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



PROYECTO DE GRADO DE ESPECIALIZACIÓN INGENIERÍA DE SISTEMAS HÍDRICOS URBANOS

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÍNIMO NOCTURNO EN LOS SECTORES DE ABASTECIMIENTO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA CIUDAD DE TUNJA – BOYACÁ

Preparado por: Javier Antonio Ramírez Ruiz

Asesor: Diego Alejandro Páez Ángel

Informe Final Proyecto De Grado

Bogotá, Febrero De 2014





TABLA DE CONTENIDO

IN	NTRODUCCIÓN	5
1	OBJETIVOS	6
2	1.1 OBJETIVOS GENERALES	6
	2.1 Fuga	
3	METODOLOGÍA	14
	3.1 METODOLOGÍA ADOPTADA PARA PRIORIZACIÓN EN LA BÚSQUEDA DE FUGAS	
4	RESULTADOS	18
	4.1 PRIORIZACIÓN PARA LA BÚSQUEDA DE FUGAS	26
5	CONCLUSIONES	30
6	BIBLIOGRAFÍA	31





ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. FUGAS COMUNES EN LAS REDES PRINCIPALES (PROACTIVA IANC)	8
FIGURA 2. FUGAS COMUNES EN ACOMETIDAS (PROACTIVA IANC)	8
FIGURA 3. GEOFONÍA (PROACTIVA IANC)	10
FIGURA 4. CURVA DE DEMANDA SECTOR 17	
FIGURA 5. EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES Y PRESIONES (PROACTIVA IANC)	16
FIGURA 6. INSTALACIÓN DE EQUIPOS REGISTRADORES DE PRESIÓN EN MACROMEDIDORES E HIDRÓMETROS DE	
ENTRADA A LOS SECTORES (PROACTIVA IANC)	16
FIGURA 7. HERRAMIENTAS DEL PROGRAMA PMAC LITE, UTILIZADO EN LA DESCARGA DE DATOS DE PRESIÓN DE	E LOS
LOGGERS (PROACTIVA IANC)	17
FIGURA 8. CONSOLIDADO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CAUDALES EN EL SISTEMA DE ACUEDUCTO	21
FIGURA 9. CONSOLIDADO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CAUDALES EN EL SISTEMA ZONA NORTE	21
FIGURA 10. CONSOLIDADO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CAUDALES EN EL SISTEMA ZONA CENTRO	22
FIGURA 11. CONSOLIDADO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CAUDALES EN EL SISTEMA ZONA SUR	22
FIGURA 12. CONSOLIDADO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CAUDALES EN EL SISTEMA ZONA ORIENTE	23
FIGURA 13. RESULTADOS GRÁFICOS PARA LA PROGRAMACIÓN DE RASTREO DE FUGAS	28
FIGURA 14. RESULTADOS GRÁFICOS PARA LA PROGRAMACIÓN DE RASTREO DE FUGAS	28
FIGURA 15. RESULTADOS GRÁFICOS PARA LA PROGRAMACIÓN DE RASTREO DE FUGAS	29





ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 MAGNITUDES DE FUGAS (PROACTIVA IANC)	7
TABLA 2 ZONIFICACIÓN Y SECTORES DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE LA CIUDAD DE TUNJA (PROACTIVA IANC)	
TABLA 3 RESULTADOS BÚSQUEDA DE FUGAS 2013 (CORTE NOVIEMBRE (PROACTIVA IANC))	12
TABLA 4 PROMEDIOS DE RECORRIDO Y RENDIMIENTO (PROACTIVA IANC)	13
TABLA 5 REGISTROS DE CAMPO, CONSOLIDADO DE LOS RESULTADOS DE LA CAMPAÑA DE MEDICIÓN PARA PRESIONE PROMEDIO	
TABLA 6 REGISTROS DE CAMPO, CONSOLIDADO DE LOS RESULTADOS DE LA CAMPAÑA DE MEDICIÓN PARA CAUDALE	ES
TABLA 7 RESULTADOS DE LAS RELACIONES DEL MÍNIMO NOCTURNO VS LONGITUD DE RED, NO. USUARIOS Y	
VOLUMEN FACTURADO	
Tabla 8 Resultados para la determinación de búsqueda de fugas	25
Tabla 9 Resultados Generales Para La Programación De Rastreo De Fugas	26





INTRODUCCIÓN

La principal estrategia operativa de gestión de redes de distribución es la reducción del índice de agua no contabilizada, tarea compuesta por diferentes labores de orden técnico entre las que vale la pena resaltar el control de presión (reducción de pérdidas técnicas), control metrológico del parque de medidores (reducción de pérdidas comerciales), búsqueda de conexiones ilegales (reducción de pérdidas comerciales), renovación de redes (reducción de pérdidas técnicas) y búsqueda de fugas no perceptibles (reducción de pérdidas técnicas), de manera continua con el objetivo de obtener resultados significativos en recuperación de caudal perdido.

Hasta la fecha, los programas de búsqueda de fugas realizados por la empresa PROACTIVA AGUAS DE TUNJA S.A. ESP., se han realizado de manera continua reportando resultados satisfactorios en identificación de daños no perceptibles y por ende reducción del porcentaje de pérdidas de la ciudad; sin embargo, estos esfuerzos no han sido planificados bajo criterios lógicos de priorización en función de la criticidad del sistema en función de las pérdidas.

Esto quiere decir, que los esfuerzos en búsqueda de fugas no se relacionan con el porcentaje de pérdidas que presente cada componente del sistema, situación que reduce considerablemente la eficiencia del programa.

En este punto vale la pena aclarar, que el sistema de acueducto de la ciudad de Tunja se encuentra sectorizado hidráulicamente en 25 sectores de distribución aislados e independientes entre sí, y que cuentan con toda la instrumentación de control requerida para operar las redes. Cada sector cuenta con un macromedidor general a la entrada que permite contabilizar y determinar la demanda del sistema en cualquier momento operativo. Esta configuración permite determinar los caudales mínimos nocturnos, que teóricamente coinciden o pueden atribuirse al momento de mínima demanda ocasionada por las fugas no perceptibles. En este sentido, se presume que existan sectores con caudales mínimos altos y sectores con caudales mínimos bajos, que analógicamente representaran altas o bajas prioridades para búsqueda y recuperación de pérdidas, identificando esta condición, es posible focalizar los esfuerzos y aumentar la eficiencia del programa de búsqueda de fugas no perceptibles.





1 OBJETIVOS

1.1 Objetivos Generales

 Determinar el caudal mínimo nocturno del sistema de acueducto de la ciudad de Tunja -Boyacá.

1.2 Objetivos Específicos

- Garantizar la medición de caudal y presión en los sectores de distribución como variables requeridas para la determinación de mínimos nocturnos.
- Descargar, procesar y analizar la información obtenida de la ejecución de planes de monitoreo para determinar el caudal mínimo nocturno.
- En función del caudal mínimo nocturno medido planificar las actividades de recuperación de pérdidas.





2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Fuga¹

Cantidad de agua que se pierde en un sistema de acueducto por accidentes en la operación, tales como rotura o fisura de tubos, rebose de tanques, o fallas en las uniones entre las tuberías y los accesorios.

2.1.1 Clasificación de las fugas

Categoría 1: Fugas muy pequeñas como exudaciones o goteos, no se detectan por técnicas normales.

Categoría 2: Fugas pequeñas que en conjunto contribuyen al desperdicio pero que se detectan mediante programas específicos de detección.

Categoría 3: Fugas grandes evidenciadas por roturas en el pavimento, agua fluyendo visiblemente, ruido en las casas, baja presión y falta de agua.

2.1.2 Clasificación por magnitud

Estas se catalogan de la siguiente manera.

Tabla 1 Magnitudes de Fugas (PROACTIVA IANC)

Designación	Magnitud (I/s)
Α	Goteo – 0,025
В	0,025 - 0,35
С	0,35 – 1,26
D	> 1,26

2.1.3 Ubicación de las fugas

• Fugas en conducciones principales: se presentan en las juntas o uniones y en el cuerpo del tubo por perforaciones y aberturas debidas a corrosión, esfuerzos concentrados y sobrepresiones.

¹ • MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS. Titulo B Pág. 24.



• Fugas en acometidas: son de menor trascendencia pero se presentan con mucha mayor frecuencia en las tuberías, roscas averiadas, racores flojos, entre otros.

En las redes principales las fugas más comunes se presentan en las válvulas, hidrantes, uniones, tuberías perforadas entre otras. (Ver Figura 1.).

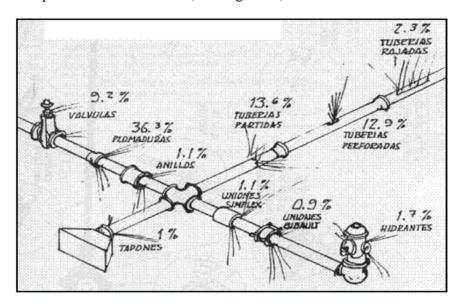


Figura 1. Fugas comunes en las redes principales (PROACTIVA IANC)

Por otra parte tenemos las fugas que como ya lo dijimos son de menor trascendencia pero de igual forma generan pérdidas de caudal en la red; estas fugas generalmente se presentan en collar de derivación, uniones, registros y e empalmes del medidor. (Ver Figura 2.).

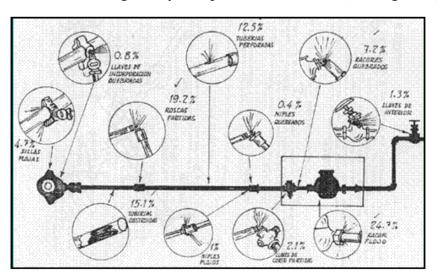


Figura 2. Fugas comunes en acometidas (PROACTIVA IANC)





2.2 Causas De Las Fugas

La causa principal es la alta presión; haciendo referencia a la teoría del orificio, la descarga por una rotura o fisura aumentará aproximadamente proporcional a la raíz cuadrada de la presión incidente sobre la misma.

Así mismo y a menos que existan tanques de almacenamiento en las viviendas, las variaciones de presión en el sistema afectarán las condiciones de consumo neto.

El efecto de la presión en las fugas de un sector, es único para ese sector y es dependiente del régimen y clase de fugas existentes en él.

La razón de descarga de una fuga individual, no es exactamente proporcional a la raíz cuadrada de la presión en el sitio de la fuga.

Por lo anterior se puede afirmar que las altas presiones contribuyen a la ocurrencia de fugas.

2.2.1 Corrosión y Acartonamiento (Edad)

El acarreo de aguas corrosivas o agresivas, así como la instalación de tuberías metálicas en medios corrosivos, causan debilitamiento de las paredes y consecuentemente roturas de las mismas.

2.2.2 Tráfico

Tuberías antiguas instaladas bajo superficies no diseñadas para el tráfico moderno, son susceptibles a fracturas, en especial aquellas con uniones rígidas. Igualmente las tuberías modernas pueden sufrir daños si la profundidad y la compactación del terreno no son adecuadas.

2.2.3 Movimiento del suelo

Se generan fugas por la expansión y contracción de suelos sobre todo arcillosos, cuyo volumen varia con el contenido de humedad.

Así mismo los temblores y terremotos y en especial el fenómeno de licuefacción, son causantes de fugas.

2.2.4 Golpe de ariete

El golpe de ariete genera fallas debidas a altas presiones que producen fracturas en tuberías y desplazamiento de los bloques de anclaje de las mismas.



2.3 Localización De Fugas

Origen y características del sonido de las fugas, El agua al escapar a presión genera vibraciones en el punto de escape y produce sonidos en frecuencias comprendidas entre 350 y 2000 Hz.

Dichos sonidos dependen de la magnitud de la fuga, el diámetro del tubo, la presión interna y la composición del material alrededor del tubo. La transmisión del sonido es proporcional a la densidad del material transmisor.

2.4 Métodos Empleados En La Localización De Fugas

2.4.1 Medición por sectores

Consiste en subdividir el sistema de distribución en sectores menores o sectores de "fugas", a los cuales se les realiza una campaña de medición y se evalúan los caudales mínimos nocturnos, utilizando los resultados para priorizar acciones de geogonía y sondeos específicos.

La metodología de campo consiste en pasar una varilla de sondeo, hidrófono, geófono o detector electrónico sobre las tuberías y accesorios.

Los equipos utilizados son de dos tipos:

Estetoscopios mecánicos

Amplificadores electrónicos, donde la señal del sonido alimenta un equipo de análisis de frecuencia que selecciona y filtra las bandas predominantes.

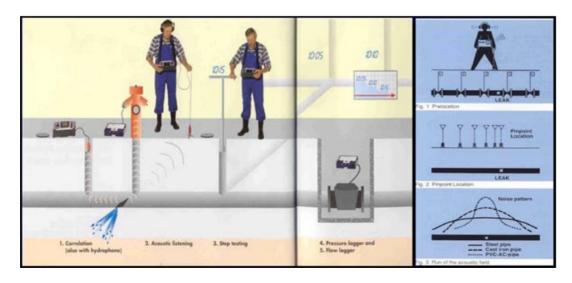


Figura 3. Geofonía (PROACTIVA IANC)





Otros métodos implementados para la detección de fugas:

- Presión diferencial.
- Trazadores: Cloro, óxido nitroso.
- Observaciones de flujo en tuberías.
- Observaciones y análisis del hundimiento del pavimento.
- Zonas de baja presión.
- Áreas con quejas concentradas de usuarios.

2.5 Descripción Del Sistema De Acueducto De La Ciudad De Tunja²

El sistema de acueducto de la ciudad de Tunja, es un sistema que opera predominantemente por gravedad, siendo abastecido por una fuente superficial, el embalse "Teatinos", sin embargo el sistema cuenta con una característica especial que le permite ser conmutado con estaciones de bombeo estratégicamente ubicadas en la ciudad. Estas estaciones de rebombeo son operadas principalmente en periodo de verano y se abastecen de la segunda fuente de suministro de la ciudad, el "agua subterránea", que es explotada por medio de 13 pozos profundos, de los cuáles 8 se encuentran en la zona oriente del valle de Tunja y los restantes se ubican en la zona norte de la ciudad. De esta manera se garantiza el suministro continuo de agua potable a la población Tunjana.

El sistema se encuentra dividido en 4 zonas hidráulicas que son: la zona norte, centro, sur y oriente, a su vez 25 sectores de abastecimiento (ver Tabla 2.).

Tabla 2 Zonificación y sectores del sistema de acueducto de la ciudad de Tunja (PROACTIVA IANC)

ZONA		SECTOR				
NORTE		1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11				
CENTRO		12, 13, 15, 16, 17, 18, 19 y 20				
ORIENTE		28 y 30				
SUR		21, 22, 23 y 24				
TOTAL ZONAS	4	TOTAL SECTORES	25			

La distribución hidráulica del sistema de acueducto de la ciudad de Tunja está conformada de la siguiente forma operacional; desde el embalse de Teatinos se capta el caudal necesario que es llevado a la planta de tratamiento por medio de una tubería en concreto reforzado; luego desde la planta se alimentan los siguientes tanques de almacenamiento que a su vez distribuyen los diferentes sectores así: Tanque Colinas que abastece el sector 22 de la zona

² •PROACTIVA AGUAS DE TUNJA S.A. E.S.P. Índice de agua no contabilizada IANC. Tunja 2013.





sur, tanque la picota que abastece los sectores 21, 23 y 24 de la zona sur, también desde este tanque se bombea caudal a los tanques el Triunfo que le dan servicio al sector 24; la planta abastece directamente al sector 20, 19 y 18 de la zona centro; tanque Circular que abastece los sectores 17 y 12 zona centro y tanque gemelos que le da servicio al sector 13 zona centro; tanque El Carmen que abastece por gravedad a un subsector del sector 16 de la ciudad de Tunja y por bombeo a los tanques gemelos del milagro, los cuales abastecen por gravedad al subsector 16.1 del sector 16 y al sector 15 de la ciudad de Tunja. También el tanque san Rafael que abastece a los sectores 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 de la zona norte de la ciudad y por medio de un bombeo de 5 pozos se le da caudal al tanque san Rafael y de la estación de bombeo de tanque centro es posible abastecer tanto la planta de tratamiento como el tanque oriente que abastece los sectores 28 y 30.

2.5.1 Resultados Del Programa De Búsqueda De Fugas - Año 2013

De manera continua, en el sistema de distribución de la ciudad de Tunja se realiza la búsqueda de fugas no perceptibles, programa que genera al año importantes resultados en la recuperación de pérdidas, y en el mejoramiento de la eficiencia en la operación del sistema.

Con el objetivo de validar o justificar la necesidad e importancia de la priorización de sectores en la búsqueda de fugas no perceptibles para el año 2014, se presentan algunos resultados de la gestión realizada durante el año 2013; que a pesar de cubrir la totalidad del sistema durante el año, se ejecutó de manera priorizada, situación que permitió focalizar los esfuerzos y maximizar los resultados. En las siguientes tablas se encuentran los resultados de búsqueda de fugas realizados en el año 2013 al igual que los Promedios de Recorrido y Rendimiento.

Tabla 3 Resultados Búsqueda De Fugas 2013 (Corte noviembre (PROACTIVA IANC))

MES	FUGAS EN RED PRINCIPAL	FUGAS EN DOMICILIARIA	TOTAL FUGAS
ENERO	2	2	4
FEBRERO	1	16	17
MARZO	9	11	20
ABRIL	6	11	17
MAYO	3	6	9
JUNIO	3	8	11
JULIO	4	13	17
AGOSTO	1	8	9
SEPTIEMBRE	3	16	19
OCTUBRE	1	6	7
NOVIEMBRE	1	12	13
TOTAL	34	109	143





Tabla 4 Promedios de Recorrido y Rendimiento (PROACTIVA IANC)

MES	LONGITUD RASTREADA (Km)	RENDIMIENTO (Km/día)	RENDIMIENTO (FUGAS /DÍA)	RENDIMIENTO (FUGAS/KM)	% RED /MES
ENERO	63,18	2,53	0,16	0,06	20%
FEBRERO	40,47	1,69	0,71	0,42	13%
MARZO	28,23	1,09	0,77	0,71	9%
ABRIL	18,11	0,79	0,74	0,94	6%
MAYO	MAYO 6,90		0,35	1,30	2%
JUNIO	31,50	1,21	0,42	0,35	10%
JULIO	17,41	0,67	0,65	0,98	6%
AGOSTO	27,75	1,07	0,35	0,32	9%
SEPTIEMBRE	29,72	1,14	0,73	0,64	10%
OCTUBRE	25,75	0,99	0,27	0,27	8%
NOVIEMBRE	19,94	0,77	0,50	0,65	6%
TOTAL	TOTAL 308,96		0,51	0,60	9%
%	TOTAL		PROME	DIO	



3 METODOLOGÍA

3.1 Metodología Adoptada Para Priorización En La Búsqueda de Fugas

Teóricamente, dentro de la curva de distribución temporal de la demanda existen diferentes puntos característicos que representan el uso del agua en el sistema. Entre ellos vale la pena resaltar el punto de máximo consumo o de máxima demanda que coincide con las horas de máximo uso o gasto del agua por parte de los usuarios (generalmente ocurre en las primeras horas de la mañana de las 7 a las 12 horas); otro punto característico es el caudal medio que representa el comportamiento típico general del sistema y permite analizar la demanda general de agua en las redes y finalmente se presenta el tercer punto característico, el caudal mínimo nocturno (que ocurre normalmente en horas de la madrugada de las 0 a las 4 horas) y que coincide con el momento en el cual existe la menor demanda de agua en el sistema, este valor está conformado con consumos nocturnos conocidos y pérdidas de agua por fugas no perceptibles. Al analizar el menor valor entre los mínimos nocturnos, se puede asociar este valor exclusivamente a una demanda provocada por fugas no perceptibles. De aquí la importancia de medir y caracterizar los caudales mínimos nocturnos de cada uno de los sectores de distribución como indicador del porcentaje de pérdidas y por ende de la prioridad del mismo dentro del programa de búsqueda y recuperación de fugas.

Como guía de interpretación, se presenta la curva de demanda del sector 17 del acueducto de Tunja, (Ver Figura 4.) en donde se pueden observar los puntos representativos de consumo en el sistema, para el particular, los puntos de interés obedecen a los caudales mínimos nocturnos.

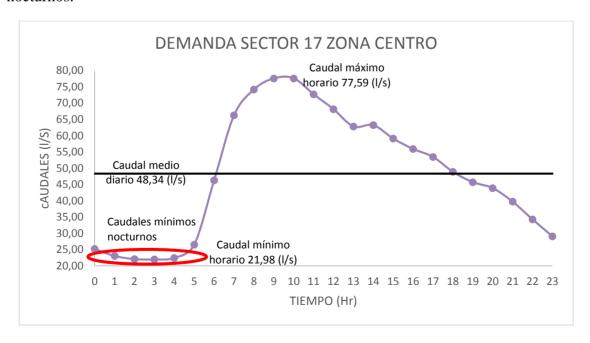


Figura 4. Curva De Demanda Sector 17





Por lo tanto, se inicia con la determinación del caudal mínimo nocturno de cada sector, este trabajo se obtiene ejecutando planes de monitoreo de caudal en las entradas (punto de medición de caudal) de cada sector.

Determinado el caudal mínimo nocturno, se realiza la suposición de que este valor corresponde directamente con el caudal demandado por las fugas (asumiendo consumos nocturnos a la hora crítica iguales a cero); en este sentido, el caudal mínimo nocturno será el caudal de fugas a recuperar en cada sector.

Sin embargo, es necesario realizar mediciones adicionales, ya que el mínimo nocturno por sí mismo no puede considerarse como factor de prioridad en la búsqueda de fugas, y por lo tanto se relaciona el caudal con otros factores que caracterizan cada sector como son: número de suscriptores facturados, metros cúbicos facturados por mes y longitud de redes del sector. Esta relación genera valores unitarios que representan de mejor manera la prioridad en búsqueda de fugas. La relación se hace dividiendo los caudales mínimos en cada sector entre cada factor.

El criterio seleccionado para lograr la relación entre el mínimo nocturno y la longitud de tubería de cada sector; que a su vez se relacionada con el rendimiento promedio en rastreo de red (1.11 km/día) permite al final obtener la variable tiempo como criterio de planificación a lo largo del año.

En este sentido los primeros sectores a investigar son aquellos en los cuales la relación mínimo nocturno – longitud de red es mayor.

3.2 Plan De Monitoreo

Esta actividad fue fundamental para el desarrollo del proyecto, y consiste en la medición de variables hidráulicas de comportamiento del sistema de acueducto en campo, la medición de caudales y presiones se realiza con equipos automáticos de registro y almacenamiento de datos, denominados Datalogger (ver Figura 5.), previamente programados para condiciones hidráulicas del sector. Estos equipos registran pulsos los cuales son interpretados posteriormente como caudal por el equipo. Manejan rangos de 0-100 m.c.a. y de 0-200 m.c.a. los cuales son dispuestos en los diferentes puntos de monitoreo, que para el caso fueron macromedidores e hidrómetros en las entradas de cada uno de los sectores.





Figura 5. Equipos utilizados para la medición de caudales y presiones (PROACTIVA IANC)

Esta tarea de medición se realizó para los 25 sectores que comprenden el sistema de acueducto de la ciudad, el registro realizado por los equipos generan una gran cantidad de valores (aproximadamente cada 15 min), posteriormente los datos medidos fueron llevados a promedios horarios completando el nivel semanal de medida; esta medición fue igual para los veinticinco (25) sectores del sistema de acueducto y que reportan el comportamiento general de caudales y presiones de entrada a los sectores del sistema; luego la descarga de estos datos es analizada relacionada con el fin del ejercicio.





Figura 6. Instalación de equipos registradores de presión en macromedidores e hidrómetros de entrada a los sectores (PROACTIVA IANC)

Los datos registrados por el datalogger, se descargan mediante el programa PMAC Lite, para luego ser procesados en Microsoft Office Excel.





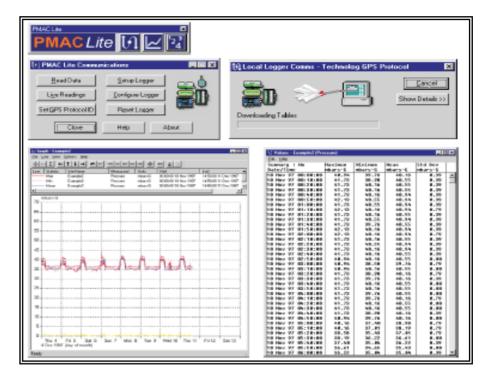


Figura 7. Herramientas del programa PMAC Lite, utilizado en La descarga de datos de presión de los Loggers (PROACTIVA IANC)

Estos resultados permiten la producción y análisis de información como: promedios de presión, presiones máximas y mínimas por punto de monitoreo, horas de máximas y mínimas presiones, también es posible presentar los datos de forma Adicionalmente dentro de este proceso de medición, procesamiento y análisis de información de campo se trabajan los datos de caudal registrados, los cuales representan el valor y comportamiento de la demanda del sistema, (es decir la curva de demanda característica para el sector).





4 RESULTADOS

Del plan piezométrico se puede resaltar que el sector con mayor presión promedio corresponde al 15, el cual se encuentra dentro de los rangos admisibles.

Tabla 5 Registros de campo, consolidado de los resultados de la campaña de medición para presiones promedio

Sector	Presión Promedio (mca)	Sector	Presión Promedio (mca)	
1	54,63	15	64,25	
2	54,00	16	29,20	
3	60,50	17	42,94	
4	48,48	18	41,00	
5	57,53	19	25,96	
6	57,53	20	44,14	
7	62,92	21	38,08	
8	34,96	22	39,31	
9	42,29	23	56,60	
10	34,76	24	49,63	
11	34,76	28	45,70	
12	45,31	30	48,81	
13	47,90			

De igual forma se puede resaltar que el sector con el mayor valor en cuanto a caudal mínimo nocturno es el 17, evidenciando altos caudales, valores que se presentan en altas horas de la madrugada.





Tabla 6 Registros de campo, consolidado de los resultados de la campaña de medición para caudales

		CAUDAL (I/s)													
HORA	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6	Sector 7	Sector 8	Sector 9	Sector 10	Sector 11	Sector 12	Sector 13	Sector 15	Sector 16
0,00	4,23	3,93	5,63	4,93	0,90	0,73	3,13	5,87	0,73	2,84	3,69	4,90	16,07	3,01	1,01
1,00	3,90	3,65	5,36	4,56	0,74	0,63	2,98	5,20	0,63	2,58	3,21	4,34	14,84	2,65	0,87
2,00	3,75	3,45	4,92	4,35	0,64	0,66	3,11	4,96	0,66	2,51	3,02	4,20	11,98	2,50	0,73
3,00	3,76	3,57	4,64	4,30	0,62	0,59	3,03	4,84	0,59	2,40	2,82	4,97	11,26	2,70	0,73
4,00	3,96	3,99	4,60	4,40	0,70	0,83	3,14	5,28	0,83	2,43	2,86	5,63	11,54	3,01	1,18
5,00	6,01	5,52	6,23	6,04	1,24	1,98	4,36	8,65	1,98	3,06	3,33	9,83	15,85	4,85	3,02
6,00	12,13	10,30	10,79	11,81	3,53	4,55	8,28	18,21	4,55	6,28	5,56	20,80	26,01	8,18	7,47
7,00	12,79	13,24	13,33	13,99	4,93	5,21	10,38	22,02	5,21	7,84	7,98	26,18	35,16	9,19	8,96
8,00	12,40	13,97	13,88	15,30	6,13	5,76	12,02	22,02	5,76	7,93	10,12	27,71	40,14	9,09	9,72
9,00	12,75	15,27	13,96	16,15	7,06	6,22	16,12	21,94	6,22	7,62	11,78	27,02	40,70	9,75	10,23
10,00	12,64	15,69	13,26	16,80	7,35	6,15	14,43	21,40	6,15	7,31	12,78	29,01	40,07	9,92	10,40
11,00	12,10	14,94	13,25	16,51	7,97	6,03	14,59	20,52	6,03	7,02	13,19	34,52	37,57	10,18	10,04
12,00	11,04	13,60	12,70	16,04	7,60	5,40	13,39	19,03	5,40	6,46	12,73	27,34	33,61	9,19	9,21
13,00	10,22	12,80	11,75	15,49	6,94	4,80	12,49	17,71	4,80	6,08	11,99	24,80	31,60	8,08	8,13
14,00	9,59	12,03	11,31	14,68	6,27	4,40	12,09	16,81	4,40	6,34	11,67	22,10	29,48	7,78	7,68
15,00	8,65	11,56	10,60	12,86	5,39	4,13	11,52	14,97	4,13	6,61	11,30	18,45	25,30	7,27	6,49
16,00	8,28	10,64	9,92	11,42	4,41	3,85	9,49	15,42	3,85	5,87	10,27	16,22	23,42	6,62	5,86
17,00	7,98	9,69	9,40	10,24	3,99	3,39	8,52	14,05	3,39	5,50	9,05	15,69	24,20	6,52	5,58
18,00	7,45	9,67	9,17	10,30	3,69	3,13	8,28	13,93	3,13	5,24	8,41	15,59	22,47	6,36	5,03
19,00	7,38	8,25	8,77	9,99	3,37	3,13	7,73	13,58	3,13	4,74	7,50	15,45	21,83	5,83	5,24
20,00	7,14	7,78	8,69	9,47	3,06	2,78	7,43	13,92	2,78	4,55	7,02	14,65	19,10	5,45	4,44
21,00	6,35	6,76	8,06	8,33	2,35	1,91	6,19	12,12	1,91	4,28	6,11	12,40	14,62	4,32	3,30
22,00	5,48	5,44	7,50	6,85	1,60	1,42	4,92	9,41	1,42	4,21	5,12	9,06	15,68	3,61	2,22
23,00	4,95	4,50	6,51	5,97	1,13	0,94	3,87	7,19	0,94	3,30	4,37	6,32	15,09	2,93	1,32
Promedio	8,12	9,18	9,34	10,45	3,82	3,28	8,39	13,71	3,28	5,13	7,74	16,55	24,07	6,21	5,37
Máximo	12,79	15,69	13,96	16,80	7,97	6,22	16,12	22,02	6,22	7,93	13,19	34,52	40,70	10,18	10,40
Mínimo	3,75	3,45	4,60	4,30	0,62	0,59	2,98	4,84	0,59	2,40	2,82	4,20	11,26	2,50	0,73





Continuación Tabla 6.

	Caudal (I/s)											
Sector 17	Sector 18	Sector 19	Sector 20	Sector 21	Sector 22	Sector 23	Sector 24	Sector 28	Sector 30			
25,22	0,83	3,37	1,74	3,09	2,54	2,29	4,69	14,98	8,17			
23,06	0,73	3,06	1,35	2,60	2,22	2,15	4,69	13,69	7,24			
22,10	0,90	3,37	1,53	2,36	2,18	2,01	4,51	13,25	7,08			
21,98	0,80	3,37	1,42	2,29	2,22	2,12	4,51	13,15	6,80			
22,44	0,94	3,40	1,67	2,53	2,82	2,43	4,97	13,95	7,81			
26,51	2,05	4,72	3,51	4,97	4,76	3,72	7,26	21,28	11,99			
46,27	6,88	8,89	8,99	11,94	8,37	7,08	13,19	40,70	20,72			
66,23	6,04	11,15	10,87	15,69	9,60	9,17	14,13	51,34	25,08			
74,17	6,18	12,67	10,56	16,32	9,40	9,10	14,51	55,56	28,43			
77,59	6,46	19,55	11,25	16,49	11,90	9,74	14,73	58,43	29,61			
77,59	6,81	15,42	10,75	16,15	11,11	10,08	14,50	59,20	29,51			
72,69	6,98	14,36	10,28	15,38	9,64	9,52	14,17	58,66	61,09			
68,13	6,67	12,16	9,72	14,34	8,57	8,61	13,39	55,73	69,28			
62,81	6,32	11,67	9,09	13,58	8,02	8,21	12,46	51,62	62,11			
63,23	5,80	11,76	7,98	12,92	7,50	7,42	11,63	47,18	61,74			
59,10	5,07	11,27	7,22	11,28	6,60	7,38	11,55	41,49	50,75			
55,90	4,55	9,93	6,35	9,89	5,96	6,87	10,51	37,40	47,56			
53,47	4,29	9,34	6,35	9,05	6,21	6,22	9,69	35,76	46,12			
48,89	3,82	8,89	5,94	9,06	6,87	6,39	9,90	35,56	43,26			
45,71	3,78	8,51	5,90	8,82	6,07	5,45	9,62	34,23	42,46			
43,89	3,33	8,23	5,49	8,30	5,75	5,07	9,03	32,62	41,67			
39,72	2,81	7,08	4,69	7,19	4,52	4,41	7,60	28,41	36,92			
34,29	1,91	5,69	3,40	5,28	3,41	3,44	6,28	22,74	31,81			
29,07	1,94	4,44	2,29	4,13	2,54	2,71	5,31	17,75	25,62			
48,34	4,00	8,85	6,18	9,32	6,20	5,90	9,70	35,61	33,45			
77,59	6,98	19,55	11,25	16,49	11,90	10,08	14,73	59,20	69,28			
21,98	0,73	3,06	1,35	2,29	2,18	2,01	4,51	13,15	6,80			





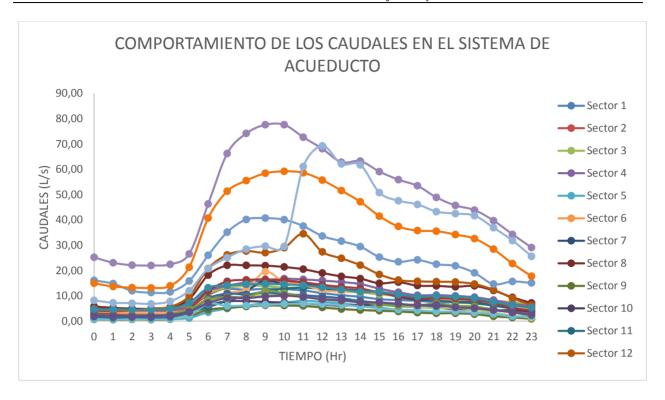


Figura 8. Consolidado del comportamiento de los caudales en el sistema de acueducto

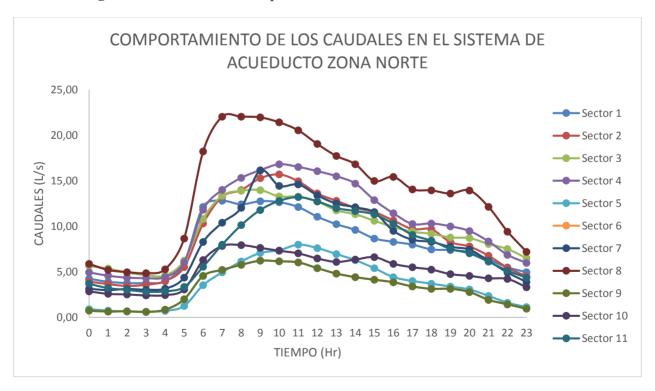


Figura 9. Consolidado del comportamiento de los caudales en el sistema zona Norte





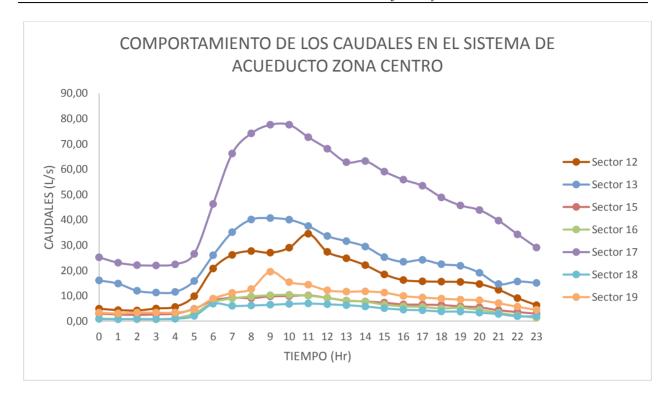


Figura 10. Consolidado del comportamiento de los caudales en el sistema zona Centro

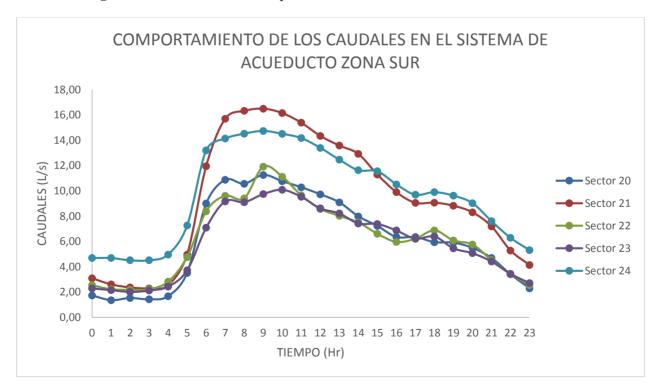


Figura 11. Consolidado del comportamiento de los caudales en el sistema zona Sur



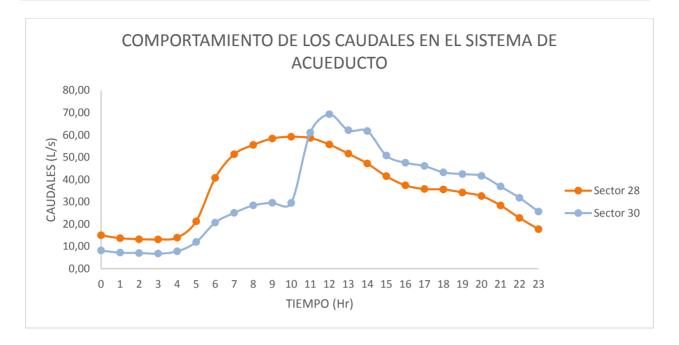


Figura 12. Consolidado del comportamiento de los caudales en el sistema zona Oriente

Las relaciones establecidas con el caudal mínimo nocturno y longitud de red establece el criterio para la priorización de búsqueda de fugas, según los resultados obtenidos, de igual forma se presentan los resultados correspondientes a las relaciones establecidas entre el caudal mínimo nocturno y número de usuarios y volumen facturado.

Tabla 7 Resultados de las relaciones del mínimo nocturno Vs longitud de red, No. Usuarios y Volumen facturado

		Consumo Promedio Usuarios (L/s)								
	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6				
Promedio Consumo Facturado m³	16.238,00	16.004,00	22.690,0	17.769,0	16.636,0	20.691,0				
No. Usuarios	1.473,00	772,00	1.940,00	1.627,00	1.321,00	1.743,00				
Longitud Tubería (m)	16.697,50	15.073,00	12.702,1	7.726,80	12.002,7	15.994,0				
Qmín / No. Usuarios	0,00255	0,00446	0,00237	0,00264	0,00047	0,00034				
Qmín / m³ Facturados	0,00023	0,00022	0,00020	0,00024	0,00004	0,00003				
Qmín / m red	0,00022	0,00023	0,00036	0,00056	0,00005	0,00004				
Consumo Teórico	11,08	5,81	14,59	12,24	9,94	13,11				
Promedio Caudal (campo)	8,12	9,18	9,34	10,45	3,82	3,28				
Diferencia	2,96	3,37	5,25	1,79	6,12	9,84				





Continuación Tabla 7.

		Consum	o Promedio	Usuarios	(L/s)	
	Sector 7	Sector 8	Sector 9	Sector 10	Sector 11	Sector 12
Promedio Consumo Facturado m ³	14.118,0	31.695,0	18.395,0	9.368,0	17.350,0	35.687,0
No. Usuarios	1.180,00	2.660,00	1.646,0	1.006,0	1.707,0	3.278,00
Longitud Tubería (m)	11.463,0	17.320,2	9.201,0	9.994,1	6.298,0	23.481,2
Qmín / No. Usuarios	0,00253	0,00182	0,00036	0,00239	0,00165	0,00128
Qmín / m³ Facturados	0,00021	0,00015	0,00003	0,00026	0,00016	0,00012
Qmín / m red	0,00026	0,00028	0,00006	0,00024	0,00045	0,00018
Consumo Teórico	8,88	20,01	12,38	7,57	12,84	24,66
Promedio Caudal (campo)	8,39	13,71	3,28	5,13	7,74	16,55
Diferencia	0,48	6,30	9,11	2,44	5,10	8,11

Continuación Tabla 7.

	Consumo Promedio Usuarios (L/s)							
	Sector 13	Sector 15	Sector 16	Sector 17	Sector 18	Sector 19		
Promedio Consumo Facturado m ³	37.185,0	10.489,0	16.164,0	70.336,0	18.577,0	10.763,0		
No. Usuarios	2.257,0	803,0	1.176,0	5.699,0	1.485,0	674,0		
Longitud Tubería (m)	16.202,8	9.577,1	19.654,8	27.603,9	6.597,7	4.077,7		
Qmín / No. Usuarios	0,00499	0,00311	0,00062	0,00386	0,00049	0,00453		
Qmín / m³ Facturados	0,00030	0,00024	0,00005	0,00031	0,00004	0,00028		
Qmín / m red	0,00070	0,00026	0,00004	0,00080	0,00011	0,00075		
Consumo Teórico	16,98	6,04	8,85	42,87	11,17	5,07		
Promedio Caudal (campo)	24,07	6,21	5,37	48,34	4,00	8,85		
Diferencia	7,09	0,17	3,48	5,46	7,18	3,77		





Continuación Tabla 7.

	Consumo Promedio Usuarios (L/s)						
	Sector 20	Sector 21	Sector 22	Sector 23	Sector 24	Sector 28	Sector 30
Promedio Consumo Facturado m³	15.257,0	20.537,0	9.669,0	11.848,0	17.332,0	65.854,0	29.711,0
No. Usuarios	1.084,0	1.631,0	987,0	812,0	1.276,0	7.079,0	2.406,0
Longitud Tubería (m)	9.119,8	11.508,1	12.211,8	7.169,8	40.466,7	63.184,6	29.822,9
Qmín / No. Usuarios	0,00125	0,00141	0,00221	0,00248	0,00354	0,00186	0,00283
Qmín / m³ Facturados	0,00009	0,00011	0,00023	0,00017	0,00026	0,00020	0,00023
Qmín / m red	0,00015	0,00020	0,00018	0,00028	0,00011	0,00021	0,00023
Consumo Teórico	8,16	12,27	7,43	6,11	9,60	53,26	18,10
Promedio Caudal (campo)	6,18	9,32	6,20	5,90	9,70	35,61	33,45
Diferencia	1,97	2,95	1,22	0,21	0,10	17,65	15,35

Tabla 8 Resultados para la determinación de búsqueda de fugas

Sector	Q.mín / No. Usuarios	Q.mín / m³ Facturados	Q.mín / m red	
1	0,002546	0,000231	0,000225	
2	0,004463	0,000215	0,000229	
3	0,002373	0,000203	0,000362	
4	0,002642	0,000242	0,000556	
5	0,000470	0,000037	0,000052	
6	0,000339	0,000029	0,000037	
7	0,002527	0,000211	0,000260	
8	0,001820	0,000153	0,000280	
9	0,000359	0,000032	0,000064	
10	0,002390	0,000257	0,000241	
11	0,001651	0,000162	0,000447	
12	0,001282	0,000118	0,000179	
13	0,004990	0,000303	0,000695	
15	0,003113	0,000238	0,000261	
16	0,000620	0,000045	0,000037	
17	0,003856	0,000312	0,000796	
18	0,000491	0,000039	0,000111	
19	0,004533	0,000284	0,000749	



Sector	Q.mín / No. Usuarios	Q.mín / m³ Facturados	Q.mín / m red		
20	0,001249	0,000089	0,000148		
21	0,001405	0,000112	0,000199		
22	0,002211	0,000226	0,000179		
23	0,002480	0,000170	0,000281		
24	0,003538	0,000260	0,000112		
28	0,001857	0,000200	0,000208		
30	0,002825	0,000229	0,000228		

4.1 Priorización Para La Búsqueda De Fugas

Luego de establecer los sectores más vulnerables en presentar posibles fugas no perceptibles, se establecerá en orden jerárquico de importancia en cuanto al valor unitario reportado para cada sector en relación al caudal mínimo nocturno y longitud de red; de esta forma se establece el cronograma de actividades para la búsqueda de fugas, teniendo en cuenta el rendimiento, el total de red que se debe abarcar y finalmente se establecen los tiempos promedios para rastrear la red y así poder comprender el total de sectores del acueducto.

Tabla 9 Resultados Generales Para La Programación De Rastreo De Fugas

Qmín / No.		Qmin / m³		Qmín / L. Red		Rendimiento Promedio	Longitud	Tiempo Estimado	
Us	Usuarios		turado	QIIIII / L. IXeu		km/día	(m)	Días	Semanas
Sector 13	0,004990	Sector 17	0,000312	Sector 17	0,000796		16.697,50	15,04	3
Sector 19	0,004533	Sector 13	0,000303	Sector 19	0,000749	1,11	15.073,00	13,58	2
Sector 2	0,004463	Sector 19	0,000284	Sector 13	0,000695		12.702,10	11,44	2
Sector 17	0,003856	Sector 24	0,000260	Sector 4	0,000556		7.726,80	6,96	1
Sector 24	0,003538	Sector 10	0,000257	Sector 11	0,000447		12.002,70	10,81	2
Sector 15	0,003113	Sector 4	0,000242	Sector 3	0,000362		15.994,00	14,41	2
Sector 30	0,002825	Sector 15	0,000238	Sector 23	0,000281		11.463,00	10,33	2
Sector 4	0,002642	Sector 1	0,000231	Sector 8	0,000280		17.320,20	15,60	3
Sector 1	0,002546	Sector 30	0,000229	Sector 15	0,000261		9.201,00	8,29	1
Sector 7	0,002527	Sector 22	0,000226	Sector 7	0,000260		9.994,10	9,00	2
Sector 23	0,002480	Sector 2	0,000215	Sector 10	0,000241		6.298,00	5,67	1





Om	Qmín / No. Qmin / m³				Rendimiento	Longitud	Tiempo Estimado		
1	uarios		turado	Qmín	/ L. Red	Promedio km/día	(m)	Días	Semanas
Sector 10	0,002390	Sector 7	0,000211	Sector 2	0,000229		23.481,20	21,15	4
Sector 3	0,002373	Sector 3	0,000203	Sector 30	0,000228		16.202,80	14,60	2
Sector 22	0,002211	Sector 28	0,000200	Sector 1	0,000225		9.577,10	8,63	1
Sector 28	0,001857	Sector 23	0,000170	Sector 28	0,000208		19.654,80	17,71	3
Sector 8	0,001820	Sector 11	0,000162	Sector 21	0,000199		27.603,90	24,87	4
Sector 11	0,001651	Sector 8	0,000153	Sector 12	0,000179		6.597,70	5,94	1
Sector 21	0,001405	Sector 12	0,000118	Sector 22	0,000179		4.077,70	3,67	1
Sector 12	0,001282	Sector 21	0,000112	Sector 20	0,000148		9.119,80	8,22	1
Sector 20	0,001249	Sector 20	0,000089	Sector 24	0,000112		11.508,10	10,37	2
Sector 16	0,000620	Sector 16	0,000045	Sector 18	0,000111		12.211,80	11,00	2
Sector 18	0,000491	Sector 18	0,000039	Sector 9	0,000064		7.169,80	6,46	1
Sector 5	0,000470	Sector 5	0,000037	Sector 5	0,000052		40.466,70	36,46	6
Sector 9	0,000359	Sector 9	0,000032	Sector 16	0,000037		63.184,60	56,92	9
Sector 6	0,000339	Sector 6	0,000029	Sector 6	0,000037		29.822,90	26,87	4

De acuerdo a lo anterior podemos observar que de acuerdo a la relación del caudal mínimo nocturno con el Número de Usuarios el sector con mayor índice es el sector 13; por otra parte de las relaciones del caudal mínimo nocturno con los volúmenes de agua facturado y la longitud de red podemos notar que estas tiene un mayor valor para el sector 17.

De manera gráfica se establecerán las priorizaciones para poder tener una visión más clara en cuanto a los sectores más vulnerables y aquello que presentan menor prioridad para la búsqueda de fugas.





Figura 13. Resultados gráficos para la programación de rastreo de fugas

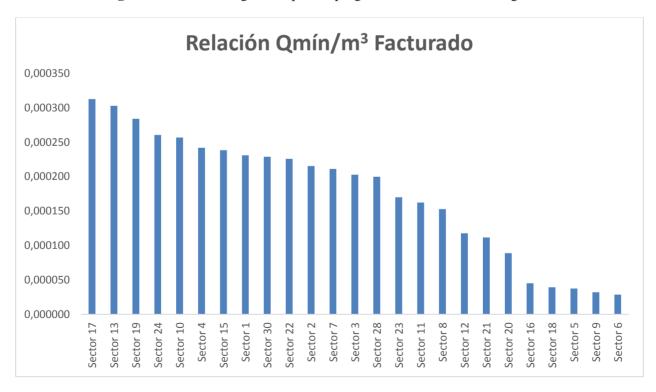


Figura 14. Resultados gráficos para la programación de rastreo de fugas





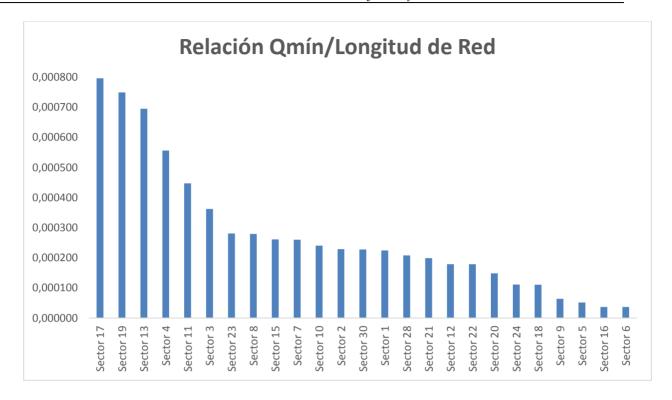


Figura 15. Resultados gráficos para la programación de rastreo de fugas





5 CONCLUSIONES

- De acuerdo a la campaña de medición se pudo determinar que el caudal máximo mínimo nocturno es de 21,98 L/s, y se presenta en el sector 17 a las tres (3) de la mañana, lo que indica que es uno de los sectores con mayor probabilidad de presentar fugas no perceptibles.
- Establecida la priorización en relación a los caudales mínimos y el número de usuarios, el sector con mayor influencia en posibles fugas no perceptibles es el sector 13.
- Según la relación establecida entre el caudal mínimo nocturno y el volumen facturado el sector 17 se destaca como el de mayor índice respecto a posibles fugas no perceptibles.
- El criterio seleccionado fue la relación entre el mínimo nocturno y la longitud de tubería y de acuerdo a la priorización encontramos que el sector 17 presenta la mayor relación de mínimo nocturno longitud de red, en este sentido, es el sector prioritario para investigar pérdidas no perceptibles.
- El sector 6 presento menor prioridad en cuanto a los tres criterios relacionados, lo cual nos indica que los valores de pérdidas son muy bajos.
- Las presiones promedios reportadas en los sectores están en el orden de los 25,96 a 64,25 metros de columna de agua, lo cual indica que no se presentan sobre presiones en las redes que permitan generar daños en la red.
- Si bien el método empleado para la priorización de búsqueda de fugas se relacionó entre el caudal mínimo nocturno y la longitud de la red por sector, es importante descartar que en el sector se realicen actividades industriales que generan consumos en las horas donde se presentan esos caudales.
- Para implementar este método de rastreo de fugas es importante comparar anualmente los valores encontrados, y realizar un cotejo con las actividades económicas y operativas en los sectores para obtener mayor veracidad con los índices.
- El control y disminución de las pérdidas representa beneficios para un mejor desempeño ambiental asociado a la menor extracción realizada sobre las fuentes de agua de la ciudad, garantizando mayor vida útil de igual o mayor caudal ecológico disponible en las cuencas. Lo anterior, permite suministrar mayor caudal de disponible para abastecer la creciente demanda de la población; igualmente permite ampliar la vida útil de la infraestructura instalada y garantizar continuidad y calidad del servicio en términos de caudal y presión.





6 BIBLIOGRAFÍA

- LARRY. Mays. Hydraulic Design Handbook. McGraw-Hill. Michigan USA. 1999.
- MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Resolución No. 1096 del 17 de Noviembre de 2000, por la cual se adopta el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS.
- MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS. Titulo B. Pág. 24.
- PÉREZ Carmona, Rafael. El Agua, Escala 1988.
- PROACTIVA AGUAS DE TUNJA S.A. E.S.P. Índice de agua no contabilizada IANC. Tunja 2013.