 8 – Grafico Q Noct	48
6.8.1.	Información necesaria.....	49
6.9.	Pestaña 9 – Volumen Mensual	49
6.9.1.	Información necesaria.....	49
6.10.	Pestaña 10 – ELL (Metodo 2)	49
6.10.1.	Información necesaria	50
6.11.	Pestaña 11 – Sensibilidad N1	50
6.12.	Pestaña 12 – Sensibilidad presion.....	51
6.13.	Pestaña 13 – Sensibilidad CI.....	51
6.14.	Pestaña 14 – Sensibilidad CA	55
7.	Analisis de sensibilidad.....	55
7.1.	Coeficiente N1	56
7.2.	Presión	57
7.3.	Costes de inspección.....	59
7.4.	Coste marginal del agua (costes ambientales)	59
8.	Aplicación a un sector del centro-sur de la ciudad de Guayaquil	61
8.1.	Metodo 1	63
8.2.	Metodo 2	68
8.3.	Comparacion entre metodologias	69
8.4.	Analisis Sensibilidad	71
8.4.1.	Sensibilidad N1	71
8.4.2.	Sensibilidad presion.....	75
8.4.3.	Sensibilidad costes ambientales	76
9.	Conclusiones	77
10.	Bibliografia.....	79
11.	Anexos	82
11.1.	Anexo 1	82

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

11.2. Anexo 2	88
11.3. Anexo 3	92
11.4. Anexo 4	96
11.5. Anexo 5	100
11.6. Anexo 6	102
11.7. Anexo 7	103
11.8. Anexo 8	104

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Las 4 estrategias para reducir las pérdidas reales	21
Gráfico 2. Desglose del coste marginal del agua.....	30
Gráfico 3. Variación del caudal, presión y fugas a lo largo del día.....	34
Gráfico 4. Nivel Económico de Fugas (metodo 2)	35
Gráfico 5. Esquema para el cálculo del Nivel Económico de Fugas (Método 1)	38
Gráfico 6. Esquema para el cálculo del Nivel Económico de Fugas (Método 2)	38
Gráfico 7. Explicación grafica de la Pestaña 6 – ROT. NOT.....	47
Gráfico 8. Explicación de la pestaña 11.....	52
Gráfico 9. Explicación de la pestaña 12.....	53
Gráfico 10. Explicación de la pestaña 13.....	54
Gráfico 11. Explicación de la Pestaña 14	55
Gráfico 12. Ejemplo del resultado del análisis de sensibilidad del coeficiente N1	57
Gráfico 13. Ejemplo del resultado del análisis de sensibilidad de la presión	58
Gráfico 14. Ejemplo del resultado del análisis de costes ambientales.....	60
Gráfico 15. Ubicación de los sectores analizados	62
Gráfico 16. Caudales medidos en los sectores analizados.....	64
Gráfico 17. Cálculo de costes de inspección y del agua para los sectores analizados	66
Gráfico 18. Comparación visual de los resultados obtenidos por el método 1 y 2 del ELL	70
Gráfico 19. Grafico comparativo de las fugas por roturas notificadas con variaciones del coeficiente N1	74
Gráfico 20. Grafico comparativo de las fugas de fondo con variaciones del coeficiente N1.	74
Gráfico 21. Cuadro comparativo del Nivel Económico de Fugas con variaciones del coeficiente N1.	74
Gráfico 22. Grafico comparativo de la variación de las fugas por roturas notificadas con cambios de presión en la red.....	75

Gráfico 23. Grafico comparativo de la variación de las fugas de fondo con cambios de presión en la red.....	75
Gráfico 24. Grafico comparativo de la variación del ELL con cambios de presión en la red.	76
Gráfico 25. Resultados del análisis de costes ambientales en los sectores estudiados	77
Gráfico 26. Explicación general de la Pestaña 2.	82
Gráfico 27. Explicación grafica del bloque 1 de la Pestaña 2	83
Gráfico 28. Explicación gráfica del Bloque 2 de la Pestaña 2.....	84
Gráfico 29. Explicación gráfica del Bloque 3 de la Pestaña 2.....	85
Gráfico 30. Explicación gráfica del Bloque 4 de la Pestaña 2.....	86
Gráfico 31. Explicación gráfica del Bloque 5 de la Pestaña 2.....	87
Gráfico 32. Explicación general de la Pestaña 3.	88
Gráfico 33. Grafico comparativo entre metodologías de cálculo del coeficiente N1..	89
Gráfico 34. Explicación gráfica del Bloque 2 y 3 de la Pestaña 3	90
Gráfico 35. Explicación gráfica del Bloque 4 y 5 de la Pestaña 3	91
Gráfico 36. Explicación general de la Pestaña 4	92
Gráfico 37. Explicación gráfica de los Bloques 2 y 3 de la Pestaña 4.....	93
Gráfico 38. Explicación del Bloque 4 de la pestaña 4.....	94
Gráfico 39. Explicación del Bloque 5 de la pestaña 4	95
Gráfico 40. Explicación general del Grupo 1 de la Pestaña 5.....	96
Gráfico 41. Explicación general del Grupo 2 de la Pestaña 5.....	97
Gráfico 42. Explicación del Bloque 1 (Grupo 2) de la Pestaña 5	97
Gráfico 43. Explicación del Bloque 2 (Grupo 2) de la Pestaña 5	98
Gráfico 44. Explicación del Bloque 3 (Grupo 2) de la Pestaña 5	98
Gráfico 45. Explicación del Bloque 1 (Grupo 3) de la Pestaña 5	99
Gráfico 46. Explicación del Bloque 2 (Grupo 3) de la Pestaña 5	99
Gráfico 47. Explicación del Bloque 3 (Grupo 3) de la Pestaña 5	99

Gráfico 48. Explicación del Bloque 1 de la Pestaña 7	100
Gráfico 49. Bloque 2 de la Pestaña 7	101
Gráfico 50. Bloque 3 de la Pestaña 7	101
Gráfico 51. Explicación de la pestaña 8.....	102
Gráfico 52. Explicación de la pestaña 9.....	103
Gráfico 53. Explicación general de la Pestaña 10	104
Gráfico 54. Explicación gráfica del Bloque 2 de la Pestaña 10	105
Gráfico 55. Explicación gráfica de los bloques 3 y 4 de la Pestaña 10	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Balance Hídrico del IWA.....	18
Tabla 2. Metodologías para detección de fugas	29
Tabla 3. Contenido de la herramienta de cálculo del ELL.....	37
Tabla 4. Tipos de celdas	39
Tabla 5. Resumen de los costes calculados.....	45
Tabla 6. Límites de los sectores analizados	62
Tabla 7. Coeficiente N1 de los sectores analizados	63
Tabla 8. NRR de los sectores analizados.....	65
Tabla 9. Cálculo de las fugas por roturas no notificadas en los sectores analizados	67
Tabla 10. Cálculo de las fugas por roturas notificadas en los sectores analizados...	67
Tabla 11. Cálculo de las fugas de fondo en los sectores analizados	68
Tabla 12. Resultados del ELL utilizando el Método 1.	68
Tabla 13. Cálculo del EARL en los sectores analizados.....	69
Tabla 14. Calculo del UARL en los sectores analizados.....	69
Tabla 15. Resultados del ELL utilizando el Método 2.	69
Tabla 16. Cuadro comparativo del ELL con las distintas metodologías	70
Tabla 17. Cuadro comparativo de las fugas por roturas notificadas con variaciones del coeficiente N1.....	73
Tabla 18. Cuadro comparativo de las fugas de fondo con variaciones del coeficiente N1.	73
Tabla 19. Cuadro comparativo del Nivel Económico de Fugas con variaciones del coeficiente N1.	73
Tabla 20. Cuadro comparativo en porcentaje del Nivel Económico de Fugas con variaciones del coeficiente N1.....	73
Tabla 21. Tipo de celdas de la hoja de cálculo	82

1. INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso natural más abundante en el planeta Tierra, y es considerado un líquido vital para el desarrollo de la vida. Las Naciones Unidas (s.f.) afirma que este recurso es esencial para el desarrollo sostenible, y declaró que “los recursos hídricos, y la gama de servicios que prestan, juegan un papel clave en la reducción de la pobreza, el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental”. Sin embargo, actualmente 2100 millones de personas carecen de agua potable en sus hogares, según la Organización Mundial de la Salud (s.f.). Por esto, es imprescindible realizar un correcto manejo de los recursos hídricos del planeta.

Actualmente los sectores que tienen acceso al agua potabilizada se abastecen, ya sea mediante tanqueros, los cuales reparten el agua en un horario definido, o mediante una red, las cuales pueden tener un servicio continuo (a lo largo de las 24 horas del día los 365 días del año) o uno intermitente (un cierto número de horas al día dependiendo del sector).

Una red de abastecimiento de agua potable es aquella obra de ingeniería que permite el transporte del agua potable hasta las viviendas de los habitantes de una ciudad, pueblo o área rural (Chuquirima, 2010). Uno de los principales problemas que presentan las empresas que se encargan del manejo de dichas obras, son los relacionados a las pérdidas de agua, las cuales incluyen tanto las pérdidas comerciales, como las pérdidas físicas.

El agua no facturada, es aquella que no es cobrada. En un sistema de abastecimiento, las fugas, denominadas perdidas reales son una fracción del agua no facturada, y vienen dadas por todos los fallos en tuberías, tanques de almacenamiento y/o accesorios que provoquen una pérdida de agua. Este es uno de los principales problemas a los que se enfrentan los gestores, no solo por el coste del agua perdida, sino por los costes adicionales que implican, y los impactos ambientales y sociales que conllevan.

El impacto de las pérdidas de aguas es significativo. Las fugas pueden afectar la estabilidad del sistema de abastecimiento, la edad funcional de la red, la calidad del agua y la calidad del servicio prestado (Al-Washali, Kennedy y Sharma, 2016). Desde el punto de vista ambiental, las fugas se pueden considerar como un

desperdicio de agua en el que se deben tomar las medidas correspondientes, de lo contrario, el agua ahorrada como fruto de campañas de concientización y conservación a nivel mundial, llega a ser insignificante en comparación con las fugas en los sistemas de distribución. Por otro lado, la imagen de la empresa responsable se puede ver afectada, debido a que se motiva a la población a ahorrar recursos hídricos, pero la empresa no pone esto en práctica, teniendo niveles de fugas muy altos.

Desde el punto de vista económico, un aumento del caudal fugado incrementa los costes de operación, y requerirá una mayor inversión, reduciéndose significativamente las utilidades de la empresa (Al-Washali et al, 2016). El ahorro por reducción de pérdidas, en una primera instancia puede parecer poco conveniente, pero es muy probable que con el tiempo se ahorren muchos recursos económicos al no tener que realizar inversiones para ampliar las infraestructuras existentes con el fin de satisfacer la demanda.

Por esta razón, las decisiones en torno a la gestión de fugas, no pueden ser tomadas considerando netamente el punto de vista ambiental, el cual tendrá como objetivo un caudal fugado prácticamente nulo, debido a que no sería económicamente rentable. Es necesario considerar el punto de vista económico al momento de reducir fugas en un sistema de abastecimiento. Los gestores deben encontrar un punto de equilibrio, en el cual se compense el capital invertido, con el coste del agua ahorrada. Este punto de equilibrio se lo denomina Nivel Económico de Fugas, ELL por sus siglas en inglés.

Este punto es en el que el sistema es más eficiente, económicamente hablando. Cualquier nivel fuera de este punto, conlleva a costes más elevados, ya sea por el coste del agua fugada o costes de gestión de fugas.

Es importante que para realizar el cálculo se defina de forma correcta los costes del agua y los costes de inspección de los equipos buscafugas. Estos conceptos serán explicados con más detalle a lo largo del presente trabajo.

2. IMPORTANCIA DEL TEMA

Las redes de abastecimiento de agua potable, con el paso de los años, sufren un envejecimiento de la infraestructura, que a la larga afectan al nivel de fugas en el

sistema. En muchos países, las redes son más viejas que lo deseable, y según Herrero (2016), esto se debe a una “la falta de inversión y de una gestión inadecuada en el mantenimiento y renovación de las infraestructuras hidráulicas”. La dificultad de los gestores para realizar un diagnóstico de la situación actual del sistema, y de hallar un punto de funcionamiento óptimo de la red, impiden que se tomen decisiones adecuadas para el mantenimiento y gestión de fugas.

A lo largo de los últimos 20 años, el objetivo de varias organizaciones ha sido el de desarrollar una metodología que facilite a los gestores de los abastecimientos de agua potable, calcular el Nivel Económico de Fugas (ELL) de forma sencilla y efectiva. A pesar de los avances alcanzados y los esfuerzos realizados, todavía faltan herramientas para su cálculo. La información y los estudios realizados hasta la actualidad, se encuentran de forma disgregada, por lo que no se cuenta con un instrumento que contemple todas las variables para el cálculo del ELL. Actualmente, un abastecimiento puede determinar fácilmente su balance hídrico, pero aún carece de una herramienta que le oriente al cálculo del ELL. Es sumamente importante que esto se desarrolle, de forma fácil, práctica y accesible, que sirva como guía en la gestión de los abastecimientos de agua potable.

Por otro lado, es necesario realizar un análisis de sensibilidad a corto plazo de forma que se pueda estimar el grado de afección de las variables en el cálculo del ELL y la importancia de la fiabilidad de estos, además de que muchos estos parámetros no se pueden calcular de forma exacta. De esta forma, los gestores podrán tener en consideración al momento de recolectar la información, que datos deben tener una mayor precisión, por lo que requieren mayor esfuerzo e inversión de recursos, y cuales se pueden estimar.

3. OBJETIVOS

- General:

Crear una herramienta sencilla y práctica para el cálculo del Nivel Económico de Fugas que permita a los gestores de los abastecimientos el tomar decisiones en torno a la gestión de fugas.

- Específicos:

- ✓ Definir el concepto del Nivel Económico de Fugas.

- ✓ Exponer las diferentes metodologías e investigaciones en torno al Nivel Económico de Fugas.
- ✓ Unificar la información existente en una sola herramienta, sencilla de comprender y aplicar.
- ✓ Realizar un análisis de sensibilidad a corto plazo de los parámetros.
- ✓ Aplicar la herramienta creada para el análisis del sistema de abastecimiento de un sector del Centro-Sur de la ciudad de Guayaquil.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos.

4. MARCO TEORICO

Las fugas en los sistemas de distribución de agua potable es un tema que ha sido un desafío para los gestores a nivel mundial. Las pérdidas de agua pueden darse a lo largo de todo el proceso, desde la extracción, hasta los puntos de medición y consumo.

Según Delgado (2011), las principales causas de fugas son:

- ✓ Materiales inadecuados, de mala calidad y defectuosos
- ✓ Roturas de tuberías, ocasionadas por deficiencias en la mano de obra, refiriéndonos a una instalación y montaje defectuoso.
- ✓ Errores de operación, que se traducen en exceso de presión, cierre muy rápido de válvulas, entre otros.
- ✓ Corrosión interna debido a la agresividad del agua o externa por la deficiente protección contra la agresividad del suelo o el agua.
- ✓ Daño premeditado o accidental

Las pérdidas de agua conllevan asociados costes monetarios, de energía y tiempo. Es necesario realizar una gestión eficiente del sistema de abastecimiento con los recursos que se tienen disponibles. (Kayaga, Munoz-Tronchez y Smout, 2010)

Desde hace 20 años, la IWA y otras organizaciones han desarrollado metodologías que ayuden a evaluar y gestionar las pérdidas de agua de una manera efectiva.

A principios de 1990, no existía una terminología estándar asociada con el tema de las pérdidas de agua y la forma de cuantificar las mismas, por lo que las comparaciones a nivel internacional estaban limitadas a la gran diversidad de

definiciones y formatos existentes. Eran inevitables los malentendidos al momento de describir y cuantificar las pérdidas de agua.

Tabla 1. Balance Hídrico del IWA

Volumen de entrada al sistema	Consumo autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo medido facturado	Agua facturada
			Consumo no medido facturado	
		Consumo autorizado no facturado	Consumo medido no facturado	Agua no facturada
			Consumo no medido no facturado	
	Pérdidas de agua	Perdidas aparentes	Consumo no autorizado	
			Imprecisiones de medida	
		Perdidas reales	Fugas en tuberías de distribución	
			Fugas y derrames en tanques de almacenamiento	
			Fugas en acometidas antes del medidor	

Por esta razón, Lambert y Hirner (2000), en una publicación a través del IWA, desarrollaron un balance hídrico estándar, el cual fue promovido para ser utilizado de forma internacional con definiciones claras de cada uno de sus componentes. Este tuvo una aceptación internacional y fue promovido por varias organizaciones, entre las cuales están: American Water Works Association (AWWA), US Environmental Protection Agency (EPA), Asian Development Bank (ADB), entre otros (Al-Washali et al, 2016). En la Tabla 1 se muestra el balance hídrico de la IWA.

Al hablar de pérdidas de agua, es necesario tener una definición clara de las componentes del balance hídrico. Según Winami (2009), las definiciones de principales componentes del balance hídrico son:

- ✓ **Volumen de entrada del sistema:** es la entrada anual de un volumen de agua en un sistema de abastecimiento.
- ✓ **El consumo autorizado:** es el volumen anual de agua medida y/o no medida utilizada por clientes registrados, el proveedor de agua y otros que estén autorizados para hacerlo. Este valor incluye agua fugada y desbordamientos después del punto de medición del cliente.
- ✓ **Agua facturada:** es la diferencia entre el volumen de entrada del sistema y el consumo autorizado facturado. Esto consiste en:
 - Consumo autorizado no facturado (generalmente un componente menor del balance hídrico).
 - Pérdidas de agua.
- ✓ **Pérdidas de agua:** es la diferencia entre el volumen de entrada del sistema y el consumo autorizado. Este consiste en pérdidas aparentes y pérdidas reales.

Según el balance hídrico, las pérdidas de agua se diferencian entre pérdidas reales y pérdidas aparentes. Las pérdidas reales son las fugas físicas que se pueden presentar en tuberías, acometidas o tanques de almacenamiento, mientras que las pérdidas aparentes se deben a errores en la medición de los contadores y a conexiones ilegales (consumos no autorizados).

La terminología de la IWA y el balance hídrico presentado, ha sido revisada a lo largo del tiempo, realizándose modificaciones menores. Los abastecimientos, actualmente, tienen la facilidad de calcular el balance hídrico en su sistema sin mayores complicaciones, y esto permite comparaciones y discusiones entre los gestores de forma más precisa y significativa.

Por otro parte, el cálculo del Nivel Económico de Fugas ha sido tema de estudio a lo largo de muchos años, sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados, la información disponible sobre el tema aún se encuentra bastante disgregada, y muchos de sus componentes aún son cuestionables.

El estudio del Nivel económico de Fugas comenzó en Reino Unido, durante los años 1994 a 1999 (Fanner and Lambert, s.f.), en donde se desarrollaron modelos para grandes sistemas, asumiendo que la información de los caudales nocturnos estaban disponibles en todos los abastecimientos.

Los miembros de la IWA reconocieron que estas metodologías no pueden ser utilizadas por la mayoría de los abastecimientos fuera del Reino Unido, ya que la mayor parte de estos no se encuentran en un “estado estable”. Esto quiere decir que no han realizado Controles Activos de Fugas, y por lo tanto no tienen información de roturas no notificadas, además de que no se cuenta con mediciones de caudales nocturnos (Fanner, Sturm, Thornton, Liemberger, Davis and Hoogerwerf, 2007).

En el 2009, Winarni comentó que la IWA ha desarrollado indicadores de rendimiento de pérdidas de agua, para tener un mejor enfoque en el cálculo del balance hídrico. Uno de los más utilizados y difundidos a nivel internacional es el de Infrastructure Leakage Index (ILI), el cual toma en consideración que las perdidas reales siempre existirán en un sistema de abastecimiento, incluso si se tiene una gestión excelente (Winarni, 2009). Este es un valor adimensional, por lo que facilita las comparaciones entre abastecimientos de distintos países a nivel mundial. El ILI se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad (1)$$

Donde:

- ✓ CARL corresponde a las perdidas reales anuales actuales (Current Annual Real Losses)
- ✓ UARL corresponde a las perdidas reales anuales inevitables (Unavoidable Annual Real Losses)

El volumen de pérdidas reales anuales inevitables (UARL), es la pérdida real anual más baja posible para un sistema bien gestionado. Este es un concepto útil para predecir el nivel mínimo de perdidas reales anuales para cualquier combinación de longitud de tuberías, numero de acometidas, longitud de acometidas y presión teniendo en consideración un sistema con una buena gestión de las perdidas reales y sin restricciones económicas (Winarni, 2009). La ecuación para su cálculo es:

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

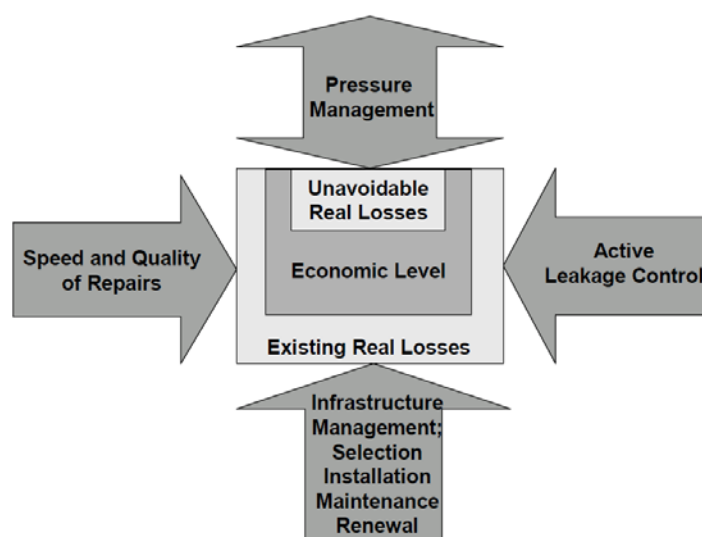
$$U\text{ARL} (L/\text{dia}) = (18 \times Lm + 08. \times Nc + 25 \times Lp) \times P \quad (2)$$

Donde:

- ✓ Lm es la longitud de tuberías en km
- ✓ Nc es el número de acometidas
- ✓ Lp es la longitud total de acometida en km
- ✓ P es la presión media de operación en mca

El CARL, son las pérdidas reales anuales que tiene actualmente un abastecimiento. Una buena gestión de un abastecimiento puede lograr tener un ILI de 1, que sería el caso en el que el CARL sea igual al UARL, pero este no debe ser el objetivo a alcanzar, ya que el ILI es un indicador del rendimiento y no toma en consideración el aspecto económico. Todo sistema de abastecimiento tiene punto, en el que ya no es rentable realizar mayores inversiones para reducir las fugas.

El Nivel Económico de Fugas, es el principal componente para determinar una estrategia de reducción de fugas, ya que las decisiones relacionadas a las mismas y de cómo reducirlas es finalmente una decisión económica.



Fuente: Fanner et al (2007)

Gráfico 1. Las 4 estrategias para reducir las pérdidas reales

Según Lambert (2005), para alcanzar el Nivel Económico de Fugas en un abastecimiento es necesario aplicar efectivamente los 4 métodos para la gestión de las pérdidas reales, tal como se muestra en el Gráfico 1, los cuales son:

- ✓ Gestión de la presión
- ✓ Control activo de fugas
- ✓ Velocidad y calidad de las reparaciones
- ✓ Gestión de la infraestructura

Las estrategias que no necesitan una gran inversión, como el control activo de fugas y la mejora de la velocidad y la calidad de las reparaciones, deben considerarse en el análisis económico a corto plazo, mientras que las estrategias que implican una inversión significativa, como el control de la presión, y la rehabilitación y/o renovación de la infraestructura debe considerarse en un análisis económico a largo plazo. (Fanner et al, 2007)

5. NIVEL ECONÓMICO DE FUGAS

El Nivel Económico de Fugas (ELL) es aquel punto en el que el coste marginal del control de fugas es igual al coste marginal del ahorro de agua generado (Fanner et al, 2007). En niveles inferiores a este punto, las reducciones adicionales de fugas resultan más costosas que el desarrollo de un nuevo recurso.

Según Fanner et al (2007), las características más importantes del ELL son:

- ✓ El ELL es específico para un sistema de abastecimiento en particular, y para el periodo de tiempo analizado.
- ✓ Se puede determinar un ELL para cada estrategia de reducción de fugas
- ✓ La estrategia para la reducción de fugas con el que se obtenga el menor ELL es el óptimo para el sistema.
- ✓ El ELL para un sistema de abastecimiento pueda cambiar a lo largo del tiempo debido a:
 - Mejoras en la infraestructura
 - Mejoras en la tecnología/equipos utilizados para la detección de fugas.
 - Cambios en los costes de energía y químicos
 - Cambios en el balance entre la oferta y demanda
 - Cambios en la presión.

El Nivel Económico de Fugas se lo puede obtener mediante 2 metodologías, las cuales serán explicadas en los capítulos 5.1 y 5.2. Es importante indicar que ambas metodologías, en general, se refieren a la estimación del nivel actual de fugas en el sistema, y se realiza una optimización económica mediante las actividades periódicas de inspección de los equipos buscafugas.

Se tiene que tener en consideración que para el cálculo del ELL planteado en el presente trabajo, se deben cumplir las siguientes hipótesis:

- ✓ El Índice Natural de Aumento de Fugas (capítulo 5.1.3.3), debe ser uniforme.
- ✓ La presión (capítulo 5.1.1.1) debe ser constante durante el periodo entre inspecciones
- ✓ El coste marginal del agua (capítulo 5.1.3.2) es constante durante todo el periodo.

5.1. METODO 1

En el presente trabajo se denomina como Método 1, al cálculo del Nivel Económico de Fugas que se obtiene mediante el cálculo de 3 tipos de fugas, las cuales son:

- ✓ Fugas de fondo
- ✓ Fugas por roturas notificadas
- ✓ Fugas por roturas no notificadas

Las fugas de fondo (Unavoidable Background Leakage) son aquellas fugas que son indetectables utilizando la tecnología actual disponible, las fugas por roturas notificadas (Reported Leaks and Bursts) son aquellas que son visibles y notificadas, por lo que su tiempo de duración es limitado y este depende de las políticas de la entidad, (Al-Washali et al, 2016) y las fugas por roturas no notificadas (Unreported Real Losses), son aquellas que solo son detectadas y reparadas durante un proceso de Control Activo de Fugas, mediante inspecciones periódicas de la red. A continuación se explica con más detalle cada uno de estos tipos de fugas y las variables que intervienen en su cálculo.

5.1.1. FUGAS DE FONDO

Como se mencionó anteriormente, las fugas de fondo son aquellas fugas que indetectables y continuas. (Al-Washali et al, 2016)

Según Lambert (2005), para la determinación del volumen tolerable de fugas de fondo, a una presión de 50 mca, se utilizan los siguientes valores de referencia:

- ✓ Tuberías: 20 litros/km/hora
- ✓ Acometidas: 1.25 litros/acometida/hora

Estos deben ser ajustados a la presión del sistema, utilizando el concepto de FAVAD (Fixed and Variable Area Discharges), determinada por Lambert (2001). Este concepto, tiene en consideración que las descargas en las tuberías varían según la presión, dependiendo del tipo de material de la misma. Lambert (2001), luego de una extensa investigación, concluyó que la ecuación general más apropiada para el análisis y la predicción de las relaciones entre Presión-Caudal Fugado es:

$$\frac{L_1}{L_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N_1} \quad (3)$$

Donde

- ✓ L1 es el caudal fugado
- ✓ L0 es el caudal fugado de referencia
- ✓ P1 es la presión
- ✓ P0 es la presión de referencia
- ✓ N1 el exponente que indica la relación entre el caudal fugado y la presión.

El exponente N1 varía entre 0.5 y 1.5 (Al-Washali et al, 2016), siendo 0.5 cuando el área de la fuga es fija, y 1.5 cuando este es variable. Se considera que en una tubería rígida (aquellas de materiales metálicos), se dan fugas con áreas fijas, mientras que en tuberías flexibles (aquellas de materiales plásticos) se dan fugas con áreas variables.

5.1.1.1. PRESIÓN

Para realizar las metodologías planteadas en el presente trabajo, es necesario tener la información de presiones promedio del sistema de abastecimiento. Según Al-Washali et al (2016), este dato puede ser calculado de 2 formas:

- ✓ Mediante el cálculo de un promedio ponderado de presión con respecto al nivel del suelo de toda la zona analizada.

- ✓ Identificar un punto conveniente para la toma de datos, el cual se encuentre ubicado en donde se tenga una altura promedio de la zona analizada. Este punto es conocido como el Punto de Zona Promedio (AZP por sus siglas en ingles).

Se recomienda que las presiones del AZP deben ser calculadas como un promedio de valores de 24 horas.

Según Renaud, Sissoko, Clauzier, Gilbert, Sandraz y Pillot (2015), se recomienda utilizar el AZP, ya que se considera que es lo más representativo del área analizada.

Para la identificación del punto AZP y el cálculo de la presión promedio, Renaud et al (2015) sugieren seguir los siguientes pasos:

1. Calculo del promedio ponderado de la altura de la zona utilizando los siguientes datos:
 - ✓ Longitud de tuberías o número de hidrantes que se encuentren entre dos curvas de nivel de la topografía del sector, siempre y cuando la densidad de acometidas del área sea menor a 20 acometidas/km.
 - ✓ Numero de acometidas, que se encuentren entre dos curvas de nivel de la topografía del sector, cuando la densidad de acometidas del área sea mayor a 20 acometidas/km.
2. Identificación del instrumento de medición de presiones que se encuentre ubicado en la elevación calculada en el Paso 1, o el que se encuentre más cercano y ajustarlo con respecto a la diferencia de la elevación.
3. Evaluar la presión en el AZP mediante: una medición directa en el punto indicado, evaluación en puntos cercanos y estimar las pérdidas de carga, o mediante el cálculo de la presión con un modelo hidráulico.
4. Calcular la presión promedio de la red en la zona analizada.

5.1.2. FUGAS POR ROTURAS NOTIFICADAS

Las fugas por roturas notificadas son aquellas que son visibles y notificadas, por lo que su tiempo de duración es limitado y este depende de las políticas de la entidad. (Al-Washali et al, 2016)

Según Lambert (2005), para la determinación de volumen tolerable por rotura, a una presión de 50 mca, se utilizan los siguientes valores de referencia:

- ✓ Tuberías: 864 m³ por rotura
- ✓ Acometidas: 307 m³ por rotura

Estos deben ser ajustados a la presión del sistema, utilizando el concepto de FAVAD (Fixed and Variable Area Discharges), determinada por Lambert (2001), explicado anteriormente. Sin embargo, según Lambert (2005), para este tipo de fugas se debe considerar una relación lineal entre el caudal fugado y la presión ($N1 = 1.0$). La presión media debe ser calculada de acuerdo a lo explicado en el capítulo 5.1.1.1.

5.1.3. FUGAS POR ROTURAS NO NOTIFICADAS

Las fugas por roturas no notificadas son aquellas que solo son detectadas y reparadas durante un proceso de Control Activo de Fugas, mediante inspecciones periódicas de la red.

El su cálculo se requiere información de 3 parámetros del sistema:

- ✓ Costes de Inspección
- ✓ Coste Marginal del Agua
- ✓ Índice Natural de Aumento de Fugas (Natural Rate of Rise of Leakage)

Cada uno de estos parámetros son explicados en las numeraciones 5.1.3.1, 5.1.3.2 y 5.1.3.3.

Con esta información, se puede determinar la frecuencia óptima de inspección (Economic Intervention Frequency) dada por la siguiente ecuación (Kayaga et al, 2010):

$$EIF = \sqrt{\frac{2 * CI}{CV * NRR}} \quad (4)$$

Donde

- ✓ EIF es la frecuencia óptima de inspecciones en años
- ✓ CI es el coste de inspección en USD
- ✓ CV es el coste del agua USD/m³

- ✓ NRR es el Índice Natural de Aumento de Fugas $m^3/año/año$

Es importante indicar que la frecuencia óptima de inspección ocurre cuando el coste de inspección de toda la red es igual al coste del volumen de fugas no notificadas.

Una vez calculado el EIF, se calcula el porcentaje del sistema anualmente inspeccionado, mediante la siguiente ecuación (Kayaga et al, 2010):

$$EP(\%) = \frac{100}{EIF} \quad (5)$$

Donde

- ✓ EP es el porcentaje del sistema anualmente inspeccionado
- ✓ EIF es la frecuencia óptima de inspecciones en años

Finalmente se puede calcular las pérdidas por roturas no notificadas mediante la siguiente ecuación (Kayaga et al, 2010):

$$EURL = \frac{EP * CI}{CV} \quad (6)$$

Donde

- ✓ EURL son las perdidas por roturas no notificadas
- ✓ EP es el porcentaje del sistema anualmente inspeccionado
- ✓ CI es el coste de inspección en USD
- ✓ CV es el coste del agua USD/m^3

5.1.3.1. COSTES DE INSPECCIÓN

Los costes de inspección, como su nombre lo indica, se refiere a cuánto cuesta inspeccionar una vez toda la red del sistema en busca de fugas. Esto incluye costes de equipos utilizados, movilización de los mismos, y el personal necesario para realizar la inspección. Se obtienen de los registros de detección y reparación de fugas del sistema (Kayaga et al, 2010).

Es importante indicar que los costes de reparación no deben ser incluidos, ya que se considera que el número de roturas reparadas no va a variar sin importar la frecuencia de inspecciones. (Fanner et al, 2007) Por lo tanto, los costes de reparación no serán afectados, y solo cambiará el tiempo entre inspecciones.

Tal como se explicó anteriormente, los costes de inspección afectan directamente a la frecuencia óptima de inspección, por lo que la optimización económica depende en gran medida de los costes de inspección considerados.

Los equipos para detección de fugas tienen un amplio rango de tecnologías, precios y capacidades, por lo que es necesario analizar cada uno de ellos, para poder tomar una decisión sobre el más apropiado para el sistema de abastecimiento. Estos se pueden dividir de 2 formas: equipos acústicos y no acústicos.

Los equipos acústicos se basan en el hecho de que el agua a presión que está circulando a través de una tubería, al escapar por un orificio produce un sonido audible.

Según Fanner et al. (2007), los equipos disponibles para detección de fugas son:

- ✓ Equipos acústicos
 - Dispositivos de audición:
Un factor importante es que el encargado de detectar las fugas tenga una buena audición, que haya sido capacitado, y tenga experiencia en interpretar los sonidos.
 - Corredores acústicos
 - Registradores de ruido
- ✓ Equipos no acústicos:
 - Técnicas de detección de fugas con gases trazadores
 - Georradar

Por otro lado, las técnicas para la detección de fugas, tienen que tener en consideración la geografía, el material de la red, la edad y la condición. (Fanner et al, 2007)

Según la Fanner et al. (2007), las metodologías se pueden clasificar de dos formas:

- ✓ Métodos para localizar fugas.
Técnicas que indican de forma general la ubicación de una fuga.
- ✓ Métodos para determinar con precisión las fugas.
Técnicas que indican la posición estimada de una fuga, en donde la excavación para realizar la reparación se llevara a cabo.

Tabla 2. Metodologías para detección de fugas

Categoría	Metodología
Localización de Fugas	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección Visual • Inspección con registradores de Ruido (temporales o permanentes) • Step testing • Mapeo de Ruido de Fugas
Determinación precisa de fugas	<ul style="list-style-type: none"> • Sondeo acústico <ul style="list-style-type: none"> ○ Encuesta exhaustiva que incluye correlación de sonidos de fuga y micrófonos de tierra ○ Encuesta general que incluye correlación de sonidos de fuga y micrófonos de tierra.

Fuente: Fanner et al (2007)

En la Tabla 2, se clasifican las metodologías existentes, según Fanner et al. (2007).

5.1.3.2. COSTE MARGINAL DEL AGUA

El coste marginal del agua se obtiene de la base de datos de la entidad que presta el servicio. Se presenta en USD/m³.

Según Fanner et al (2007), el coste del agua debe incluir:

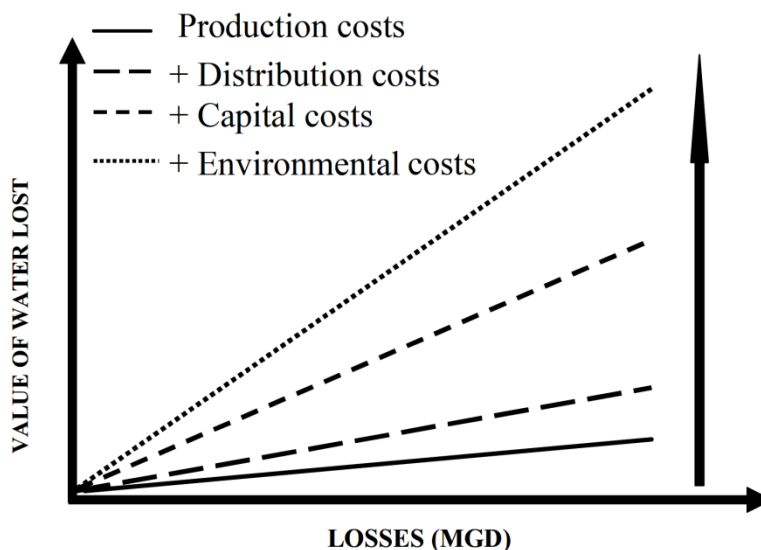
- ✓ Costes de producción
Incluye costes energéticos, potabilización del agua y cualquier coste por la compra del recurso (en el caso que aplica).
- ✓ Costes de distribución
Incluye costes de estaciones de bombeo, tratamientos del agua en la red (como estaciones de cloración) etc.
- ✓ Costes de capital
Se incluyen cuando, al tener una disponibilidad de agua potable limitada, se plantea la construcción de nuevas fuentes de agua o aumentar la capacidad de una potabilizadora, con el fin de abastecer a la demanda.

✓ Costes ambientales

Buscan reflejar el impacto ambiental de las pérdidas de agua, así como el mantenimiento de las fuentes de agua y los ecosistemas.

Este desglose de costes, se muestra en el Gráfico 2.

Es importante indicar que los costes de capital deben ser considerados en un análisis a largo plazo. Esto será explicado más adelante.



Fuente: Fanner et al (2007)

Gráfico 2. Desglose del coste marginal del agua

5.1.3.3. ÍNDICE NATURAL DE AUMENTO DE FUGAS

El Índice Natural de Aumento de Fugas (NRR por sus siglas en inglés), se relaciona con la tasa a la cual las fugas aumentan dentro de un sistema, cuando se tiene una política pasiva de control de fugas. Esto quiere decir que, al contrario de un control activo de fugas en donde se hacen inspecciones periódicas de la red para encontrar y reparar fugas, solo se reparan aquellas fugas que han sido reportadas por los usuarios a la empresa gestora.

Según Zamora (2017), el aumento de fugas en una red de distribución puede originarse debido a alguno de los siguientes factores:

- ✓ Material y edad de la tubería
- ✓ Diseño, instalación, calidad de la mano de obra
- ✓ Presión

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

- ✓ Suelo y agua subterránea
- ✓ Trafico

Según Lambert (2005), existen 4 métodos para determinar el NRR.

Método 1:

Este método realiza una comparación entre las pérdidas reales de los balances hídricos de distintos años.

Se puede utilizar para sistemas en los que no se tiene mediciones de los caudales nocturnos y no ha habido un control activo de fugas en el periodo analizado.

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$NRR = \frac{(RL1 - RLN)}{N} \quad (7)$$

Donde:

- ✓ RL1 es el volumen anual de perdidas reales en el año 1
- ✓ RLN es el volumen anual de perdidas reales en N años antes.
- ✓ N es el número de años en el periodo de tiempo analizado
- ✓ NRR es el Índice natural de fugas

Método 2:

Este método es utilizado en sistemas en los que no existen mediciones de caudales nocturnos, pero se tiene información de un control de activo de fugas realizado en la red y se cuenta con información acerca de las fugas reparadas durante esta jornada.

Las fugas encontradas deben ser clasificadas según lo siguiente:

- ✓ La ubicación en la red en donde fueron halladas (tuberías o acometidas)
- ✓ Caudal fugado aproximado de cada fuga encontrada

Al solo tener la información de un único control de fugas realizado en el sistema, es necesario realizar una estimación del tiempo aproximado durante el cual las fugas se han ido acumulando.

En el presente trabajo, se denominan fugas tipo A, B y C, a aquellas que fueron halladas en tuberías con caudales de 0.15, 1.00, 5.00 m³/h respectivamente. Por

otro lado, las fugas tipo D, E y F son las encontradas en acometidas con caudales de 0.15, 1.00, 5.00 m³/h respectivamente. Estos valores de caudales pueden ser cambiados si se tienen pruebas de campo o si simplemente se lo considera pertinente, según la información recolectada durante la inspección y reparación de fugas.

Una vez que se ha clasificado la totalidad de las fugas encontradas, se realiza el cálculo del NRR mediante la siguiente ecuación:

$$NRR = \frac{N_A * Q_A + N_B * Q_B + N_C * Q_C + N_D * Q_D + N_E * Q_E + N_F * Q_F}{Y} \quad (8)$$

Dónde:

- ✓ Q_x es el caudal estimado para fugas tipo X
- ✓ N_x es el número de fugas tipo X encontradas en el CAF
- ✓ X es el tipo de fuga (A, B, C, D, E o F)
- ✓ Y es el tiempo estimado en el que se acumularon las fugas
- ✓ NRR es el Índice natural de fugas

Método 3:

Esta metodología es similar a la anterior (método 2), con la diferencia en que en esta, se han realizado 2 o más controles activos de fugas en la red de abastecimiento, por lo que se tiene información del periodo de tiempo en el que se han acumulado las fugas, por lo que ya no es necesario estimarlo.

Teniendo en consideración, que durante un CAF se realizan reparaciones de todas las fugas encontradas, se calcula en NRR, dividiendo la suma de los caudales de todas las fugas encontradas durante el último CAF para el tiempo entre los 2 últimos CAF, tal como se muestra en la ecuación:

$$NRR = \frac{N_A * Q_A + N_B * Q_B + N_C * Q_C + N_D * Q_D + N_E * Q_E + N_F * Q_F}{y} \quad (9)$$

Dónde:

- ✓ Q_x es el caudal estimado para fugas tipo X
- ✓ N_x es el número de fugas tipo X encontradas en el CAF

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

- ✓ X es el tipo de fuga (A, B, C, D, E o F)
- ✓ Y es el tiempo en el que se acumularon las fugas (tiempo entre los 2 CAF analizados)
- ✓ NRR es el Índice natural de fugas

De forma similar al método anterior, se denominaron las fugas tipo A, B y C, las encontradas en tuberías con caudales de 0.15, 1.00, 5.00 m³/h respectivamente. Las fugas tipo D, E y F son las encontradas en acometidas con caudales de 0.15, 1.00, 5.00 m³/h respectivamente. Estos valores pueden ser cambiados si se tienen pruebas de campo o si simplemente se lo considera pertinente.

Método 4:

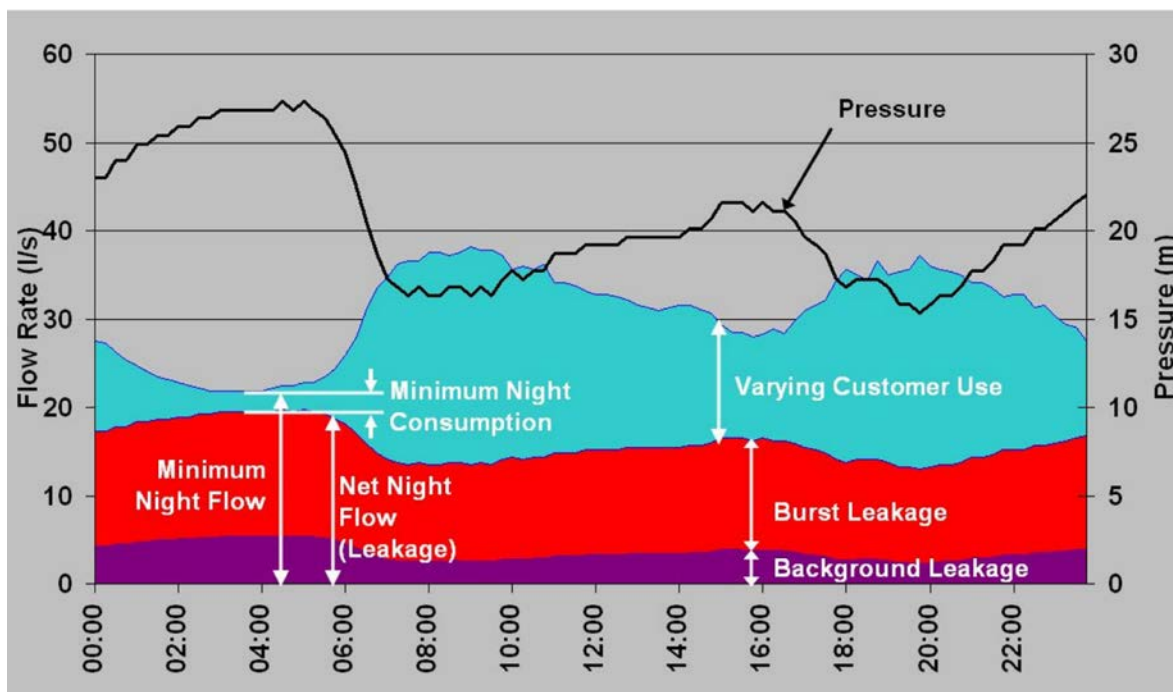
Esta metodología se basa en mediciones de caudales nocturnos. Las pérdidas se calculan mediante la diferencia entre el mínimo caudal nocturno medido y un consumo aproximado. Los mínimos caudales nocturnos normalmente ocurren entre las 2:00 y las 4:00 am, ya que son las horas en que la mayor parte de los usuarios se encuentran inactivos Según Al-Washali et al. (2016), se puede asumir que un 6% de la población se encuentra activa, y que el uso del agua se debe al uso del sanitario, y se encuentra en el orden de unos 10L. Con esto se estiman las perdidas (fugas), y se calculan con la siguiente formula:

$$Q_{FN} = Q_N - Q_{CE} \quad (10)$$

Dónde:

- ✓ Q_{FN} es el caudal fugado nocturno
- ✓ Q_N es el mínimo caudal nocturno
- ✓ Q_{CE} es el consumo nocturno estimado

Es importante tener en consideración de las perdidas reales calculadas son para la hora de mínimo consumo. Sería un error considerar que estas pérdidas son las mismas en las 24 horas del día, ya que las presiones diarias promedio son más bajas que las nocturnas. Por esta razón, es necesario utilizar un parámetro que relacione el caudal fugado nocturno y el caudal fugado diario, el cual se denomina Factor Dia-Noche (Al-Washali et al., 2016).



Fuente: Al-Washali et al (2016)

Gráfico 3. Variación del caudal, presión y fugas a lo largo del día.

El Factor Día-Noche se lo puede estimar considerando las características de la red de distribución, siendo, según Al-Washali et al. (2016):

- ✓ 24 h/día para sistemas a gravedad
- ✓ 12 h/día para sistemas con presiones bajas y grandes pérdidas de carga
- ✓ Entre 24 y 36 h/día para redes con presión directa

Si se lo quiere estimar de una forma más exacta, se puede calcular el Factor Día-Noche mediante la siguiente expresión:

$$FDN = 24 * \frac{P_{DP}}{P_{min}} \quad (11)$$

Dónde:

- ✓ P_{DP} es la presión diaria promedio
- ✓ P_{min} es la presión mínima

Una vez que se establece el Factor Día-Noche, se calcula el volumen diario fugado mediante la ecuación:

$$VDF = Q_{FN} * FDN \quad (12)$$

Dónde:

- ✓ VDF es el volumen diario fugado
- ✓ Q_{FN} es el caudal fugado nocturno
- ✓ FDN es el factor día-noche

Una vez que se calcule el volumen fugado para los 365 días del año, se grafican estos valores y se realiza una regresión lineal. Es necesario eliminar valores extremos que puedan alterar el resultado. La pendiente de la recta que se ajusta a los valores seleccionados, representa el NRR ($m^3/día/día$) para el abastecimiento (Lambert, 2005).

5.2. METODO 2 – EARL Y UARL

El método 2 consiste en que el Nivel Económico de Fugas se obtiene mediante la suma de:

- ✓ Perdidas Reales Anuales Inevitables (UARL)
- ✓ Perdidas Reales Anuales Económicas (EARL)

Utilizando el Gráfico 4 se pueden explicar las diferentes terminologías. Las pérdidas reales anuales inevitables (Área Azul) es la pérdida real anual más baja posible para un sistema bien gestionado. Para obtener el Nivel Económico de Fugas (Línea Roja), es necesario sumarle las pérdidas reales económicas anuales (Área Roja). La línea negra representa el Nivel Actual Anual de Fugas del sistema de abastecimiento.

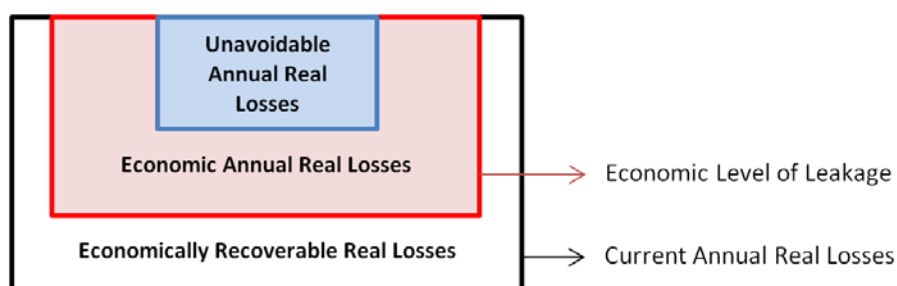


Gráfico 4. Nivel Económico de Fugas (metodo 2)

Tal como se mencionó anteriormente, el cálculo del UARL se realiza mediante la siguiente ecuación:

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

$$U\text{ARL} (L/\text{dia}) = (18 \times Lm + 08. \times Nc + 25 \times Lp) \times P \quad (13)$$

Donde:

- ✓ Lm es la longitud de tuberías en km
- ✓ Nc es el número de acometidas
- ✓ Lp es la longitud total de acometida en km
- ✓ P es la presión media de operación en mca

Por otro lado, las perdidas reales anuales económicas, se lo calcula con la siguiente ecuación, cuyos componentes ya fueron explicados en capítulos anteriores.

$$E\text{URL} = \frac{EP * CI}{CV} \quad (14)$$

Donde

- ✓ EP es el porcentaje del sistema anualmente inspeccionado (Capítulo 5.1.3)
- ✓ CI es el coste del inspección en USD (Capitulo 5.1.3.1)
- ✓ CV es el coste del agua USD/m³ (Capitulo 5.1.3.2)

Realizando la comparación con el método anterior, el UARL considera las fugas de fondo y fugas por roturas notificadas (que a la final son inevitables) y asume que la relación entre la presión y el caudal fugado es lineal (N1=1). Por otro lado, el EURL representa las fugas por roturas no notificadas.

6. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA DE CÁLCULO

Una vez planteadas las diferentes metodologías e investigaciones desarrolladas en los últimos 20 años, es necesario unificarlas para cumplir los objetivos del presente trabajo. Por esta razón, se ha desarrollado un esquema que sirva como guía en el cálculo del Nivel Económico de Fugas. En base al esquema presentado en el Gráfico 5 y el Gráfico 6, se desarrolló utilizando el programa Microsoft Excel, una hoja de cálculo para el cálculo del ELL.

Como se mencionó anteriormente, se realiza el cálculo del nivel mediante 2 metodologías. La primera que considera 3 tipos de fugas (de fondo, por roturas notificadas y no notificadas) y su cálculo de forma individual, y la segunda que calcula las fugas económicas y las inevitables.

Se han desarrollado 3 niveles de cálculo, considerando la cantidad de información recolectada/disponible del abastecimiento. Los 3 niveles se los denominaron básico, intermedio y avanzado, y estos están disponibles para el cálculo de N1 y NRR. Según la información disponible, se podrá realizar una primera aproximación para el cálculo del ELL, o ya un resultado más exacto del mismo.

La herramienta de cálculo consta de 1 archivo de Microsoft Excel, con 14 pestañas, tal como se muestra en la Tabla 3. En los siguientes capítulos se explicará cada una de ellas, incluyendo la información necesaria y metodología utilizada.

Tabla 3. Contenido de la herramienta de cálculo del ELL.

No.	Pestaña	Contenido
1	Esquema	Esquema utilizado para el cálculo del ELL.
2	ELL	Cálculo del Nivel Económico de Fugas
3	N1	Coeficiente N1
4	NRR	Cálculo del Índice Natural de Aumento de Fugas
5	Costes	Coste Marginal del agua
		Costes de Inspección
6	ROT. NOT	Valores de referencia para el cálculo de las fugas para roturas notificadas
7	Q Nocturnos	Calculo del NRR con el método de los mínimos caudales nocturnos
8	Grafico Q noct	Gráfico de los caudales nocturnos y regresión lineal
9	Volumen mensual	Cálculo del NRR utilizando los volúmenes inyectados y facturados mensuales
10	ELL (método 2)	Cálculo del Nivel Económico de Fugas - Método 2
11	Sensibilidad N1	Análisis de sensibilidad del coeficiente N1
12	Sensibilidad Presión	Análisis de sensibilidad de la presión
13	Sensibilidad CI	Análisis de los costes de inspección
14	Sensibilidad CA	Análisis de los costes ambientales (coste marginal del agua)

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

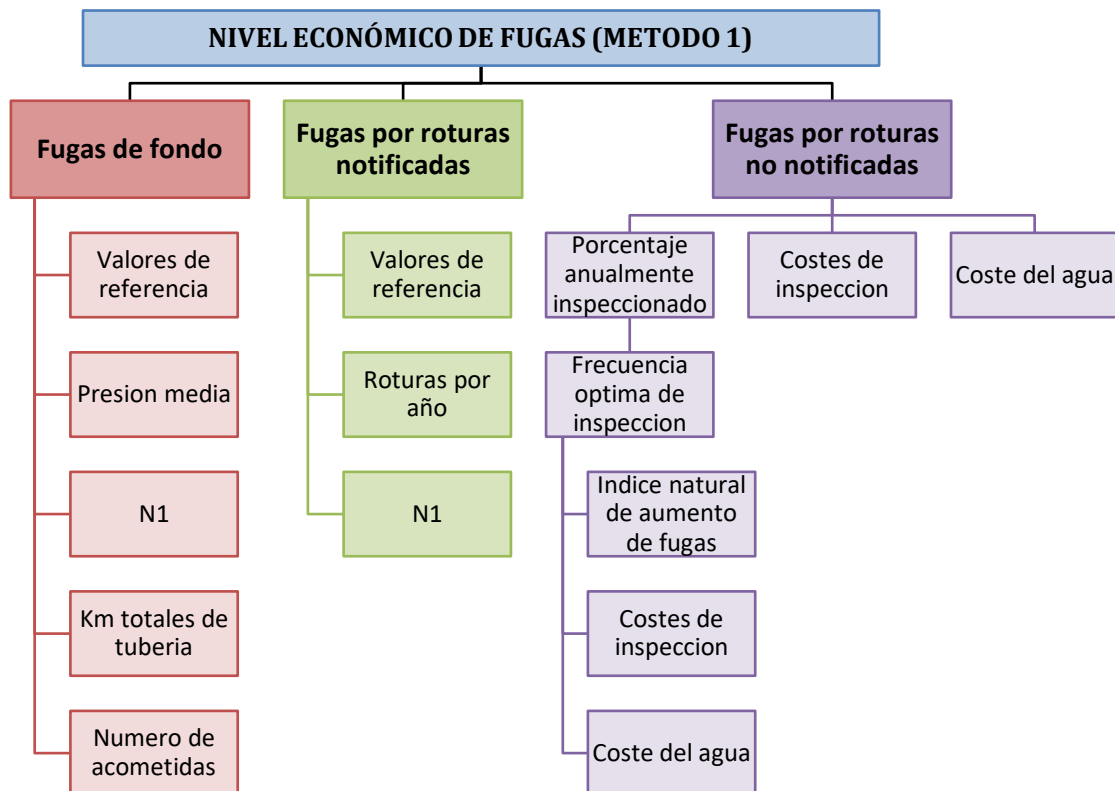


Gráfico 5. Esquema para el cálculo del Nivel Económico de Fugas (Método 1)

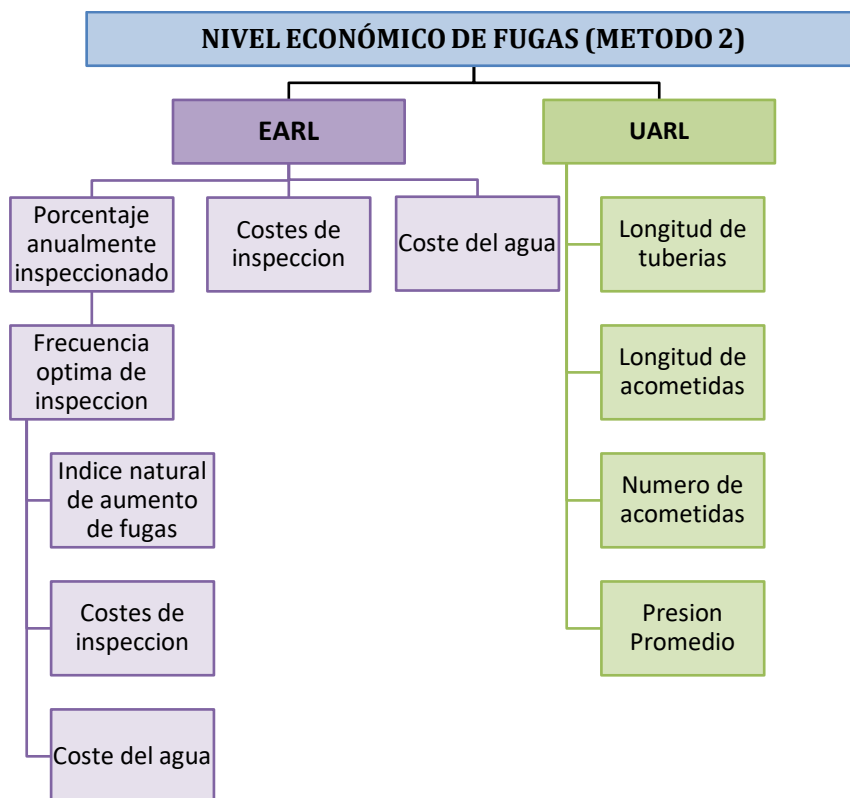


Gráfico 6. Esquema para el cálculo del Nivel Económico de Fugas (Método 2)

6.1. PESTAÑA 1 – ESQUEMA

La primera pestaña de la herramienta de cálculo consta del esquema presentado en el Gráfico 5 y el Gráfico 6, de forma que el usuario pueda analizar el cálculo planteado y las principales variables para obtener el ELL.

Además de esto, consta con un cuadro similar al presentado en la Tabla 3 que cumple la función de indicar al usuario el contenido del resto de pestañas.

Finalmente, se tiene información del tipo de celdas en la herramienta de cálculo, tal como se muestra en la Tabla 4.

En total se tendrían 3 tipos de celdas:

1. Celdas en donde se debe ingresar información del sistema a analizar, o donde se debe escoger una opción de cálculo.
2. Celdas con fórmulas, las cuales no se deben editar
3. Celdas con resultados.

Tabla 4. Tipos de celdas

Tipo de celdas	
1.00	Datos a Ingresar
2.00	Celdas formuladas
3.00	Resultados

6.2. PESTAÑA 2 – ELL

Esta pestaña, como se indicó anteriormente, contiene el cálculo del Nivel Económico de Fugas (método 1). En el ANEXO 1, se muestra una explicación gráfica de la Pestaña 2

6.2.1. INFORMACIÓN NECESARIA

La información necesaria para el cálculo del nivel económico de fugas es:

- ✓ Nombre del sector analizado
- ✓ Longitud total de tuberías de la red en km
- ✓ Roturas notificadas anuales en tuberías
- ✓ Roturas notificadas anuales en acometidas
- ✓ Numero de acometidas

- ✓ Presión promedio en mca

Por otro lado, se deben escoger métodos de cálculo para las siguientes variables:

- ✓ NRR
 - Básico 1
 - Básico 2
 - Intermedio
 - Avanzado
- ✓ N1
 - Básico
 - Intermedio
 - Avanzado
 - Otros
- ✓ Caudal tuberías
 - Referencia
 - Calculado
- ✓ Caudal acometidas
 - Referencia
 - Calculado

Cada uno de estos, se explicaran en los siguientes literales, y son calculados en las pestañas N1, NRR, COSTES, y ROT. NOTI.

6.3. PESTAÑA 3 – N1

El cálculo del coeficiente N1, se realiza teniendo en consideración la información disponible del sistema de abastecimiento, por lo que se divide el mismo en 4 niveles: Básico, Intermedio, Avanzado y Otros.

1. Nivel Básico

En este nivel, se asume el valor del coeficiente N1, considerando las siguientes opciones:

- ✓ Lineal:
Se considera una relación lineal entre el caudal fugado y la presión de la red. Esto implica un valor de $N1 = 1.0$ (Lambert, 2001).

✓ Aproximación:

Se asume un valor de N1, considerando el material predominante (rígido o elástico) de la red. Se ingresa un porcentaje aproximado de cada tipo de material. Se calcula el N1 como un promedio ponderado, tal como se muestra a continuación:

$$N1 = \frac{\%Tub\ rígida * 0.5 + \%Tub\ elástica * 1.5}{100\%} \quad (15)$$

✓ Seguridad:

Este se lo utiliza para fugas de fondo, teniendo en consideración que estas son continuas, indetectables y de larga duración. El valor del N1 asumido es de 1.5.

2. Nivel Intermedio

En este nivel, se realiza un cálculo más elaborado del coeficiente N1, teniendo en consideración las longitudes de tubería (rígida y elástica) de la red. Se calcula como un promedio ponderado, tal como se muestra a continuación:

$$N1 = \frac{L_R * 0.5 + L_E * 1.5}{L} \quad (16)$$

Dónde:

- ✓ L_R es la longitud de tuberías rígidas en km
- ✓ L_E es la longitud de tuberías elásticas en km
- ✓ L es la longitud total de tuberías en km

De esta forma se puede calcular un coeficiente N1 que se ajuste de mejor forma al comportamiento real de la red de abastecimiento.

3. Nivel Avanzado

En este nivel, se considera que el coeficiente N1 se lo puede obtener, no solo utilizando las longitudes de tubería elástica y rígida, sino que teniendo en consideración los diámetros de las mismas.

Una tubería de un material elástico de pequeño diámetro, no se va a comportar de igual forma que una del mismo material con un diámetro superior. La del diámetro

inferior será rígida que la de diámetro mayor. Por esta razón, se plantea tener un coeficiente N1 de 1.2 para tuberías elásticas con diámetros inferiores a 200mm. Por otro lado, las tuberías elásticas con diámetros superiores al valor dando antes, seguirán teniendo un coeficiente N1 de 1.5.

Siguiendo el mismo razonamiento anterior, una tubería rígida de gran diámetro, no se comporta de igual forma que uno de un diámetro inferior. La de mayor diámetro será más elástica que la de diámetro inferior. Por esta razón, se plante tener un coeficiente N1 de 0.7 para tuberías rígidas de con diámetros superiores a 800 mm, y las tuberías con diámetros inferiores a este valor, tendrán un coeficiente N1 de 0.5.

Teniendo en consideración el análisis anterior, el cálculo del coeficiente N1 se realiza mediante un promedio ponderado considerando los km de tubería elástica superiores e inferiores a 200 mm y los km de tubería rígida superiores e inferiores a 800 mm, tal como se muestra a continuación:

$$N1 = \frac{La * 0.5 + Lb * 0.7 + Lc * 1.2 + Ld * 1.5}{L} \quad (17)$$

Dónde:

- ✓ La = Longitud total de tuberías rígidas con diámetros menores a 800 mm
- ✓ Lb = Longitud total de tuberías rígidas con diámetros mayores a 800 mm
- ✓ La = Longitud total de tuberías elásticas con diámetros menores a 200 mm
- ✓ Lb = Longitud total de tuberías elásticas con diámetros mayores a 200 mm
- ✓ L = Longitud total de tuberías de la red

En el ANEXO 2, se muestra una explicación grafica de la Pestaña 3.

6.3.1. INFORMACIÓN NECESARIA

La información necesaria para el cálculo del coeficiente N1 se detalla a continuación por niveles.

1. Nivel Básico

- ✓ Lineal:
 - No requiere de información previa
- ✓ Aproximación
 - Requiere un conocimiento aproximado del material predominante en la red

✓ Seguridad

No requiere de información previa

2. Nivel Intermedio

Requiere las longitudes (km) de cada tipo de material de la red.

3. Nivel Avanzado

Requiere las longitudes (km) y diámetros (mm) de cada tipo de material de la red.

6.4. PESTAÑA 4 – NRR

Dependiendo de la información disponible, se pueden aplicar distintas metodologías para el cálculo del NRR, las cuales fueron explicadas en el capítulo 5.1.3.3. Se dividen estos métodos en Básico (1 y 2), Intermedio y Avanzado.

1. Nivel Básico 1

Se asume un valor determinado para el NRR. De esta manera, se puede tener una primera aproximación para el cálculo del ELL, y ya en un futuro, cuando se tenga una mayor cantidad de información, se puede realizar un cálculo más detallado de este parámetro.

En el caso que el abastecimiento tenga una metodología para el cálculo del NRR, la cual no se encuentre contemplada en el presente trabajo, se puede ingresar manualmente el valor en este nivel. De esta manera no habrá la necesidad de modificar la herramienta de cálculo.

2. Nivel Básico 2

Este nivel es la aplicación del Método 1 explicado en el capítulo 5.1.3.3. Es una forma simple de cálculo en el que la información requerida se puede obtener de los balances hídricos realizados por el abastecimiento.

3. Nivel Intermedio

Este nivel es la aplicación del Método 2 y 3, explicados en el capítulo 5.1.3.3, cuya principal diferencia radica en que en el método 2 se asume el periodo de tiempo en los que las fugas se fueron desarrollando, y el método 3 se conoce este periodo ya que se ha realizado anteriormente un Control Activo de Fugas (en donde todas las fugas encontradas son reparadas). Esta metodología

requiere una información más detallada, por lo que se denominó como nivel intermedio.

4. Nivel Avanzado

Este nivel es la aplicación del Método 4 explicado en el capítulo 5.1.3.3. Se debe realizar de forma individual para cada sector, utilizando las pestañas complementarias (7, 8, 9) explicadas en los capítulos 6.7, 6.8 y 6.9. Este es una metodología que requiere información detallada y mayor inversión de tiempo en el cálculo.

En el ANEXO 3, se muestra una explicación gráfica de la Pestaña 4.

6.4.1. INFORMACIÓN NECESARIA

1. Nivel Básico 1

No se requiere de información previa. Puede ser de utilidad tener conocimiento de la red, para tomar como referencia valores de NRR de abastecimientos cercanos y/o con características similares (tales como tipo de material predominante y fecha aproximada de construcción y/o remodelación de la red).

2. Nivel Básico 2

La información requerida para utilizar esta metodología es:

- ✓ Volumen de pérdidas reales en 2 años
- ✓ Tiempo transcurrido (años) entre la información de los volúmenes

3. Nivel Intermedio

La información requerida para utilizar esta metodología es:

- ✓ Fugas encontradas y clasificadas (según la ubicación y el caudal fugado) durante 1 control activo de fugas (CAF)
- ✓ Estimación del tiempo en que las fugas se acumularon o el tiempo entre el CAF analizado y uno realizado anterior a este.
- ✓ Caudal por tipo de fuga en tuberías y acometidas. (Se pueden utilizar los valores de referencia mencionados)

4. Nivel Avanzado

La información que se requiere ingresar son los resultados obtenidos de las pestañas complementarias. Ver capítulos 6.7.1, 6.8.1 y 6.9.1 para revisar la información requerida.

6.5. PESTAÑA 5 – COSTES

Esta pestaña involucra todo lo relacionado a costes. El coste de inspección (USD/km) se lo calcula según los equipos y el recurso humano utilizado. El coste del agua (USD/m³) se calcula de dos formas: mediante un desglose de los costes mencionados en el capítulo 5.1.3.2, o ingresándolo de forma manual. La Tabla 5 muestra la tabla resumen con los costes de inspección y del agua, utilizados en la pestaña 1 (ELL).

Tabla 5. Resumen de los costes calculados

Coste Marginal del agua (USD/m³)	0.06
Coste de inspección (USD/km)	46.44

Para realizar el cálculo de los costes de inspección, es necesario contar con los equipos disponibles o que se puedan adquirir por el abastecimiento y armar el equipo de trabajo que se ajuste mejor a las necesidades del sistema. Por ello, se ha dispuesto que el usuario arme su grupo de trabajo de forma personalizada. Con esta información se calcula el coste diario de inspección.

Por otro lado, es necesario tener información del rendimiento del grupo de trabajo analizado. Este término se refiere a la longitud de red inspeccionada diaria (km/día).

El rendimiento de la inspección, puede verse afectado debido a varios factores, entre los cuales están:

- ✓ Experiencia del personal que realiza la inspección.
La experiencia ayuda que el encargado de hallar fugas, las encuentre de forma más rápida, por lo que se puede inspeccionar más kilómetros de red diarios.
- ✓ La formación del personal
Es una parte fundamental, ya que capacitar a los encargados de la manipulación de los equipos, ayuda a que estos se manejen de forma

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

correcta, disminuyan los errores al utilizarlos y las posibles repeticiones en un tramo de red, y sepan que esperar al momento de estar en campo.

- ✓ La calidad de los equipos
- ✓ La facilidad de manipulación de los equipos

Utilizando el coste diario de inspección y el rendimiento del grupo de trabajo, se calcula el coste de inspección en USD/km, de la siguiente manera:

$$\text{Coste de inspección por km (USD/km)} = \frac{C_{di}}{R_e} \quad (18)$$

Donde

- ✓ C_{di} es el coste diario de inspección en USD/día
- ✓ R_e es el rendimiento de los equipos en (km/día)

Este valor, es el que se utilizar en la Pestaña 2, para el cálculo del ELL.

En el ANEXO 4, se muestra una explicación gráfica de la Pestaña 5.

6.5.1. INFORMACIÓN NECESARIA

La información requerida para el cálculo de los costes es:

- ✓ Días laborables anuales de la empresa de gestora
- ✓ Coste de los equipos (USD)
- ✓ Costes de mantenimiento de los equipos (Ingresado como porcentaje del coste del equipo)
- ✓ Vida útil de los equipos (años)
- ✓ Grupo de trabajo a utilizar para realizar la inspección.
- ✓ Coste marginal del agua si se ingresa de forma manual (USD/m³)
- ✓ Costes de producción, distribución y ambientales si realiza mediante un desglose de costes (USD/m³)

6.6. PESTAÑA 6 – ROT. NOT

La pestaña 6 es de utilización opcional.

Para el cálculo del caudal fugado por roturas notificadas (Pestaña 2 – ELL), se utiliza un valor de referencia obtenido de la bibliografía, tal como se menciona en el numeral 5.1.2. Estos valores (Para una presión de 50 mca) son:

- ✓ Tuberías: 864 m³/rot (considerando un caudal de 36 m³/h durante 1 día, ó 12m³/h durante 3 días)
- ✓ Acometidas: 307 m³/rot (considerando un caudal de 1.6 m³/h durante 8 horas, ó 0.8 m³/h durante 16 días)

En el caso de que el abastecimiento tenga conocimiento de los caudales fugados en roturas notificadas en tuberías y/o acometidas, o mejore el tiempo de respuesta para la reparación de las roturas, se utilizara esta pestaña para el cálculo de los valores de referencia, que serán utilizados en la Pestaña 2. Todos estos valores considerando una presión de 50mca. En el Gráfico 7 se muestra la explicación gráfica de la Pestaña 6.

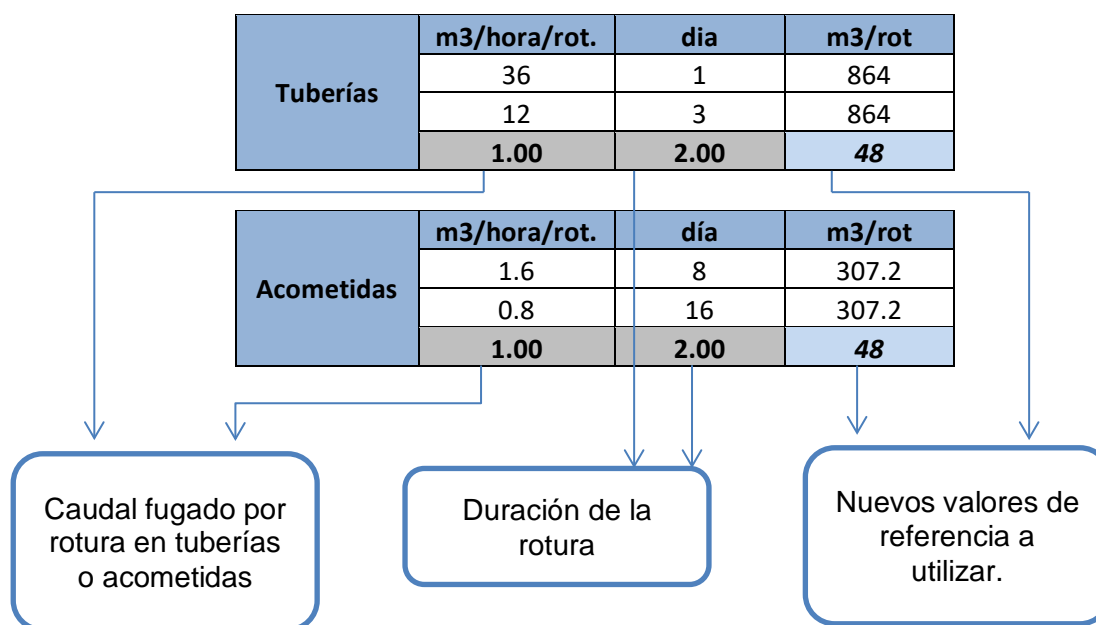


Gráfico 7. Explicación grafica de la Pestaña 6 – ROT. NOT.

6.6.1. INFORMACIÓN NECESARIA

La información requerida para el cálculo de los valores de referencia para Roturas Notificadas es:

- ✓ Caudal fugado por rotura en Tuberías y Acometidas (m³/h/rotura)
- ✓ Duración de la rotura (días)

6.7. PESTAÑA 7 – Q NOCTURNOS

La Pestaña 7, es complemento de la Pestaña 4 – NRR. Se aplica el método 4 explicado en el numeral 5.1.3.3, para el cálculo del Índice Natural de Aumento de Fugas. Se debe considerar que en esta pestaña no se consigue como resultado el valor del NRR, sino que se procesa la información recolectada en campo para poder realizar el cálculo de la variable antes mencionada.

Utilizando la información ingresada, especificada en el numeral 6.7.1, se realiza el cálculo del volumen fugado. Este valor debe ser ajustado de forma manual si hay cambios de presión u otras influencias. Se puede escoger si se desea utilizar el volumen calculado o el volumen ajustado. Este resultado debe ser graficado (Pestaña 8), ya que el NRR se obtiene realizando una regresión lineal. Esto será explicado en el numeral 6.8.

En el ANEXO 5, se muestra una explicación gráfica de la Pestaña 7.

6.7.1. INFORMACIÓN NECESARIA

La información necesaria es:

- ✓ Población (habitantes)
- ✓ Caudal utilizado (Se puede asumir 10 L debido al uso del sanitario en las noches).
- ✓ Porcentaje de la población activa (6% según Al-Washali et al. (2016))
- ✓ Caudales (m^3/h)
- ✓ Presiones (mca)
- ✓ NDF Asumido (opcional)

6.8. PESTAÑA 8 – GRAFICO Q NOCT

La finalidad de esta pestaña es graficar los resultados obtenidos en la 'Pestaña 7 – Q Nocturnos'. Se deben verificar si existen valores extremos (que se deban a usos de agua excepcionales tales como riego, uso industrial, etc), para eliminar los mismos en la pestaña 7. Se grafica la línea de tendencia (lineal), cuya pendiente corresponde al valor del NRR. Este valor es el que se debe ingresar de forma manual en la Pestaña 4 – NRR (Nivel Avanzado).

En el ANEXO 6, se muestra una explicación gráfica de la Pestaña 8.

6.8.1. INFORMACIÓN NECESARIA

Esta pestaña no necesita el ingreso de información adicional, sino utiliza el resultado obtenido de la Pestaña 7.

6.9. PESTAÑA 9 – VOLUMEN MENSUAL

La Pestaña 9 es un complemento de la Pestaña 4 – NRR. Se utilizan los volúmenes inyectados y facturados mensuales para calcular el volumen fugado. Esos valores de los grafican, y se realiza una regresión lineal, de la cual se obtiene el valor del NRR.

Es importante recalcar que la base de este cálculo es un balance hídrico. Se debe considerar que el volumen fugado calculado, incluye:

- ✓ Consumo autorizado no facturado
- ✓ Perdidas aparentes
- ✓ Perdidas reales

Al no solo calcular las pérdidas por roturas no notificadas, el valor del NRR calculado no es tan cercano a la realidad. Esta metodología puede dar una primera aproximación en el caso de no disponer de toda la información necesaria para realizar el cálculo con el método de los caudales nocturnos.

En el ANEXO 7, se muestra una explicación gráfica de la Pestaña 9.

6.9.1. INFORMACIÓN NECESARIA

La información necesaria es:

- ✓ Volumen inyectado mensual
- ✓ Volumen facturado mensual

6.10. PESTAÑA 10 – ELL (METODO 2)

En esta pestaña se realiza el cálculo del Nivel Económico de Fugas utilizando la metodología explicada en el numeral 5.2. Se puede utilizar esta opción cuando no se tiene la información necesaria para el cálculo de las fugas por roturas notificadas y/o fugas de fondo.

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

El cálculo de las perdidas por roturas no notificadas se mantiene de la misma manera, por lo que es necesario realizar el cálculo del NRR, y costes de intervención y del agua, en las pestañas correspondientes. Este resultado lo denominaremos Perdidas Reales Económicas Anuales (EARL por sus siglas en ingles).

El cálculo de las pérdidas por roturas notificadas, y por fugas de fondo es reemplazado por el cálculo del Perdidas Reales Anuales Inevitables (UARL por sus siglas en ingles).

Las pestañas adicionales necesarias, son las correspondientes a:

- ✓ Pestaña 3 - N1
- ✓ Pestaña 4 - NRR
- ✓ Pestaña 5 - Costes

El ELL se lo calcula como la suma del EARL y UARL.

En el ANEXO 8, se muestra una explicación gráfica de la Pestaña 10.

6.10.1. INFORMACIÓN NECESARIA

La información necesaria es:

- ✓ Longitud de tuberías (km)
- ✓ Longitud de acometidas (km)
- ✓ Numero de acometidas
- ✓ Presión promedio (mca)

Además de esto, se requiere ingresar la información necesaria para el cálculo de las variables en las pestañas 3, 4 y 5.

6.11. PESTAÑA 11 – SENSIBILIDAD N1

La pestaña 11 se utiliza para el análisis de sensibilidad del parámetro N1, que será explicado con mayor detalle en el capítulo 6.14.

Esta pestaña cuenta con 2 botones, los cuales sirven, tanto para dar inicio al análisis de sensibilidad, como para resetear el análisis en el caso de que se quiera iniciar nuevamente desde cero. Adicionalmente, como resultado del análisis planteado, se crean 3 gráficos en donde se muestra la variación de las fugas de fondo, por roturas

notificadas, y nivel económico de fugas con respecto a los distintos valores del coeficiente N1. En cada uno de ellos, se muestra un punto de distinto color, para los valores de fugas/ELL utilizando el N1 calculado con el Nivel Básico, Intermedio y Avanzado (Pestaña 3).

El muestra una explicación de la distribución de la Pestaña 11.

6.12. PESTAÑA 12 – SENSIBILIDAD PRESION

La pestaña 12 se utiliza para el análisis de sensibilidad de la presión, que será explicado con mayor detalle en el capítulo 6.14.

Esta pestaña, al igual que la anterior, cuenta con 2 botones, los cuales sirven, tanto para dar inicio al análisis de sensibilidad, como para resetear el análisis en el caso de que se quiera iniciar nuevamente desde cero. Adicionalmente, como resultado del análisis planteado, se crean 3 gráficos en donde se muestra la variación de las fugas de fondo, por roturas notificadas, y nivel económico de fugas con respecto a los distintos valores de presión. En cada uno de ellos, se muestra un punto con el valor de las fugas/ELL con el valor de presión promedio.

El *Gráfico 9* muestra una explicación de la distribución de la Pestaña 12.

6.13. PESTAÑA 13 – SENSIBILIDAD CI

La pestaña 13 se utiliza para el análisis de sensibilidad de los costes de inspección, que será explicado con mayor detalle en el capítulo 6.14.

Esta pestaña, al igual que las 2 anteriores (11 y 12), cuenta con 2 botones los cuales sirven, tanto para dar inicio al análisis de sensibilidad, como para resetear el análisis en el caso de que se quiera iniciar nuevamente desde cero. Adicionalmente, como resultado del análisis planteado, se crean 3 gráficos, los cuales son:

- ✓ Comparación de costes de inspección por km de red inspeccionado
- ✓ Comparación de costes diario de inspección
- ✓ Comparación del Nivel Económico de Fugas en cada sector considerando distintos grupos de trabajo para el cálculo del coste de inspección

El *Gráfico 10* muestra una explicación de la distribución de la Pestaña 12.

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

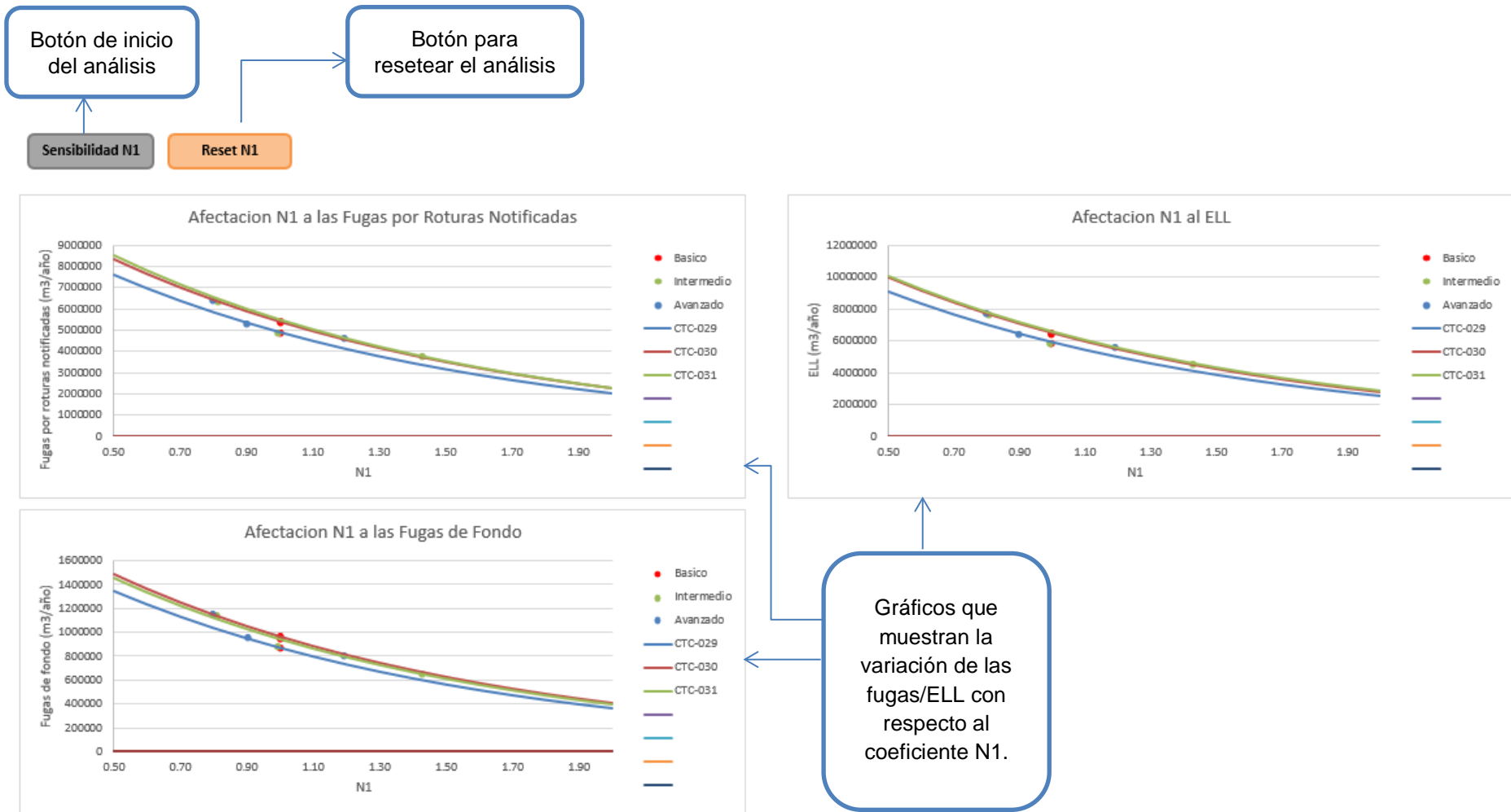


Gráfico 8. Explicación de la pestaña 11

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

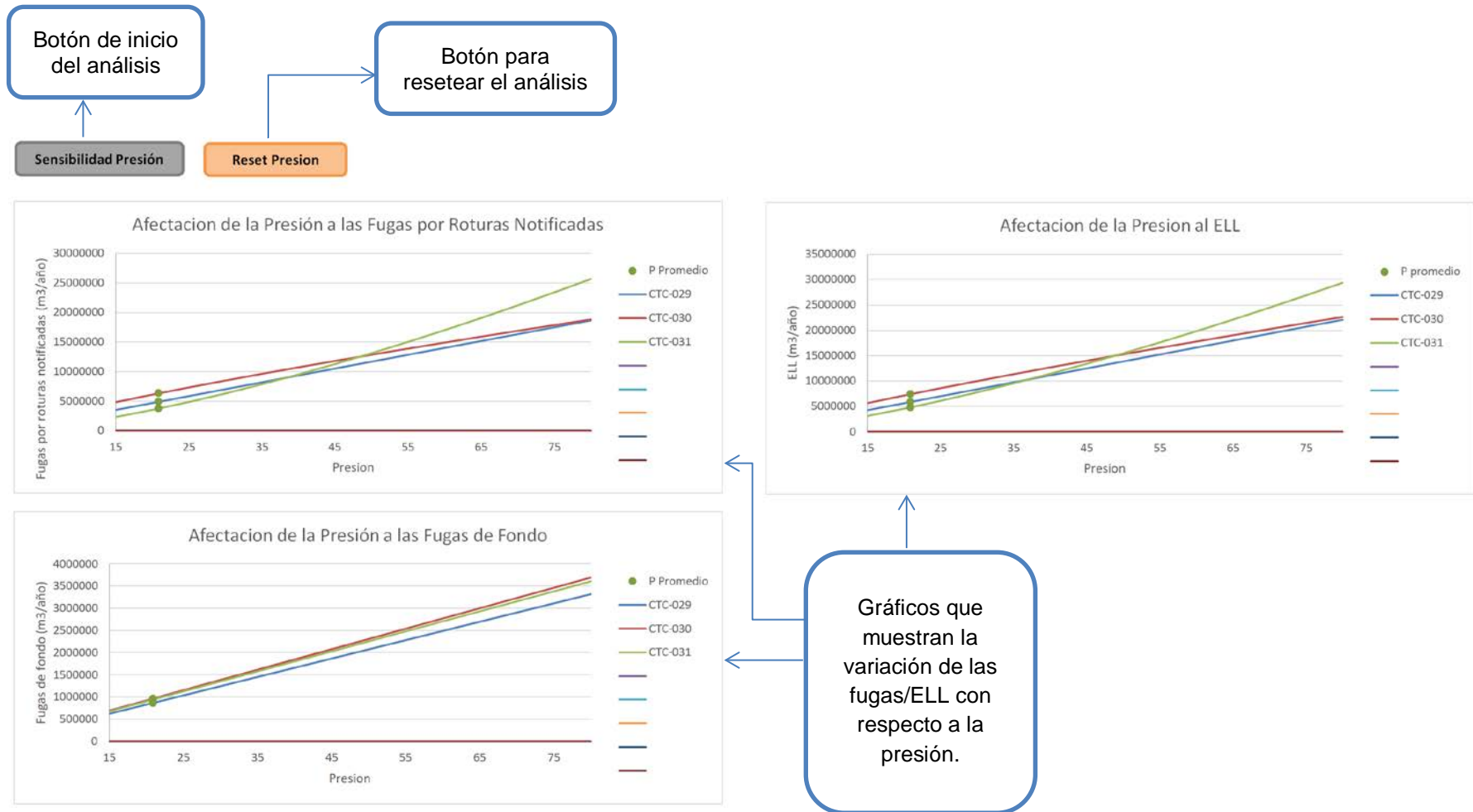


Gráfico 9. Explicación de la pestaña 12

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

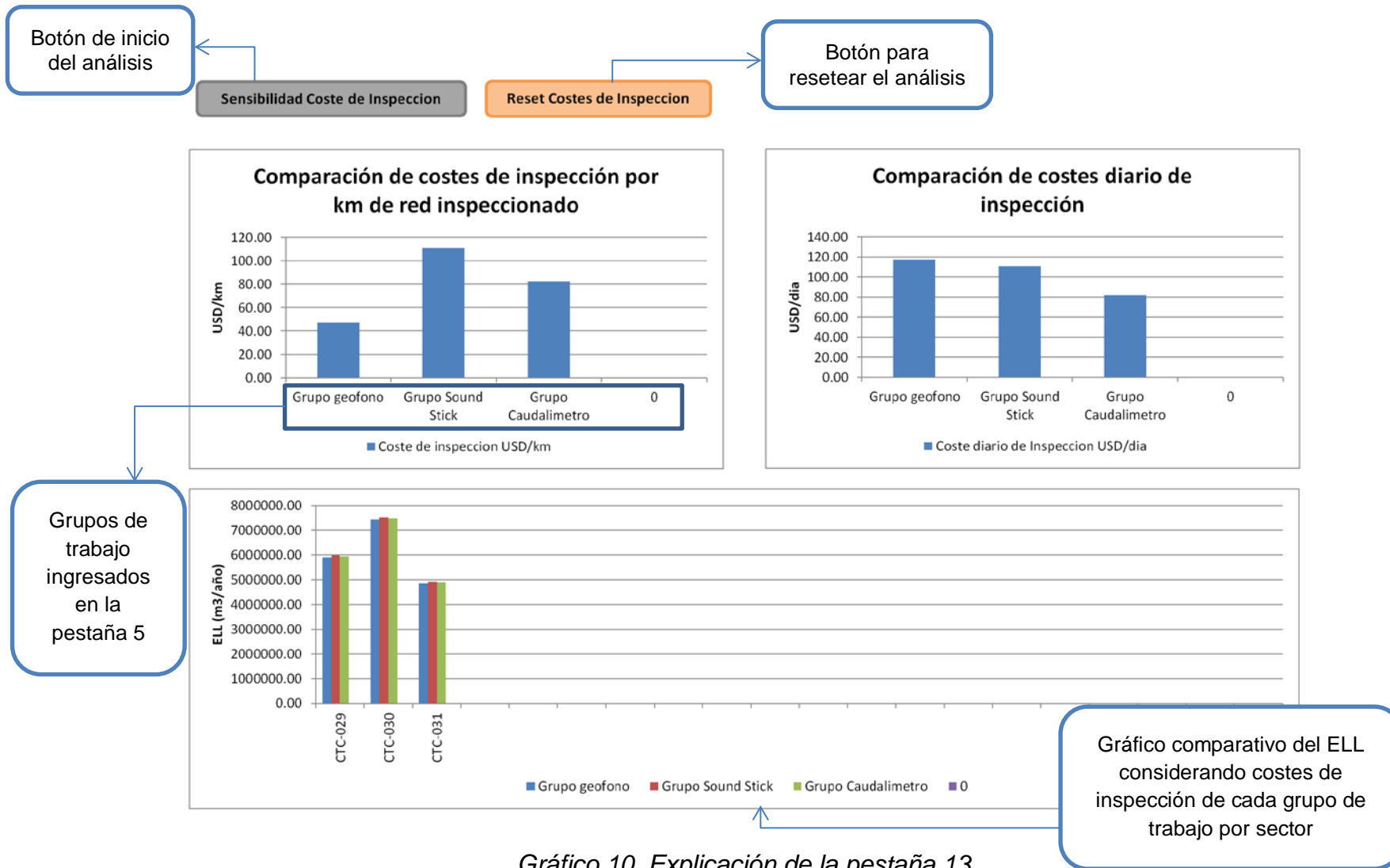


Gráfico 10. Explicación de la pestaña 13

6.14. PESTAÑA 14 – SENSIBILIDAD CA

La pestaña 13 se utiliza para el análisis de sensibilidad de los costes de ambientales (Parte del coste marginal del agua), que será explicado con mayor detalle en el capítulo 7.

Esta pestaña cuenta con 2 botones los cuales sirven, tanto para dar inicio al análisis, como para resetear el análisis en el caso de que se quiera iniciar nuevamente desde cero. Como resultado se obtiene 1 grafico en donde se puede apreciar como varia el ELL con respecto a la variación del coste ambiental.

En el Gráfico 11 se muestra una explicación de la Pestaña 14.

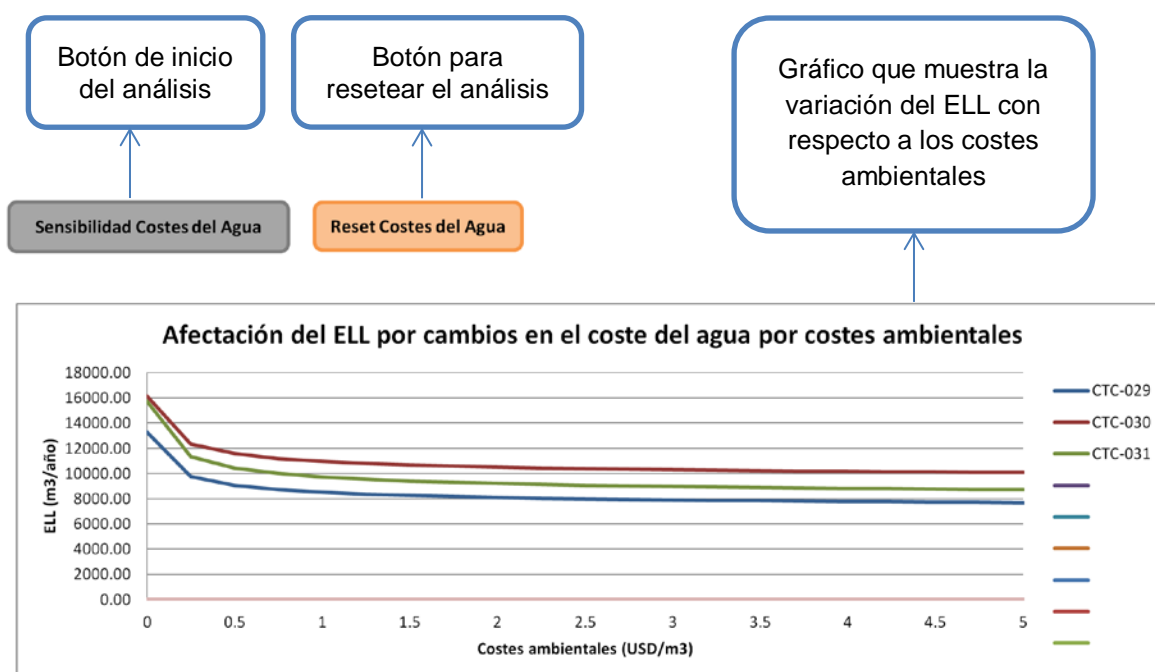


Gráfico 11. Explicación de la Pestaña 14

7. ANALISIS DE SENSIBILIDAD

El presente trabajo, tiene como finalidad, además de crear una herramienta practica para el cálculo del Nivel Económico de Fugas, realizar un análisis de sensibilidad a corto plazo para determinar el grado de afectación de ciertas variables, y conocer la importancia de obtener información más exacta en campo. Por esta razón, primeramente es necesario definir el alcance de un análisis a corto plazo.

Un análisis de sensibilidad se puede dividir de la siguiente manera, considerando el periodo de tiempo analizado:

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

✓ Sensibilidad a corto plazo

Involucra variables y condiciones que puedan ser cambiados de forma rápida y tengan impacto inmediato en el nivel económico de fugas.

✓ Sensibilidad a largo plazo

Involucra variables y condiciones en los que se requiere realizar una gran inversión e involucra un periodo de tiempo prolongado.

Considerando lo anterior, se definen 4 variables, para ser analizadas las cuales son:

✓ Coeficiente N1

✓ Presión

✓ Costes de inspección

✓ Costes marginal del agua (Costes ambientales)

Estos son explicados en los literales 7.1, 7.2, 7.3 y 7.4, respectivamente.

7.1. COEFICIENTE N1

El coeficiente N1, tal como se lo mencionó en capítulos anteriores, es una variable que relaciona la presión de la red con el caudal fugado. En la herramienta desarrollada, se tiene varias metodologías para la obtención del mismo. En los niveles intermedio y avanzado, se requiere una información más detallada de la red, como son diámetros, longitudes y materiales de la misma.

Para conocer la importancia de obtener esta información, en el caso de que no se la tenga disponible, se realiza el análisis de sensibilidad de esta variable.

El coeficiente N1, afecta tanto a las fugas de fondo, como a las fugas por roturas notificadas, y por ende al Nivel Económico de Fugas.

En la Pestaña 11 se tiene el cálculo y los resultados del análisis. Se realiza, mediante una macro, una variación de dicho coeficiente, entre los valores de 0.5 (utilizado en materiales rígidos) y 2 (un valor un tanto mayor al 1.5 utilizado en tuberías flexibles, pero valido en ciertas ocasiones).

De esta forma, se ve como varia el nivel de fugas para dicho abastecimiento, y se compara con los valores de N1 calculado mediante las 3 metodologías, tal como se muestra a continuación:

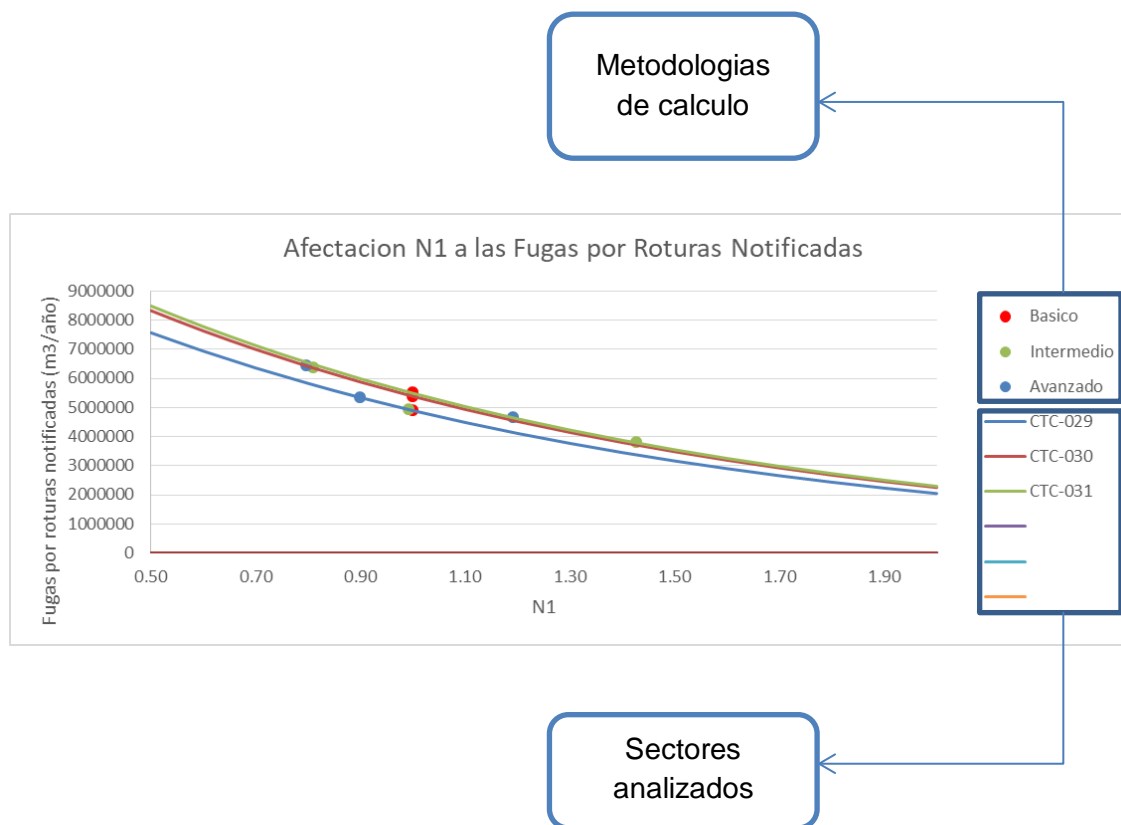


Gráfico 12. Ejemplo del resultado del análisis de sensibilidad del coeficiente N1

La explicación del funcionamiento de la Pestaña 11, en donde se encuentra el análisis de sensibilidad, fue explicada en el literal 6.11.

7.2. PRESIÓN

La presión media de la red, es una variable que debe ser medida en campo. Teniendo en consideración, que para realizar cambios en la presión media de la red, los cuales puedan beneficiar al nivel de fugas, es necesario realizar una gran inversión para la instalación de válvulas reductoras de presión, cambios de tuberías, entre otros, se podría asumir que es una variable que debe ser analizada al largo plazo.

El enfoque que se le da en el presente trabajo, considera, no un cambio en la presión media de la red, sino que una mayor exactitud en conocer la misma, con el fin de realizar el cálculo del ELL actual de la red. Es probable, que ciertos abastecimientos, no cuenten con los equipos necesarios para la medición de presiones en cada sector analizado, y se deba tomar una presión general para todos los sectores, para realizar un primer cálculo del ELL. Considerando, que se quiera

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

un cálculo más exacto, se debe obtener esta información, por lo que, para ver si es una prioridad la exactitud en la información de presiones, se realiza un análisis de sensibilidad.

La presión media se utiliza para el cálculo de las fugas de fondo, por roturas notificadas, y por ende el Nivel Económico de Fugas.

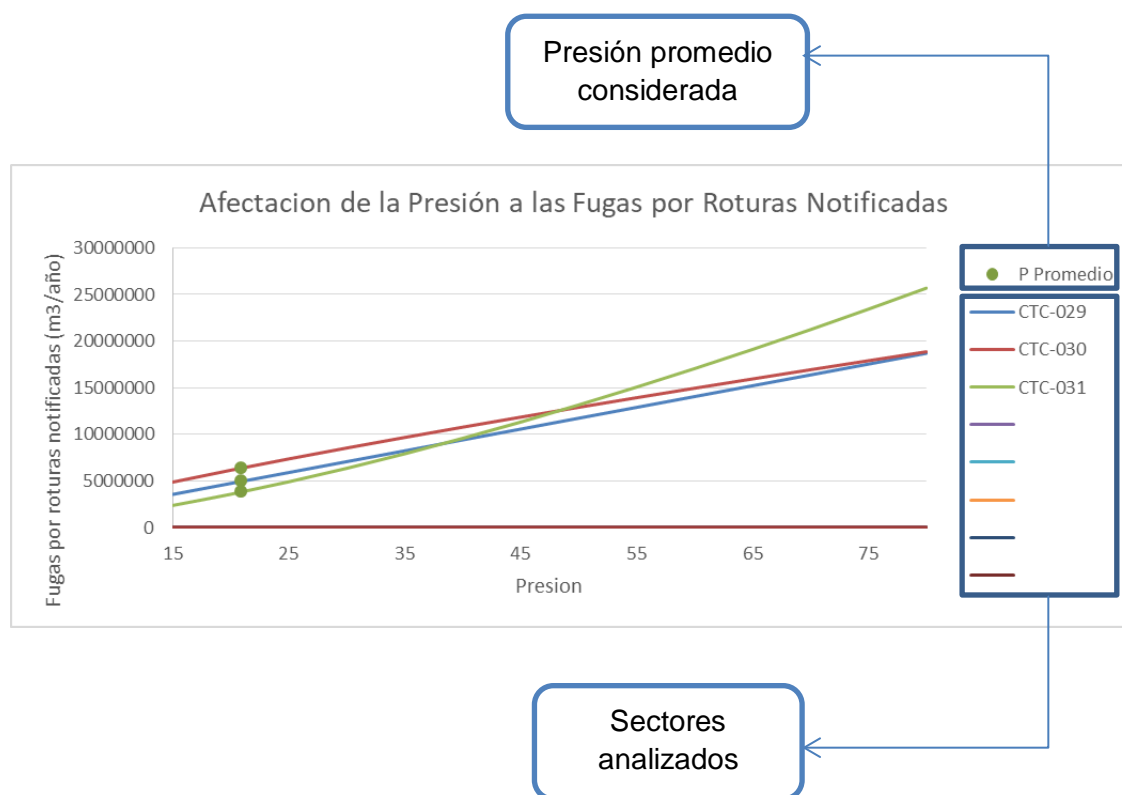


Gráfico 13. Ejemplo del resultado del análisis de sensibilidad de la presión

En la Pestaña 12, se tiene el cálculo y los resultados de dicho análisis. Mediante una Macro, se realiza una variación de la presión entre valores de 15 y 80 mca, mostrando además, en qué punto del gráfico resultado se encuentra la presión actual considerada.

La explicación del funcionamiento de la Pestaña 12, en donde se encuentra el análisis de sensibilidad, fue explicada en el literal 6.12.

7.3. COSTES DE INSPECCIÓN

Se realiza un análisis de los costes de inspección, ya que estos afectan la frecuencia óptima de inspecciones, por ende las fugas por roturas no notificadas y el Nivel Económico de Fugas.

Los costes de inspección, dependen los costes de compra/mantenimiento de los equipos necesarios para realizar la inspección. Teniendo en consideración, que distintos equipos y grupos de trabajo, darán un coste de inspección diferente, se realiza un análisis con el fin de realizar una comparación entre equipos disponibles o que se quiera adquirir, y el nivel económico de fugas calculado con los mismos. De esta forma el abastecimiento, según objetivos planteados, puede tomar decisiones en torno a la renovación/compra de nuevos equipos, o mantener con los que ya se tienen disponibles y trabajar con ellos.

Teniendo en mente este fin, en la Pestaña 13, se realiza un análisis mediante una macro, utilizando los grupos de trabajo definidos con anterioridad en la Pestaña 5. Como resultado se obtienen 2 gráficos de barras en donde se compara los costes de inspección diarios o costes por kilómetro de red inspeccionada, por equipo de trabajo. Aparte, también se obtiene un gráfico en donde se compara el ELL da cada sector con cada grupo de trabajo.

La explicación del funcionamiento de la Pestaña 13, fue explicada en el literal 6.13.

7.4. COSTE MARGINAL DEL AGUA (COSTES AMBIENTALES)

Tal como se mencionó anteriormente, el coste marginal del agua puede ser calculado mediante 4 componentes, las cuales son:

- ✓ Costes de producción
- ✓ Costes de distribución
- ✓ Costes de capital
- ✓ Costes ambientales

Cada uno de estos, fueron explicados en el capítulo 5.1.3.2. Los dos primeros son los que normalmente se consideran en cualquier abastecimiento para el cálculo del coste del agua. Los costes de capital, no se incluyen a menos que se esté haciendo un análisis a largo plazo y se requiera hacer una inversión grande para satisfacer la

demanda. Por otro lado, los costes ambientales son aquellos que buscan reflejar el impacto ambiental de las pérdidas de agua, y el mantenimiento de los ecosistemas. Estos costes son relativos y dependen de la zona de donde se obtiene el recurso y las repercusiones que puedan causar. Según Elorrieta, Castellano, Martinez, Pellitero y Rey (2003), en un estudio realizado para la Comunidad de Navarra, determinaron que los factores afectan el coste ambiental del agua son:

- ✓ Volumen
- ✓ Calidad
- ✓ Riesgo Biológico

Por esta razón, se plantea realizar un análisis para determinar el grado de afección de los costes ambientales en el ELL. Se realiza una macro en la que se varíe estos costes con valores entre 0 y 5 USD, y se grafica la variación del valor del ELL con respecto a los costes ambientales.

Un ejemplo del resultado del análisis descrito se muestra en el Gráfico 14.

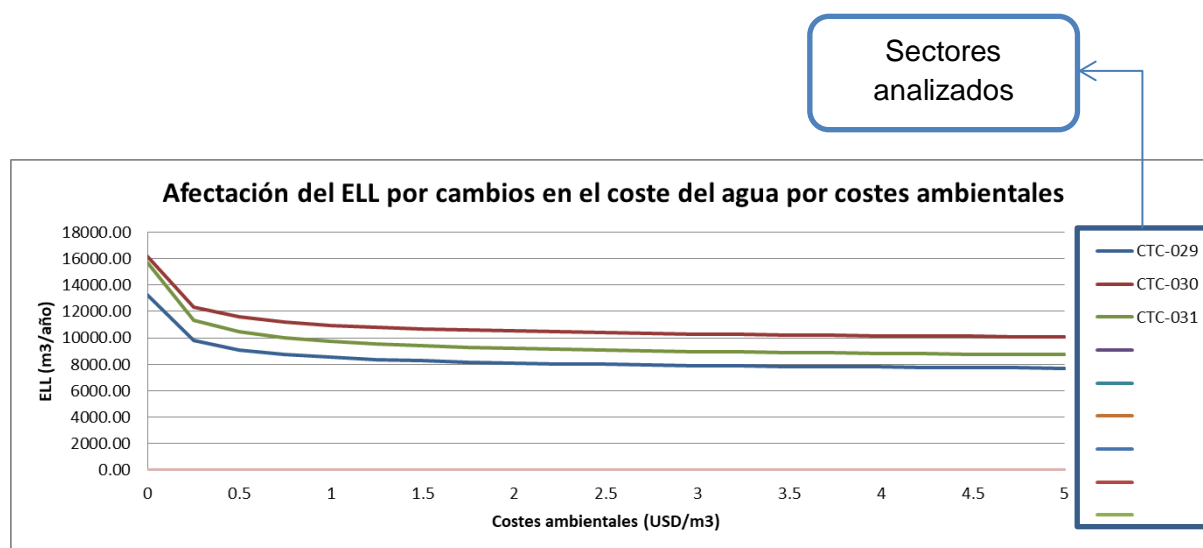


Gráfico 14. Ejemplo del resultado del análisis de costes ambientales

8. APLICACIÓN A UN SECTOR DEL CENTRO-SUR DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

La herramienta desarrollada en el presente trabajo, es aplicada una zona de la Ciudad de Guayaquil, en la República del Ecuador. Santiago de Guayaquil es la segunda ciudad más poblada del Ecuador y tiene una extensión de 347 km² aproximadamente.

Este se encuentra organizada en 16 parroquias urbanas y 5 parroquias rurales (Alcaldía de Guayaquil, 2018). El término parroquia es usado en el Ecuador para referirse a una menor división política de la zona (Alcaldía de Guayaquil, 2018).

Las parroquias urbanas son:

1. Parroquia Pedro Carbo
2. Parroquia Francisco Roca
3. Parroquia Tarqui
4. Parroquia Rocafuerte
5. Parroquia 9 de Octubre
6. Parroquia Olmedo
7. Parroquia Bolivar
8. Parroquia Garcia Moreno
9. Parroquia Ximena
10. Parroquia Febres Cordero
11. Parroquia Pascuales
12. Parroquia Chongón
13. Parroquia Ayacucho
14. Parroquia Letamendi
15. Parroquia Sucre
16. Parroquia Urdaneta

Las parroquias rurales son:

1. Parroquia Juan Gomez Rendon (Progreso)
2. Parroquia Puná
3. Parroquia Tenguel
4. Parroquia Posorja

5. Parroquia El Morro.

Interagua es la empresa que se encarga de brindar el servicio de agua potable y alcantarillado a la ciudad de Guayaquil. Dicha empresa proporcionó datos de 3 sectores ubicados en la Parroquia García Moreno en el centro de la ciudad.



Gráfico 15. Ubicación de los sectores analizados

Los sectores denominados CTC-029, CTC-030 y CTC-031, se muestran en el Gráfico 15. Estos tienen un área total de 3.89 km² y son limitados por las siguientes calles:

Tabla 6. Límites de los sectores analizados

CTC-029	Norte: Calle Brasil Sur: Calle 22 SO Este: Avenida Quito Oeste: Avenida Tungurahua
CTC-030	Norte: Calle 22 SO Sur: Calle Venezuela Este: Avenida Quito Oeste: Avenida Tungurahua
CTC-031	Norte: Calle Venezuela Sur: Calle Vacas Galindo Este: Avenida Quito Oeste: Avenida Tungurahua

Gracias a la información facilitada por Interagua, se puede determinar el Nivel Económico de Fugas mediante los 2 métodos que se detallan en el presente de trabajo.

8.1. METODO 1

Considerando lo presentado anteriormente, tanto la metodología utilizada como el esquema de trabajo, se procede a utilizar la pestaña 2 para el cálculo del ELL.

Previo al cálculo, es necesario obtener los valores del coeficiente N1, el NRR y los Costes (Inspección y del agua) utilizando las Pestañas 3, 4 y 5 respectivamente.

El cálculo del N1, se lo realiza mediante el Nivel Intermedio, ya que se tiene disponible las longitudes de tuberías rígidas y flexibles, dando como resultado los valores mostrados en la tabla 7.

Tabla 7. Coeficiente N1 de los sectores analizados

Sector	Longitud de red elástica (km)	Longitud de red rígida (km)	N1
CTC-029	6.01	6.16	0.99
CTC-030	4.06	9.04	0.81
CTC-031	11.85	9.37	1.06

Para realizar el cálculo del NRR, se utilizó el método básico, ya que las metodologías disponibles no pueden ser utilizadas debido a falta de información. Se cuenta con datos de un caudalímetro a la entrada de los 3 sectores. Estos caudales diarios cuales fueron graficados (Gráfico 16) y se realizó una regresión lineal para obtener la pendiente que representa el NRR ($m^3/día/día$). En este caso, se considera que el consumo en los sectores, para el periodo de tiempo seleccionado no varía, por lo que el aumento del caudal inyectado diario representa el Índice Natural de Aumento de Fugas.

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

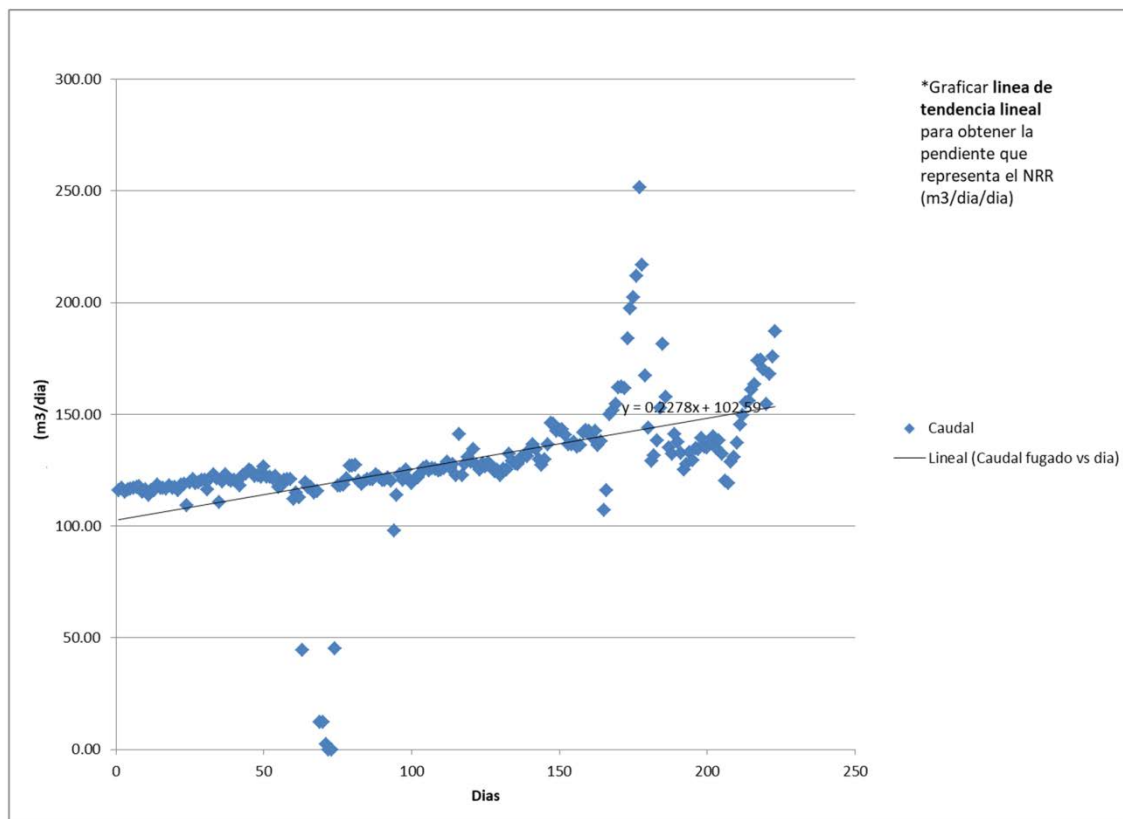


Gráfico 16. Caudales medidos en los sectores analizados

Se obtuvo un NRR de $0.2278 \text{ m}^3/\text{día}/\text{día}$. Al ser un solo caudalímetro para todos los sectores, este valor debe ser ajustado mediante el número de acometidas totales y por sector, utilizando la fórmula mostrada a continuación, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 8.

$$NRR_S = \frac{0.2278 * N_S}{N_T} \quad (19)$$

Donde:

- ✓ NRR_S es el NRR por sector
- ✓ N_S es el número de acometidas por sector
- ✓ N_T es el número de acometidas totales

El coste marginal del agua el cual es de 0.06 USD el m^3 , es agregado en la Pestaña 5. Este dato fue facilitado por la entidad.

Tabla 8. NRR de los sectores analizados

Sector	Numero de acometidas	NRR (m ³ /día/día)	NRR (m ³ /año/año)
CTC-029	842	0.06	8592.32
CTC-030	903	0.07	9214.81
CTC-031	1229	0.09	12541.53

Para realizar el cálculo de los costes de inspección, se armó un grupo de trabajo utilizando un geófono. Este grupo consiste en:

- ✓ 1 Geófono
- ✓ 2 Recursos Humanos
- ✓ 1 Camioneta

El rendimiento del equipo de trabajo es de 2.5 km/día.

El detalle del cálculo de costes se encuentra en el Gráfico 17.

Finalmente los costes a utilizar son:

- ✓ Coste Marginal del agua: 0.06 USD/m³
- ✓ Coste de inspección: 46.44 USD/km

Una vez calculada esta información previa, se procede al cálculo del Nivel Económico de Fugas con el Método 1, en la Pestaña 2.

Para el cálculo de las fugas por roturas no notificadas, se ingresa las longitudes de tuberías y se selecciona 'Básico 1' como método a usar en el NRR. Los resultados se muestran en la Tabla 9.

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

Dias laborables anual	250
-----------------------	-----

Equipo	Coste (USD)	Coste de mantenimiento (% del coste del equipo)	Vida util (años)	Costo total (USD)	Coste amortizado por día laborable (USD)
Geofono	6800.00	0.05	5.00	7140	5.712
Sound Stick	360.00	0.05	5.00	378	0.3024
Caudalimetro Ultrasonido portatil	12000.00	0.05	5.00	12600	10.08
Data Logger	1550.00	0.05	5.00	1627.5	1.302
Detector de tuberia metalicas	8000.00	0.05	5.00	8400	6.72
Detector de tuberia no metalicas	8000.00	0.05	5.00	8400	6.72
Generador electrico portatil	2000.00	0.05	5.00	2100	1.68
Bomba centrifuga portatil	2500.00	0.05	5.00	2625	2.1
Recurso humano por equipo de trabajo	9600.00			9600	38.4
Camioneta (Amortizacion y mantenimiento anual)	40000.00	0.05	5.00	42000	33.6

Grupo de trabajo			
Grupo geofono			
1			
2			
1			
Coste (USD/día)	116.11	0.00	0.00
Red inspeccionada (Km/día)	2.50		

Grupos de trabajo a utilizar	Cant	Coste (USD/día)	Longitud de red inspeccionada diaria (km/día)
Elegir: Grupo geofono	1	116.11	2.50

Resultados	Coste	Unidades
Coste diario de inspeccion	116.11	USD/día
Coste de inspeccion por km	46.44	USD/km

Desglose de costes	Coste	Unidades
Costes de produccion	0	USD/m3
Costes de distribucion	0	USD/m3
Costes de capital	0	USD/m3
Costes ambientales	0	USD/m3
Total	0.00	USD/m3

Ingreso manual	0.06	USD/m3
----------------	------	--------

Coste marginal del agua			
Elegir: Manual	0.06	USD/m3	

Gráfico 17. Cálculo de costes de inspección y del agua para los sectores analizados

Tabla 9. Cálculo de las fugas por roturas no notificadas en los sectores analizados

Básico 1							
Código	NRR (m ³ /año/año)	Longitud de tubería (km)	Costes de intervención (USD)	Coste del agua (USD/m ³)	Frecuencia Optima de Inspección (Años)	Porcentaje Anualmente Inspeccionado	Caudal fugado (m ³ /año)
CTC-029	8 592.32	11.78	547.07	0.06	1.46	68.64	6 258.74
CTC-030	9 214.81	13.11	608.93	0.06	1.48	67.38	6 838.10
CTC-031	12 541.53	12.78	593.79	0.06	1.26	79.60	7 877.74

Para el cálculo de las fugas por roturas notificadas, se ingresa las roturas anuales en tuberías y acometidas, la presión promedio en la red y se selecciona el método a utilizar (Intermedio) para el coeficiente N1. Por otro lado, se deja como default utilizar los valores de referencia para el cálculo del caudal fugado. Los resultados se muestran en la *Tabla 10*.

Es importante indicar, que los datos de presión disponibles, provienen de un caudalímetro ubicado a la entrada de los sectores analizados, la cual es de 20.9 mca. Considerando la topografía de la zona, sienta un sector plano sin variaciones significativas en altitud, y que las velocidades en la red son bajas, y por ende las pérdidas de carga son pequeñas, se supone que la presión en un punto representativo del sector será de 19.9 mca.

Tabla 10. Cálculo de las fugas por roturas notificadas en los sectores analizados

Código	Roturas por año en tuberías	Roturas por año en acometidas	Presión promedio (mca)	Intermedio	Referencia	Referencia	Caudal fugado (m ³ /año)
				N1	Caudal tuberías (m ³ /año)	Caudal acometidas (m ³ /año)	
CTC-029	3,00	12,00	19,90	0,99	1.037,68	1.474,85	2.512,53
CTC-030	3,00	16,00	19,90	0,81	1.228,91	2.328,85	3.557,76
CTC-031	1,00	14,00	19,90	1,06	325,89	1.621,13	1.947,02

Por último, para el cálculo de las fugas de fondo, se ingresan longitud de tuberías, número de acometidas, presión promedio de la red, y se selecciona el método 'Intermedio' para el coeficiente N1. Los resultados se muestran en la *Tabla 11*.

Tabla 11. Cálculo de las fugas de fondo en los sectores analizados

Código	Longitud de tuberías (km)	Numero de acometidas	Presión promedio (mca)	Intermedio			
				N1	Caudal tuberías (m ³ /año)	Caudal acometidas (m ³ /año)	Caudal fugado (m ³ /año)
CTC-029	11,78	842,00	19,90	0,99	826,17	3.691,09	4.517,27
CTC-030	13,11	903,00	19,90	0,81	1.089,05	4.687,98	5.777,03
CTC-031	12,78	1.229,00	19,90	1,06	844,86	5.075,97	5.920,82

Finalmente se obtienen los resultados del Nivel Económico de Fugas para los sectores analizados, los cuales se muestran en la *Tabla 12*.

Tabla 12. Resultados del ELL utilizando el Método 1.

Código	ELL (m ³ /año)
CTC-029	13.288,54
CTC-030	16.172,89
CTC-031	15.745,58

8.2. METODO 2

Para realizar el caculo del ELL utilizando el método 2, se utiliza la Pestaña 10. Considerando el esquema presentado en el capítulo 6.1, previo a realizar el cálculo, es necesario obtener los valores del NRR y Costes utilizando las pestañas 4 y 5 respectivamente.

Estos valores ya fueron calculados para realizar el Método 1, por lo que se detallan a continuación los resultados:

✓ Coste Marginal del agua:	0.06	USD/m ³
✓ Coste de inspección:	46.44	USD/km
✓ NRR (CTC-029)	8 592.32	m ³ /año/año
✓ NRR (CTC-030)	9 214.81	m ³ /año/año
✓ NRR (CTC-031)	12 541.53	m ³ /año/año

Para el cálculo del EARL, se ingresan las longitudes de tuberías en cada sector y se selecciona 'Básico 1' como método a utilizar en el NRR. Los resultados se muestran en la *Tabla 13*.

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

Tabla 13. Cálculo del EARL en los sectores analizados

	Básico 1						
Código	NRR (m ³ /año/año)	Longitud de tubería (km)	Costes de intervención (USD)	Coste del agua (USD/m ³)	Frecuencia Optima de Inspección (Años)	Porcentaje Anualmente Inspeccionado	Perdidas Reales Anuales Económicas (EARL) (m ³)
CTC-029	8592.32	11.78	547.07	0.06	1.46	68.64	6 258.74
CTC-030	9214.81	13.11	608.93	0.06	1.48	67.38	6 838.10
CTC-031	12541.53	12.78	593.79	0.06	1.26	79.60	7 877.74

Para el cálculo del UARL, se ingresan las longitudes de tuberías en cada sector, longitudes de acometidas, números de acometidas, presión promedio y se selecciona 'Básico 1' como método a utilizar en el NRR. Los resultados se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Calculo del UARL en los sectores analizados

Código	Longitud de tuberías (km)	Longitud de acometidas (km)	Numero de acometidas	Presión promedio (mca)	Perdidas Reales Anuales Inevitables ("UARL") (m ³)
11,78	0,66	842	19,90	6.552,61	11,78
13,11	0,43	903	19,90	7.040,19	13,11
12,78	0,14	1229	19,90	8.838,55	12,78

Finalmente, utilizando los valores mencionados anteriormente, se obtiene el Nivel Económico de Fugas, cuyos resultados se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Resultados del ELL utilizando el Método 2.

Código	ELL (m ³ /año)
CTC-029	12.811,35
CTC-030	13.878,30
CTC-031	16.716,29

8.3. COMPARACION ENTRE METODOLOGIAS

Con el fin de analizar las diferencias entre las metodologías planteadas, se presenta un cuadro comparativo en la Tabla 16. El Gráfico 18, se muestra una comparación visual de los resultados obtenidos.

Tabla 16. Cuadro comparativo del ELL con las distintas metodologías

Código	Método 1 (m ³)	Método 2 (m ³)	Diferencia (m ³)
CTC-029	13 288,54	12 811,35	477,19
CTC-030	16 172,89	13 878,30	2294,60
CTC-031	15 745,58	16 716,29	970,71

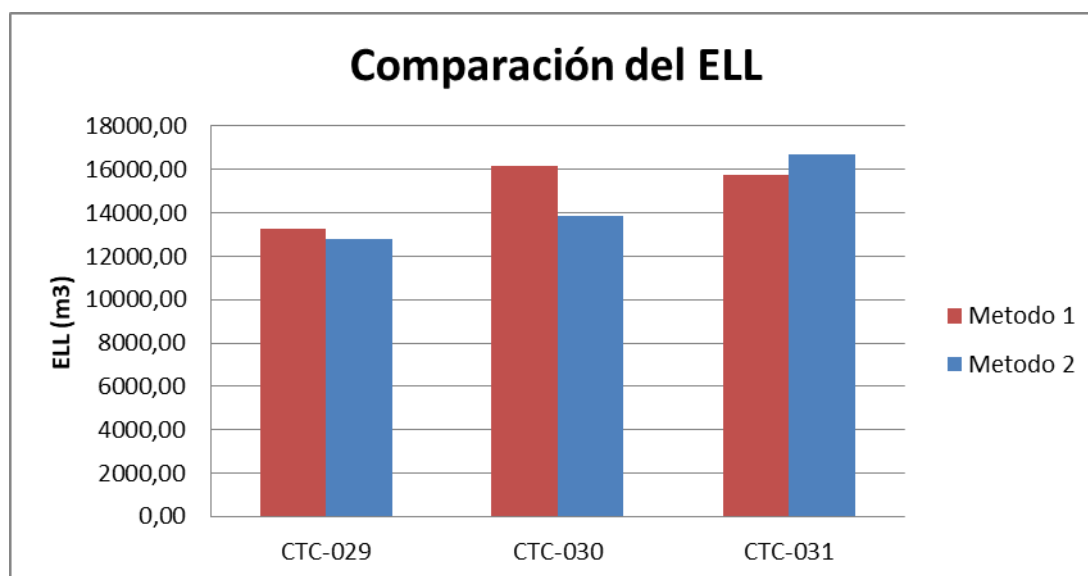


Gráfico 18. Comparación visual de los resultados obtenidos por el método 1 y 2 del ELL

Considerando que en el método 2, la fórmula para el cálculo del UARL proviene de los valores de referencia expresados en los capítulos 5.1.1 y 5.1.2 para las fugas por roturas notificadas y fugas de fondo, la diferencia entre las dos metodologías no debería ser extremadamente grande.

Como se muestra en la Tabla 16, la diferencia entre las metodologías utilizadas no es excesiva, siendo el sector con mayor variación el CTC-030, seguido por el sector CTC-031. Estas diferencias pueden que sean debido al coeficiente N1. Teniendo en mente que en el método 2 se considera una relación lineal entre el caudal fugado y la presión ($N1=1$), se puede comprobar que el sector CTC-029, el cual tiene un N1 calculado de prácticamente de uno (0.99), la diferencia es menor. Por otro lado, el sector CTC-030, tiene un N1 calculado de 0.81, siendo este el sector con mayor diferencia del N1 por lo que también tiene una mayor diferencia en el ELL calculado.

Los N1 calculados para cada sector, y que fueron utilizados en el cálculo con el Método 1 se muestran en la Tabla 7.

8.4. ANALISIS SENSIBILIDAD

Se realiza el análisis de sensibilidad al coeficiente N1, la presión y costes ambientales, utilizando las pestañas 11, 12 y 14 respectivamente, de forma que se pueda apreciar el grado de afección de estas variables al valor de ELL.

Por otro lado, no se realiza el análisis a los costes de inspección debido a que no se tiene información de costes de otros equipos, ni su rendimiento.

8.4.1. SENSIBILIDAD N1

Como se mencionó anteriormente, una variación en el coeficiente N1 provocará cambios en el cálculo de las fugas por roturas notificadas y fugas de fondo, y por ende en el valor del ELL.

Se puede observar (Gráfico 19), que para los sectores analizados, a medida que aumenta el valor del coeficiente N1, el volumen anual de fugas por roturas notificadas disminuye.

Teniendo en cuenta que a medida que el N1 sea mayor, al ser este un exponente, el valor del caudal fugado debería ser mayor, no menor como se presenta en el presente caso. Por otro lado, viéndolo físicamente, a medida que el exponente N1 es mayor, indica que el material de la tubería es más flexible, por lo que a medida que el N1 aumenta, el tamaño del orificio debería aumentar y por ende el caudal fugado.

Analizando la ecuación determinada por Lambert (2001), la relación caudal-presión se presenta de la siguiente forma:

$$L_1 = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N1} L_0 \quad (20)$$

Donde

- ✓ L1 es el caudal fugado
- ✓ L0 es el caudal fugado de referencia

- ✓ P1 es la presión
- ✓ P0 es la presión de referencia
- ✓ N1 el exponente que indica la relación entre el caudal fugado y la presión.

En este caso, la presión de referencia es de 50 mca mientras que la presión de los sectores analizados es de 19.9 mca, siendo la relación entre ambas es de 0.40. Al ser un valor inferior a 1, a medida que el exponente (N1) incremente su valor, el término $\left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N1}$ será cada vez menor, y por ende, el caudal fugado será menor. Esta es la razón de la forma decreciente de las curvas obtenidas (Gráfico 19, Gráfico 20 y Gráfico 21).

Por otro lado, realizando una comparación entre los niveles Básico (N1=1), Intermedio y Avanzado, se puede concluir lo siguiente (en base a: Gráfico 19, Gráfico 20, Gráfico 21, Tabla 16, Tabla 17 y Tabla 18):

- ✓ Las diferencias de las fugas por roturas notificadas entre los valores obtenidos con los 3 métodos, es menor a 620 m³ anuales (menos del 20%). En todo caso, en los sectores CTC-029 y CTC-031, la diferencia entre el básico e intermedio, es menos a la diferencia entre el Intermedio y Avanzado, siendo lo contrario en el sector CTC-030.
- ✓ Las diferencias de las fugas de fondo entre los valores obtenidos con los 3 métodos, es menor a 1015 m³ anuales (menos del 20%). En todo caso, en los sectores CTC-029 y CTC-031, la diferencia entre el básico e intermedio, es menor a la diferencia entre el Intermedio y Avanzado, siendo lo contrario en el sector CTC-030.
- ✓ Las diferencias del ELL entre los valores obtenidos con los 3 métodos, es menor a 1615 m³ anuales, lo cual es menos del 10% de diferencia entre los resultados de ambos métodos. Esto se muestra en la Tabla 20.
- ✓ Los sectores CTC-029 y CTC-031, tienen cerca del mismo porcentaje de tuberías rígidas que flexibles, por lo que las diferencias entre básico e intermedio no son muy grandes. Por otro lado, el sector CTC-030 tiene una mayor diferencia la cantidad de tuberías rígidas y elásticas, por lo que este sector tiene un comportamiento distinto.

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

Tabla 17. Cuadro comparativo de las fugas por roturas notificadas con variaciones del coeficiente N1.

FUGAS POR ROTURAS NOTIFICADAS

	Básico	Intermedio	Avanzado	Diferencia Bas - Int	Diferencia Int - Av	Diferencia Bas - Av
CTC-029	2 497.85	2 512.53	2 737.49	14.68	224.96	239.64
CTC-030	2 986.59	3 557.76	3 601.70	571.17	43.94	615.11
CTC-031	2 054.48	1 947.02	1 722.05	107.46	224.97	332.43

* Valores en m³/año

Tabla 18. Cuadro comparativo de las fugas de fondo con variaciones del coeficiente N1.

FUGAS DE FONDO

	Básico	Intermedio	Avanzado	Diferencia Bas - Int	Diferencia Int - Av	Diferencia Bas - Av
CTC-029	4.490,86	4.517,27	4.921,71	26,41	404,44	430,85
CTC-030	4.849,58	5.777,03	5.848,38	927,45	71,35	998,80
CTC-031	6.247,59	5.920,82	5.236,70	326,77	684,12	1010,89

* Valores en m³/año

Tabla 19. Cuadro comparativo del Nivel Económico de Fugas con variaciones del coeficiente N1.

ELL

	Básico	Intermedio	Avanzado	Diferencia Bas - Int	Diferencia Int - Av	Diferencia Bas - Av
CTC-029	13.247,45	13.288,54	13.917,94	41,09	629,40	670,49
CTC-030	14.674,27	16.172,89	16.288,19	1498,62	115,30	1613,92
CTC-031	16.179,80	15.745,58	14.836,48	434,22	909,10	1343,32

* Valores en m³/año

Tabla 20. Cuadro comparativo en porcentaje del Nivel Económico de Fugas con variaciones del coeficiente N1.

ELL

	Diferencia Bas - Int (%)	Diferencia Int - Av (%)	Diferencia Bas - Av (%)
CTC-029	0.3	4.5	4.8
CTC-030	9.3	0.7	9.9
CTC-031	2.7	5.8	8.3

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

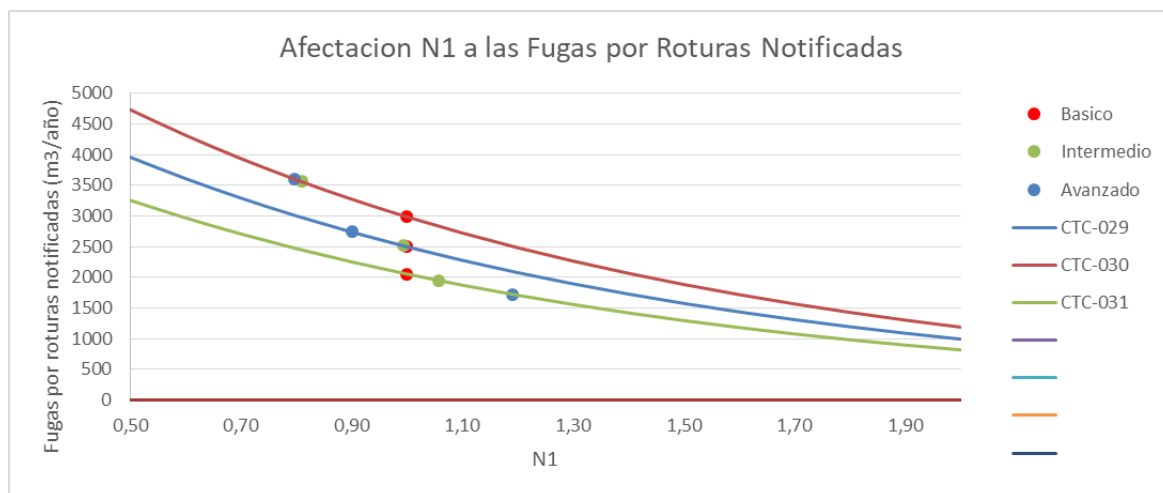


Gráfico 19. Gráfico comparativo de las fugas por roturas notificadas con variaciones del coeficiente N1

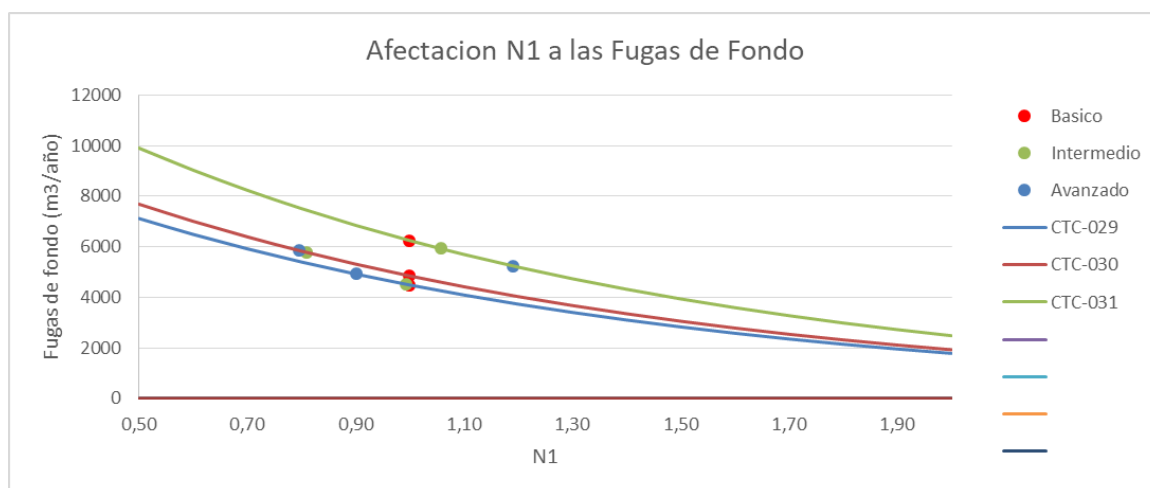


Gráfico 20. Gráfico comparativo de las fugas de fondo con variaciones del coeficiente N1.

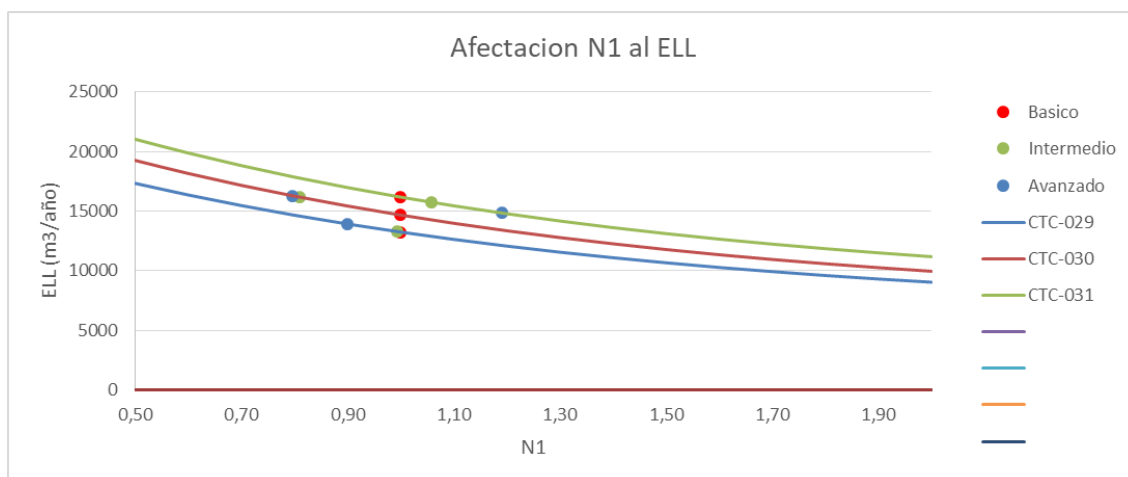


Gráfico 21. Cuadro comparativo del Nivel Económico de Fugas con variaciones del coeficiente N1.

8.4.2. SENSIBILIDAD PRESION

Como se mencionó anteriormente, un cambio en la presión afectará los valores de las fugas de roturas notificadas, fugas de fondo y por ende en el ELL. Los resultados del análisis de sensibilidad de la presión se muestran en el Gráfico 22, Gráfico 23 y Gráfico 24.

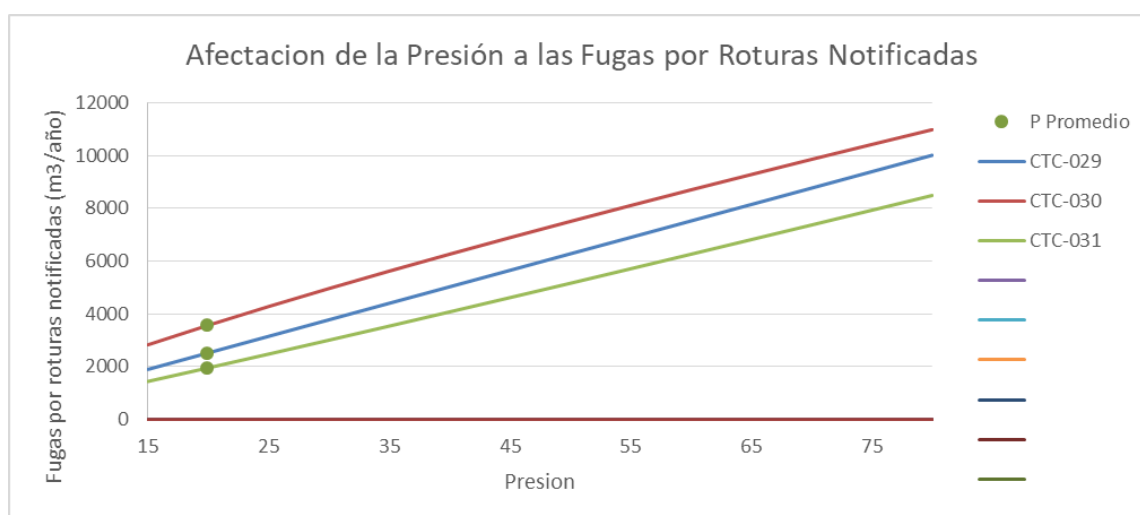


Gráfico 22. Grafico comparativo de la variación de las fugas por roturas notificadas con cambios de presión en la red.

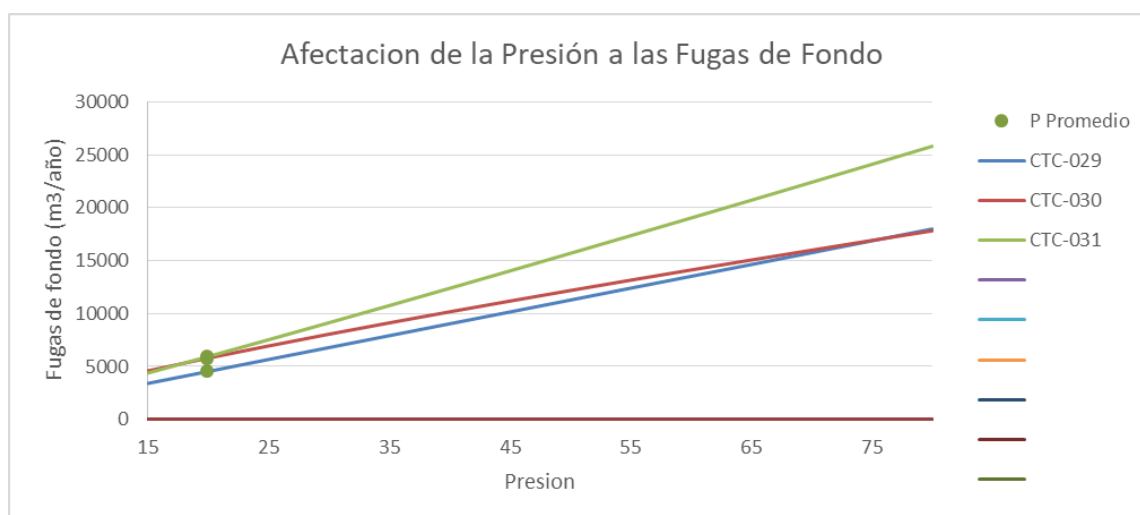


Gráfico 23. Grafico comparativo de la variación de las fugas de fondo con cambios de presión en la red.

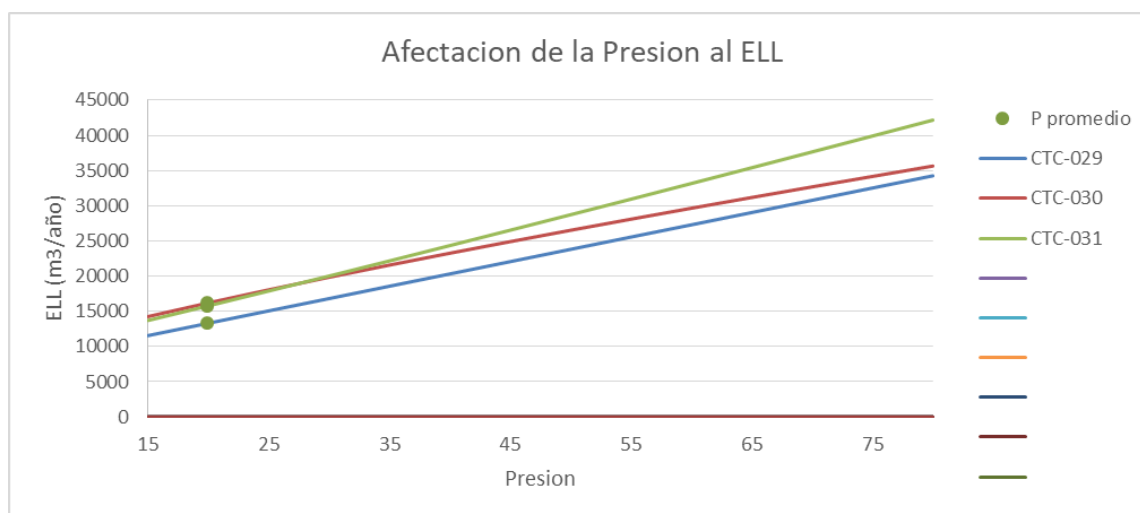


Gráfico 24. Grafico comparativo de la variación del ELL con cambios de presión en la red.

De los resultados se puede concluir:

- ✓ A medida que aumenta la presión, aumentan las fugas y por ende el ELL.
- ✓ El aumento de la presión no afecta de la misma forma a los sectores analizados, teniendo unos una pendiente más pronunciada que otros. Esto puede deberse al tipo de material predominante en la red, lo cual afecta al valor del N1 (el cual se mantiene constante en este análisis para cada sector), el cual relaciona el caudal fugado y la presión. Al cada sector tener un N1 distinto, su comportamiento a un aumento de presión es diferente.

8.4.3. SENSIBILIDAD COSTES AMBIENTALES

Para realizar el análisis de los costes ambientales, se parte del coste del agua facilitado por Interagua. Este valor (0.06 USD/m³) se agrega al desglose de costes como 'Costes de producción' para realizar el análisis. Como resultado se obtuvo el Gráfico 25.

Analizando los resultados, se puede concluir:

- ✓ A medida que los costes ambientales aumentan (por ende el coste del agua aumenta), disminuye el ELL. Es algo de esperarse, ya que entre mayor sea el coste del agua, menos conviene permitir que este se pierda en fugas.
- ✓ Inicialmente, un aumento en el coste ambiental, provoca una drástica disminución del ELL. Sin embargo, a medida que los costes incrementan mas

su valor, el ELL tiende a ser asintótico. Esto debido a que entre mayor sea el coste del agua, mayor será la frecuencia optima de inspección y menor serán las fugas por roturas no notificadas, llegando a estas tender a cero, por lo que el valor al que se aproximan las gráficas (Gráfico 25) representan fugas por roturas notificadas y fugas de fondo.

- ✓ Es importante que si los costes ambientales llegan a ser muy elevados, se debe analizar la factibilidad económica de buscar otra fuente de recursos hídricos en donde el impacto ambiental, y por entre los costes ambientales, no sean tan elevados, o bajar el ELL hasta los niveles señalados.

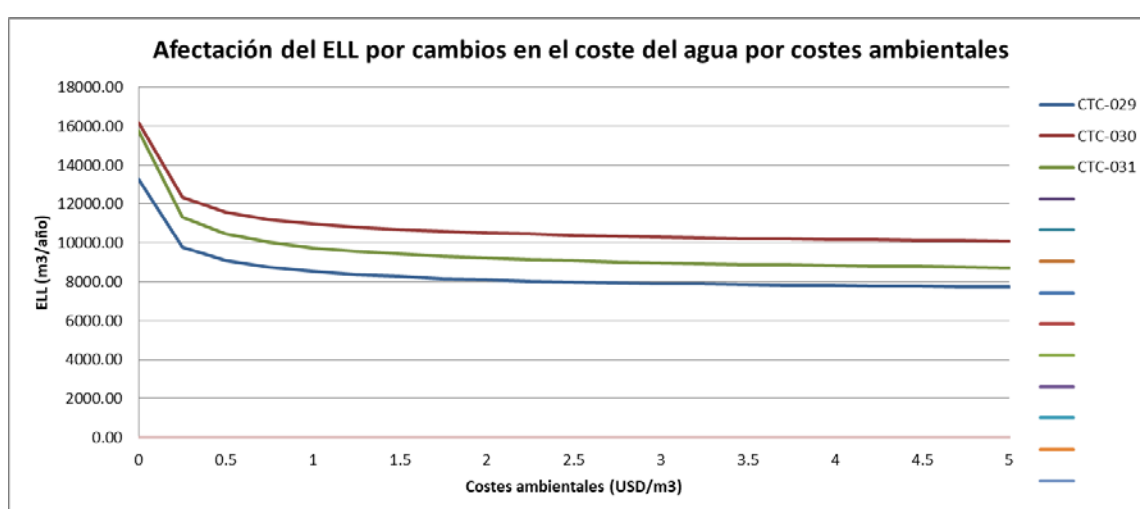


Gráfico 25. Resultados del análisis de costes ambientales en los sectores estudiados

9. CONCLUSIONES

Actualmente, la información para el cálculo del ELL se encuentra disgregada, por lo que realizar una herramienta que facilite su estimación, es una gran ventaja para los gestores de los sistemas de abastecimiento de agua potable. Sin embargo, a pesar de esto, muchas de las variables involucradas en su cálculo, no se las puede obtener con exactitud, por lo que es necesario estimarlas utilizando propuestas de distintos autores, presentadas en el presente trabajo. En todo caso, con la información desarrollada hasta la actualidad, se pudo realizar de forma exitosa una herramienta para el cálculo del ELL mediante 2 metodologías, dependiendo de la información disponible de la red analizada. Gracias a ello, se pueden tomar decisiones en torno a la gestión de fugas, que sean económicamente rentables para

la empresa, y a su vez no desperdiciar un recurso tan vital para el ser humano como es el agua.

Para confirmar el correcto funcionamiento de la herramienta desarrollada, se realizó de forma satisfactoria la aplicación de la misma en un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador).

Como resultado, se obtuvo que el ELL en el sector CTC-029 es de 13 288 m³ y 12 811 m³ al año utilizando el método 1 y 2 respectivamente. Por otro lado, el sector CTC-030 tuvo como resultado un ELL de 16 172 m³ y 13 878 m³ (método 1 y 2 respectivamente). El sector CTC-031 tiene un ELL de 15 745 m³ y 16 716 m³ al año (método 1 y 2 respectivamente). Las diferencias entre las 2 metodologías utilizadas no es muy grande, siendo mayor en el sector CTC-030, donde es posible que el valor del coeficiente N1 haya sido la razón.

Con respecto a la sensibilidad al coeficiente N1, la diferencia en el Nivel Económico de Fugas en los 3 sectores analizados, por usar cualquiera de los 3 métodos (Básico, Intermedio y Avanzado) es menor al 20%, siendo la mayor la diferencia entre los métodos básico e intermedio que entre los métodos intermedio y avanzado. A pesar de que las diferencias no son muy grandes, se recomienda que en lo posible se utilice un el método intermedio para la estimación del N1.

Por otro lado, es necesario obtener datos de presión adecuados, ya que el comportamiento del sistema varía de forma proporcional a la presión de la misma. En el caso de estudio, los 3 sectores se encuentran en una zona en donde no hay mayores desniveles. La presión media considerada es de 19.9 mca, pero al ser el N1 distinto en cada sector, su comportamiento a cambios de presión es distinto.

Finalmente, el análisis de los costes (del agua e inspección) es el de mayor importancia, ya que la optimización se basa en los mismos. En el caso de estudio, los costes de inspección no fueron analizados al no tener información de otros equipos buscafugas para armar distintos grupos de trabajo. Por otro lado, el coste del agua fue analizada en base a costes ambientales que puedan ser incluidos, considerando que la protección del medio ambiente es un tema de gran acogida en la actualidad. Se pudo observar que, a medida que los costes ambientales aumentan (por ende el coste del agua aumenta), disminuye el ELL. Es algo de esperarse, ya

que entre mayor sea el coste del agua, menos conviene permitir que este se pierda en fugas. Es importante que si los costes ambientales llegan a ser muy elevados, se debe analizar la factibilidad económica de buscar otra fuente de recursos hídricos en donde el impacto ambiental, y por entre los costes ambientales, no sean tan elevados.

Es importante que los abastecimientos analicen los resultados obtenidos y tomen las medidas más adecuadas para la gestión de fugas en el sistema de distribución de agua potable.

10. BIBLIOGRAFIA

- ✓ Naciones Unidas. (s.f.). *Día mundial del agua*. Consultado el 15 de noviembre del 2018. En <https://www.un.org/es/events/waterday/>
- ✓ Organización Mundial de la Salud. (s.f.). *Agua, saneamiento e higiene*. Consultado el 15 de noviembre del 2018. En https://www.who.int/water_sanitation_health/es/
- ✓ Fanner, P. y Lambert, A. (s.f.). *Calculating SRELL with Pressure Management, Active Leakage Control and Leak Run-Time Options, with confidence limits*. Consultado el 15 de noviembre del 2018. En http://www.miya-water.com/fotos/artigos/03_calculating_srell_with_pressure_management_active_leakage_control_and_leak_run_time_options_with_confidence_limits_17136495525a325dabb4998.pdf
- ✓ S Melato, D & A Carvalho, G y Thornton, J. (2009). *Using Component Analysis and Infrastructure Condition Factor (ICF) Field Tests to Prioritize Service Connection Replacement and Reduce Real Loss in a Sustainable Manner*. Consultado el 15 de noviembre del 2018. En http://www.miya-water.com/fotos/artigos/13_using_component_analysis_and_icf_feild_tests_to_prioritize_service_connection_replacment_and_reduce_real_loss_3140721965a3261482838a.pdf
- ✓ 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.
- ✓ 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. Consultado el 15 de noviembre del 2018. En <http://rash.apanela.com/tf/leakage/Using%20practical%20predictions%20of%20Economic%20Intervention%20Frequency.pdf>

- ✓ 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.
- ✓ Piper, B. (2013). *Water Resource Management Plan 2014*. Oxford, England. Atkins Ltd.
- ✓ Al-Washali, T.; Kennedy, M. y Sharma, S. (2016). *Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review*. Netherlands. Springer Netherlands
- ✓ Lambert, Allan. (2001). *What do we know about pressure: Leakage relationships in distribution systems?* Consultado el 15 de noviembre del 2018. En <http://www.studiomarcofantozzi.it/BRNOP4.1.pdf>
- ✓ Trow, S. y Pearson, D. (2005). *Calculating Economic Levels of Leakage*. Consultado el 15 de noviembre del 2018. En <http://rash.apanela.com/tf/leakage/Calculating%20Economic%20Levels%20of%20Leakage.pdf>
- ✓ Delgado, X. (2011). *Aplicación del método de jerarquías analíticas (AHP) a la gestión de pérdidas de agua en redes de abastecimiento*. Tesis de doctorado. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.
- ✓ Winarni, W. (2009). *Infrastructure Leakage Index (ILI) as Water Losses Indicator*. Consultado el 15 de noviembre del 2018. En <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/civ/article/viewFile/17230/17771>
- ✓ Hinner, W. y Lambert, A. (2000) *Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures*. London: IWA Blue Pages.
- ✓ Fanner, P.; Sturm, R.; Thornton, J.; Liemberger, R.; Davis, S. and Hoogerwerf, T. (2007). *Leakage Management Technologies*. Estados Unidos: Awwa Research Foundation. IWA Publishing.
- ✓ Renaud, E.; Sissoko, M.; Clauzier, D.; Sandraz A.; y Pillot, J. (2015) *Comparative study of different methods to assess average pressures in water*

distribution zones. Consultado el 20 de Febrero del 2019. En https://www.ewra.net/wuj/pdf/WUJ_2015_10_03.pdf

- ✓ Alcaldía de Guayaquil (2018). *Division*. Consultado del 5 de Marzo del 2019. En <https://guayaquil.gob.ec/divisi%C3%B3n>
- ✓ Wikipedia (2019). *Guayaquil*. Consultado el 5 de Marzo del 2019. En <https://es.wikipedia.org/wiki/Guayaquil>
- ✓ Zamora, L. (2017). *Causas de las fugas*. Consultado el 29 de Marzo del 2019. En <https://www.infoacueductos.producr.ac.cr/tecnico/ahorro-agua/deteccion-de-fugas/causas-de-las-fugas>
- ✓ Chuquirima, A. (2010). *El agua potable y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes del asentamiento Nueva Miraflores, cantón Santo Domingo, provincia Santo Domingo de los Tsachilas*. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Universidad Técnica de Ambato.
- ✓ Elorrieta, J.; Castellano, E.; Martinez, P.; Pellitero, M.; y Rey, C. (2003). *Establecimiento de un precio óptimo ambiental y social para el agua de riego mediante la internalización de los costes ambientales y el uso de matrices de contabilidad social. Aplicación a la Comunidad Foral de Navarra*. Consultado el 20 de Febrero del 2019. En <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/1431868.pdf>
- ✓ Herrero, R. (2016) *Renovación y mantenimiento de infraestructuras hidráulicas en medio urbano*. Consultado el 20 de Abril del 2019. En <https://www.iagua.es/blogs/raul-herrero/renovacion-y-mantenimiento-infraestructuras-hidraulicas-medio-urbano>

11. ANEXOS

11.1. ANEXO 1

Se presenta una explicación grafica de la Pestaña 2 – ELL.

En términos generales, la pestaña está conformada por 5 bloques los cuales son:

- | | | |
|-------------------------------------|---|------------|
| 1. Información | - | Gráfico 27 |
| 2. Fugas por Roturas no Notificadas | - | Gráfico 28 |
| 3. Fugas por Roturas Notificadas | - | Gráfico 29 |
| 4. Fugas de Fondo | - | Gráfico 30 |
| 5. Nivel Económico de Fugas | - | Gráfico 31 |

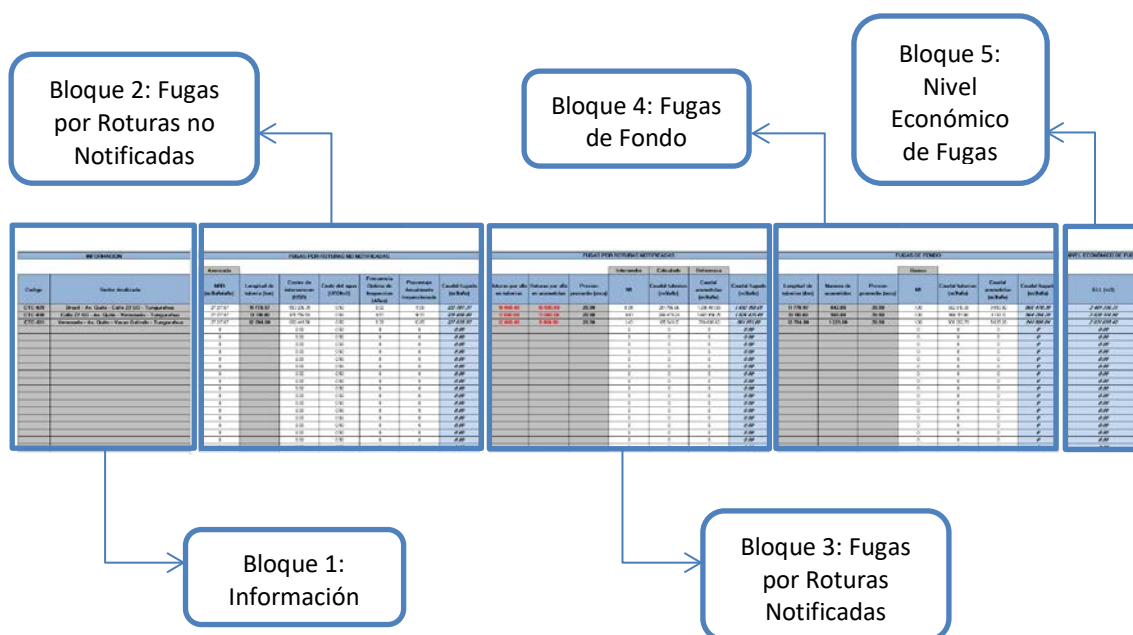


Gráfico 26. Explicación general de la Pestaña 2.

Los códigos de color de las celdas, se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 21. Tipo de celdas de la hoja de cálculo

Tipo de celdas	
1.00	Datos a Ingresar
2.00	Celdas formuladas
3.00	Resultados

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

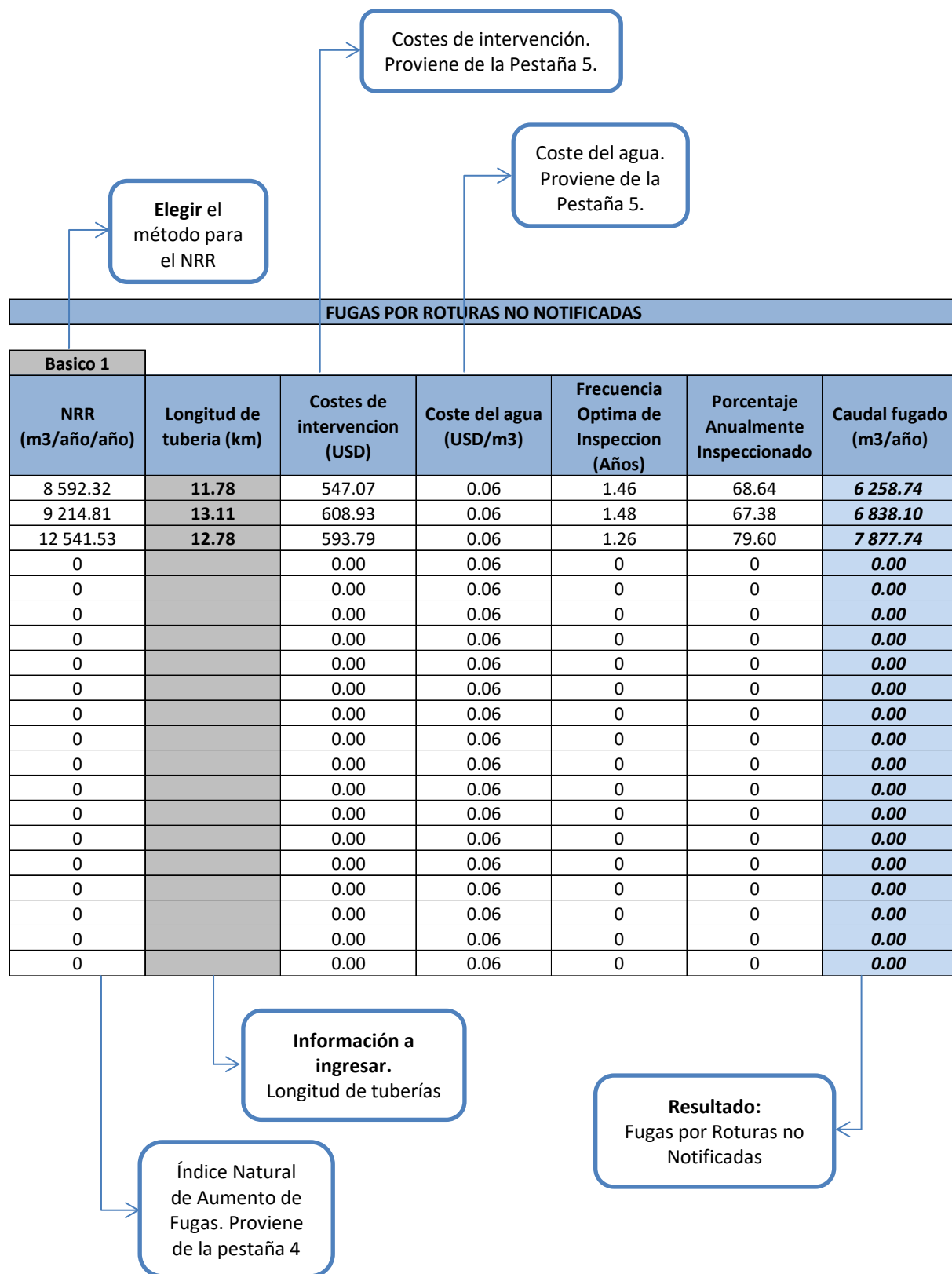


Gráfico 28. Explicación gráfica del Bloque 2 de la Pestaña 2

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

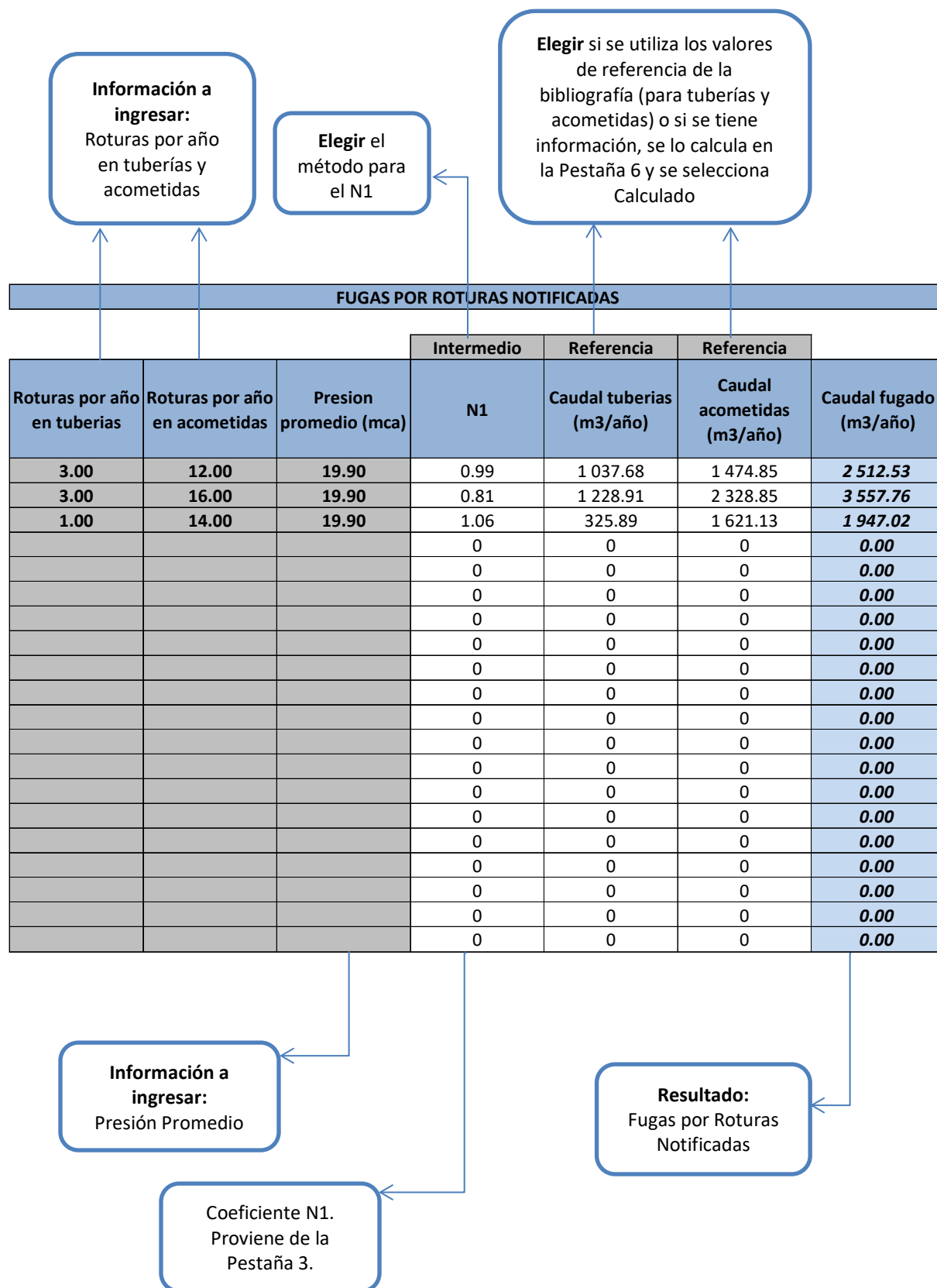


Gráfico 29. Explicación gráfica del Bloque 3 de la Pestaña 2

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

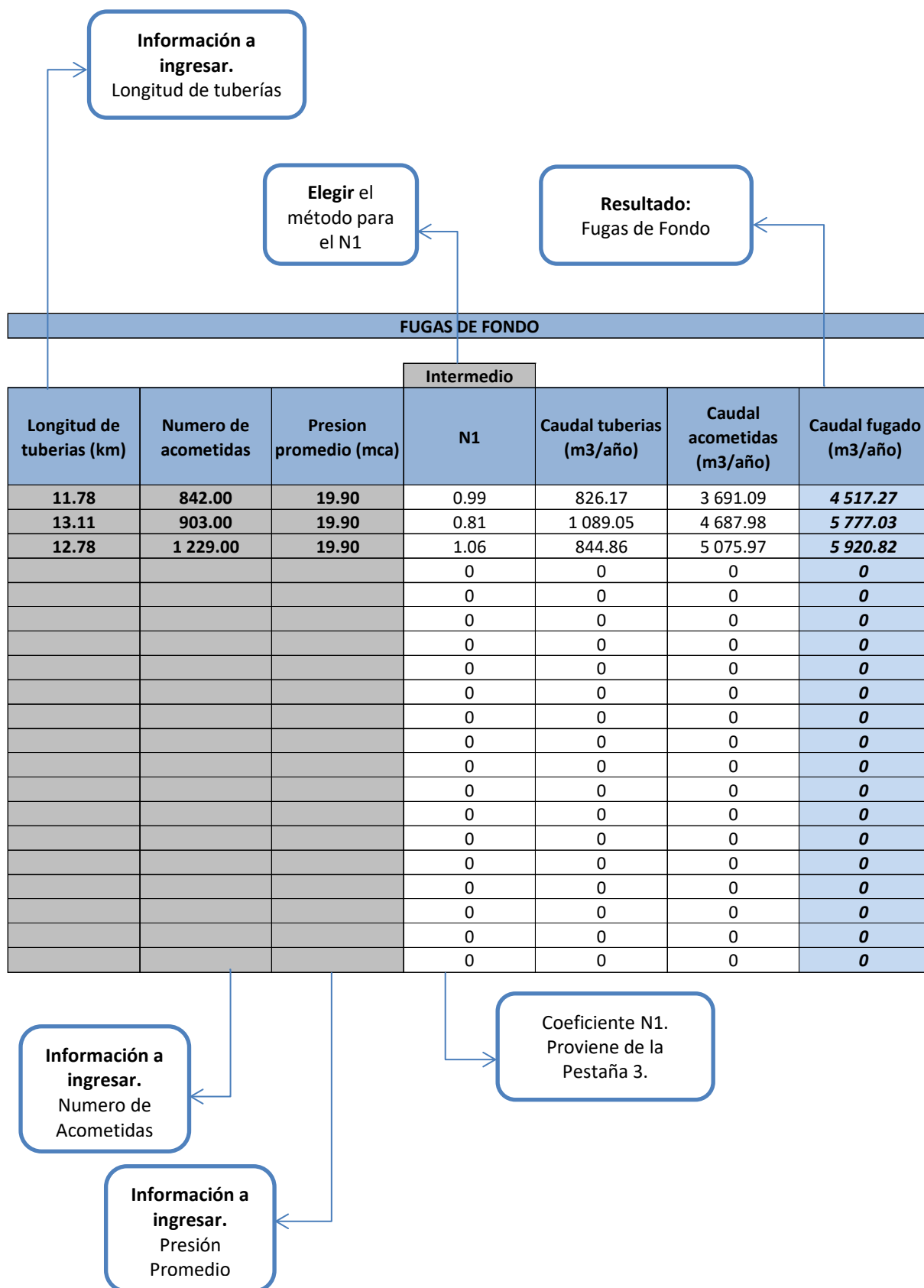


Gráfico 30. Explicación gráfica del Bloque 4 de la Pestaña 2

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

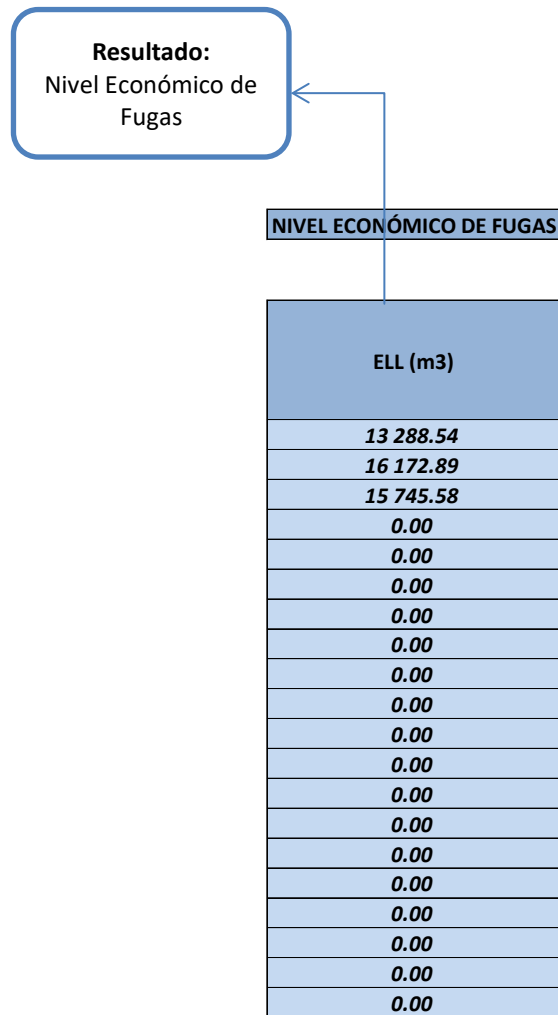


Gráfico 31. Explicación gráfica del Bloque 5 de la Pestaña 2

11.2. ANEXO 2

Se presenta una explicación grafica de la Pestaña 3 – N1

En términos generales, la pestaña está conformada por 5 bloques los cuales son:

1. Información - Gráfico 27
2. Método Básico - Gráfico 34
3. Método Intermedio - Gráfico 34
4. Método Avanzado - Gráfico 35
5. Otras Metodologías - Gráfico 35

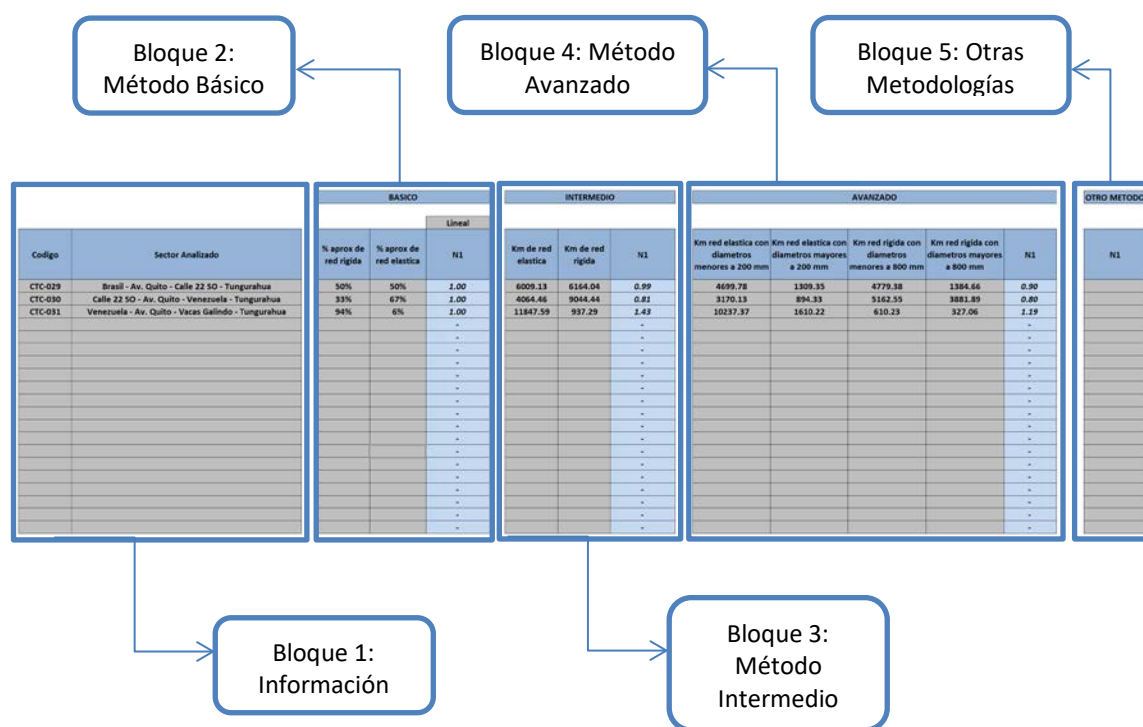


Gráfico 32. Explicación general de la Pestaña 3.

En la pestaña también se cuenta con un gráfico en donde se puede realizar una comparación entre las distintas metodologías para el cálculo del coeficiente N1.

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

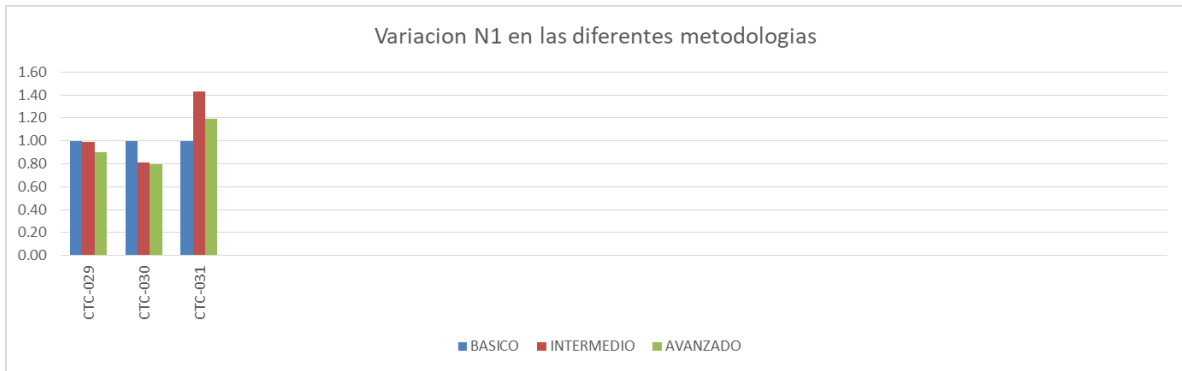


Gráfico 33. Grafico comparativo entre metodologías de cálculo del coeficiente N1.

11.3. ANEXO 3

Se presenta una explicación grafica de la Pestaña 4 – NRR

En términos generales, la pestaña está conformada por 5 bloques los cuales son:

1. Información - Gráfico 27
2. Método Básico 1 - Gráfico 37
3. Método Básico 2 - Gráfico 37
4. Método Intermedio - Gráfico 38
5. Método Avanzado - Gráfico 39

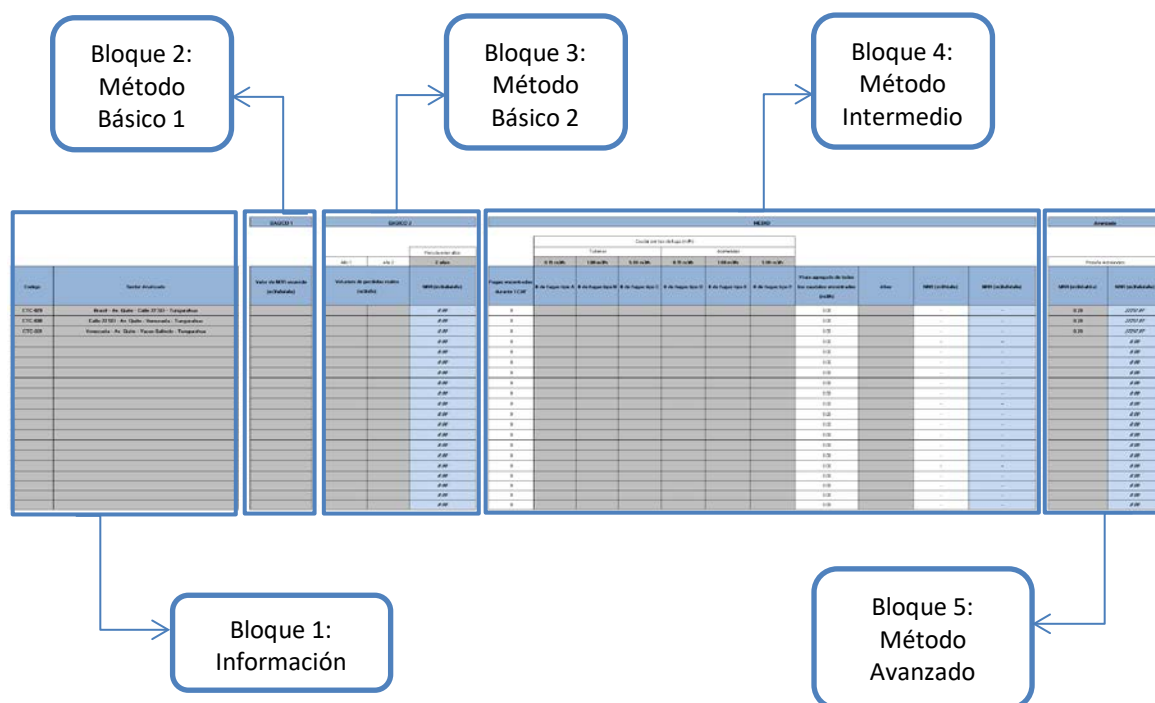


Gráfico 36. Explicación general de la Pestaña 4

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

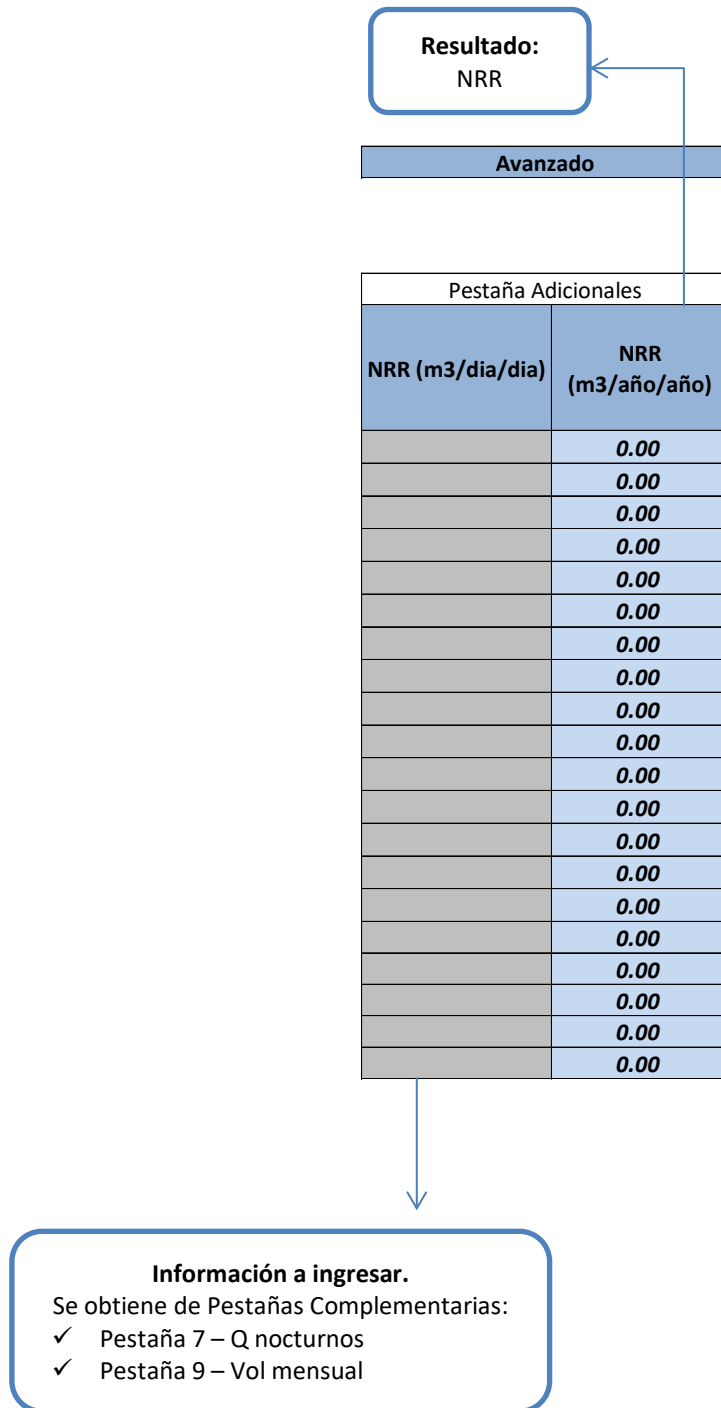


Gráfico 39. Explicación del Bloque 5 de la pestaña 4

11.4. ANEXO 4

Se presenta una explicación grafica de la Pestaña 5 - Costes

En términos generales, la pestaña está conformada en 3 grandes grupos. El primero es donde se muestran los valores a utilizar en la Pestaña ELL. El valor del Coste Marginal del Agua se obtiene del Grupo 3, mientras que el Coste de inspección es obtenido del Grupo 2.

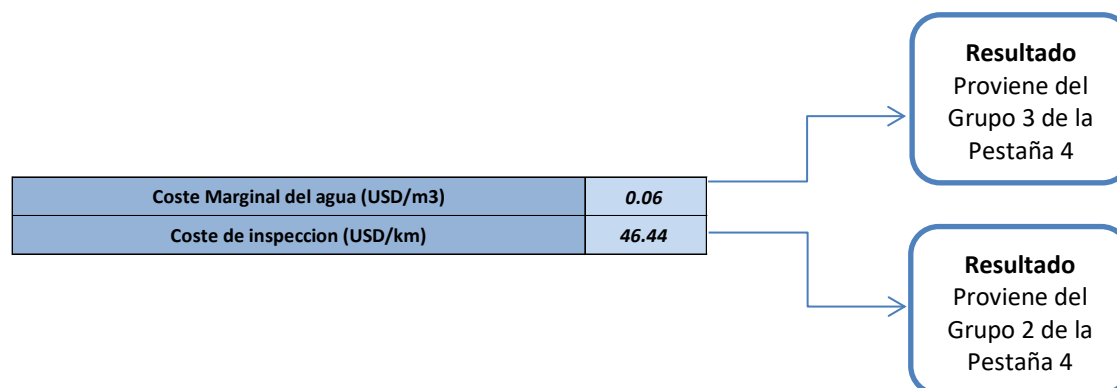


Gráfico 40. Explicación general del Grupo 1 de la Pestaña 5

El grupo 2 está compuesto por 3 bloques, y el fin es calcular el Coste de inspección.

Estos bloques son:

1. Equipo - Gráfico 42
2. Grupo de Trabajo - Gráfico 43
3. Cálculos y Resultados - Gráfico 44

El grupo 3 está compuesto por 3 bloques, con el fin de calcular el Coste Marginal del Agua. Estos bloques son:

1. Desglose - Gráfico 45
2. Ingreso manual - Gráfico 46
3. Valor a usar - Gráfico 47

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

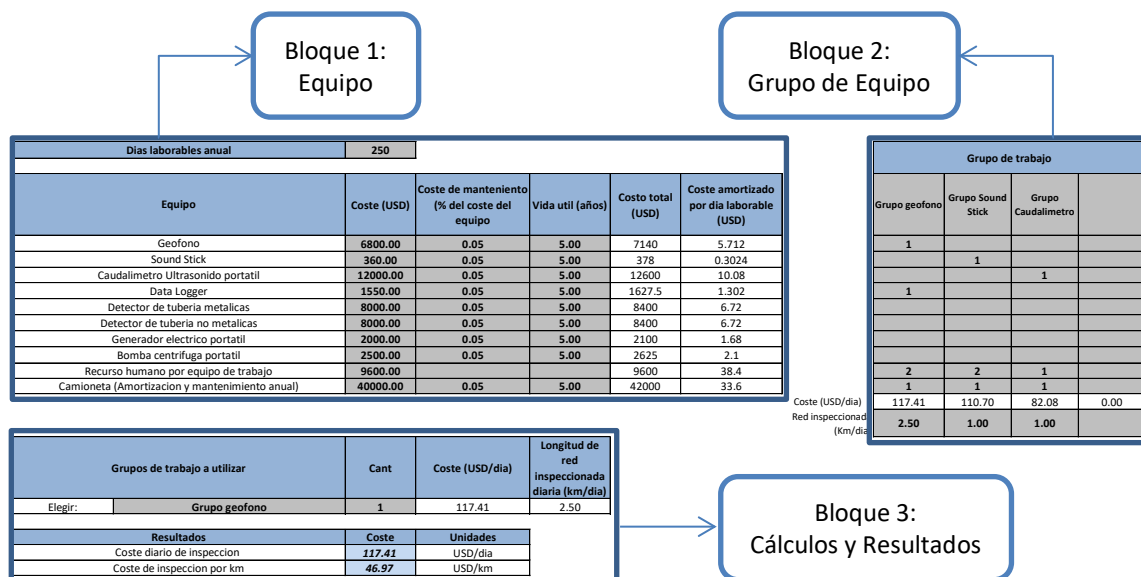


Gráfico 41. Explicación general del Grupo 2 de la Pestaña 5

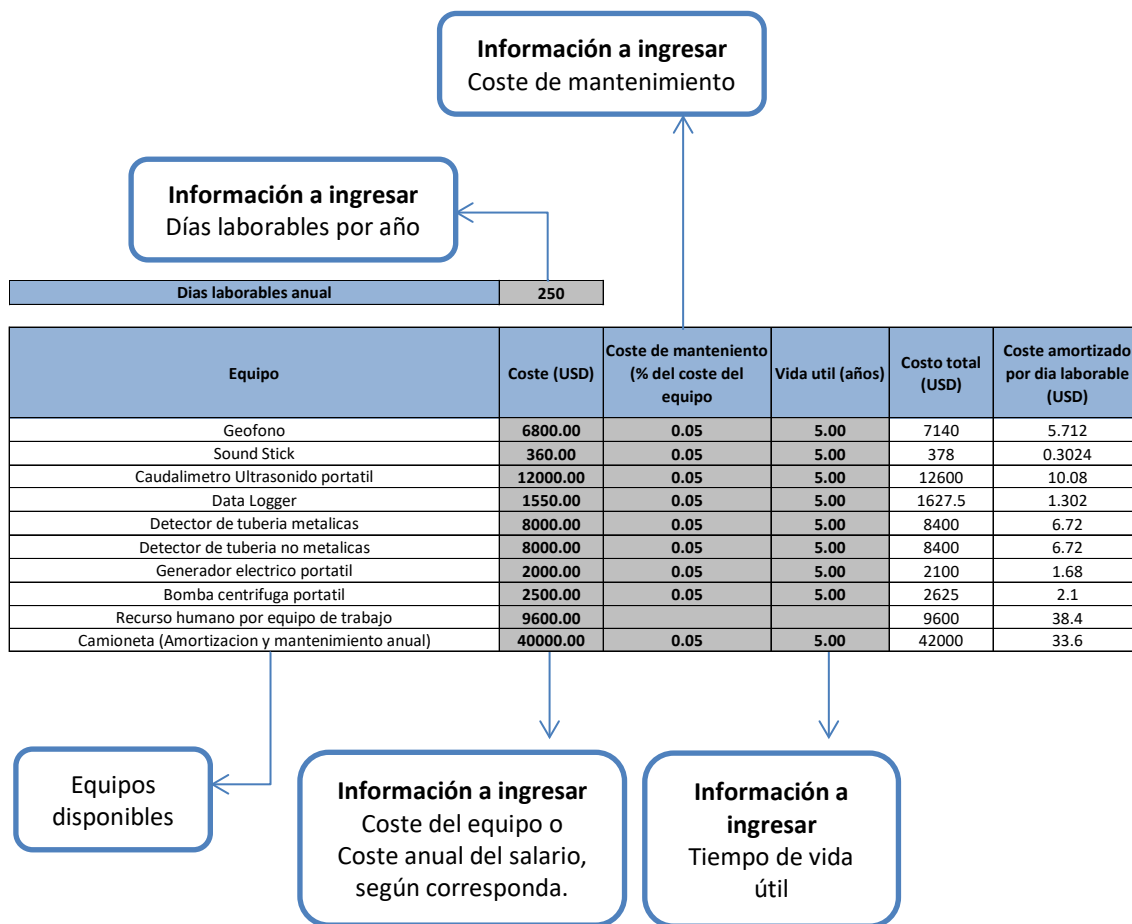


Gráfico 42. Explicación del Bloque 1 (Grupo 2) de la Pestaña 5

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

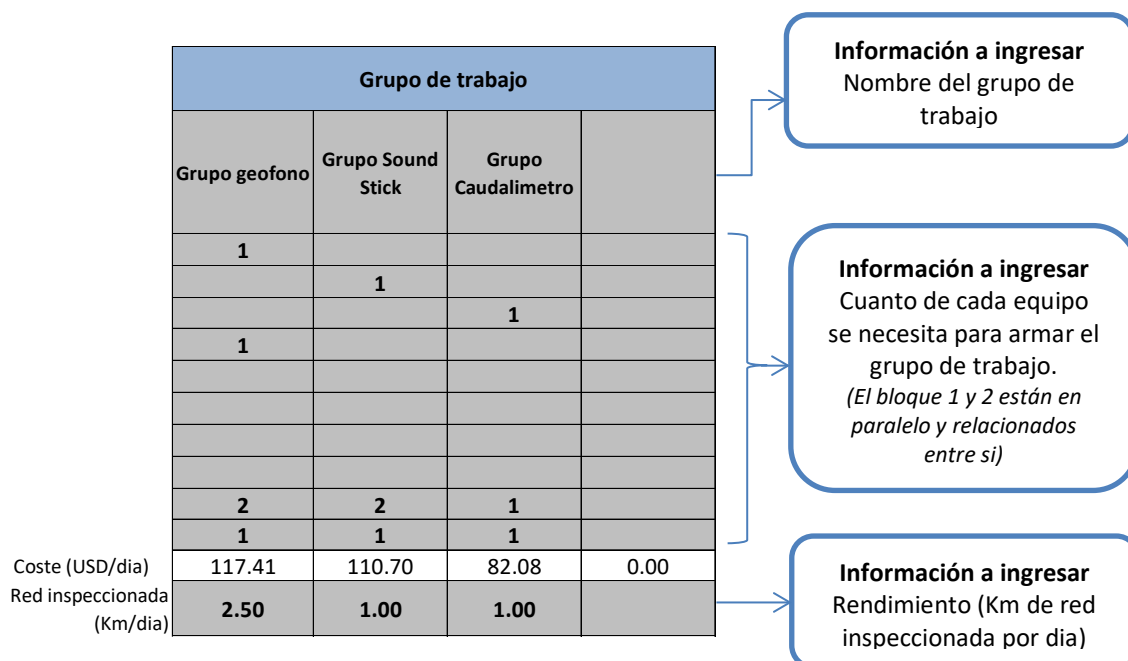


Gráfico 43. Explicación del Bloque 2 (Grupo 2) de la Pestaña 5

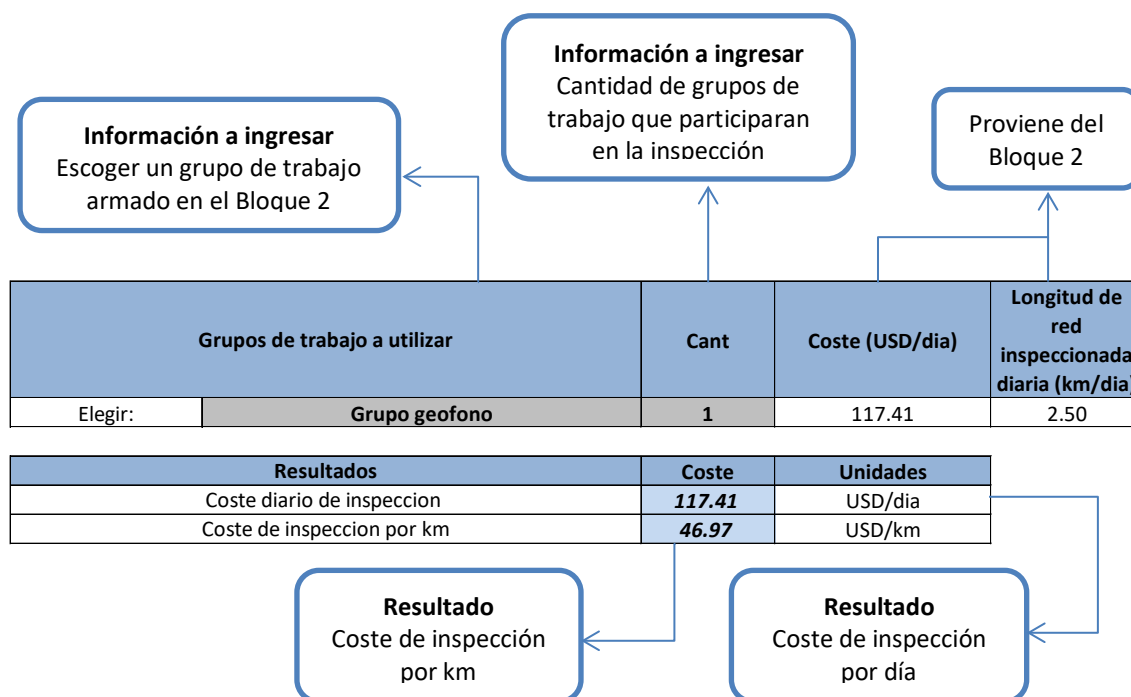


Gráfico 44. Explicación del Bloque 3 (Grupo 2) de la Pestaña 5

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

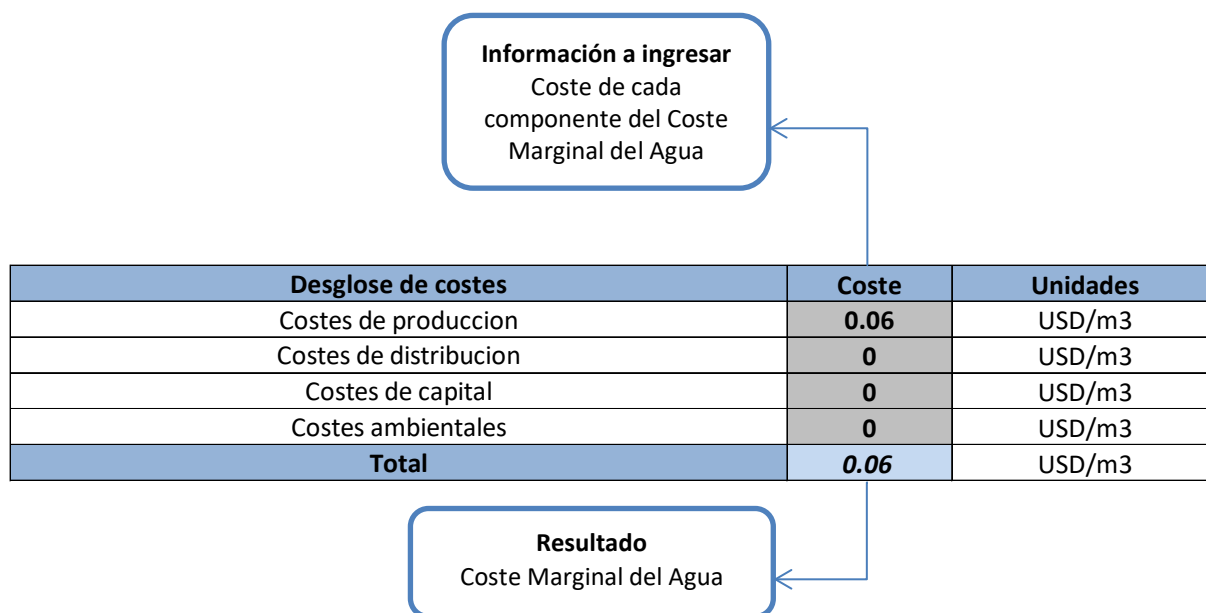


Gráfico 45. Explicación del Bloque 1 (Grupo 3) de la Pestaña 5

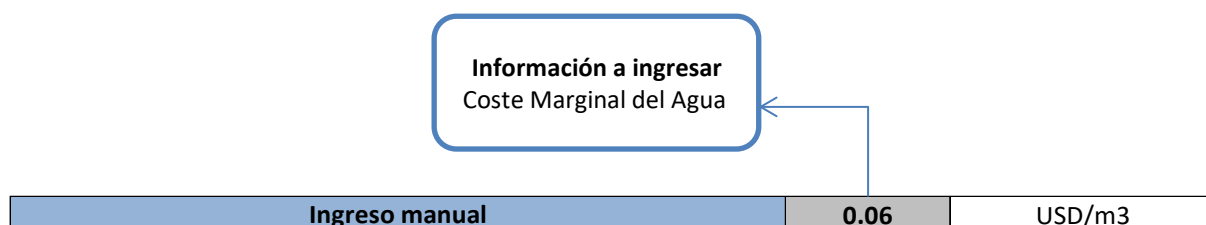


Gráfico 46. Explicación del Bloque 2 (Grupo 3) de la Pestaña 5

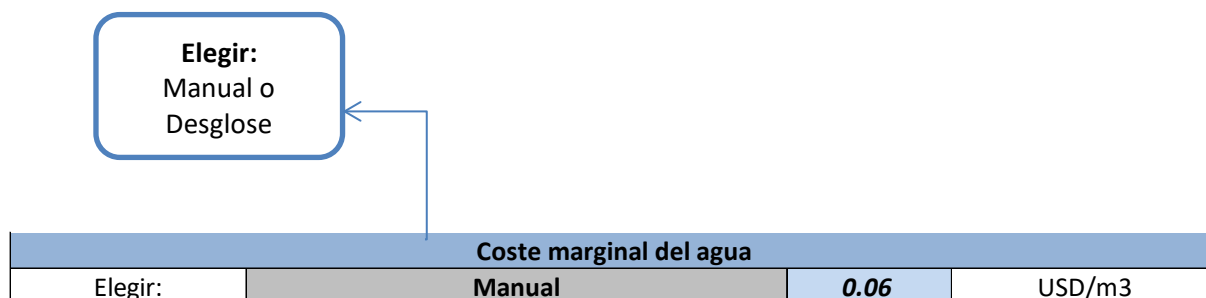


Gráfico 47. Explicación del Bloque 3 (Grupo 3) de la Pestaña 5

11.5. ANEXO 5

Se presenta una explicación grafica de la Pestaña 7 – Q nocturnos

En términos generales, la pestaña está conformada por 3 bloques los cuales son:

1. Calculo - Gráfico 48
2. Caudales - Gráfico 49
3. Presiones - Gráfico 50

En el bloque 1, se realiza el cálculo del volumen fugado a partir de datos de presiones y caudales, los cuales se ingresan en los bloques 2 y 3 respectivamente. Toda esta información se ingresa de forma diaria durante todo 1 año. El volumen fugado es utilizado en la pestaña 8.

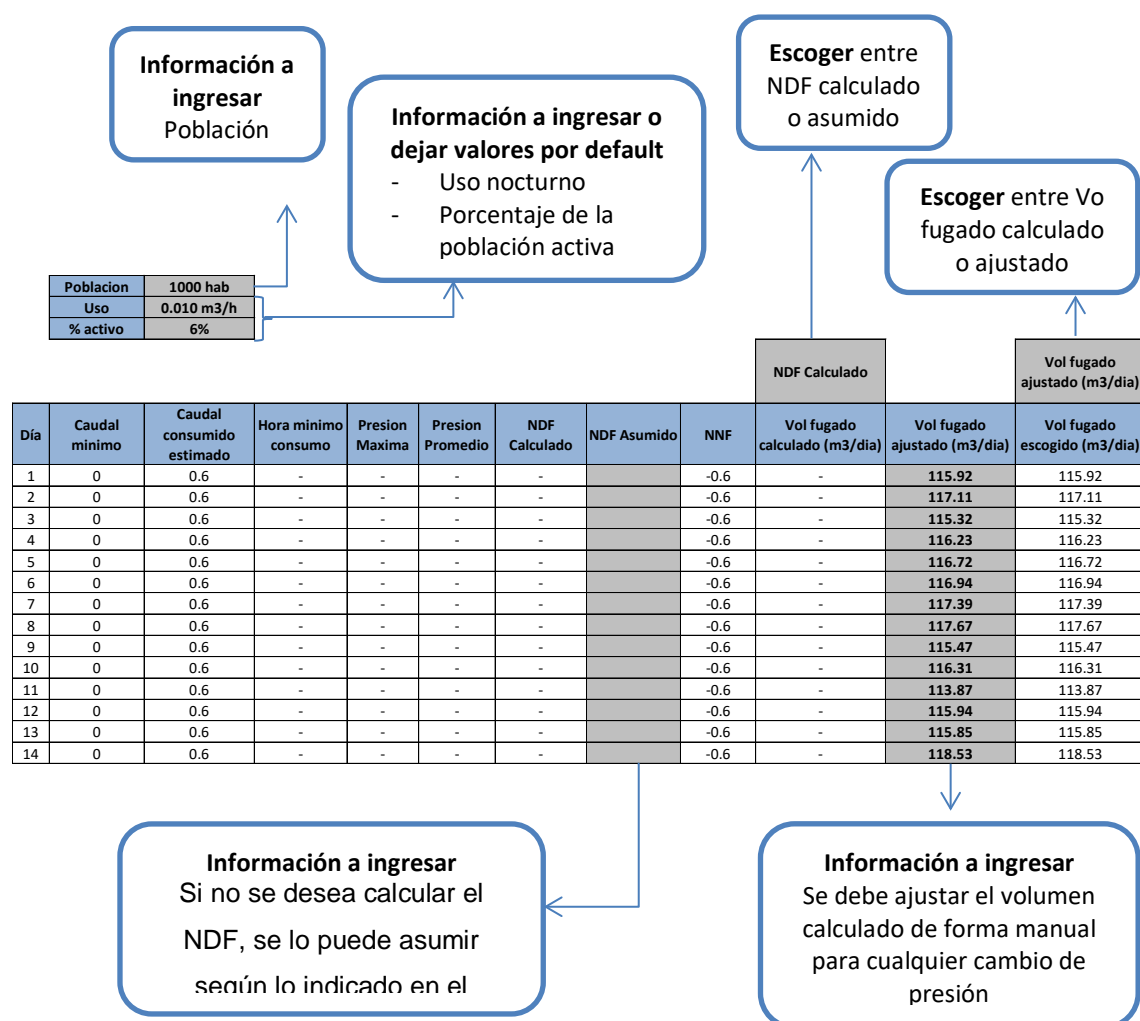


Gráfico 48. Explicación del Bloque 1 de la Pestaña 7

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

CAUDALES (m ³ /h)																							
0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00

Información a ingresar
Caudales medidos por hora
(m³/h)

Gráfico 49. Bloque 2 de la Pestaña 7

PRESIONES																							
0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00

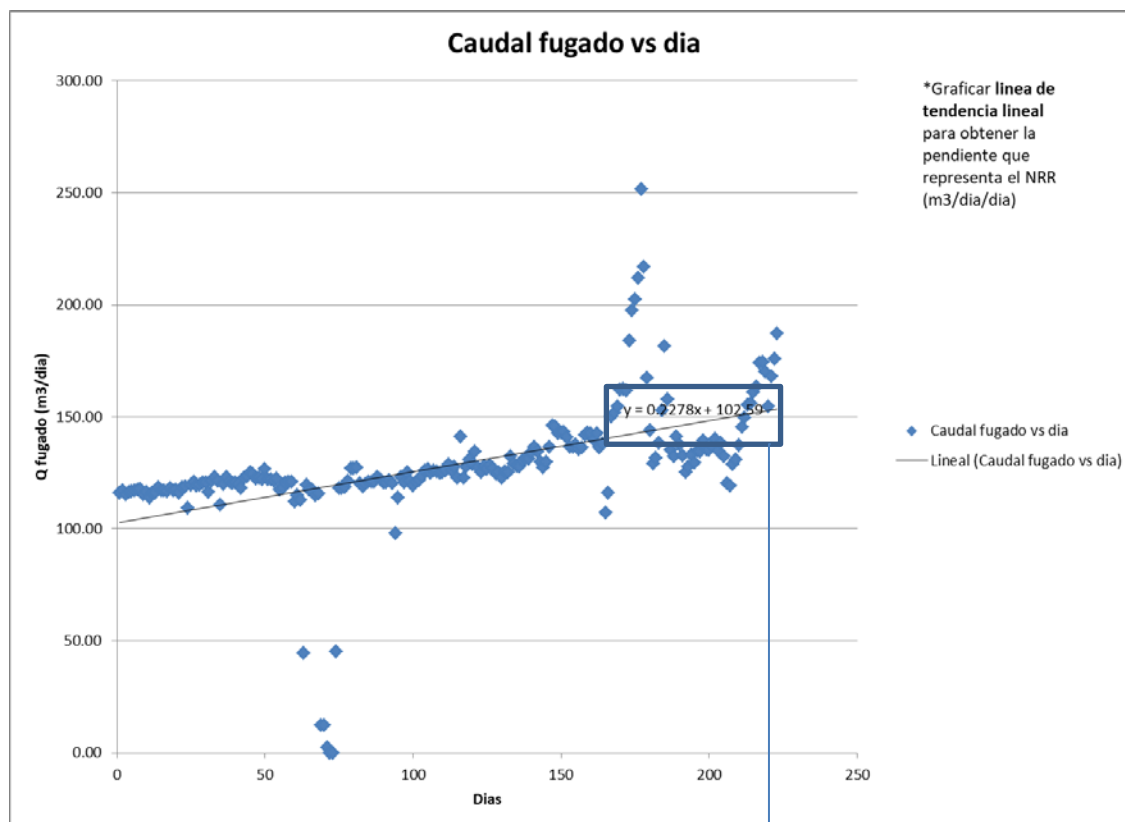
Información a ingresar
Presiones por hora (mca)

Gráfico 50. Bloque 3 de la Pestaña 7

11.6. ANEXO 6

Se presenta una explicación grafica de la Pestaña 8 – Grafico Q noct

Utilizando la información calculada en la Pestaña 5, se realiza un gráfico como se muestra a continuación:



Resultado
Pendiente de la línea de tendencia representa el NRR. Este es el valor que hay que ingresar en la pestaña 4, en el nivel avanzado.

Gráfico 51. Explicación de la pestaña 8

11.7. ANEXO 7

Se presenta una explicación grafica de la Pestaña 9 – Vol mensual.

La pestaña está conformada de 2 partes:

1. Tabla para calculo
2. Grafico

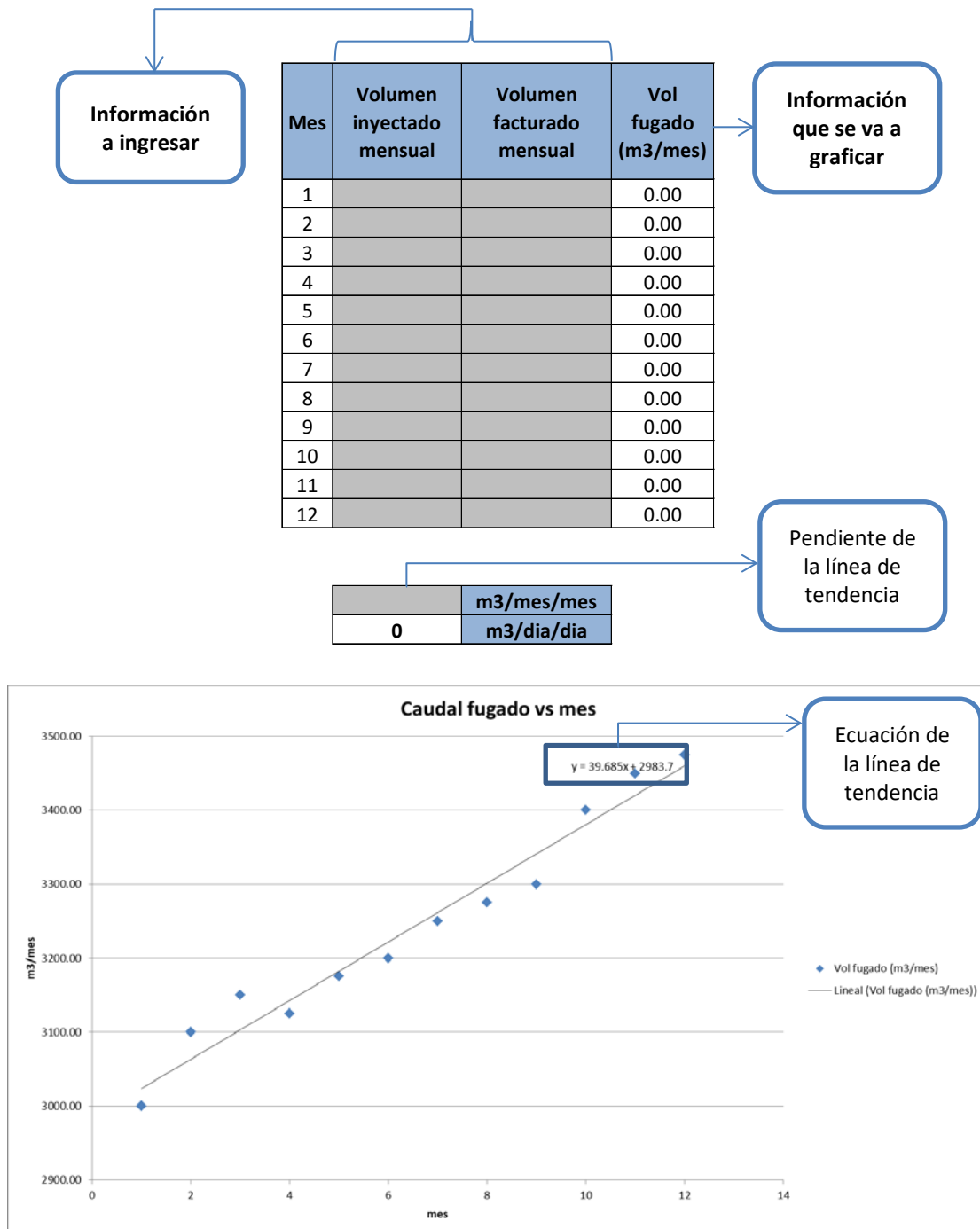


Gráfico 52. Explicación de la pestaña 9

11.8. ANEXO 8

Se presenta una explicación grafica de la Pestaña 10 – ELL (método 2)

En términos generales, la pestaña está conformada por 4 bloques:

1. Información - Gráfico 27
2. EARL – Economic Annual Real Losses - Gráfico 54
3. UARL - Unavoidable Annual Real Losses - Gráfico 55
4. ELL – Economic Level of Leakage - Gráfico 55

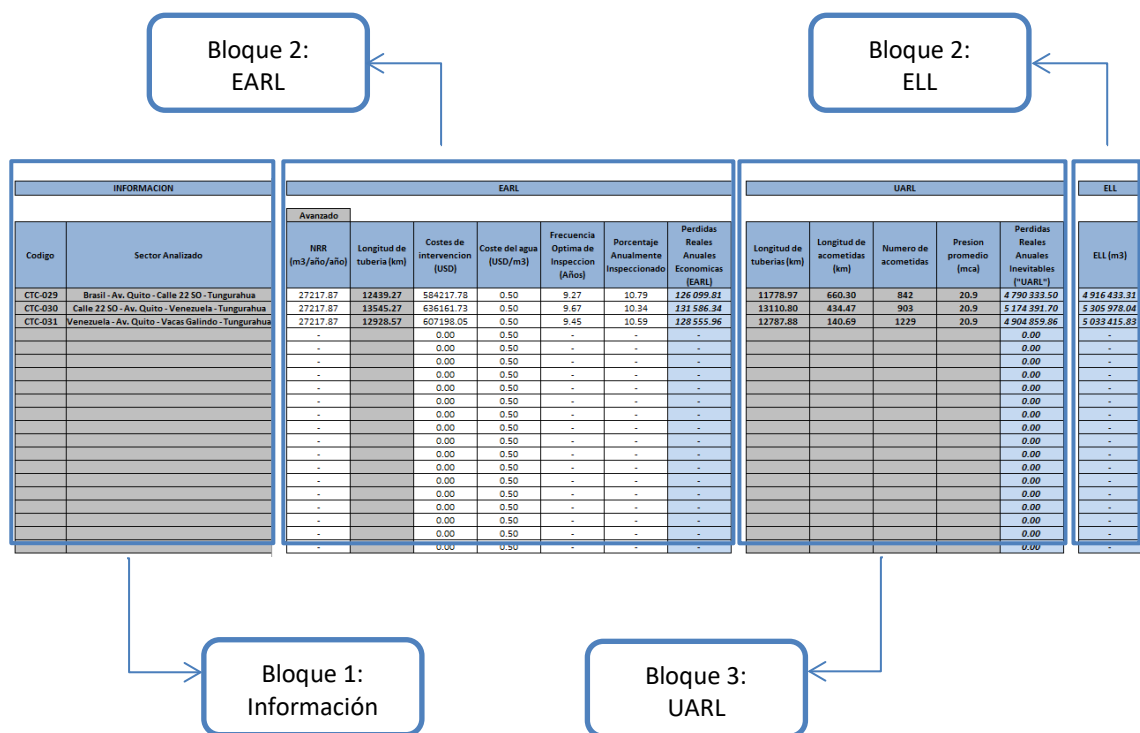


Gráfico 53. Explicación general de la Pestaña 10

Calculo del Nivel Económico de Fugas en redes de distribución de agua y análisis de sensibilidad a corto plazo. Aplicación a un sector de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)

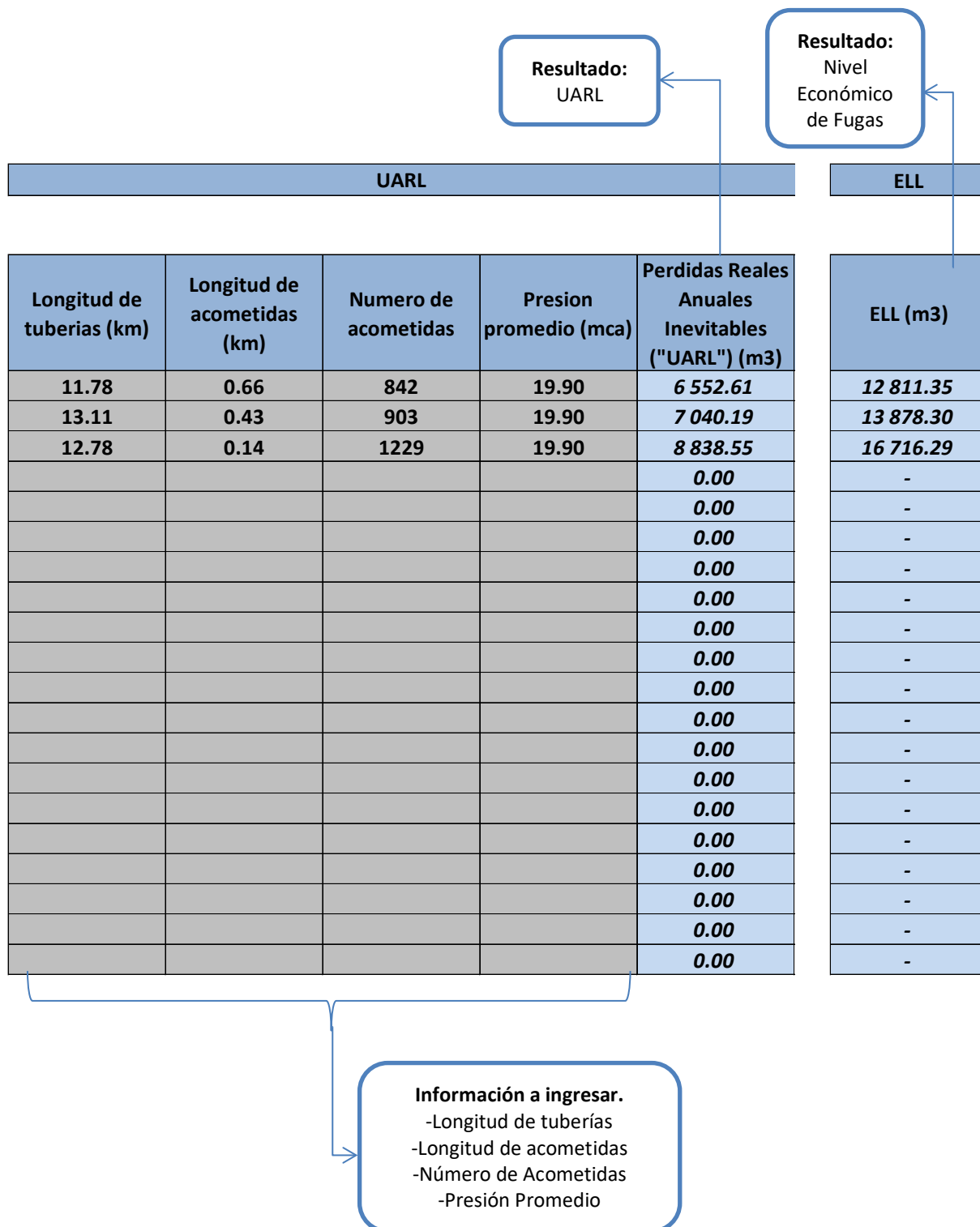


Gráfico 55. Explicación gráfica de los bloques 3 y 4 de la Pestaña 10