

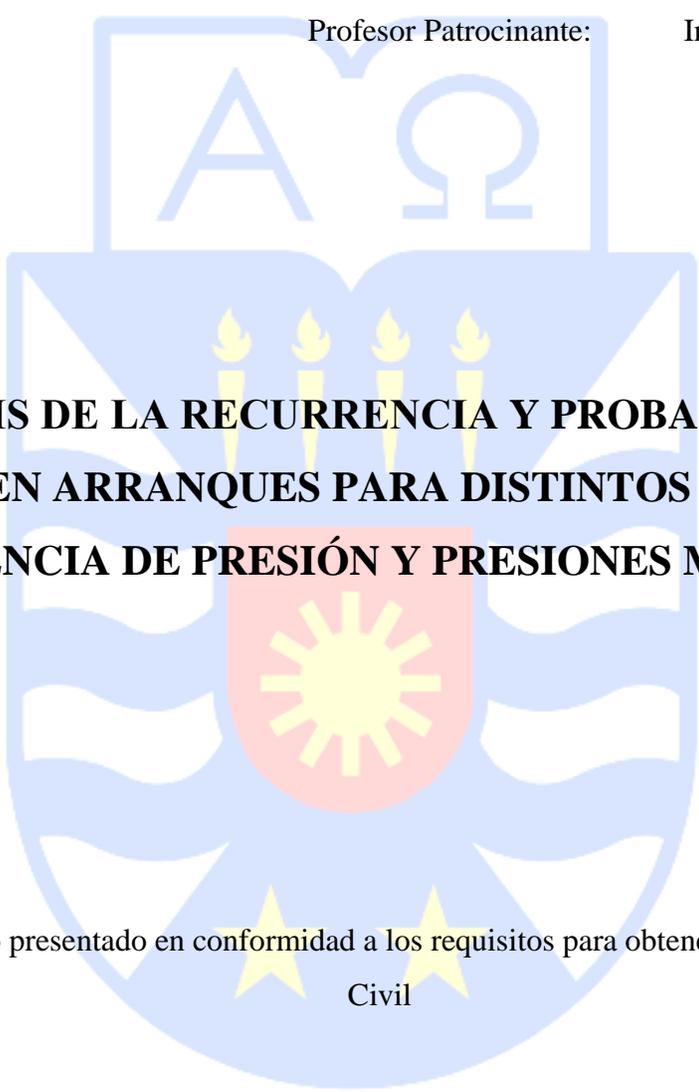
U N I V E R S I D A D D E L B Í O B Í O

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante:

Ing. Sergio Quijada Vera



**“ANÁLISIS DE LA RECURRENCIA Y PROBABILIDAD DE
FALLAS EN ARRANQUES PARA DISTINTOS RANGOS DE
DIFERENCIA DE PRESIÓN Y PRESIONES MAXIMAS”**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero
Civil

Carla Daniela Squella Valenzuela

Concepción, Agosto 2016

Dedicado a mi hijo Vicente

Agradecimientos

A mis padres por su apoyo y dedicación en estos años, a Victor por su incansable motivación y apoyo en los momentos más complicados, a mis Tio Raul y Olga por su ayuda desinteresada y a mis suegros Octavio y Edita. Y a todos mis amigos y familiares que de alguna manera estuvieron presentes en esta larga etapa..

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	3
CAPITULO 1. INTRODUCCION	4
1.1 Objetivos.....	5
1.1.1 Objetivo general	5
1.1.2 Objetivos específicos.....	5
CAPITULO 2. MARCO TEORICO.....	6
2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ARRANQUES DE AGUA POTABLE.....	6
2.2 Tipos de elementos usados en los arranques	7
2.2.1 Elementos de Unión (Fitting)	7
2.2.2 Collarín.....	7
2.2.3 Tubería.....	8
2.2.4 Llave de paso MAP y Vereda.....	8
2.3 INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE PRESIÓN EN LA FATIGA DE LOS MATERIALES	8
2.3.1 Problemas derivados de la insuficiencia o el exceso de presión	9
CAPITULO 3. METODOLOGIA	11
3.1 Recopilación de los registros disponibles.....	11
3.2 Depuración de Datos Obtenidos en Terreno.....	11
3.3 Georreferenciación de datos de fuga en ARCGis.....	12

3.4	Obtención de presión mínima y máxima	12
3.5	Obtención de la diferencia de presión.....	13
3.6	Creación de polígonos de Diferencia de Presión	13
3.7	Intersección de Fallas y Polígono de Diferencia de Presión.....	14
3.8	Determinación de intervalos de clase	14
3.9	Probabilidad de Falla	14
3.10	Indicadores estadísticos	15
3.10.1	Media.....	15
3.10.2	Varianza muestral.....	15
3.10.3	Desviación estándar.....	15
3.11	Límite superior e inferior.....	16
CAPITULO 4. ANALISIS DE RESULTADOS		17
4.1	Análisis de falla por tipo de elemento	17
4.2	Análisis de material por tipo de elemento del arranque.....	18
4.3	Probabilidad de falla por diferencia de presión	21
4.4	Probabilidad de falla presión máxima	26
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.....		31
CAPITULO 6. BIBLIOGRAFIA.....		32
ANEXO A: DESCRIPCION DE PÉRDIDA FISICAS EN LAS REDES SANITARIAS		33
ANEXO B: DETECCION DE FUGAS		41
ANEXO C: MODELACIÓN HIDRAULICA.....		53
ANEXO D: FIGURAS Y TABLAS.....		57

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 INFLUENCIA DE LA PRESIÓN (MCA) Y SU VARIACIÓN EN LA PROBABILIDAD DE FALLA EN UNA RED DE AGUA (FUENTE: VELA, 1993)	10
FIGURA 2 CANTIDAD TOTAL DE FALLAS POR TIPO DE ELEMENTO.....	17
FIGURA 3 PORCENTAJE DE FALLAS DE PIEZA CON RESPECTO AL TOTAL DE FALLAS	18
FIGURA 4 TOTAL DE ELEMENTOS DE UNIÓN CON FALLA CLASIFICADOS POR MATERIALIDAD.....	19
FIGURA 5 TOTAL DE FALLAS DE TUBERÍA CLASIFICADOS POR MATERIALIDAD.....	20
FIGURA 6 TOTAL FALLAS DE COLLARÍN CLASIFICADOS POR MATERIALIDAD	20
FIGURA 7 TOTAL FALLAS EN LLAVES DE PASO CLASIFICADOS POR MATERIALIDAD	21
FIGURA 8 FRECUENCIA DE FALLAS TOTALES Y ARRANQUES TOTALES POR RANGOS DE DIFERENCIA DE PRESIÓN	22
FIGURA 9 PROBABILIDAD DE FALLA DE LA LLAVE DA PASO (MAP).....	24
FIGURA 10 PROBABILIDAD DE FALLA DEL TRAMO DE TUBERÍA	25
FIGURA 11 PROBABILIDAD DE FALLA DEL CODO INFERIOR	26
FIGURA 12 PROBABILIDAD DE FALLAS TOTALES POR RANGOS DE PRESIÓN MÁXIMA.....	27
FIGURA 13 PROBABILIDAD DE FALLA DE LA LLAVE DA PASO (MAP).....	28
FIGURA 14 PROBABILIDAD DE FALLA DEL TRAMO DE TUBERÍA	29
FIGURA 15 PROBABILIDAD DE FALLA DEL CODO INFERIOR	30

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. PIEZAS USADAS EN LA CONFECCIÓN DE UN ARRANQUE AP TIPO	5
TABLA 2 PROBABILIDAD DE FALLA	23
TABLA 3 PROBABILIDAD DE FALLA	27

ANÁLISIS DE LA RECURRENCIA Y PROBABILIDAD DE FALLAS EN ARRANQUES PARA DISTINTOS RANGOS DE DIFERENCIA DE PRESIÓN Y PRESIONES MAXIMAS

Autor: Carla Daniela Squella Valenzuela

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío

Correo electrónico: csquella@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Sergio Quijada Vera

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío

Correo electrónico: squijada@ubiobio.cl

RESUMEN

De la Unidad de Pérdida Física de ESSBIO nace la necesidad de estudiar las fallas detectadas en los arranques de agua potable y relacionarlas con las diferencias de presión y las presiones máximas, de manera que la empresa pueda hacer gestión de presión en la red de agua potable y evitar fallas en los arranques.

En este proyecto se realizó un análisis estadístico descriptivo y de probabilidades, de las fallas encontradas en los arranques de los clientes de ESSBIO y NUEVOSUR, entre noviembre del 2011 y noviembre del 2013.

El análisis se realizó utilizando las presiones máximas nocturnas y mínimas diurnas de modelos hidráulicos calibrados el año 2012, simulando las presiones a la cual están sometidos los arranques encontrados con falla.

De los resultados obtenidos se pudo concluir que los materiales que más fallaban de los distintos tipos de elementos correspondían a los materiales más utilizados por la compañía, por lo que no se pudo relacionar su frecuencia de fallas con la materialidad. Por otra parte, el elemento con más recurrencia de fallas fue la llave de paso del MAP, lo cual se debería a que es la pieza más manipulada por parte del usuario y personal de la compañía sanitaria. Por último, se concluyó que la probabilidad de fallar de las piezas del arranque no está relacionado con la diferencia de

presión ni con las presiones máximas, es decir, que no existe una relación exponencial entre las fallas y la diferencia de presión ni presión máxima.

Palabras claves: Falla, arranque, diferencia de Presión, Presión máxima,

Numero de palabras: 5365 Palabras texto + 18 Figuras/Tablas*250 =9865

ANALYSIS OF THE RECURRENCE AND PROBABILITY OF FAILURES IN NETWORKS FOR DIFFERENT RANGES PRESSURE DIFFERENCE AND PRESSURES MAXIMUM

Author: Carla Daniela Squella Valenzuela

Department civil and Environmental Engineering, University of Bío Bío

Correo electrónico: csquella@alumnos.ubiobio.cl

Sponsoring teacher: Sergio Quijada Vera

Department civil and Environmental Engineering, University of Bío Bío

Correo electrónico: squijada@ubiobio.cl

ABSTRACT

The unit of physical loss to ESSBIO need arises to study their detected faults into residential drinking water network and relate them with the different pressures and maximum pressures, in this way the company should make management at pressure of the drinking water so avoid failures into network.

In this project realized and descriptive analysis with probabilities statistical of the fault found into the residential customer network to ESSBIO y NUEVOSUR, between november 2011 - november 2013.

This analysis was used the maximum night pressure and minimum day pressure for hydraulic models calibrate at 2012, simulating the pressures which are subject to network found faulty.

The results obtained it was concluded the materials which they failed more into different types of elements correspond to material most used for company so it could not be related frequency with fault to material. On the other hand the element with more failure recurrence was water stopcock with MAP, because is really manipulated for the customer and also the technical of the company.

With this sample it is concluded that the probability of failure of part of the network is not related to the pressure difference or the maximum pressures, that is, that the higher pressure difference and maximum pressure there is no more likelihood to fail of the parts of network. This project

could not conclude the arguments presented by Vela (1993) "That higher pressure differences and higher maximum pressures greater is the probability of failure of the network"

Keywords: Failure, Network, Pressure difference, Pressures Maximum

CAPITULO 1. INTRODUCCION

A raíz del terremoto del 27 Febrero que afectó a la zona centro-sur del país el año 2010, la infraestructura de ESSBIO y NUEVOSUR presento daños que generaron un gran porcentaje de pérdidas en la red de distribución. A partir de esto se preparó un proyecto que tiene como finalidad disminuir las pérdidas de agua potable.

El proyecto de reducción de pérdidas (PRP), busca disminuir las pérdidas de agua potable en las redes de distribución de las empresas ESSBIO y NUEVOSUR desde un 41,5% el año 2010 a un 20% en el año 2020.

Dentro de las principales actividades del PRP se encuentran:

- Detección de fugas (Ver Anexo B)
- Reparación de arranques
- Inspección técnica
- Modelación hidráulica (Ver Anexo C)
- Control de las variables que provoquen nuevas roturas en matrices de agua potable, en adelante (AP) y fallas en arranques.

Lo que se pretende lograr con las reducciones de las pérdidas son: reducir los costos de producción de AP, mejorar la continuidad de servicio al efectuarse una reparación preventiva, brindar una mayor calidad del servicio al aumentar la presión disponible y postergar las ampliaciones de infraestructura producto de la demanda adicional que generan las pérdidas.

Es por esto que desde la Unidad de pérdida Física de ESSBIO y NUEVOSUR surge la necesidad de encontrar una relación entre las fallas de las piezas que componen un arranque de AP con la diferencia de presión y las presiones máximas

El presente proyecto de título tiene por objetivo establecer si existe alguna relación entre la falla y la diferencia de presión del arranque a través del análisis de las fallas recopiladas en un periodo de 2 años. La diferencia de presión se obtuvo utilizando modelos hidráulicos, los que fueron calibrados por las empresas el año 2012 y que reflejan el estado de presiones al que estaba

sometido el arranque de AP; de ellos se obtuvo la presión máxima nocturna y la presión mínima diurna.

Para el cruce de información se utilizó el programa análisis espacial de datos llamado ARCGis, en donde se pudo relacionar el arranque con falla previamente georreferenciado y la diferencia de presión asociado a este.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Analizar la recurrencia y probabilidad de fallas en arranques para distintos rangos de diferencia de presión, con el fin de encontrar un patrón general de falla y su relación con la presión.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar los materiales con mayor cantidad de fallas por pieza del arranque
- Identificar la pieza del arranque con mayor cantidad de fallas.
- Determinar el rango de diferencia de presión con mayor recurrencia de fallas.
- Determinar el rango de presión máxima con mayor recurrencia de fallas.
- Determinar la diferencia de presión con mayor probabilidad de falla de las piezas analizadas.
- Determinar la presión máxima con mayor probabilidad de falla de las piezas analizadas.

CAPITULO 2. MARCO TEORICO

2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ARRANQUES DE AGUA POTABLE.

La red de distribución de AP se divide en matrices y arranques, como la diferencia entre una y la otra es el caudal transportado las matrices son diseñadas con diámetros de tuberías mayores que los arranques. Es así que, los arranques de AP se definen como un tramo de red pública de distribución, comprendido desde su punto de conexión en la matriz de distribución hasta la llave de paso colocada después del medidor (NCh 2485, 2000).

Dentro de los arranques existen varios modelos los que se diferencian según el material con que se fabrican y según el diámetro de las tuberías del arranque. Este diámetro dependerá del gasto de agua que necesite la instalación, de la cantidad y tipos de artefactos instalados, lo que llevará a su vez a elegir un medidor adecuado.

En la Tabla 1 se presentan las distintas piezas con los que se confecciona un arranque tipo de AP (Ver Anexo D):

Tabla 1. Piezas usadas en la confección de un arranque AP tipo

Nº	Pieza	Tipo de elemento
1	Collarín	Collarín
2	Tramo Tubería	Tubería
3	Unión Americana	Elemento de Unión
4	Codo Inferior	Elemento de Unión
5	Llave de paso Vereda	Llave de paso
6	Codo Superior	Elemento de Unión
7	Tuerca Vaina	Elemento de Unión
8	Llave de Paso Medidor de agua Potable (MAP)	Llave de paso

2.2 Tipos de elementos usados en los arranques

2.2.1 Elementos de Unión (Fitting)

Son elementos de adaptación o ajustes que se utilizan en sistemas de canalización de líquidos y gases, inclusive algunos sólidos; estos elementos permiten la interconexión de distintos segmentos de los ductos y se presentan de varias formas, las más conocidas son los codos, los tees y las uniones americanas (ver anexo D). La materialidad de estos elementos empleados son: Acero Galvanizado, Policloruro de vinilo (PVC), Cobre (CU), Polietileno de alta densidad (PEAD) y Polipropileno (PP).

- a) Codos superior e inferior: Son accesorios que conectan dos tuberías con el fin de generar un cambio en la dirección del flujo, normalmente de 45°, 60° y 90°. Estos elementos pueden ser fabricados en materiales como fierro fundido (FFD), Acero, CU, plásticos como PVC y PEAD, etc. Los extremos a conectar los tubos deben ser maquinados por soldadura a tope, fusión, enroscados o encastrados (Ver anexo D).
- b) Uniones Americanas: estos elementos sirven para conectar las tuberías sin generar un cambio de dirección. El material de estos accesorios son variados como de todos los elementos fitting, dentro de los más utilizados están los de CU, PP y PVC (Ver anexo D).
- c) Tuerca Vaina: es una pieza con orificio central al cual presenta un hilo interno y en algunos casos hilo externo, dependiendo de la pieza a la que se va a acoplar; se utiliza para unir el medidor AP con un codo superior o bien a un tramo de tubería. Dentro de los materiales más utilizados están CU, PP, PVC, etc. (Ver anexo D).

2.2.2 Collarín

Los collarines son elementos de unión que se encuentran conectados a la matriz del circuito AP para abastecer a la red domiciliaria; también se conoce como “Abrazadera de inserción” y están compuestos por dos piezas principales en donde una de éstas es el elemento que da cabida a la perforación de la matriz y, la otra, es el elemento de agarre o sujeción. El elemento de sujeción puede ser una pieza rígida, la que posee un diámetro único, o bien una banda ajustable, la que puede adherirse a tuberías de distintos diámetros.

Existe una extensa variedad de estos elementos en el cual su diseño depende netamente del material con el cual estará construida la tubería donde se adosará, estos pueden ser metálicos o plásticos (ver Anexo D).

2.2.3 Tubería

Son elementos que desempeñan la función de conducir el AP a la red domiciliaria.

Los tramos de tubería destinados a los arranques de agua pueden ser de distintos materiales, donde los más empleados son: CU, PP y PVC (Ver Anexo D).

2.2.4 Llave de paso MAP y Vereda

Dispositivo generalmente de metal, aleación o de polímeros, usado para dar paso o cortar el flujo de agua por una tubería o conducción en la que está inserto. Los materiales encontrados en los arranques de AP son PP, Bronce, entre otros.

Dentro de las llaves de paso en el arranque podemos encontrar las ubicadas en el Medidor de Agua Potable (MAP) y la vereda (Ver Anexo D), la diferencia entre ambas es que la llave de paso de vereda está ubicada al inicio del arranque y no se encuentra visible y la llave de paso MAP se encuentra en el medidor de AP, en donde tanto el cliente como personal de la empresa sanitaria puede manipularla.

2.3 INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE PRESIÓN EN LA FATIGA DE LOS MATERIALES

El deterioro progresivo y gradual de un material que está sometido a un gran número de esfuerzos cíclicos de cierta magnitud, se conoce como fatiga del material. En condiciones de fatiga las piezas o tuberías llegan a romperse con una presión mucho menor, comparada con la presión que pueden soportar normalmente. Las tuberías que operan con frecuentes paradas y partidas están sujetas a fallas por fatiga, debido a la variación de la presión en los transitorios, pero ese peligro casi no se considera en las normas de diseño actuales. La manera de proteger una tubería contra la fatiga del material es diseñarla con un espesor lo suficientemente grande, que asegure que los esfuerzos que se produzcan en la vida de la tubería no sobrepasen ciertos límites.

2.3.1 Problemas derivados de la insuficiencia o el exceso de presión

Una parte de los problemas que se presentan con frecuencia en las redes de distribución de AP son consecuencia, directa o indirecta, del estado de presiones existente y de su variación temporal.

Entre los problemas generados por las situaciones de baja presión destacan:

- Impedir o dificultar a los clientes satisfacer adecuadamente su demanda.
- La ocurrencia de cavitación.
- Intrusiones de aire y líquidos contaminantes del entorno en la red.
- Roturas por aplastamiento.

Por otra parte, en toda red de distribución de AP conviene limitar las presiones máximas, pero más que la existencia de presiones muy altas, lo que resulta verdaderamente peligroso es permitir variaciones bruscas de la presión. Para analizar este problema, deben conocerse los límites de trabajo en cuanto a presiones y variaciones de la misma, de todos los elementos que constituyen el sistema hidráulico, tales como, tuberías, piezas de unión, válvulas, llaves de paso, etc. Uno de los objetivos que se pretenden en la explotación de una red de distribución es sin duda, impedir que los estados de funcionamiento de los elementos se encuentren fuera del rango comprendido entre los límites recomendados, tanto en operación normal como transitorios hidráulicos.

Entre los principales problemas que se presentan o que pueden aparecer como consecuencia de presiones elevadas destacan:

- Incremento del caudal de la fuga a través de las fallas existentes.
- Aumento de la probabilidad de generar nuevas fallas o aumento de la magnitud de las ya existentes.
- Incrementos en la probabilidad de producción de roturas en los elementos de conducción, accesorios y en general de deterioro en todos los demás.
- Aparición de ruidos y vibraciones, o aumento en la magnitud de estos.
- Aumento del riesgo de sobrepresiones ocasionadas por bolsas de aire acumuladas en el interior de las conducciones.

Es interesante modelar el comportamiento de la red de distribución teniendo en cuenta la dependencia entre presión y caudal demandado en cada nudo. Además, es notorio y ha sido comprobado experimentalmente que el volumen perdido en fugas tiende a aumentar en el tiempo con la presión media, lo que exige un control estricto de las presiones existentes. La probabilidad de falla aumenta con la brusquedad de los cambios de presión y con la magnitud de esta, como se muestra en la Figura 1 extraída de Vela (1993).

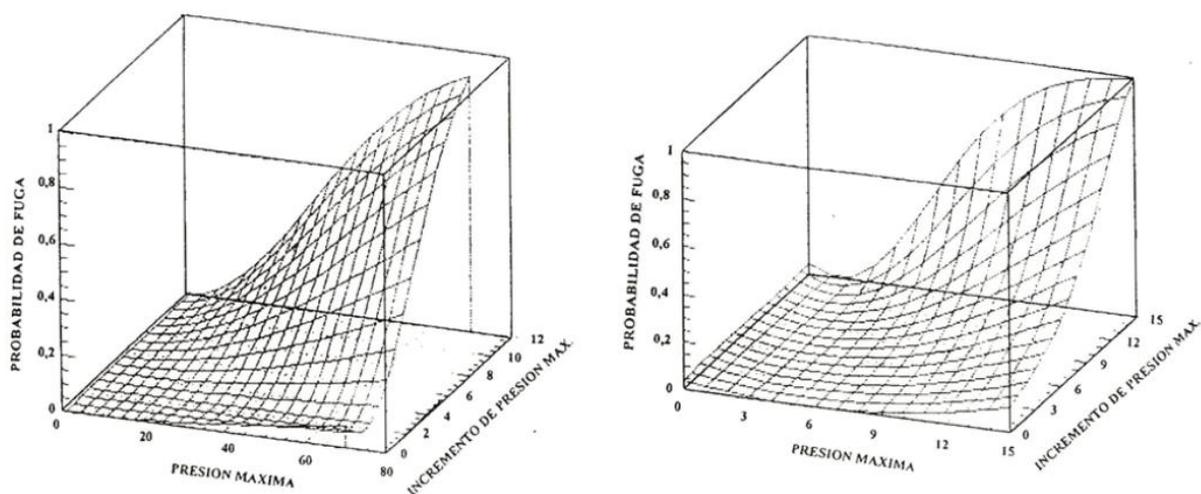


Figura 1 Influencia de la presión (mca) y su variación en la probabilidad de falla en una red de agua (Fuente: Vela, 1993)

CAPITULO 3. METODOLOGIA

A continuación se presenta la metodología empleada para el cumplimiento de los objetivos del estudio.

3.1 Recopilación de los registros disponibles

Esta actividad contempló la recopilación de los registros de datos de detección de fugas en el periodo comprendido entre Noviembre del 2011 y Noviembre del 2013. Cabe mencionar que estos registros fueron obtenidos a medida que se iban reparando las fugas detectadas, en donde se consiguió la clasificación y ubicación de cada una, esta última a través de un registro previo que posee la empresa llamada “ID de cliente” el cual se encuentra georreferenciado. La tabla de localidades con la cantidad de fallas trabajadas se puede ver en el Anexo D.

3.2 Depuración de Datos Obtenidos en Terreno

A través de la herramienta “Tabla dinámica” de Microsoft Excel se consolidó y depuró los datos obtenidos en el punto anterior. Esta depuración implicó la eliminación de los siguientes datos:

- Arranques que fueron declarados con fallas por la empresa de detección de fuga y que luego al momento inspeccionarlas estas no la presentaban.
- Arranques cuyo ID de cliente no coincide con el registro que poseen las empresas, esto con el fin de poder generar más adelante el cruce de información con este dato.
- Fallas localizadas en localidades cuyo modelo hidráulico no existe.
- Fallas en donde no se indica la materialidad de la pieza del arranque.

El detalle del archivo Excel se presenta en el Anexo D.

Los principales campos fueron:

- **Fecha O-Tek:** Fecha en que se declaró el arranque con fuga por parte de la empresa encargada de detectar las fugas en las localidades inspeccionadas.
- **ID (o ID Cliente):** Número asociado a un cliente geo referenciado

- **Fecha Inspección:** fecha en que se realizó la reparación de la fuga declarada por la empresa de detección, esta es la misma fecha con la cual se ingresa la fuga y sus características.
- **Existe Fuga:** celda donde se declara la existencia de la fuga.
- **Pieza con fuga:** indica qué pieza del arranque fue la que presentaba falla.
- **Material:** corresponde al material de la pieza que falló.

Como resultado de esta depuración se obtuvo el archivo Excel con el cual se trabajará para posteriormente georreferenciarlo en la base de datos de ID de la empresa.

3.3 Georreferenciación de datos de fuga en ARCGis

Teniendo el ID de Cliente previamente georreferenciado por ESSBIO S.A. se procedió al cruce de datos de fugas válidamente declaradas que resultó de la tabla obtenida en el punto 3.2 de la presente metodología, mediante la herramienta “Spatial Join” del software de administración geográfica de datos ArcGis, (Ver Anexo D).

3.4 Obtención de presión mínima y máxima

ESSBIO S.A. cuenta con modelos hidráulicos de las redes de AP de todas las localidades estudiadas, los que fueron calibrados con datos obtenidos mediante campañas de medición en terreno de caudal y presión, entre enero y febrero del año 2012 en periodos de 24 a 48 horas. Las mediciones realizadas para la calibración de los modelos hidráulicos fueron realizadas en periodos estivales debido a que se asume un mayor consumo de AP y por consecuencia bajas presiones.

Se realizó el análisis con el software de modelación hidráulica “WaterCAD” para cada una de las localidades con modelo Hidráulico calibrado y con registro de falla del periodo antes descrito. Para obtener las presiones máximas y mínimas se seleccionó un nodo del modelo hidráulico al azar, del cual se graficaron las presiones correspondientes a 48 horas, una vez graficadas las presiones se posiciono la línea de tiempo en el horario con mayor presión registrada, se tuvo especial cuidado con sectores cuya fuente de presión modificaba el comportamiento natural de estas, es decir, presiones máximas nocturnas y mínimas diurnas. Al posicionar la línea de tiempo en un determinado horario el software entregó una tabla con el detalle de las presiones de cada

uno de los nodos (georreferenciados) en el mismo horario la que fue exportada en formato shapefile¹, este mismo procedimiento se realizó para obtener las presiones mínimas (Ver Anexo D).

3.5 Obtención de la diferencia de presión

A partir del archivo generado con presiones mínima y máxima (punto 3.4) se obtuvo la diferencia de presión en cada nodo, el cual se calculó mediante la ecuación 1:

$$\Delta P_{resion} = P_{maxima} - P_{minima} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde; ΔP_{resion} : Diferencial de presión

$P_{máxima}$: Presión máxima

$P_{mínima}$: Presión Mínima

Para generar esta diferencia de presión se utilizó la herramienta “Field Calculator” de ArcGis, el archivo generado contuvo un campo con la diferencia de presión y las presiones máximas (Ver Anexo D).

3.6 Creación de polígonos de Diferencia de Presión

Para generar el cruce entre la diferencia de presión y la falla, se crearon polígonos, utilizando herramientas de análisis espacial de ArcGis y la diferencia de presión, se crearon “grillas” que contenían este atributo mediante la herramienta “Point to Raster”, lo que es conocido como “Raster” (Ver Anexo D).

Un vez obtenido la imagen Raster, se generó a través de éste el polígono cuyo campo contendrá la diferencia de presión, para esto se utilizó la herramientas de análisis espacial “Raster to Polygon” (Ver Anexo D).

¹ Formato de almacenamiento de datos vectoriales de **Esri** para almacenar la ubicación, la forma y los atributos de las entidades geográficas

3.7 Intersección de Fallas y Polígono de Diferencia de Presión

A través de la herramienta “Intersect” del software ARCGis se cruzó la información del polígono de diferencia de presión y la falla georreferenciada anteriormente (Ver Anexo D).

3.8 Determinación de intervalos de clase

Se determinó el número de intervalos de clase posibles de emplear mediante la ecuación 2:

$$k = 1 + (3,3 * \log(N)) \quad \text{Ec. (2)}$$

Dónde: k : Número de Intervalos de clase

N : Número de Datos

Los valores calculados fueron 5 para las diferencias de presión y 13 para las presiones máximas pero se utilizó un intervalo de clase menor con el fin de evitar rangos de diferencia de presión sin datos asociados.

3.9 Probabilidad de Falla

La probabilidad de falla se obtuvo para las 3 piezas que presentaban mayor recurrencia de falla mediante la siguiente ecuación 3:

$$P_i = \frac{N^\circ \text{ Fallas de la pieza}_i}{N^\circ \text{ Fallas totales}_i} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde P : Probabilidad de falla

i : Rango de diferencia de presión o rango de presión máxima

N° Fallas de la pieza: Cantidad de fallas por pieza

N° Fallas totales: Frecuencia de fallas totales

3.10 Indicadores estadísticos

Teniendo ya las probabilidades de falla para cada intervalo de diferencia de presión y presión máxima se procedió a caracterizar cada una de las probabilidades de falla de las piezas con mayor recurrencia de fallas. En este proceso se determinaron los indicadores estadísticos básicos de las probabilidades de falla calculadas.

3.10.1 Media

La medida más común de localización o centro de grupos de datos es el promedio ordinario o media. Ya que casi siempre se considera a los datos como una muestra, la media aritmética se conoce como media muestral (Ecuación 4).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{k} \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde: \bar{x} : media

3.10.2 Varianza muestral

Junto con la desviación estándar es la medida más importante de variabilidad. La medición de varianza muestral es la media aritmética del cuadrado de las desviaciones con respecto a la media de una distribución estadística. De esta manera, si $P_1, P_2, P_3, \dots, P_{P_x}$ es una muestra de n observaciones, la varianza muestral es:

$$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad \text{Ec. (5)}$$

Dónde: S_x^2 : Varianza muestral

3.10.3 Desviación estándar

La desviación estándar corresponde a la raíz cuadrada de la varianza y mide el grado de dispersión de los datos con respecto a la media.

Una desviación estándar grande indica que los puntos están lejos de la media y una desviación pequeña indica que los datos están agrupados cerca de la media.

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{x})^2} \quad \text{Ec. (6)}$$

Dónde: S_x : Desviación estandar

3.11 Límite superior e inferior

Se determinó el límite superior e inferior de las probabilidades de fallas tanto de las diferencias de presión como las presiones máximas utilizando las siguientes ecuaciones:

$$LS = \bar{x} + S_x \quad \text{Ec. (7)}$$

$$LI = \bar{x} - S_x \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde; LS : *Limite superior*

LI : *Limite Inferior*

CAPITULO 4. ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis de falla por tipo de elemento

Se puede ver en la Figura 2 que tanto las llaves de paso como los elementos de unión son los tipos de elementos en donde se concentra la mayor recurrencia de fallas, pero al analizar cada una de las piezas del arranque (Figura 3.) se aprecia que la pieza que más falla dentro de los elementos de unión es el codo inferior. En tanto, del total de elementos analizados la llave de paso del medidor de AP (MAP) corresponde al 40% de las fallas.

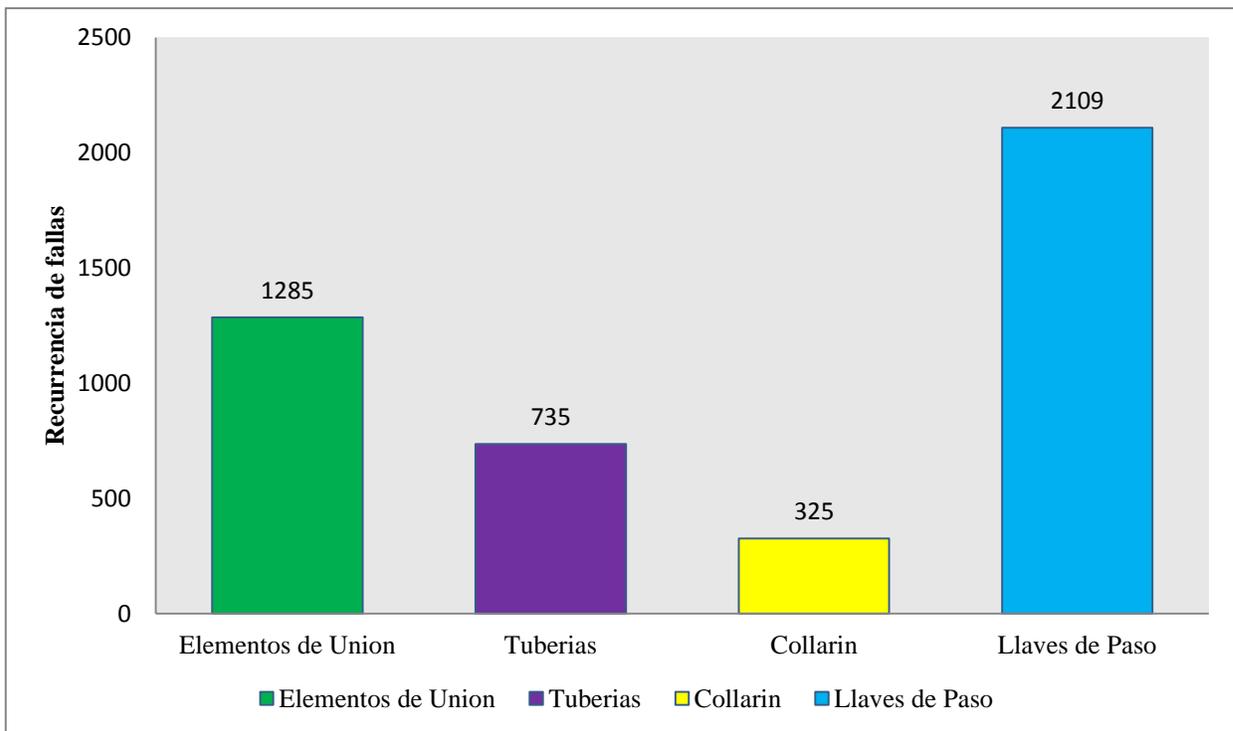


Figura 2 Cantidad total de fallas por tipo de elemento

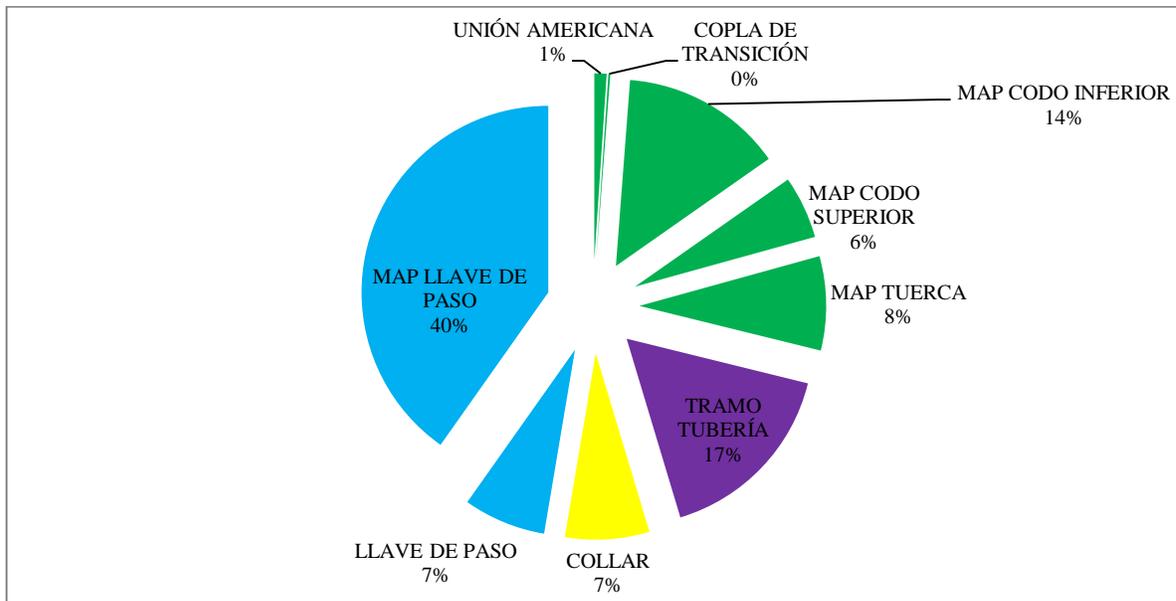


Figura 3 Porcentaje de fallas de pieza con respecto al total de fallas

Para hacer el análisis de probabilidad de falla se utilizaron las 3 piezas con mayor porcentaje de fallas respecto del total, esto debido a que la cantidad de datos de estas 3 piezas representan alrededor del 70% de fallas de la muestra. De la Figura 3 se desprende que las tres piezas que más fallan en orden decreciente son los siguientes:

- Llave de paso MAP
- Tramo de tubería
- Codo inferior

4.2 Análisis de material por tipo de elemento del arranque

El análisis de materialidad se realizó por tipo de elemento; Elementos de unión, Tramos de tubería, Collarín y Llaves de paso.

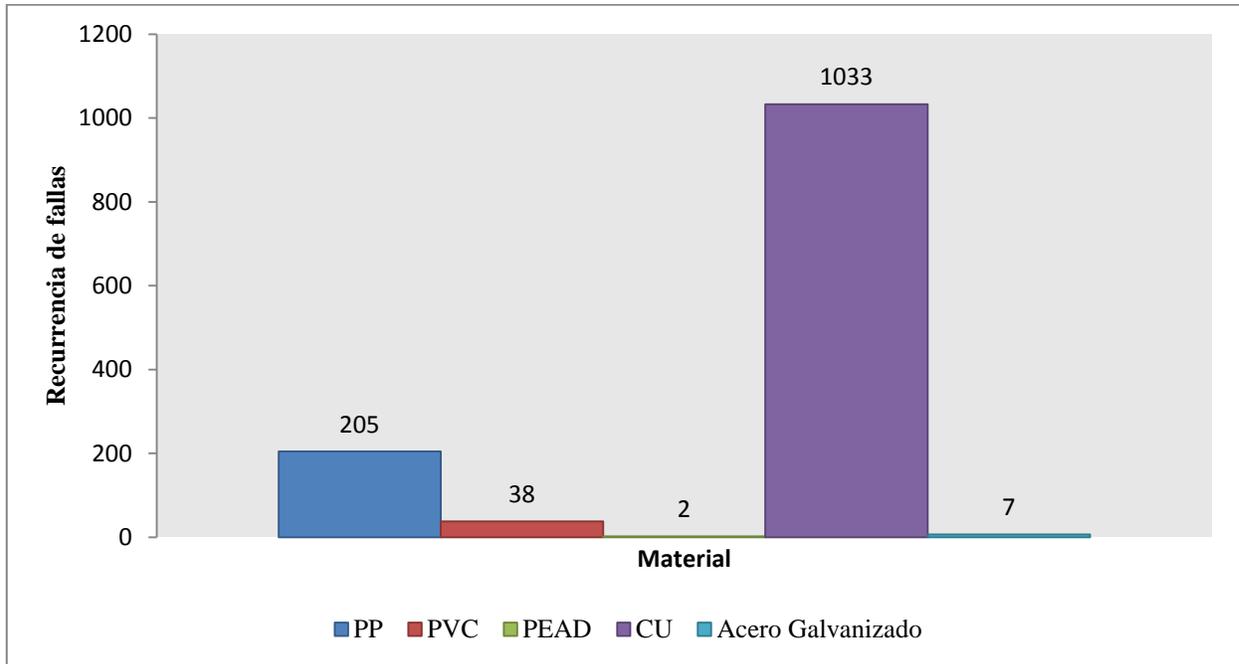


Figura 4 Total de elementos de unión con falla clasificados por materialidad

Los elementos de unión corresponden a 29% de las fallas totales (Figura 3), en tanto de la Figura 4 se puede apreciar que el material que más falla en los elementos de unión es el cobre (CU), lo que equivale a 80 % de éstas.

La segunda pieza con mayor recurrencia de fallas fueron los tramos de tubería que equivalen a un 17% del total de fallas de la muestra, en tanto, la Figura 5 muestra el total de fallas por material de los tramos de tubería, en donde, el mayor número de fallas que se repite corresponde a las de material cobre que equivalen a un 63%.

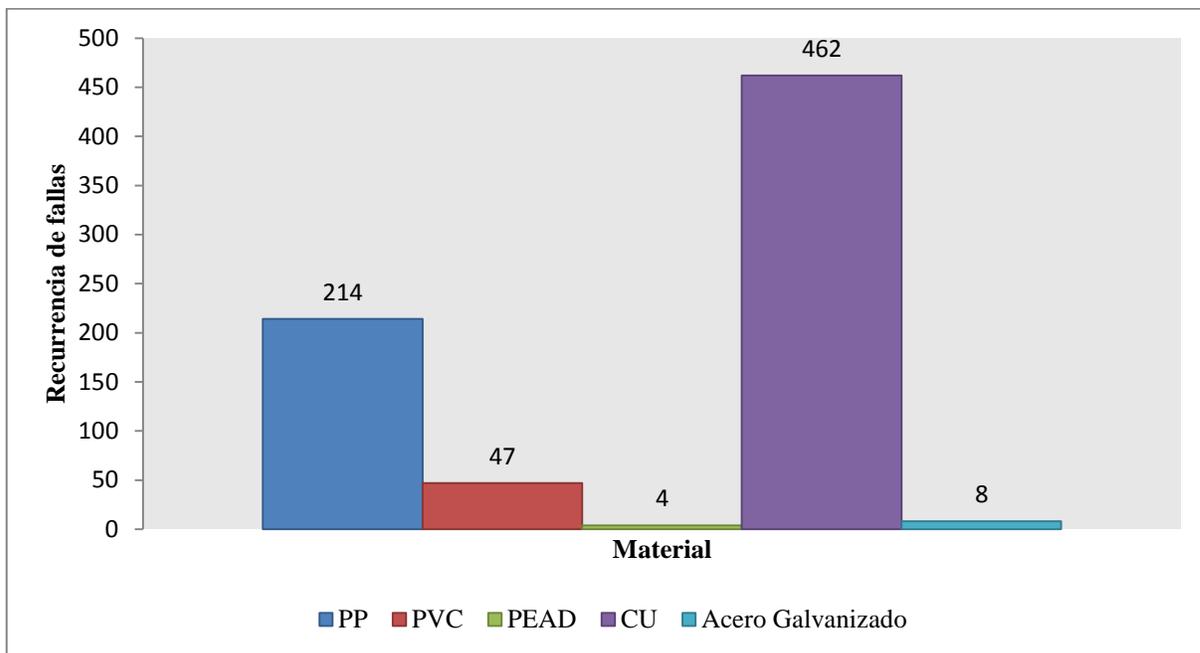


Figura 5 Total de fallas de tubería clasificados por materialidad

Dentro del grupo de los collarines los cuales equivalen al 7% de las fallas totales de la muestra, se encontró que el material con mayor recurrencia de fallas es el PVC, ver Figura 6.

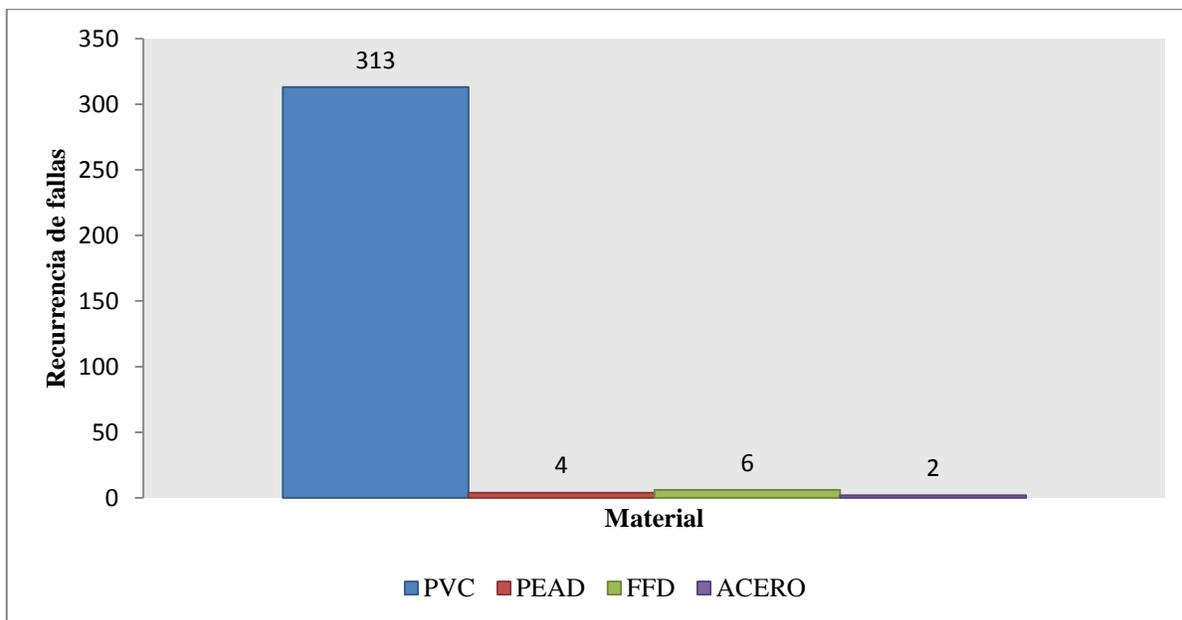


Figura 6 Total fallas de collarín clasificados por materialidad

Las fallas de las llaves de paso corresponden al 47% de las fallas totales de la muestra, de la Figura 7 se desprende que el Bronce es el material más recurrente en fallas de las llaves de paso.

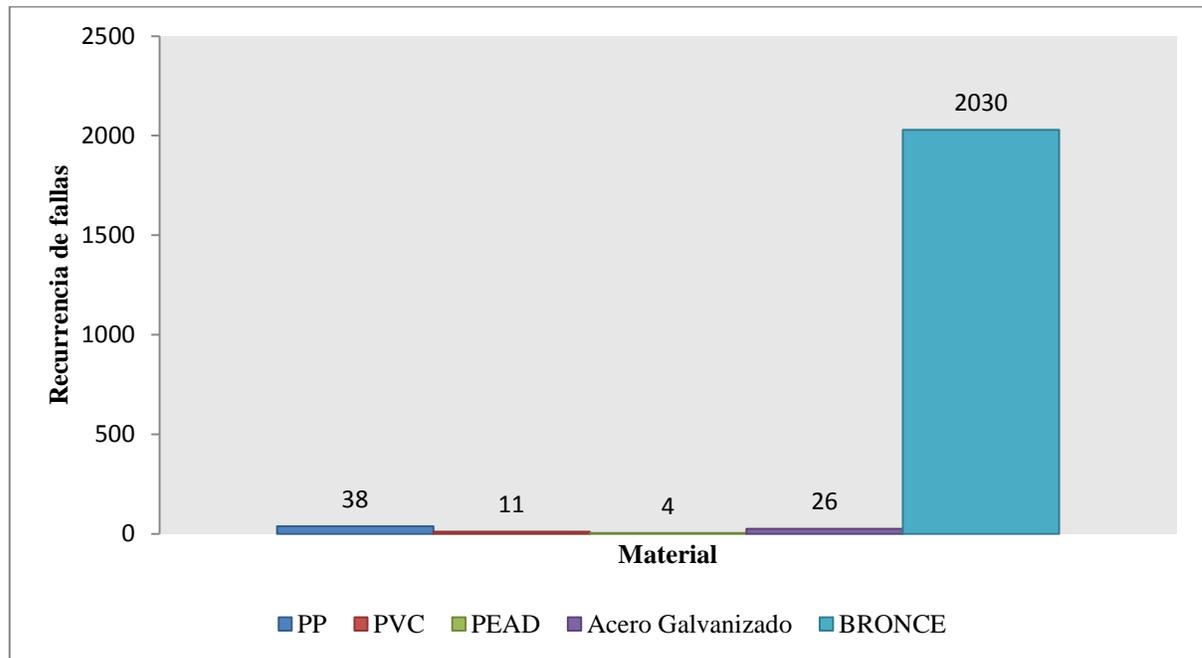


Figura 7 Total fallas en llaves de paso clasificados por materialidad

4.3 Probabilidad de falla por diferencia de presión

De la georeferenciación de las fallas con los rangos de diferencia de presión y el número total de arranques se puede ver en la Figura 8 que el rango de diferencia de presión que más recurrente es entre 6 y 8 m.c.a, este resultado indicaría que la cantidad de fallas no aumenta con la diferencia de presión si no que tiende a disminuir, lo anterior se explica debido que al intersectar las fallas totales de la muestra con el total de arranques de las localidades estudiadas y su respectiva diferencia de presión estos tienen la misma distribución de recurrencia por lo que se infiere que el rango entre 6 y 8 mca es mayor debido a que también es mayor la recurrencia de arranques sometidos a ese rango de diferencia de presión, lo mismo ocurre con diferencia de presión mayor que tienden a fallar menos pues son menos los arranques sometidos a esta diferencia.

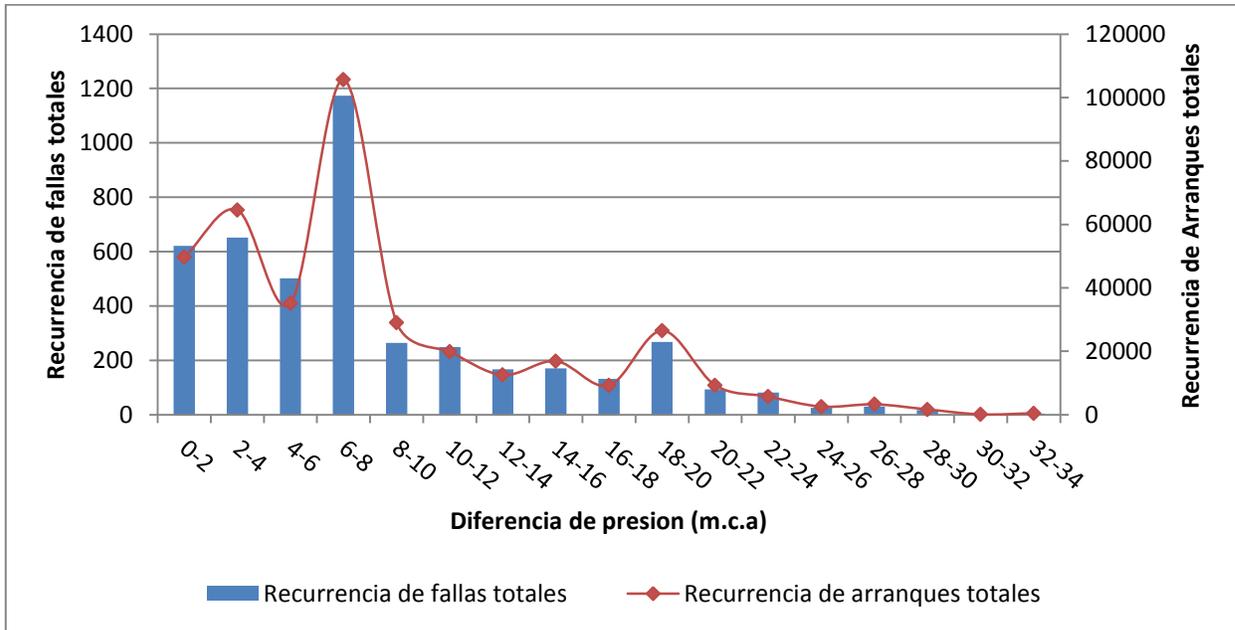


Figura 8 Frecuencia de fallas totales y arranques totales por rangos de diferencia de presión

Así como la mayor recurrencia de fallas es entre 6 y 8 mca, estas no se pueden asociar a un lugar determinado ya que se produjeron en diferentes sectores dentro de las localidades analizadas.

Por otra parte, del análisis estadístico se estudió la probabilidad de falla de las tres piezas que más fallan de la muestra y los resultados son los que se comentan a continuación. Utilizando la Ecuación 3 para determinar las probabilidades de falla se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 3, dichos resultados se representan en las Figura 9, 10 y 11.

Tabla 2 Probabilidad de falla

Diferencia de presión (mca)	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	24-26	26-28	28-30	30-32	32-34
N° fallas en MAP llave de paso	233	294	233	404	133	125	95	46	49	39	41	54	14	15	13	1	2
N° fallas en Tramo de tubería	109	95	76	168	29	35	18	56	15	95	15	9	4	7	2	0	2
N° fallas en codo Inferior	49	89	68	253	44	34	15	13	23	18	10	4	3	3	0	0	0
N° fallas totales	621	652	502	1174	264	249	167	171	132	268	94	82	26	30	17	1	4
Probabilidad de falla MAP llave de paso	0,38	0,45	0,46	0,34	0,50	0,50	0,57	0,27	0,37	0,15	0,44	0,66	0,54	0,50	0,76	1	0,50
Probabilidad de falla tramo de tubería	0,18	0,15	0,15	0,14	0,11	0,14	0,11	0,33	0,11	0,35	0,16	0,11	0,15	0,23	0,12	0	0,50
Probabilidad de falla codo inferior	0,08	0,14	0,14	0,22	0,17	0,14	0,09	0,08	0,17	0,07	0,11	0,05	0,12	0,10	0	0	0

Como se aprecia en la Figura 9 existe una probabilidad entre el 30% y 69% de que la llave de paso MAP falle independiente del rango de diferencia de presión que se produzca en el sistema, teniendo como valor medio una probabilidad del 49%. Dentro del rango de diferencia de presión donde hay más fallas según lo presentado en la Figura 8 esta pieza no tiene su mayor probabilidad de fallar, incluso se puede apreciar que es unas de las probabilidades de falla más baja, quedando por debajo de la media, lo que indicaría que en ese rango las fallas se encuentran distribuidas en varias piezas del arranque, no así en el rango 30 y 32 mca. en donde si bien la probabilidad de fallar es del 100%, al ser un rango con pocos datos coincidió que la falla encontrada fue en la misma pieza. A raíz de estos resultados no se aprecia una tendencia clara por lo que no podemos asociar un comportamiento exponencial en la diferencia de presiones.

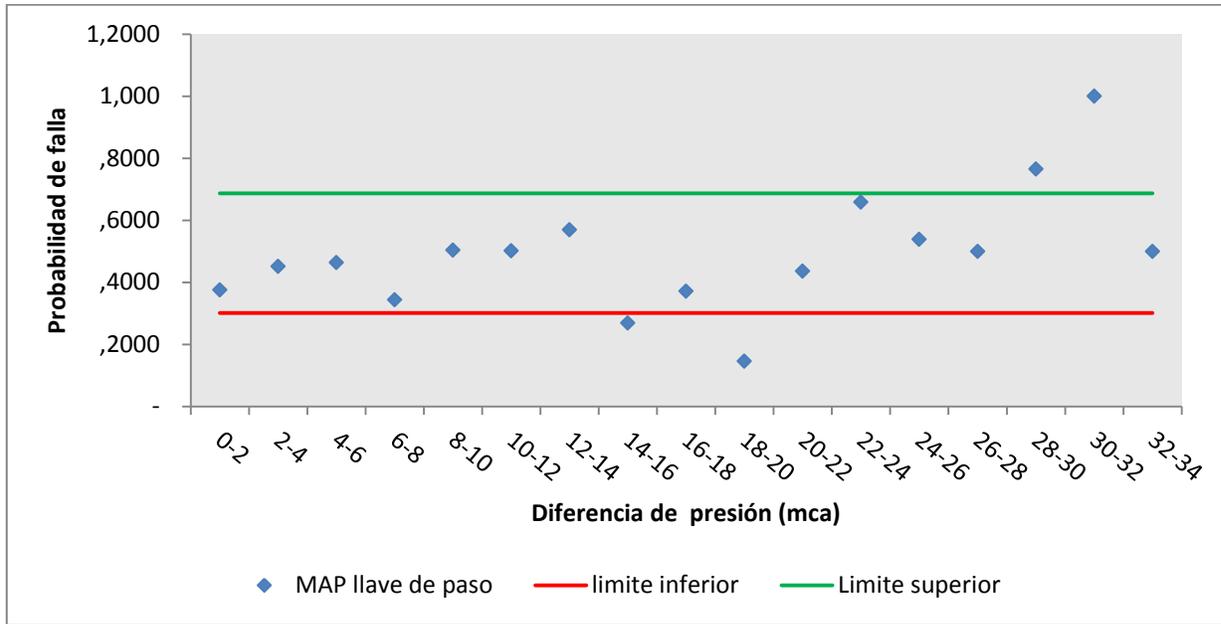


Figura 9 Probabilidad de falla de la llave da paso (MAP)

En el caso de los tramos de tubería, existe una probabilidad entre 6% y 30% de que falle independiente del rango de diferencia de presión que se produzca en el sistema (Figura 10), teniendo un valor promedio del 18%. A igual que en la llave de paso del MAP, donde más fallas se encontraron tampoco se aprecia una probabilidad alta comparada con otros rangos de diferencia de presión, estando también por debajo de la media. Para los tramos de tubería la mayor probabilidad de falla alcanza el 50% y se produce en el rango de 32-34 mca ya que de 4 fallas encontradas en ese rango de diferencia de presión, 2 corresponden a un tramo de tubería del arranque. Nuevamente en base a estos resultados no se aprecia una tendencia clara por lo que no podemos deducir un comportamiento exponencial de las probabilidades de falla.

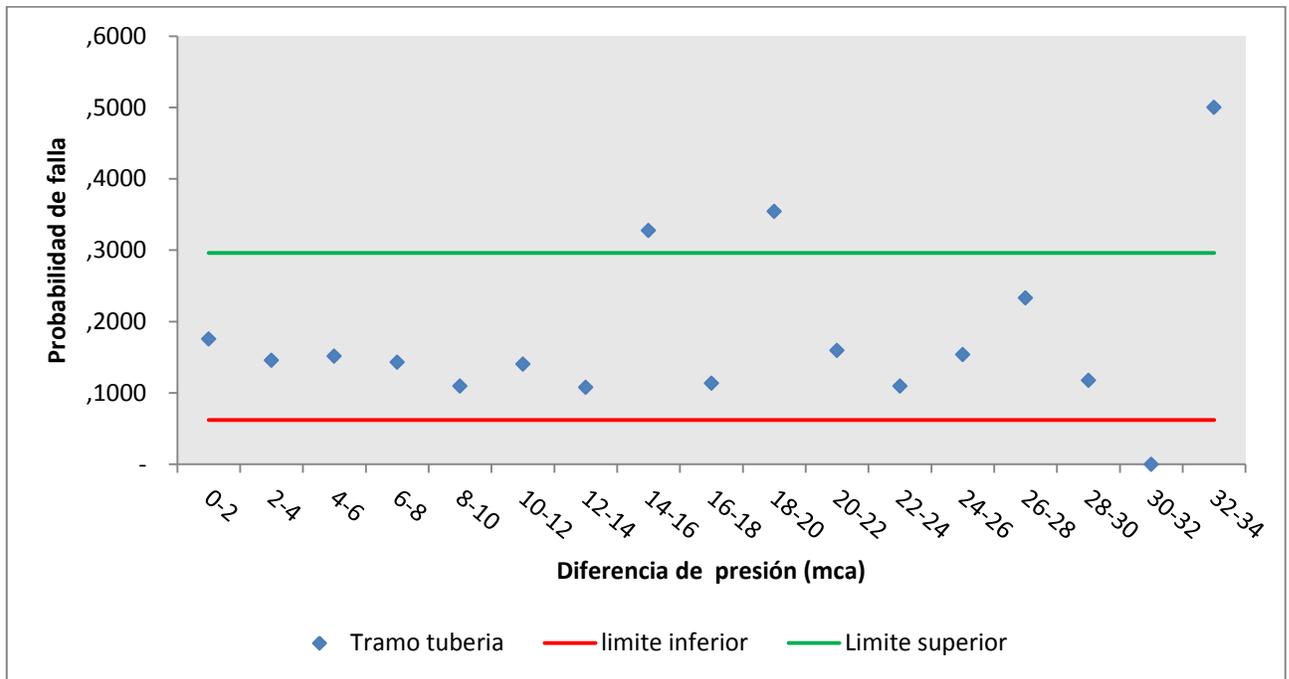


Figura 10 Probabilidad de falla del Tramo de tubería

En el codo inferior existe una probabilidad entre 3% y 16% de que falle independiente del rango de diferencia de presión que se produzca en el sistema (Figura 11), teniendo un valor promedio del 10%. La mayor probabilidad de fallar alcanza el 22% y se produce a diferencia de las otras piezas en el rango de 6-8 mca. La probabilidad del codo inferior tampoco muestra una clara tendencia de los resultados, por lo cual no podemos atribuirlos a un comportamiento exponencial.

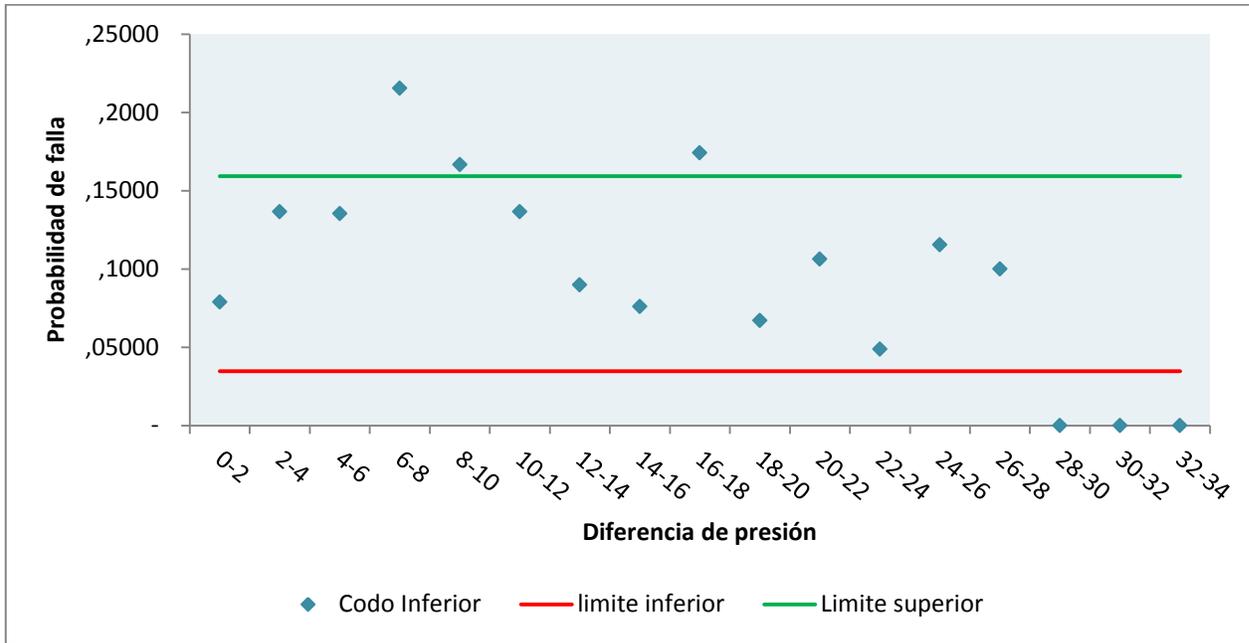


Figura 11 Probabilidad de falla del codo inferior

4.4 Probabilidad de falla presión máxima

Una vez realizado el análisis de probabilidad de falla de la diferencia de presión se analizaron las probabilidades de falla para las presiones máximas.

De la georreferenciación de fallas por presiones máximas se obtuvo la recurrencia de fallas totales para distintos rangos de presiones máximas, los cuales se ven representados en la Figura 12. Al igual que la recurrencia de la diferencia de presión, en este caso se repite el mismo comportamiento, es decir que en el rango de 32-38 mca de presión máxima ocurre la mayor recurrencia de fallas, en tanto, en ese mismo rango donde se encuentra la mayor recurrencia de arranques de las localidades estudiadas.

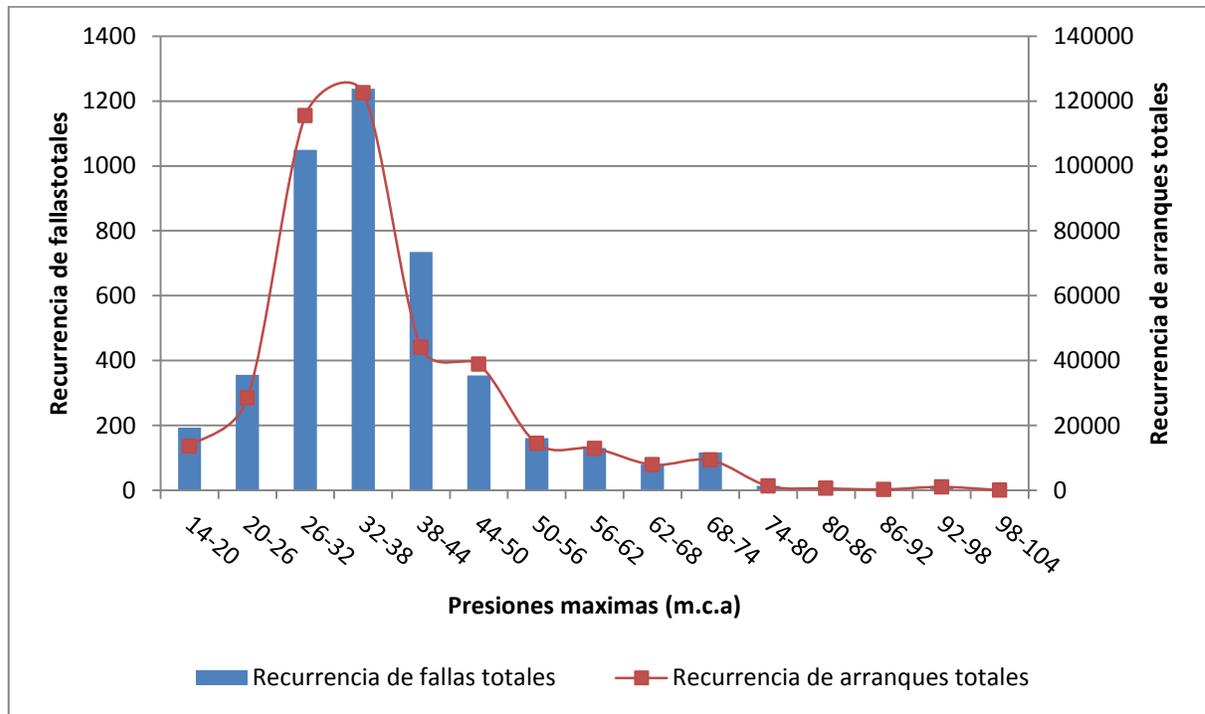


Figura 12 Probabilidad de fallas totales por rangos de presión máxima

Del análisis de probabilidad de falla de presiones máximas de las tres piezas que más fallan en la muestra, los resultados son los que se comentan a continuación.

Utilizando la Ecuación 3 para determinar las probabilidades de falla se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 3, dichos resultados se representan en la Figura 13, 14 y 15.

Tabla 3 Probabilidad de falla

Presión Máxima	14-20	20-26	26-32	32-38	38-44	44-50	50-56	56-62	62-68	68-74	74-80	80-86	86-92	92-98	98-104
N° fallas MAP llave de paso	67	138	474	430	289	185	84	44	27	41	6	4	1	1	0
N° fallas tramo de tubería	30	52	133	224	167	39	23	20	16	26	1	0	0	4	0
N° fallas codo Inferior	16	47	138	211	68	61	15	39	14	13	1	1	0	2	0
N° fallas totales	194	356	1050	1238	735	354	161	131	80	117	14	8	4	11	1
Probabilidad de falla MAP llave de paso	0,35	0,39	0,45	0,35	0,39	0,52	0,52	0,34	0,34	0,35	0,43	0,50	0,25	0,09	0
Probabilidad de falla Tramo de tubería	0,15	0,15	0,13	0,18	0,23	0,11	0,14	0,15	0,20	0,22	0,07	0	0	0,36	0
Probabilidad de falla codo inferior	0,08	0,13	0,13	0,17	0,09	0,17	0,09	0,30	0,18	0,11	0,07	0,13	0	0,18	0

La probabilidad de falla de la llave de paso del MAP se encuentra entre el 20% y 50%, independiente de la presión máxima al que está sometido en el sistema de distribución (Figura 13), teniendo una probabilidad promedio de 35%. En el rango de 32-35 mca la probabilidad de falla es de 35%, igual que la probabilidad promedio, pero no coincide con la mayor probabilidad ni las mayores presiones máximas. La mayor probabilidad de falla se produce en los rangos 44-50 mca y 50-56 mca con un 52%.

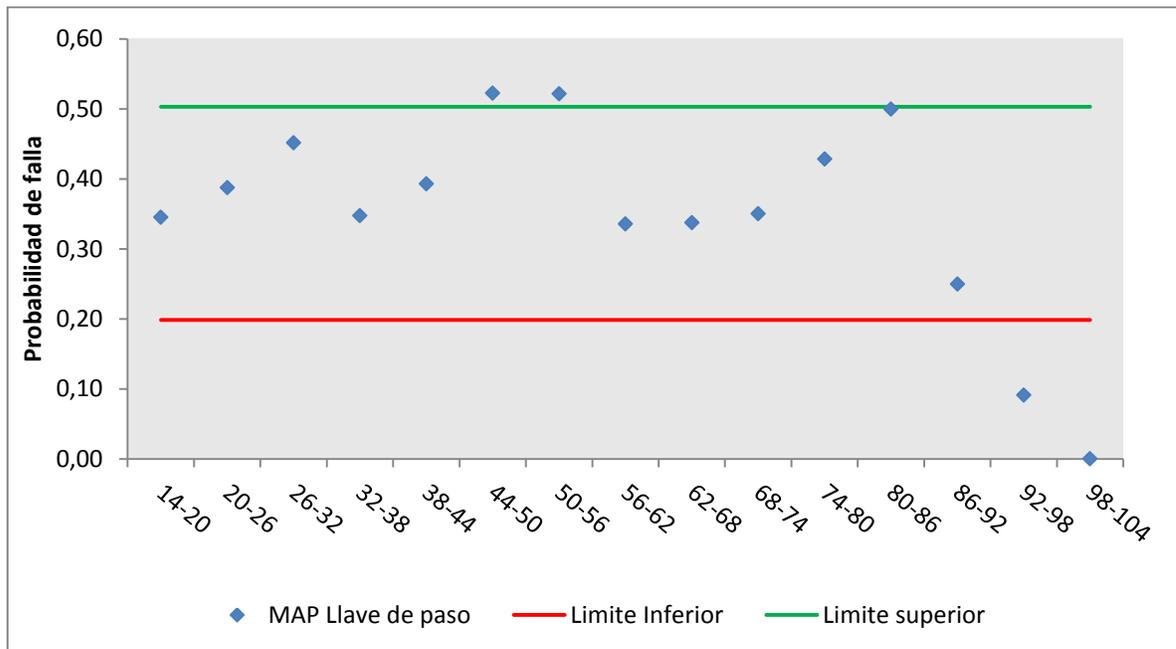


Figura 13 Probabilidad de falla de la llave da paso (MAP)

La segunda pieza con mayor recurrencia de fallas, es decir, el tramo de tubería, tiene una probabilidad de falla entre 4% y 24%, independiente del rango de presión máxima al que se encuentra el sistema, con una probabilidad promedio de 14%, el rango de presión máxima para el cual más falla la Tubería es entre 92 y 98 mca, en tanto, en el rango de presiones máximas que más recurrencia de fallas hubo la probabilidad de fallar alcanza el 18%, valor superior pero cercano a la probabilidad promedio (Figura 30).

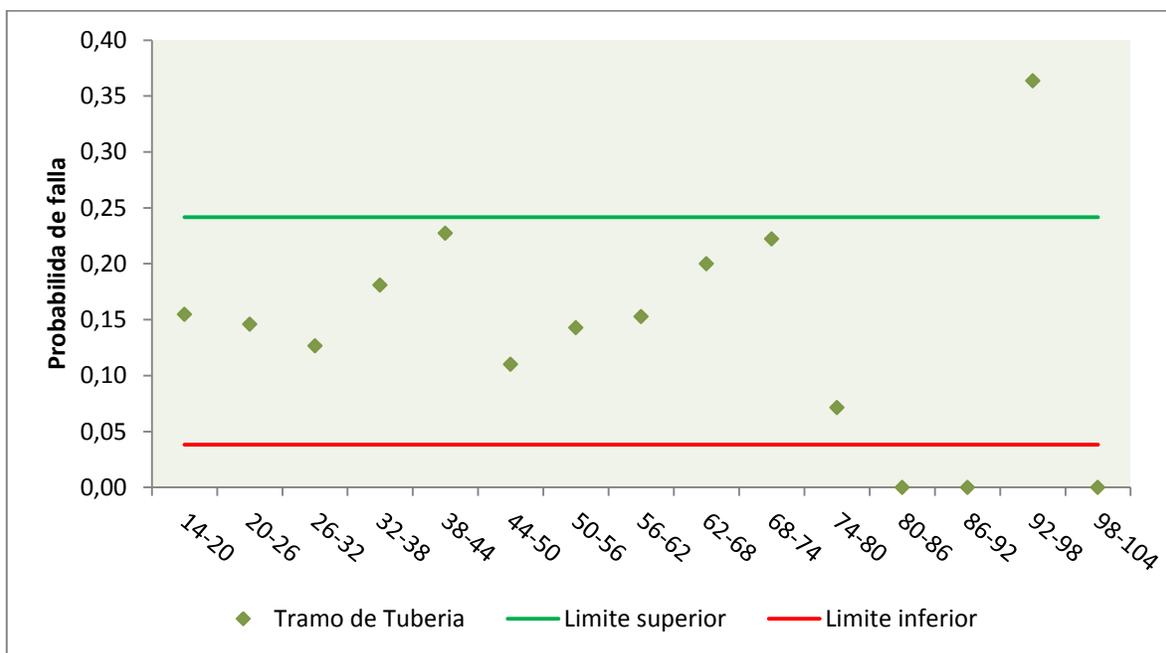


Figura 14 Probabilidad de falla del Tramo de tubería

En cuanto al codo inferior, la probabilidad de falla se encuentra entre 5% y 20% al igual que en las otras piezas analizadas esto es independiente de la presión máxima a la que está sometido el sistema. La probabilidad promedio es del 12%, en tanto el rango de presión máxima para el cual más falla el codo inferior de la muestra es entre 56 y 62 mca con una probabilidad del 30%. En el rango de 32-38 mca la probabilidad de fallar es mayor que la probabilidad promedio con un 17% ver Figura 15.

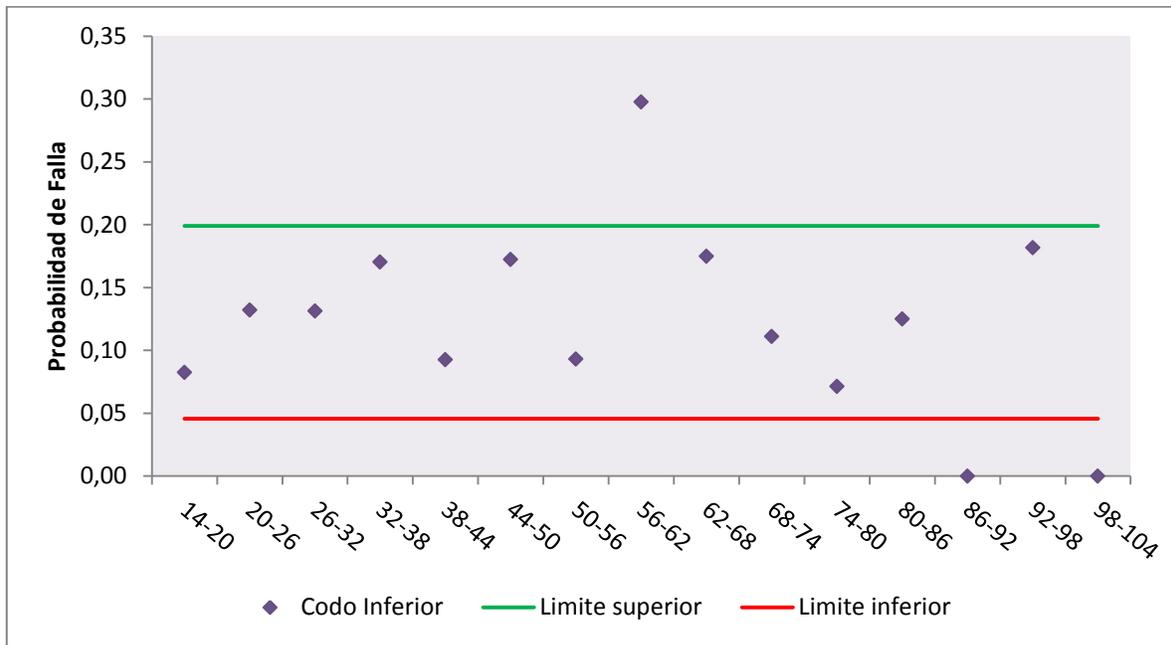


Figura 15 Probabilidad de falla del codo inferior

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Luego de analizar los resultados mediante la metodología propuesta en este proyecto de título, se desprenden las siguientes conclusiones:

- Los materiales que más fallan tanto en los elementos de unión como en las tuberías es el cobre; en tanto para el elemento collarín el material en donde más se encontró fallas es el en PVC y las llave de paso se destaca la mayor recurrencia de fallas en el material bronce.
- El elemento que más recurrencia de fallas tiene es la llave de paso del medidor de AP, no fue parte de este estudio encontrar la causa de esto, pero se deduce que tiene directa relación con que es el elemento más manipulado tanto por el cliente como el operador de la empresa sanitaria.
- La mayor cantidad de falla de la muestra se produce para diferencias de presión de entre 6 y 8 mca, pero se pudo ver que corresponde al rango de diferencia de presión predominante en el sistema de distribución AP y al cual están sometidos los arranques de la compañía, es por esto que no podemos atribuir este rango como crítico.
- Se determinó que la presión máxima de la muestra para el cual fallan mas las piezas del arranques están entre 32 y 38 mca ya que a esta presión esta smetida la mayor cantidad de arranques de la compañía.
- La mayor probabilidad de falla se produce en los siguientes rangos:

Pieza	Diferencia de presion	Presión máxima
Llave de paso Map	30-32	44-56
Tramo de tubería	32-34	92-98
Codo inferior	6-8	56-62

- No fue posible relacionar la probabilidad de falla con la diferencia de presión ni las presiones máximas, por lo cual para la muestra no se pudo comprobar lo expuesto por Vela (1993).
- La mayor recurrencia de fallas en las diferencias de presión de 6-8 y presiones máximas de 32-38 no está relacionado con una probabilidad mayor de fallar de alguna pieza en particular.

CAPITULO 6. BIBLIOGRAFIA

Chow, V., Maidment, D. and Mays L. (1988). “Hidrología Aplicada”. McGraw Hill, New York

Cid, R (2013) “Factores de Influencia en las pérdidas físicas no visibles y semi-visibles en los arranques de agua potable”, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción.

NCh 2485. Of. 2000. Instalaciones domiciliarias de agua potable - Diseño, cálculo y requisitos de las redes interiores. Chile: Instituto Nacional de Normalización, Chile.

NCh 2836. Of 2005. Sistema de arranques. Especificaciones, Instituto Nacional de Normalización, Chile.

Universidad de Piura, “Modelación hidráulica”
http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_123_183_81_1150.pdf [Acceso el 26 de Mayo de 2014]

Vela, A., Martínez F., Garcia-Serra J., Perez, R., (1994). “Estrategias óptimas para la reducción de pérdidas de agua en sistemas de abastecimiento”, Unidad Docente Mecánica de Fluidos, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia. España.

ANEXO A: DESCRIPCION DE PÉRDIDA FISICAS EN LAS REDES SANITARIAS

A.1. Auditoria de agua

La realización de una auditoria de agua es el punto de partida para todo servicio público de AP. Esta consiste en hacer una evaluación de cómo, dónde y por qué el agua se está perdiendo en la red o parte de la red entre el punto de entrada en la transmisión y el sistema de distribución y en los medidores de los clientes.

a) Revisión de las prácticas operacionales de la red.

Con el fin de entender completamente por qué el agua se pierde en una red de distribución se debe realizar una revisión de la infraestructura y del comportamiento del sistema. Para estos la revisión debe evaluar:

- Las características regionales, los factores locales y los componentes de la pérdida de agua.
- Los métodos actuales utilizados para la operación y administración del sistema de distribución.
- El nivel de tecnología para la vigilancia y detección de fugas.
- El número de empleados, habitantes y capacidades.
- La utilidad de datos actuales y la metodología para estimar el nivel actual de pérdida.

b) Cuantificación de la pérdida de agua

El segundo componente de una auditoria es la estimación de la cantidad de agua que se pierde desde la red. Hay dos métodos para estimar el nivel de pérdidas en un sistema:

- El establecimiento de un balance hídrico.
- Análisis de caudal nocturno.

El cálculo de balance de agua es el método más común de evaluación de pérdidas. Hay que destacar que antes de embarcarse en el desarrollo e implementación de una estrategia de reducción de pérdida de agua es de vital importancia conocer la posición de partida.

A.2. Balance Hídrico

La cantidad de pérdida de AP de un sistema se puede determinar mediante un balance de masa. Esto se basa en la medición o estimación de la cantidad de agua producida, consumida y perdida.

En un balance, tanto las entradas, como las salidas, deben estar bien identificadas; esto quiere decir que se debe saber con precisión de dónde proviene cada cantidad del total, así como el uso que se le dio a cada una de las cantidades que conforman el egreso total, respectivamente; de tal manera que el ingreso total debe ser igual al egreso total más la variación en el almacenamiento (esta variación puede ser positiva o negativa). De manera simplificada, el balance hídrico es:

$$\text{Pérdidas de Distrib.} = \text{Entrada al sistema} + \text{almacenamiento} - \text{Consumo}$$

De esta forma, la realización de un balance tiene como finalidad analizar si existen pérdidas, cuáles fueron sus causas y, además, proporciona un primer paso hacia la mejora del sistema.

Tabla A 1 Estructura estándar de auditoría de Pérdida de AP (Fuente:IWA)

Volumen de entrada al sistema	Consumo Autorizado	Consumo facturado Autorizado	Consumo Facturado Medido Consumo facturado No Medido	Agua Factura
		Consumo No Facturado Autorizado	Consumo No Facturado Medido Consumo No facturado No Medido	
		Pérdidas Aparentes	Consumo No Autorizado Mediciones Imprecisas	
	Pérdidas de Agua	Pérdidas Reales	Fugas en redes de Transmisión y/o Distribución Fugas y desbordamientos en los estanques de almacenamiento. Fugas en las conexiones de los servicios hasta el punto de uso del cliente.	Agua No Facturada

La fuerza de Trabajo de Pérdidas Físicas de la Asociación Internacional de Agua (IWA) a finales de la década de 1990 reconoció la necesidad de contar con una estructura de agua de auditoría viable con terminología común y se elaboró un balance de agua estándar, el que se puede observar en la Tabla 2.

c) Terminología del balance hídrico

Para entender de mejor manera las partes que componen el balance de agua estándar de IWA, en los puntos siguientes se darán a conocer cada una de las terminologías que se observan en la Tabla 2.

1) Volumen de entrada al sistema

El volumen de entrada al sistema representa al volumen anual de agua tratada que es bombeada dentro al sistema de suministro (red de distribución). Este volumen es previamente estimado o medido por macro-medidores situados a la salida de las Plantas elevadoras, pozos y/o Turbinas.

2) Consumo autorizado

El término consumo autorizado es interpretado como el volumen anual de agua medida y no medida que es tomada por los clientes registrados, el proveedor de agua y otros que están implícita o explícitamente autorizados a tal efecto por el proveedor de agua para fines residenciales, comerciales e industriales.

3) Consumo facturado autorizado

El consumo facturado autorizado corresponde al volumen de agua que es distribuida por la empresa de aguas, la cual es receptada por grupos de clientes comerciales, domésticos, industriales o institucionales, y es contabilizada como ingreso a ésta.

i. Consumo facturado Medido

El consumo facturado medido es todo consumo medido que sea facturado. Esto incluye todos los grupos de clientes domésticos, comerciales, industriales o institucionales y

también incluye el agua en bloque transferida a través de las fronteras operacionales de sistema (agua exportada), que se mida y se facture.

ii.) Consumo facturado No Medido

El consumo facturado, que se calcula en base a estimaciones o normas, pero que no se mide. Este podría ser un componente muy pequeño en sistemas totalmente medidos (por ejemplo, la facturación basada en estimaciones durante el periodo que el medidor del cliente está fuera de servicio), pero puede ser un componente de consumo clave en los sistemas sin medición universal. En este componente también se podría incluir agua en bloque (agua exportada), que no es medida, pero es facturada.

4) Consumo no facturado autorizado

El consumo no facturado autorizado corresponde al consumo legítimo por parte de la población. Sin embargo, estos consumos no son facturados y por lo tanto no producen ingresos a la empresa proveedora de agua.

$$\text{Cons. No Fcat. Auto.} = C. \text{Medido No Fact.} + C. \text{No Medido No Fact.}$$

i. Consumo no facturado medido

El término corresponde al consumo medido que, por cualquier motivo no es facturado. Esto podría incluir, por ejemplo el consumo medido por la propia empresa de agua o aguas suministrada a instituciones de forma gratuita, incluida aguas transferidas a través de fronteras operativas (agua exportada), que se mide pero no es facturada.

ii. Consumo no facturado no medido

Cualquier tipo de consumo autorizado que no es ni facturado ni medido. Este componente incluye típicamente elementos como el control de incendios, limpieza de colectores y alcantarillas, limpieza de calles, protección contra heladas, etc. En una empresa de agua bien gestionada es un pequeño componente que a menudo es considerablemente sobreestimado. Teóricamente esto podría incluir también las aguas transferidas a través de

fronteras operativas (agua exportada), que no es medida ni facturada, aunque este es un caso poco probable.

5) Pérdidas de agua

Las pérdidas de agua pueden ser consideradas como un volumen total de todo sistema, o para los sistemas parciales, tales como esquemas de transmisión o distribución, o zonas individuales. Las pérdidas de agua consisten en pérdidas físicas y comerciales.

$$\text{Pérdidas de agua} = \text{Vol. de entrada al Sist.} - \text{Cons. Autorizado}$$

6) Pérdidas aparentes

Las pérdidas aparentes son también conocidas como “pérdidas comerciales”, las que corresponden al agua consumida, pero no registrada, por los micromedidores o por el mecanismo de cobranza adoptado por la autoridad competente en los casos en que no existe el micro medidor. Estas pérdidas resultan en una reducción de ingresos, y son consecuencia de consumos gratuitos, consumos clandestinos, errores de micro medición y errores de estimación de los consumos no medidos.

i. Consumos no autorizado

El consumo no autorizado corresponde a extracciones ilegales de aguas, estas pueden ser conexiones a la matriz o arranques de forma ilegal en donde el volumen extraído no está siendo medido ni facturado.

ii. Mediciones imprecisas.

Las mediciones imprecisas ocurren debido a que los medidores de los clientes pueden estar alterados, o bien en mal estado los que al momento de registrar sus valores arrojan cifras erróneas.

7) Pérdidas reales

Las pérdidas reales también se conocen como pérdidas físicas y son las que involucran las fugas en redes de transmisión y/o distribución, fugas y desbordamientos en los estanques de

almacenamiento y, también, las fugas en las conexiones de los servicios hasta el punto de uso del cliente (arranque).

8) Agua facturada

El Volumen de agua que es utilizada por los usuarios registrados dentro de la empresa proveedora de AP, generando ingresos a la empresa.

9) Agua no facturada (ANF)

El Agua No Facturada resulta de la diferencia entre volumen de agua que produce un sistema (propia o externa) y el volumen que se entrega y factura a los usuarios del mismo, es decir:

$$V_{ANF} = V_p - V_f$$

Se calcula mediante un indicador porcentual llamado Agua No Facturada (ANF), que representa relación entre el volumen total que se suministra a la red y el volumen de agua que se factura a los usuarios en determinado periodo, a saber:

$$ANF(\%) = \frac{V_p - V_f}{V_p}$$

- V_p = Es el volumen de agua producido en [m3] para el periodo de análisis.
- V_f = Es el volumen de agua facturado en [m3] para el periodo de análisis.

El ANF no sólo representa las pérdidas físicas (metros cúbicos) del sistema, sino que también, indirectamente, muestra de algún modo las pérdidas financieras, no siendo estas últimas proporcionales.

d) Tipos de fugas

Las fugas que ocurren en las redes de distribución se concentran esencialmente en tres grupos, los cuales se clasifican fundamentalmente de manera visual.

Los tipos de fugas comúnmente detectadas en la red de distribución de AP (matrices y arranques) se describirán en los puntos siguientes.

1) Fugas visibles

Estas fallas son las que se encuentran visualmente, por lo que se detectan y reparan con mayor facilidad. Generalmente, estas fugas son las que se localizan en parte de las cañerías, llaves de paso, tuerca de vaina y codo superior, que se encuentran sobre el terreno.

2) Fugas semi-visibles

Las fugas semi-visibles son fallas que, por lo general, ocurren bajo la superficie del terreno. Sin embargo, el volumen de agua que se escapa por las cañerías aflora sobre el terreno y se dejan ver con facilidad. Las reparaciones a estas fallas dependerán de cuanto se demoran en encontrar el punto exacto de la grieta y, además, de la profundidad en la que se localice ésta.

3) Fugas no-visibles

Las fugas no visibles son fallas que ocurren por debajo de la superficie del terreno y, por su característica, el volumen de agua que brota de las grietas no emerge para ser detectado visualmente.

Cabe señalar, que estas fallas son las que presentan una mayor dificultad en ser detectadas y, a su vez, poseen un costo de reparación elevado en comparación a las reparaciones que se deben realizar frente a las fugas visibles y semi-visibles.

ANEXO B: DETECCION DE FUGAS

Para la detección de fugas en las redes de distribución se emplea un procedimiento de pre-localización que sirve para identificar los sectores que presentan mayores pérdidas físicas. Luego, se emplean las tres etapas de localización, donde en cada una de las etapas se utiliza una gama de instrumentos que detectan las variaciones que generan las ondas sonoras producidas por el flujo del AP que circula por los arranques domiciliarios y matrices.

B.1. Procedimiento de detección de fugas

Se menciona que cuando se producen las fugas en tuberías de agua sometidas a presión, el agua fluye a gran velocidad al exterior, a través del punto de fuga, y hacia el terreno circundante. Esto hace que el material del tubo vibre en el punto de rotura, donde estas vibraciones se transmiten a lo largo de la tubería y son reconocibles en puntos, por ejemplo, en válvulas y/o medidores (MAP). Además, el flujo del agua también genera vibraciones en el terreno circundante a la fuga, cuyas vibraciones se transmiten hasta la superficie y pueden percibirse mediante la escucha con los medios adecuados.

A pesar de que los instrumentos poseen mayores ventajas para la detección de las vibraciones sonoras no son suficientes, ya que sin duda el oído entrenado de un técnico sigue siendo la herramienta fundamental para identificar los ruidos, sonidos que no son acorde al sonido normal del flujo del agua dentro de la tubería.

Debemos comprender que los procedimientos de una inspección de localización de fugas necesariamente se deben realizar mientras el consumo de agua sea casi nula, principalmente estos horarios son nocturnos entre las 02:00 y 04:00 horas. De este modo se asegura puntualmente que las vibraciones a escuchar sean solo provocadas por el flujo de agua al escurrir por las grietas u orificios que presente la red de distribución. Sin embargo, estas detecciones también se pueden realizar a cualquier hora del día siempre y cuando se asegure que en los inmuebles con arranques domiciliarios donde se esté realizando la pre-localización de fugas no exista consumo.

B.2. Etapas en la detección de fugas

Para ilustrar mejor el escenario en el que se genera la localización de fugas, primero se debe entender el procedimiento para encontrar el sector en donde se encuentran las anomalías que presentan la red de distribución se divide en tres etapas, las cuales se distinguen dependiendo de

la facilidad y la duración al momento de implementar los instrumentos, incluso de la exactitud que presentan los mismos.

Las etapas con las que se detectan las fugas, son:

- Etapa 1: “El Caminante”
- Etapa 2: “El Repaso”
- Etapa 3: “La Correlación”

Cabe señalar que los nombres que cada etapa posee pueden variar dependiendo de la empresa. En este caso los nombres utilizados en las etapas fueron suministrados por la empresa contratista en detección de fugas.

e) Etapa 1:”El Caminante”

Dentro de las etapas de detección de fugas “El Caminante” es la primera en realizarse puesto que los equipos empleados, por su reducido peso, facilitan el trabajo prolongado y sin esfuerzo excesivo. Cabe señalar que esta fase se realiza primordialmente para pre-localizar fugas en los arranques domiciliarios, y para lograr el cometido básicamente se utilizan dos equipos los que se mencionaran en los siguientes párrafos.

El primer aparato de detección es un equipo manual al que le sobresale una punta metálica, la cual puede recibir las vibraciones sonoras al estar en contacto con cualquier parte de la red de AP, además, consta de un micrófono de suelo y auriculares que amplifican el sonido detectado. El equipamiento aludido es denominado “Stethophon” y proviene de la gama de equipos Sewerin que son proporcionados a la empresa.



Figura B 1 Detector de Fugas Stethophon Sewerin

Este equipo sirve para la amplificación de oscilaciones de todo tipo, el que posee un sensor de oscilación que proporciona una reproducción de sonido sin distorsiones, incluso cuando el sonido es apenas audible. Además, contiene una función de filtro que permite a los usuarios escuchar el sonido en la frecuencia que mejor se adopte a su oído y al ruido particular que se está captando. Los filtros facilitan la escucha de ciertos sonidos, tales como los sonidos profundos, los de tono característico de fugas en tuberías de plástico, así como las frecuencias más altas típicas de las tuberías metálicas.

Es necesario recalcar las dimensiones de este aparato, ya que al ser muy compacto y ligero se pueden llevar consigo sin ningún inconveniente. Los detalles físicos son 50 [mm] de ancho, 228 [mm] de alto, un espesor de 30 [mm] y solo pesa 290 [gr].

Y el segundo aparato es denominado “Aquaphon” que sigue los mismos principios y proviene de la misma familia de fabricantes que el anterior instrumento. Sin embargo, posee más precisión en la detección de fugas, ya que consta de tres distintos tipos de bastones cada uno con una forma única de sensores para la detección de vibraciones cuyo diseño fue creado para poder ser utilizados en zonas con una determinada característica. A pesar de que este instrumento tenga una precisión mayor que el “Stethophon” no será tan exacto en la localización, ya que el equipo posee una error promedio de 2 [m] en lo que respecta con ubicar el punto correcto en que se produce la fuga.



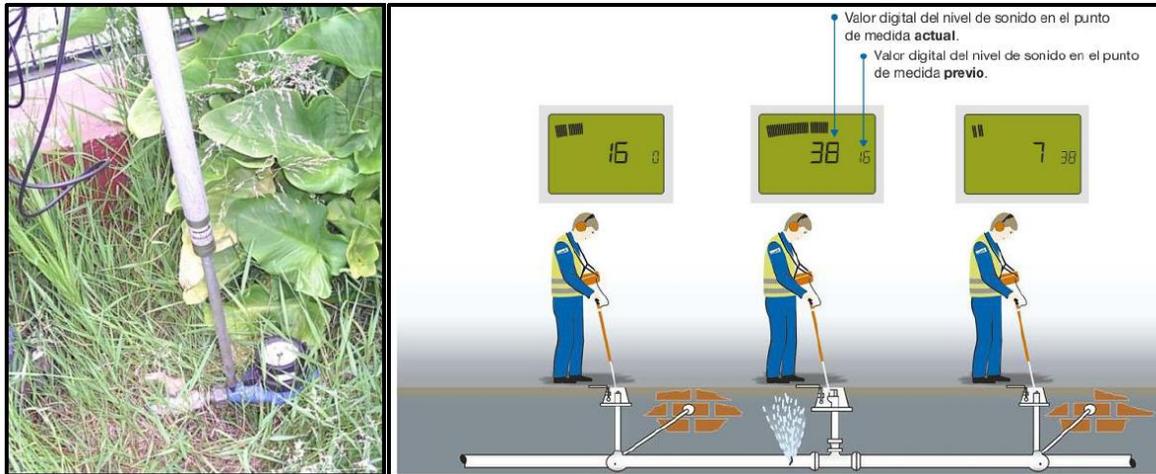
Figura B 2 Detector de Fugas Aquaphon, Sewerin

Como se ve en la Figura 8, el equipo “Aquaphon” requiere de una serie de componente para poder ser utilizado con mayor eficiencia.

Para poder tener una mayor claridad de los distintos tipos de bastones de localización preliminar, a continuación serán descritos:

1) Bastón de escucha

Este elemento posee una forma similar a una jabalina y es denominado bastón de escucha porque al posicionarse sobre las tuberías o bien sobre las válvulas puede recibir las vibraciones generadas por el flujo de agua dentro de las cañerías. Por lo anterior, se destacan en tener una gran eficacia en la pre-localización, ya que es capaz de determinar el área en donde se encuentran la fuga.



(a)

(b)

Figura B 3 Bastón de escucha (b) Ejemplificación del procedimiento de detección de fuga que se realiza con el bastón de escucha.

Como se puede ver en la Figura 9 mientras más cerca se encuentre el bastón de la posible fuga el valor digital del nivel de sonido tenderá a subir, esto obviamente el técnico capacitado lo detectara y será capaz de identificar si el sonido percibido se trate de un ruido producido de una fuga.

2) Geófono para terrenos densos

Este elemento es un micrófono de suelo (modelo BO-4) el cual está capacitado para detectar sonidos en terrenos regulares cuya densidad bordee los 2,0 [Ton/m³], terrenos con materiales tales como pavimentos o asfaltos. Este micrófono incorpora un aislamiento acústico de metal macizo, el cuerpo central está montado sobre una membrana de goma flexible que le permite oscilar libremente dentro de la carcasa y, de este modo, adaptarse a la superficie del terreno.

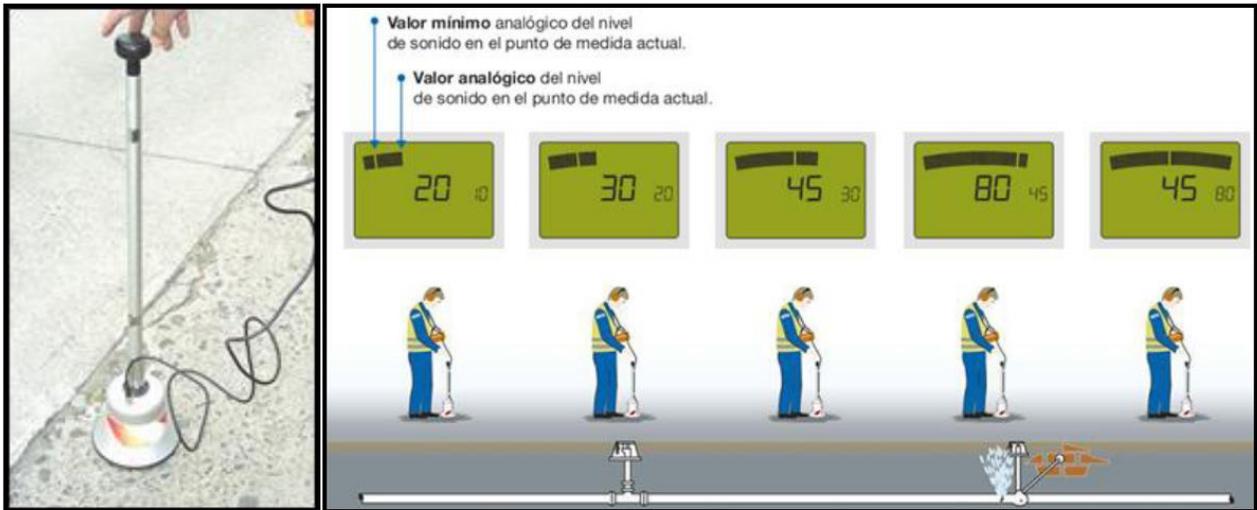


Figura B 4 (a) Geófono para terrenos densos (b) Ejemplificación del procedimiento de detección de fuga con Geófono.

El procedimiento que se debe realizar con Geófono es el mismo que se ejecuta con el bastón de escucha al momento de pre-localizar la zona de las fugas, así como se puede observar en la Figura 10 , mientras más cerca se encuentre el geófono de la posible fuga el valor digital del nivel de sonido tenderá a subir.

3) Geófono para terrenos sueltos

Este elemento, al igual que el geófono de terreno denso, es un micrófono de suelo (modelo 3P-4) el cual consta de una pica de tierra y un trípode que garantiza en todo momento un contacto estable con el terreno; finalidad de este elemento es de tener una mayor eficacia y adherencia en terrenos con superficies irregulares con terrenos blandos, como es el caso de zonas ajardinadas.



Figura B 5 Geófono de suelo para terrenos blandos

El procedimiento que se debe realizar para obtener una pre-localización de las fugas es el mismo que se opta con el geófono de suelo para terrenos densos, para mayor detalle ver la Figura 10.

f) Etapa 2: “El Repaso”

A continuación de la etapa de pre-localización (“El Caminante”) se da paso a la etapa que tiene por objetivo detectar con mayor exactitud la superficie en donde se encuentra situada la fuga, dentro de la matriz o bien en los arranques. Antes de continuar, está bien saber que el nombre que lleva esta etapa, “El Repaso”, es debido al procedimiento que se realiza para localizar la zona de la fuga, ya que los instrumentos son posicionados en sectores previamente estudiados durante un periodo de tiempo y, con la ayuda de un receptor de señales y un ordenador se puede realizar un barrido de lectura de las señales emitidas por el instrumento se puede tener con mayor claridad la zona en donde se localiza la oscilación que genera el ruido de la fuga.



Figura B 6 Equipos de detección y emisor de señales de radio logger

Para ilustrar de mejor manera lo anterior, el uso de los loggers de sonido es una alternativa conveniente y eficaz para el mantenimiento de la red de distribución, y permite que esta se pueda controlar y verificar de forma rápida. Para este fin, los loggers se sitúan en elementos accesibles de la red, tales como: válvulas, grifos, a la entrada de los medidores de AP, etc. (Véase Figura 13)

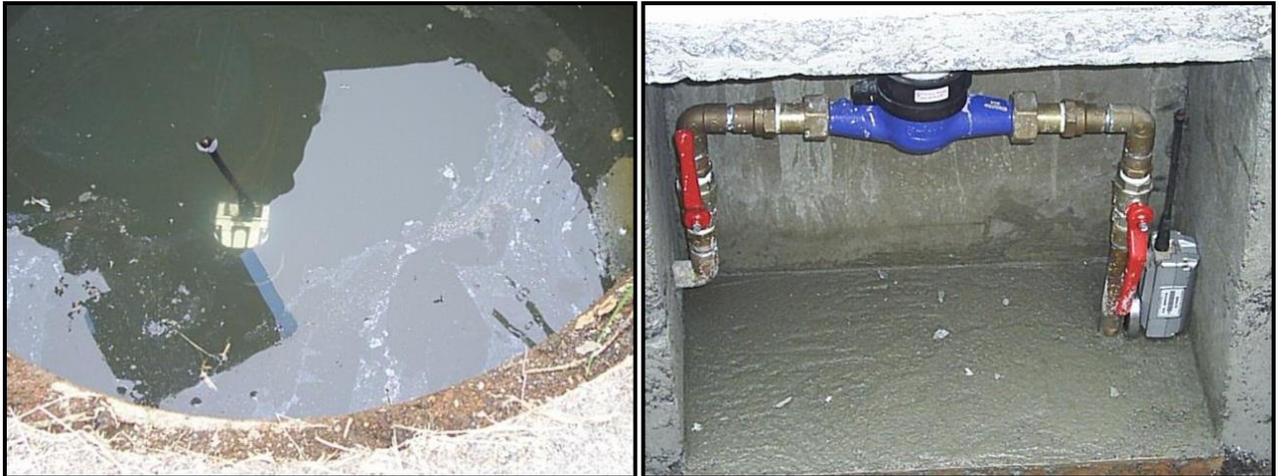


Figura B 7 Equipo de detección y emisor de señales de radio logger

Como se puede ver en la Figura 13 los loggers de sonido se pueden instalar en posición vertical u horizontal, ya que este elemento posee un imán de fijación móvil. Al montar el logger

horizontalmente implica que el lugar del acoplamiento es de una altura reducida. Incluso, debido a la posibilidad de montaje excéntrico de su imán, las válvulas no centradas también pueden servir de puntos de medición.

Además los equipos captan los sonidos que se producen durante un ciclo de medición definido y emiten los resultados, vía radio, desde su posición en el interior de una tapa de registro; cabe destacar, que el ciclo de medición siempre se realiza de forma nocturna entre las 02:00 hasta las 04:00 horas.

Por último, la recepción de estas señales se realiza por medio del módulo, que recoge los datos al pasar por la zona, ya sea caminante o desde en un vehículo. Para ellos no es necesario retirar los loggers de sus posiciones de medición ni abrir las tapas de registro.

g) Etapa 3: "La Correlación"

Antes que todo debemos entender que es un correlador; entonces bien, un correlador tiene como finalidad detectar la ubicación (distancia) del sonido que genera el agua al fugarse a través de las tuberías a la distancia por medio de una comparación entre dos señales de ruido captadas en dos puntos diferentes, las que por medio de los micrófonos, facilitándonos obtener las distancias y el lugar exacto en donde se encuentran el evento.

Por lo anterior, la presente etapa es la presenta una exactitud casi perfecta, si no fuera por el mal ingreso de los datos al instrumento de medición. La exactitud en este equipo, tanto el procedimiento como la transmisión de señales son completamente digitales evitando así, en gran medida, la generación de errores que, con frecuencia, causan problemas y fallos en los controladores convencionales.

Además, con la transmisión digital de radio se elimina el típico ruido de las transmisiones radioeléctricas. Así mismo, el estrecho ancho de banda de los módulos analógicos ya no representa un cuello de botella.

También, las señales acústicas de las fugas registradas se digitalizan en el micrófono, eliminándose así las retroalimentaciones a través del cable. Todo ello resulta sumamente

ventajoso en el caso, cada vez, más frecuente, de las tuberías plásticas en las que los ruidos procedentes de la fuga, por lo general, son muy bajos y se transmiten con mucha dificultad.

Análogamente, para la evaluación de las mediciones se pueden utilizar, indistintamente, ordenadores portátiles, de escritorio u ordenadores de campo como, por ejemplo, los Tablet PC que han sido concebidos para ser utilizados en situaciones adversas. El elemento utilizado en esta etapa brinda al usuario la posibilidad de obtener óptimos resultados en las condiciones más difíciles, pudiéndose obtener resultados allí donde los correladores convencionales llegan a su límite.



(a)

(b)

Figura B 8 (a) Transmisor de señales de radio (b) Receptor de señales de radio

El radio transmisor que se observa en la Figura 14 (a) se puede instalar sobre un trípode que le permite obtener un alcance de transmisión de hasta 1.000 metros. Si el alcance de radio transmisor no fuese suficiente para realizar una correlación exitosa, las señales acústicas se pueden grabar en la memoria de radio transmisor (permite la grabación de unos 40 minutos). Posteriormente, y en cuanto se restablezca la comunicación de radio, la información se vuelca al receptor de manera automática.

El receptor que se ve en la Figura 14 (b) recibe las señales del transmisor y las transfiere al PC a través de un cable USB. Adicionalmente, este elemento incorpora un imán engomado que permite fijarlo a un vehículo sin dañar la pintura. Por tanto no es necesaria la instalación de una antena permanente en el techo del vehículo.

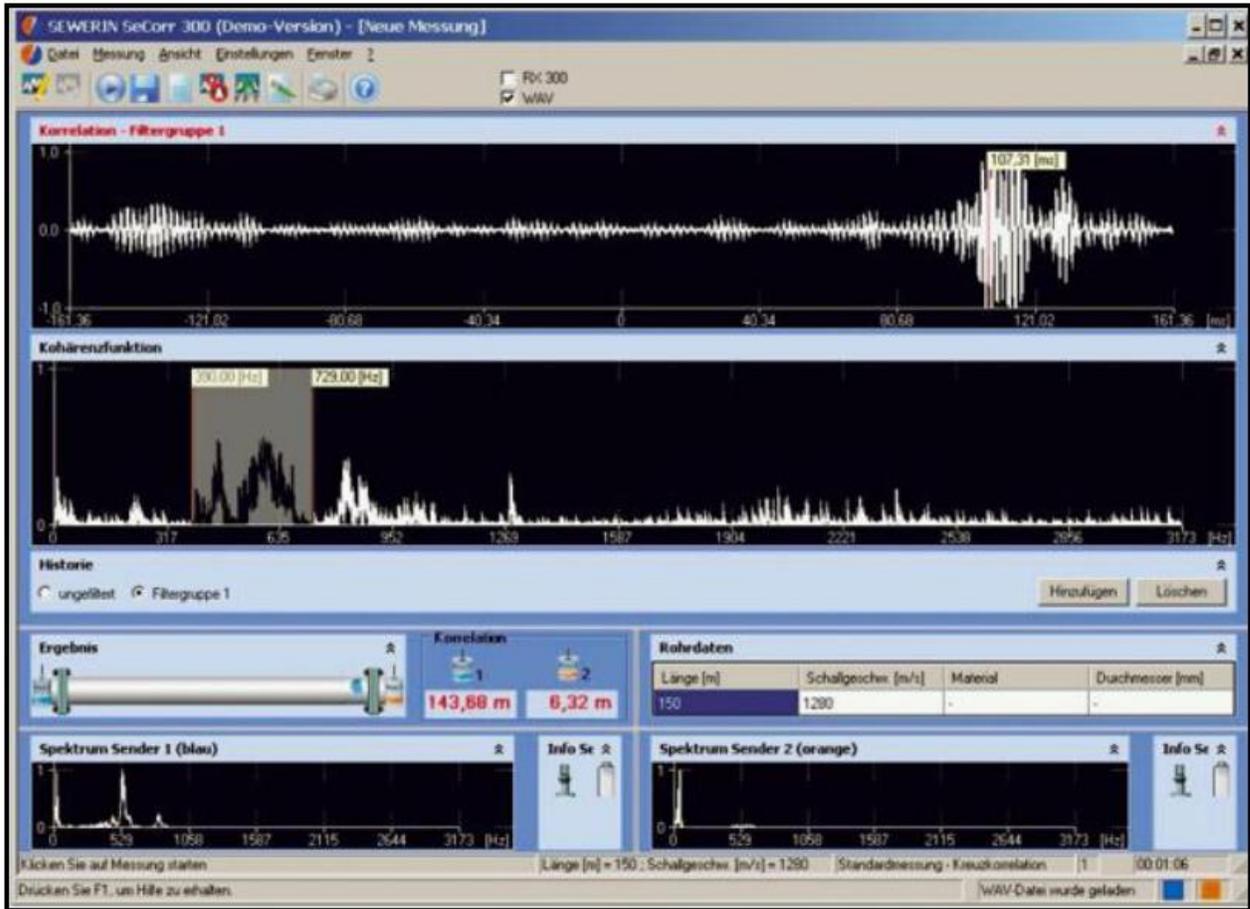


Figura B 9 Resultado de una correlación después de un Filtrado

Cabe señalar que la información recopilada en terreno por los instrumentos es visualizada por un software, como se puede observar en Figura 15 , en donde los ruidos originales pueden grabarse directamente, lo que permite crear un archivo de señales acústicas para posteriores comparaciones y, además, posee entrada de hasta 5 tramos o secciones diferentes de tuberías y de hasta 3 materiales adicionales definibles a voluntad: supone una óptima flexibilidad para que el operario obtenga el mejor de los resultados.

ANEXO C: MODELACIÓN HIDRAULICA

Muchos de los fenómenos que ocurren en la naturaleza y dentro del campo de la hidráulica son tan complejos que no es fácil tratarlos únicamente con métodos matemáticos. Por lo anterior es conveniente recurrir al empleo de técnicas experimentales, como herramientas de solución prácticas, aplicadas a problemas de ingeniería, estuarios, fluvial y obras hidráulicas en general.

En hidráulica, la modelación se usa para la simulación de situaciones reales que se producen en el prototipo y cuyo comportamiento se desea conocer; puesto que modelo y prototipo están ligados el uno con el otro, las observaciones y estudio del modelo constituyen la información necesaria para comprender la naturaleza del prototipo, debiendo para ello, estar ambos relacionados.

Debido a que las simulaciones se producen bajo condiciones controladas de laboratorio los modelos hidráulicos tienen múltiples aplicaciones.

C.1. Datos de entrada a un modelo de Red de distribución de AP

Para todo modelo hidráulico se requieren determinados parámetros de entrada a estos, en el caso de redes de distribución de AP estos parámetros son características de las tuberías, es decir, longitud, diámetros y rugosidad, elementos de la red, tales como grifos, presurizadoras, estanques, válvulas de corte y reductoras de presión, , además, es necesario el ingreso de las cotas de terreno, consumo de clientes y pérdidas físicas.

C.2. Calibración modelos hidráulicos

Para que el modelo en estudio refleje las cualidades del prototipo que se trata de reproducir, es necesario verificar si es efectivamente capaz de reproducirlas o si es necesario efectuar cambios para superar todo aquello que discrepe con la realidad.

Estos pasos son esenciales antes de empezar cualquier investigación.

La calibración, generalmente, consiste en adecuar las condiciones y características físicas e hidráulicas, como rugosidad, diámetros, demanda, cotas, etc, con las del prototipo, a los que se les llama supuestos de calibración.

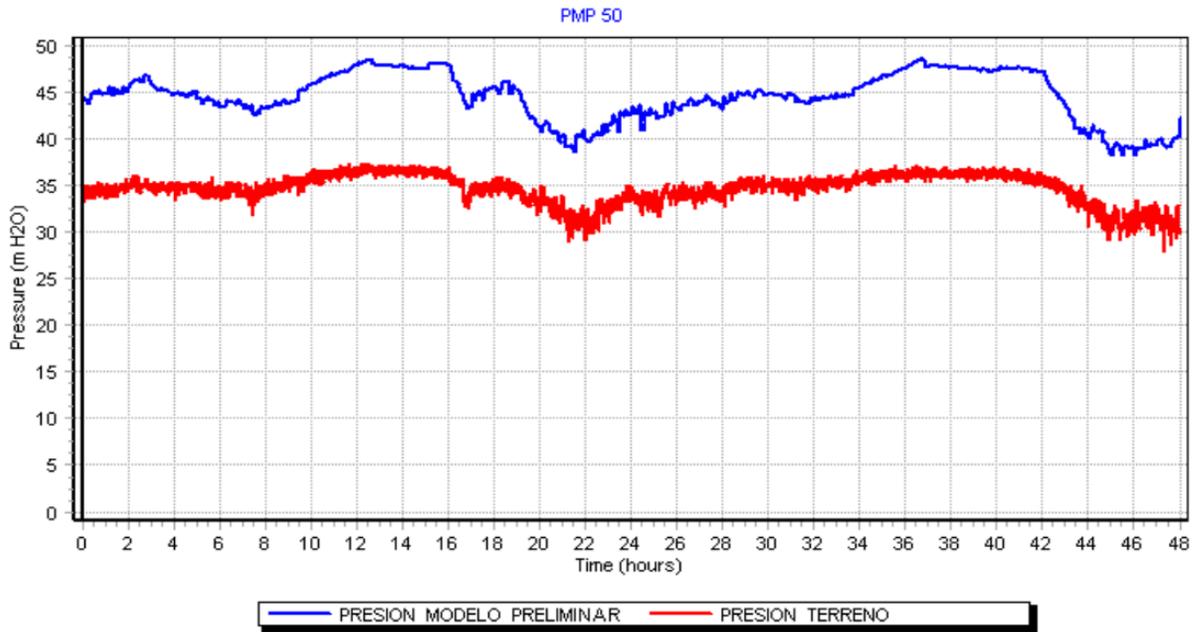


Figura C 10 Punto de control de presión no calibrado

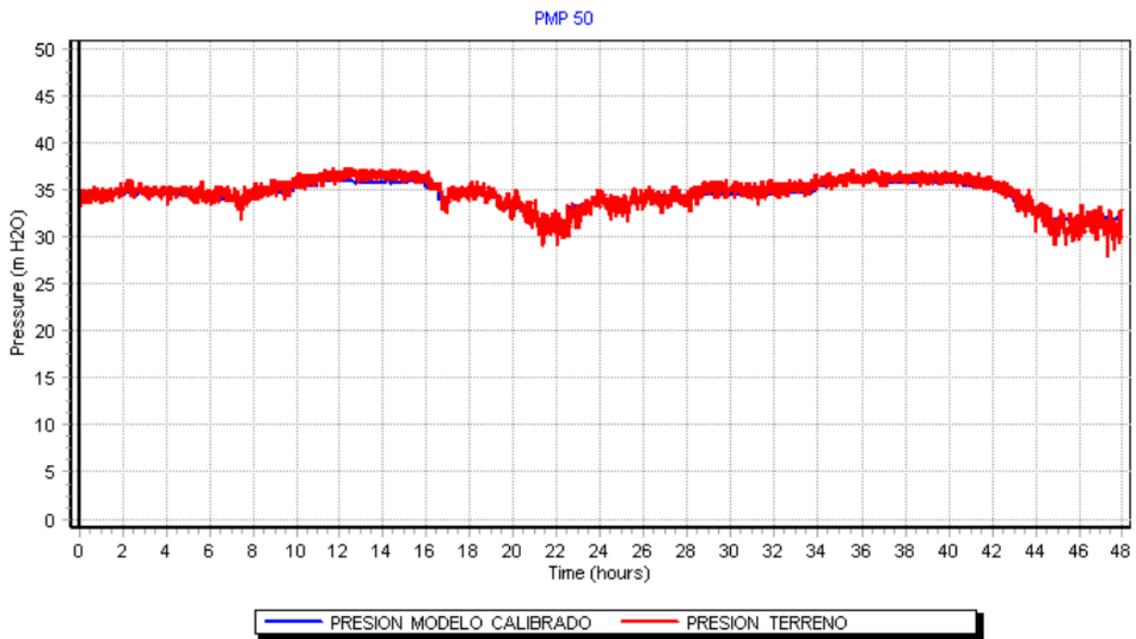


Figura C 11 Punto de control de presión calibrado

La Figura C10 compara la medición de presión entregada por el modelo hidráulico con la medición de presión obtenida en terreno, en ella se aprecia que existe una diferencia entre lo entregado por el modelo y la realizada en terreno, lo que indica que el modelo no se encuentra

calibrado. La figura C11 muestra la comparación del mismo punto después de realizar una calibración que finalmente ajusto el modelo a lo expresado en terreno y a lo que finalmente llamamos una “Calibración”.

ANEXO D: FIGURAS Y TABLAS

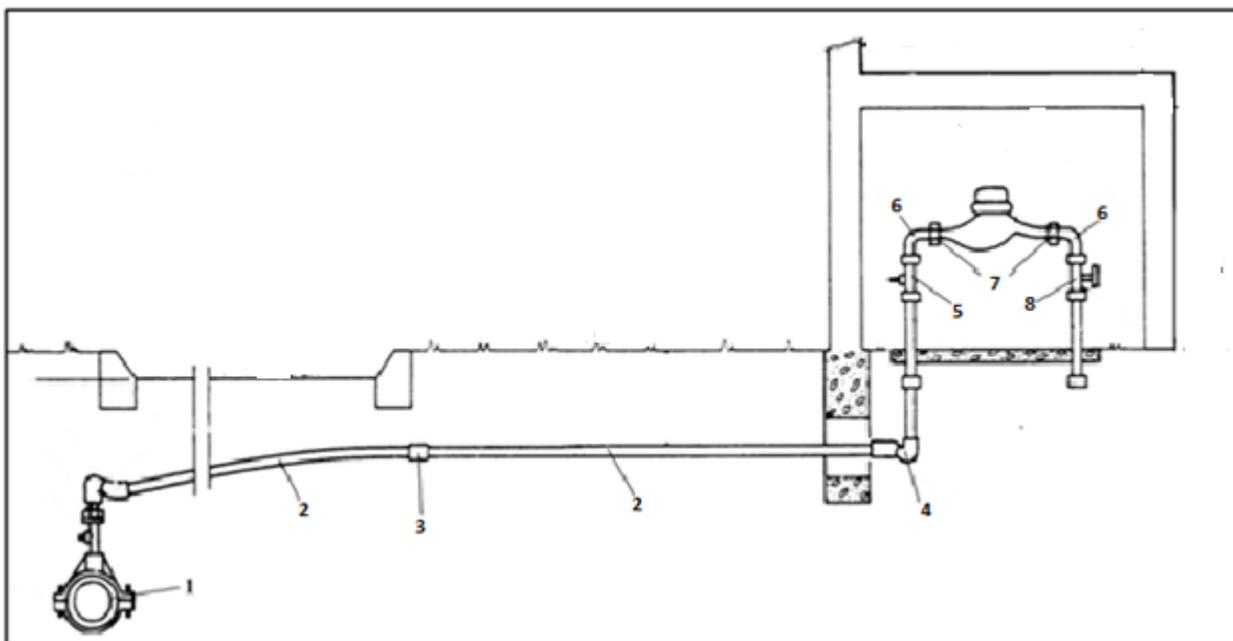


Figura D 1 Esquema tipo de un arranque de AP

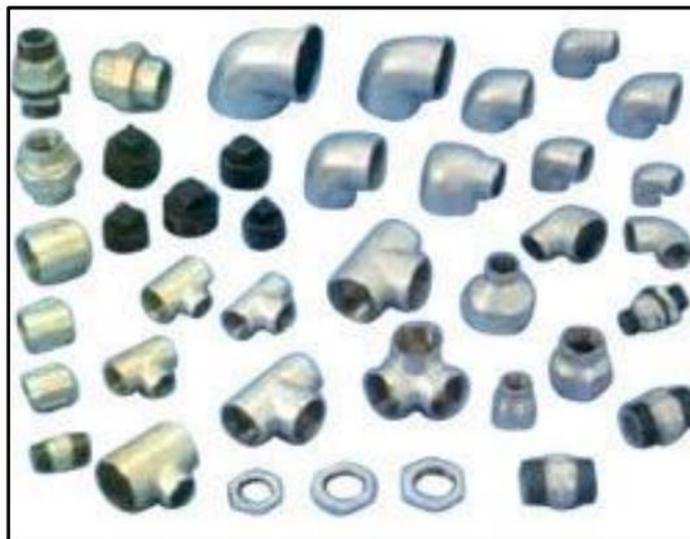


Figura D 2 Tipos de elementos de Unión



Figura D 3 Grupo de codos de cobre



Figura D 4 Grupo de Uniones Americanas de cobre



Figura D 5 Tuerca vaina o niple



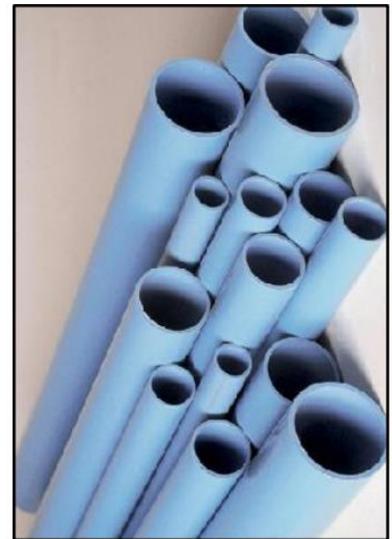
Figura D 6 Tipos de Collarines



a) Tuberías de CU



b) Tuberías de PP



c) Tuberías de PVC

Figura D 7 Tipos de tuberías

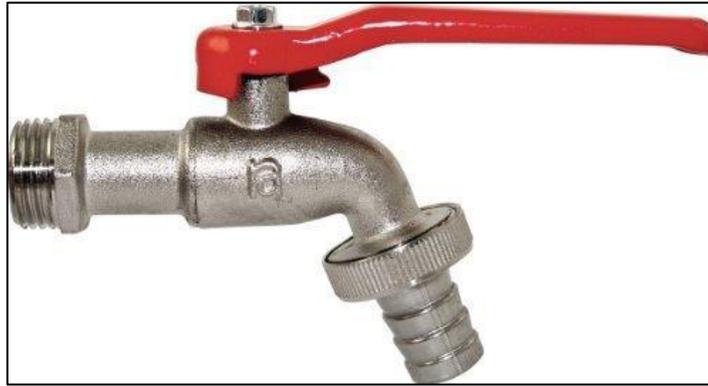


Figura D 8 Llave de paso Medidor de AP (MAP)



Figura D 9 Llave de paso vereda

Tabla D 1 Cantidad de fallas por localidad

Localidad	Total de fallas
Chiguayante	548
Chillán	64
Concepción	680
Constitución	75
Curanilahue	31
Curicó	484
Linares	180
Los Angeles	281
Lota	214
Machalí	4
Rengo	502
San Javier	130
San Pedro	511
Talcahuano	750
Total general	4454

FECHA O-TEK	ID	INSPECCIÓN		Pieza										MATERIAL		
		FECHA INSPECCIÓN	EXISTE FUGA (SI/NO)	COILAR	UNIÓN AMERICANA	COPLA DE TRANSICIÓN	TIPO TUBERÍA	LLAVE DE PASO VEREDA	AAAP CODO INFERIOR	AAAP LLAVE DE PASO	AAAP CODO SUPERIOR	AAAP TUERCA (VAINA)	MATRIZ	ARRANQUE	VARAL	
18-12-2012	2000667	14-03-2013	SI						X							CU
18-12-2012	2000737	14-03-2013	SI					X								CU
23-01-2013	2102496	14-03-2013	SI					X								CU
23-01-2013	2109216	14-03-2013	SI				X							CU		CU
27-12-2012	2261179	27-12-2012	SI							X						CU
11-12-2012	1927216	12-03-2013	SI							X						CU
11-12-2012	1927111	12-03-2013	SI							X		X	A.C	GALVANI.		
12-12-2012	1929841	12-03-2013	SI							X			A.C	GALVANI.		
13-12-2012	2096945	12-03-2013	SI							X		X				CU

Figura D 10 Planilla Excel de datos obtenidos de terreno (Fuente: ESSBIO S.A.)

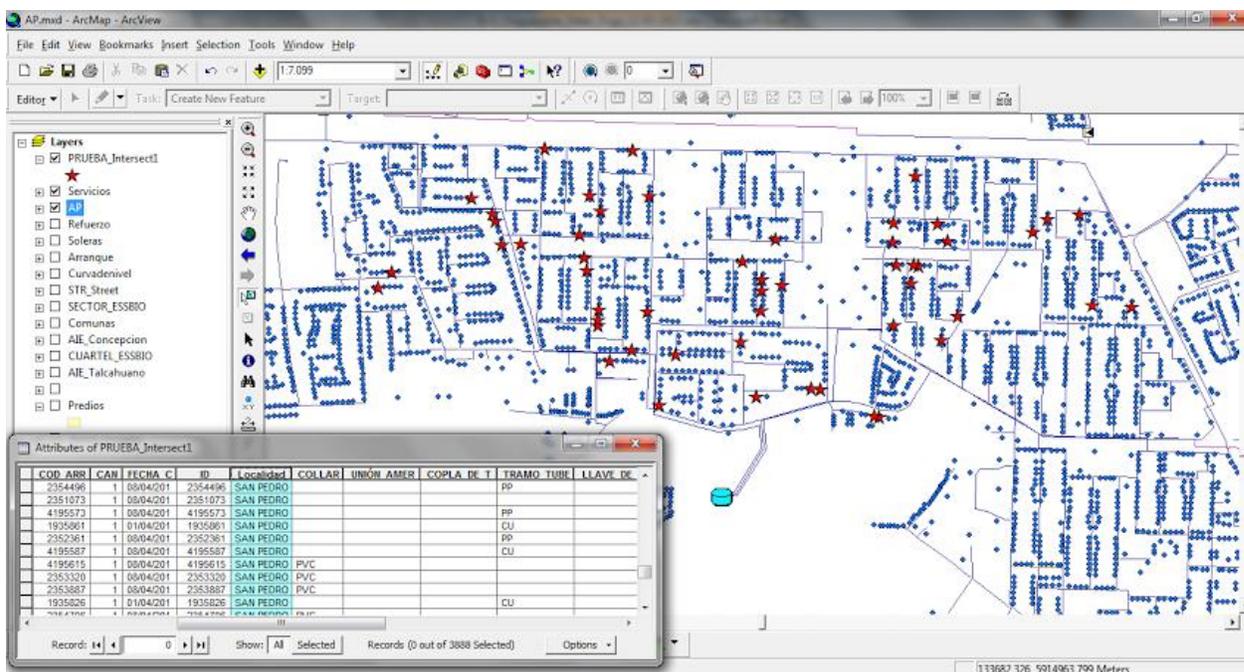


Figura D 11 Georreferenciación de fugas en ArcGis



Figura D 12 Presión máxima en Modelo Hidráulico

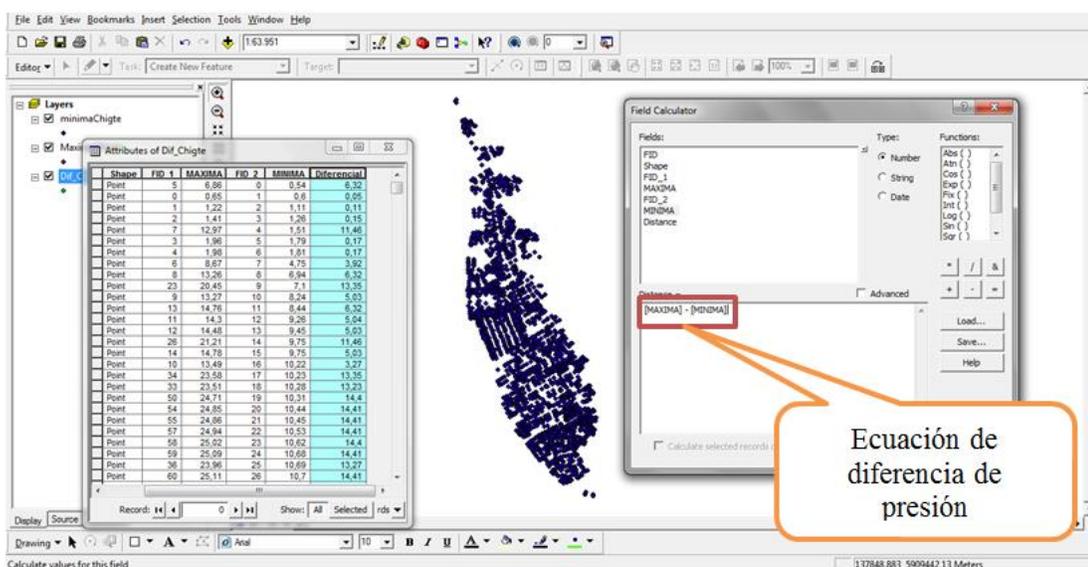


Figura D 13 Diferencia de presión mediante Field Calculator

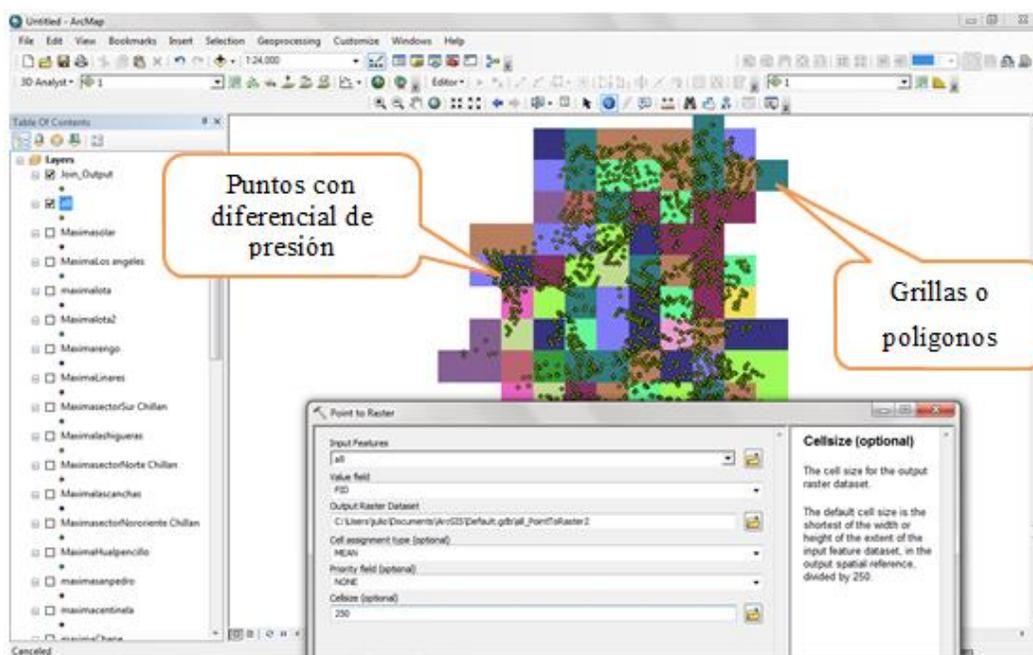


Figura D 14 Creación de punto a Raster

