

**DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS COMERCIALES EN EL SECTOR
HIDRÁULICO CAFÉ MADRID UTILIZANDO LA METODOLOGÍA PARA LA
DEFINICIÓN DE PLANOS ÓPTIMOS DE PRESIONES**

ANDRÉS FELIPE LÓPEZ BRICEÑO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

**DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS COMERCIALES EN EL SECTOR
HIDRÁULICO DE CAFÉ MADRID UTILIZANDO LA METODOLOGÍA PARA LA
DEFINICIÓN DE PLANOS ÓPTIMOS DE PRESIONES.**

ANDRÉS FELIPE LÓPEZ BRICEÑO

**Trabajo de Grado en la modalidad de práctica empresarial para optar al título
de Ingeniero Civil**

Director

LUIS FERNANDO CASTAÑEDA GALVIS

Ingeniero Civil, MS.c

Tutor

ING.JOLMAN LOZANO PICO

Ingeniero Mecánico

Especialista en Gerencia de Mantenimiento

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

A mis Padres Pedro Enrique López y Carmen Ruth Briceño por su cariño y apoyo incondicional, porque siempre estuvieron pendientes de mí para que nada me hiciera falta.

A mi Hermano Jefferson Camilo López por su compañía y apoyo en esta ruta de la vida.

A mi abuelo Juan de Jesús el cual me estuvo protegiendo y guiando, sin estar presente físicamente.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia quiero agradecerle a Dios por este logro en mi vida, gracias por hacer realidad mis sueños.

A mi familia, Padres y Hermano, por su apoyo y ayuda absoluta.

A la familia Ayala López y en especial a mi tía Blanca, los cuales me brindaron toda su ayuda durante toda mi carrera.

A mis abuelos Víctor Manuel López, Aura María prieto y Rosa Álvarez los cuales me apoyaron incondicionalmente durante este proceso de formación.

Al profesor Luis Fernando Castañeda Galvis, el cual me ayudo con su conocimiento, su orientación y su disponibilidad durante el desarrollo de la práctica.

Al ingeniero Jolman Lozano por brindarme la oportunidad de trabajar en la división de Atención Técnica Domiciliaria del amb.

A mis amigos, compañeros y docentes, por su apoyo y contribución en mi formación como profesional.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS	18
1.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
2. INFORMACIÓN CORPORATIVA	19
2.1 MISIÓN	20
2.2 VISIÓN.....	20
2.3 PROPÓSITO EMPRESARIAL	20
2.4 POLITICA DE GESTIÓN INTEGRADA.....	21
2.5 NATURALEZA JURIDICA.....	21
2.6 ACCIONISTAS.....	22
2.7 JUNTA DIRECTIVA	22
2.8 ORGANIGRAMA.....	23
3. MARCO CONCEPTUAL	24
3.1 DEFINICIONES	24
3.2 CALIBRACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.	27

3.2.1. Variables hidráulicas.....	27
3.2.2. Variables topológicas.....	28
3.2.3. Variables de calibración.....	28
3.3. METODOLOGÍA DE CALIBRACIÓN USADO POR EL CIACUA.....	28
3.3.1. Modelo Inicial.....	29
3.3.2. Línea Base 1.....	29
3.3.3. Línea Base 2.....	30
3.3.4. Modelo Unificado.....	31
4. METODOLOGIA DE PLANO ÓPTIMO DE PRESIONES Y REDUCCIÓN DE AGUA NO CONTABILIZADA.....	32
4.1 GENERALIDADES.....	32
4.1.1 Localización del sector de estudio.....	32
4.2 CATRASTRO DE REDES.....	33
4.2.1 Materiales.....	33
4.2.2 Diámetros.....	34
4.2.3 Funcionamiento y localización del tanque.....	35
4.2.4 Válvulas de presión existentes en el sector.....	35
4.2.5 Usuarios.....	36
4.3 CATRASTRO DE MEDIDORES.....	39

4.3.1 Clases.....	39
4.3.2 Fechas de Instalación.....	39
4.3.3 Medidores detenidos.....	40
4.4 MACROMEDICIÓN Y MICROMEDICIÓN EN EL SECTOR.....	41
4.4.1 Consumo promedio.....	42
4.4.2 Critica a las mediciones realizadas.....	43
4.4.3 Periodos de medición	44
4.4 ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE AGUA NO CONTABILIZADA.....	45
4.5 LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN DE CAUDAL Y DE PRESIÓN	46
4.5.1. Medición de presión.....	46
4.5.2. Medición de caudal.....	46
4.6 MODELAMIENTO HIDRAULICO PRELIMINAR.....	47
4.6.1. Características del modelo hidráulico preliminar para el sector.....	47
4.6.2. Curva de modulación.....	48
4.7 CALIBRACIÓN DEL SECTOR.....	50
4.7.1. Modelo Inicial.....	50
4.7.2. Línea Base 1.....	51
4.7.3. Línea Base 2.....	56
4.7.4 Modelo unificado.....	63

4.7.5 Análisis del índice de agua no contabilizada.....	64
4.7.6 Localización de zonas de demandas desconocidas.	66
4.7.7 Localización de zonas con posibles fugas.	67
5. CONCLUSIONES	69
6. RECOMENDACIONES.....	71
BIBLIOGRAFIA.....	72

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Matriz de Balance de Agua propuesta por el IWA	17
Tabla 2 .Accionistas del amb S.A E.S.P	22
Tabla 3 .Junta directiva del amb S.A E.S.P	22
Tabla 4. Registros de macromedición.....	41
Tabla 5. Cálculos de los volúmenes de macromedición y micromedición más el volumen estimado con crítica.....	44
Tabla 6. Cálculos de los volúmenes de micromedición más el volumen estimado con crítica.	45
Tabla 7. IANC para las campañas de micromedición en el sector.....	45
Tabla 8.Listado de nodos de medición de presión.....	46
Tabla 9. Equivalencias entre diámetros nominales a reales para tuberías de PVC	52
Tabla 10. Escenarios más representativos para el análisis por demandas.	53
Tabla 11. Factores multiplicadores para el análisis por emisores.....	54
Tabla 12. Coeficientes de Escenarios por emisores	55
Tabla 13. Escenario de demandas para la conformación de la Línea Base 2.	56
Tabla 14. Escenario de emisores para la conformación de la Línea Base 2.	57
Tabla 15. Escenarios para el análisis por diámetros.....	58
Tabla 16. Escenarios para el análisis por pérdidas menores.....	60
Tabla 17. Escenarios para el análisis por pérdidas menores.....	61
Tabla 18. IANC para facturación y campaña de micromedición.	65

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Gráfico Índice de Agua No Contabilizada Anual (2003-2014).....	17
Figura 2. Logo Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P	19
Figura 3. Organigrama Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P	23
Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de calibración.	29
Figura 5. Localización del sector de Estudio.....	32
Figura 6. Distribución porcentual de material.....	33
Figura 7. Distribución porcentual de diámetros.....	34
Figura 8. Esquema distribución de Diámetros	34
Figura 9. Esquema del Tanque Ferrovías.....	35
Figura 10. Válvulas reguladoras de presión existentes en el sector	36
Figura 11. Distribución porcentual según el Tipo de usuario.	36
Figura 12. Distribución porcentual según estrato para usuarios residenciales	37
Figura 13. Georeferenciación de usuarios derecha (estrato1) izquierda (estrato2)	37
Figura 14. Distribución porcentual según estrato para usuarios Comerciales, Industriales o institucionales.	38
Figura 15. Georeferenciación de usuarios derecha (estrato7) izquierda (estrato8)	38
Figura 16. Distribución porcentual de medidores.....	39
Figura 17. Fechas de instalación de medidores.....	40
Figura 18. Histograma de Frecuencias de los consumos del periodo comprendido entre el 16 de Agosto y el 30 de Agosto de 2014	41
Figura 19. Histograma de Frecuencias de los consumos del periodo comprendido entre el 30 de Agosto y el 13 de Septiembre de 2014	42
Figura 20. Histograma de Frecuencias de los consumos del periodo comprendido entre el 13 de Septiembre y el 27 de Septiembre de 2014	42
Figura 21. Consumo Promedio	43
Figura 22. Puntos de medición de caudal y presión en la red	46
Figura 23. Ejemplo de asignación de usuarios a los nodos de consumo.....	48
Figura 24. Curva de modulación del sector Café Madrid	49
Figura 25. Modelamiento hidráulico preliminar de la red.....	50
Figura 26. Para el modelo inicial, Grafica de Caudal de entrada al sector (Verde) y caudal del modelo (Negro).....	51
Figura 27. Caudal de entrada al sector (Verde) y caudal de la línea base 1 (Negro).	52
Figura 28. Comportamiento del punto de medición de caudal del sector Café Madrid en el análisis por demandas.	53

Figura 29. Comportamiento del punto de medición de Caudal del sector Café Madrid en el análisis por Emisores.	56
Figura 30. Caudal de entrada al sector (Verde) y caudal de la línea base 2 (Negro).	57
Figura 31 . Comportamiento del punto de medición de Caudal del sector Café Madrid en el análisis por Diámetros.	58
Figura 32. Grafica de presión del sector Café Madrid en el análisis por Diámetros en el nodo 8643	59
Figura 33. Comportamiento del punto de medición de Caudal del sector Café Madrid en el análisis por perdidas menores	60
Figura 34. Grafica de presión del sector Café Madrid en el análisis por perdidas menores en el nodo 8643	61
Figura 35. Comportamiento del punto de medición de Caudal del sector Café Madrid en el análisis por rugosidades.....	62
Figura 36. Grafica de presión del sector Café Madrid en el análisis por rugosidades en el nodo 8643.....	62
Figura 37. Comportamiento del punto de medición de Caudal del sector Café Madrid para el modelo unificado.	63
Figura 38. Grafica de presión del sector Café Madrid para el modelo unificado en el nodo 8643	64
Figura 39. Caudal medido en el sector, caudal del modelo con datos de facturación y caudal del modelo con datos de campaña de micromedición.	65
Figura 40. Diferencia entre demanda del modelo calibrado y el modelo inicial. Localización de demandas desconocidas.....	67
Figura 41. Demanda en hora de mayor presión (3:00 AM) localización de pérdidas Técnicas.	68

RESUMEN

TITULO: PRÁCTICA EMPRESARIAL DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS COMERCIALES EN EL SECTOR HIDRÁULICO DE CAFÉ MADRID UTILIZANDO LA METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DE PLANOS ÓPTIMOS DE PRESIONES*.

AUTOR: ANDRES FELIPE LÓPEZ BRICEÑO.**

PALABRAS CLAVE: Agua No Contabilizada; Pérdidas Comerciales; Micromedición y Consumo Facturado.

DESCRIPCIÓN:

El índice de Agua no contabilizada, IANC, es un indicador de gestión empresarial muy importante para las empresas de acueducto, es la diferencia entre el volumen que capta el sistema de acueducto y el volumen de agua que se entrega y factura a los usuarios. El volumen de agua no contabilizada, está compuesto por pérdidas técnicas y comerciales. Las pérdidas comerciales afectan directamente los ingresos económicos por facturación del servicio de acueducto, la reducción de dichas pérdidas ayuda a obtener mayores ingresos a partir de los volúmenes de agua que están siendo consumidos pero que no se están facturando. Las principales causas generadoras de las pérdidas comerciales, es por submedición en la micromedición o por conexiones clandestinas.

Para el Acueducto metropolitano de Bucaramanga amb S.A E.S.P es importante el control del agua no facturada como lo son las pérdidas técnicas y comerciales, las cuales se pueden generar debido a fugas en las redes de distribución de agua e instalaciones de redes clandestinas en sectores de la ciudad, ya que estas representan gastos y detrimento económico para la empresa. Por medio de la metodología de Planos óptimos de presiones se pretende determinar las pérdidas comerciales que se generan en el sector de Café Madrid en la ciudad de Bucaramanga Santander a través del análisis de lecturas consecutivas de micromedidores y análisis hidráulico de la red de distribución, realizando una calibración con los parámetros que deben ser tenidos en cuenta y que gobiernan el comportamiento hidráulico de la red.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis Fernando Castañeda Galvis, Ingeniero Civil. Tutor. Jolman Lozano Pico, Ingeniero Mecánico, Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

ABSTRACT

TITLE: DETERMINATION OF TRADING LOSSES ON SECTOR HYDRAULIC CAFÉ MADRID USING THE METHODOLOGY DEFINITION OF PLANS FOR OPTIMUM PRESSURE*.

AUTHOR: ANDRÉS FELIPE LÓPEZ BRICEÑO.**

KEYWORDS: Not accounted water; Commercial losses; metering; Billed consumption.

DESCRIPTION:

The rate of unaccounted water, UFW, is a very important indicator for water companies' business management, is the difference between the volume that captures the water system and the volume of water delivered and bill users. The volume of unaccounted water is composed of technical and commercial losses. Commercial losses directly affect income for water service billing, reducing such losses helps to get higher revenues from the volumes of water are being consumed but are not being billed. The main root causes of commercial losses, is sub-metering in the metering or illegal connections.

For the Metropolitan Aqueduct of Bucaramanga amb S.A E.S.P is important to control unbilled water such as technical and commercial losses, which can be generated due to leakage in the distribution networks of water or fraudulent users in parts of the city, as these represent costs and economic detriment to the company. Through the methodology of optimal pressures plans it is to determine the commercial losses generated in the area of Café Madrid in the city of Bucaramanga Santander through the analysis of consecutive readings of micrometers and hydraulic analysis of the distribution network, making a calibration with the parameters to must be taken into account and that govern the hydraulic behavior of the network.

* Degree Work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineerings. Civil Engineering School. Director: Eng. M. Sc. Luis Fernando Castañeda Galvis. Tutor. Eng. Jolman Lozano Pico.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial empresas del sector de agua potable han aumentado su interés en el control del agua no facturada con el objetivo de incrementar la eficiencia en la explotación de fuentes hídricas¹, logrando una optimización de la infraestructura existente y generando un aumento en la eficiencia económica de las empresas ya que se reduce la cantidad de agua demandada por sector sin afectar el consumo que demandan los usuarios.

El acueducto metropolitano de Bucaramanga (*amb*) S.A E.S.P en sus 99 años de funcionamiento se ha caracterizado por ser una de las empresas más acreditadas del departamento de Santander prestando los servicios domiciliarios de acueducto y saneamiento básico en el área metropolitana de Bucaramanga (A.M.B)², asegurando así la sostenibilidad ambiental, económica y social.

Para el *amb* es importante el control del agua no facturada y entre ellas el control de las pérdidas técnicas y comerciales que se generan debido a fugas en las redes de distribución e instalaciones de redes clandestinas en sectores de la ciudad ya que estas pérdidas representan gastos y detrimento económico para la empresa.

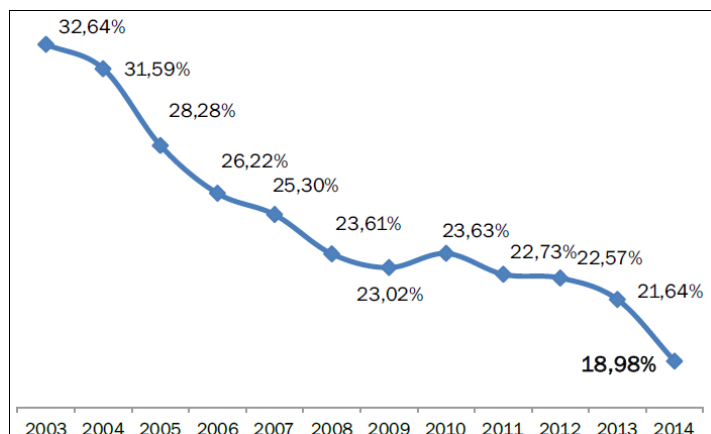
Uno de los indicadores operacionales más representativos es el Índice de Agua No Contabilizada (IANC). Este parámetro mide la eficiencia que tienen las empresas entre producción y facturación, desde los primeros comparativos de seguimiento realizados por parte de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga ha sido una de las empresas más eficientes en cuanto al IANC pues en los últimos años se evidencia la tendencia

¹ Centro de Investigación de acueductos y alcantarillados CIACUA. Metodología para la definición de planos óptimos de presiones y reducción de agua no contabilizada. Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, 2006.

² Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P. Gestión de sustentabilidad 2013.

decreciente y ratifica la gestión en el control de presiones, reducción de daños y gestión de facturación.

Figura 1. Gráfico Índice de Agua No Contabilizada Anual (2003-2014).



Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P.

El IANC incluye la pérdida técnica, la pérdida no técnica y el consumo legal no facturado, los dos últimos constituyen la pérdida comercial, para la clasificación de las pérdidas técnicas y comerciales, se ha utilizado la matriz de Balance de agua propuesta por el International Water Balance³.

Tabla 1. Matriz de Balance de Agua propuesta por el IWA

PRODUCCIÓN NETA	Consumo Legal	Consumo Legal Facturado	Consumo Facturado Medido	Facturación	Agua Facturada
			Consumo Facturado No Medido		
		Consumo Legal No Facturado	Consumo No Facturado Medido	Pérdida Comercial	
			Consumo No Facturado No Medido		
	Pérdidas de agua	Pérdida No Técnica	Consumo ilegal	Pérdida Comercial	
			Errores Medición y Facturación		
		Pérdida Técnica	Fugas Transmisión y Distribución	Pérdida Técnica	
			Vertimientos Tanques Almacenamiento		
		Fugas Conexiones a Medidores Clientes			
				Agua No Facturada	

Fuente: CRA, (2007) Adaptación al español del Internacional Water Balance propuesto por el IWA.

³ CRA. Proyecto de Reducción de pérdidas de Agua Potable y Reforma del Marco Regulador. Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. Disponible en: <http://www.cra.gov.co/>

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las pérdidas comerciales en el sector hidráulico Café Madrid aplicando la metodología para la definición de planos óptimos de presiones desarrollada por el amb y el CIACUA (Centro de investigación de acueductos y alcantarillados de la universidad de los Andes).

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar el sector de estudio (redes y usuarios) a partir de la información suministrada por el amb.
- Determinar los patrones de consumo necesarios para realizar el modelamiento hidráulico.
- Definir puntos temporales de medición de caudal y presión por medio del modelamiento hidráulico preliminar del sector realizado mediante el software EPANET y utilizar los puntos existentes de medición.
- Analizar los datos de la campaña de micromedición realizada en el sector.
- Calibrar el modelo con los datos reales para así obtener el modelamiento hidráulico definitivo del sector.

2. INFORMACIÓN CORPORATIVA

Figura 2. Logo Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P



Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P

NOMBRE	ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P.
DIRECCIÓN	Diagonal 32 No 30 ^a -51 Bucaramanga
TELEFONOS	6320220-Call Center 6322000
PAGINA WEB	www.amb.com.co
ACTIVIDAD	Empresa de Servicios Públicos.
GERENTE	LUDWIG STÜNKEL GARCIA
AFILIACIONES	Cámara de Comercio de Bucaramanga.

El acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P⁴ es una empresa prestadora de servicios públicos domiciliarios, de carácter mixto que se rige por los principios y normativas de la ley 142 de 1994, y está sujeta a la regulación de la comisión de regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, CRA y es vigilada y controlada por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, SSPD.

Nace en el año 1916 como una empresa cuyo objetivo primordial es la prestación del servicio de acueducto; el amb actualmente cuenta con aproximadamente 245.000 suscriptores, distribuidos en los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón, atendiendo aproximadamente una población que representa cerca de

⁴ Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P. Gestión de sustentabilidad 2013.

1.200.000 habitantes, los cuales se benefician al recibir el líquido en las mejores condiciones de tratamiento y calidad, lista y apta para el consumo humano ya que cumple con los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud.

Se suma en importancia y relevancia para el acueducto el control de pérdidas de Agua que solo llega al 25.51% el más bajo de todo el país y de América Latina (42%).

2.1 MISIÓN

Prestar el servicio de acueducto, asegurando la Sostenibilidad Ambiental, Económica y Social.

2.2 VISIÓN

Ser una empresa de servicios públicos competitiva y reconocida en los mercados nacionales e internacionales, construyendo valor y garantizando la Sostenibilidad Financiera, Ambiental y Social.

2.3 PROPÓSITO EMPRESARIAL

Prestación de los servicios domiciliarios de acueducto y saneamiento básico, así como las actividades complementarias al mismo en las localidades que integran el área Metropolitana de Bucaramanga y demás municipios vecinos a los cuales se extienda la prestación de estos servicios, y, en general, en cualquier lugar del país o del exterior, que, por vía contractual, se convenga en esta gestión.

Producir y distribuir aguas con valor agregado en forma complementaria y venta de energía en la medida en que su infraestructura genere este producto.

Prestar servicios de asesoría y asistencia de carácter técnico, operativo, comercial, administrativo e institucional a sistemas de acueducto y saneamiento básico.

Participar como socia de otras Empresas de Servicios Públicos.

Asociarse con personas nacionales o extranjeras, formar consorcios, uniones temporales o cualquier tipo de asociación que la Ley permita.

2.4 POLITICA DE GESTIÓN INTEGRADA

El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. ESP como organización líder en la prestación de servicios públicos domiciliarios, en el marco de relaciones de cooperación y beneficio mutuo, ofrece a sus partes interesadas productos y servicios de calidad, cumpliendo con la legislación y normativa vigente.

Comprometido con la mejora continua y como empresa Socialmente Responsable, el amb asegura la gestión transparente y efectiva de sus procesos y la administración de los riesgos asociados con la prestación del servicio.

Trabaja en la preservación del Medio Ambiente, la prevención de la contaminación y el control de los aspectos ambientales.

Fomenta una cultura preventiva y de control sobre los eventos de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional, brindando un mejor entorno laboral.

2.5 NATURALEZA JURIDICA

El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga E.S.P. S.A., es una Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios, de nacionalidad colombiana, de carácter mixto, estructurada bajo el esquema de sociedad por acciones.

El Acueducto se encuentra regulado por la ley 142 de 1994, por las disposiciones que la sustituyan, modifiquen o reglamenten; por los estatutos del Acueducto y por las normas del Código de Comercio en lo pertinente a las sociedades anónimas.

Su nombre está seguido por las letras "E.S.P.", que significan Empresa de Servicios Públicos.

Su duración será de carácter indefinido, pero podrá disolverse y liquidarse en los casos y bajo los procedimientos establecidos por la Ley y en los estatutos del Acueducto.

2.6 ACCIONISTAS

Tabla 2 .Accionistas del amb S.A E.S.P

SECTOR PUBLICO	
Municipio de Bucaramanga	78.6557 %
República de Colombia-Ministerio de Hacienda	15.5135 %
Municipio de Girón	0.9082 %
Municipio de Floridablanca	0.5926 %
Departamento de Santander	0.1509 %
Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB	0.0002 %
SECTOR PRIVADO	
Particulares varios(256)	0.1317 %
Acciones propias readquiridas	3.9472 %
TOTAL	101 %

Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P.

2.7 JUNTA DIRECTIVA

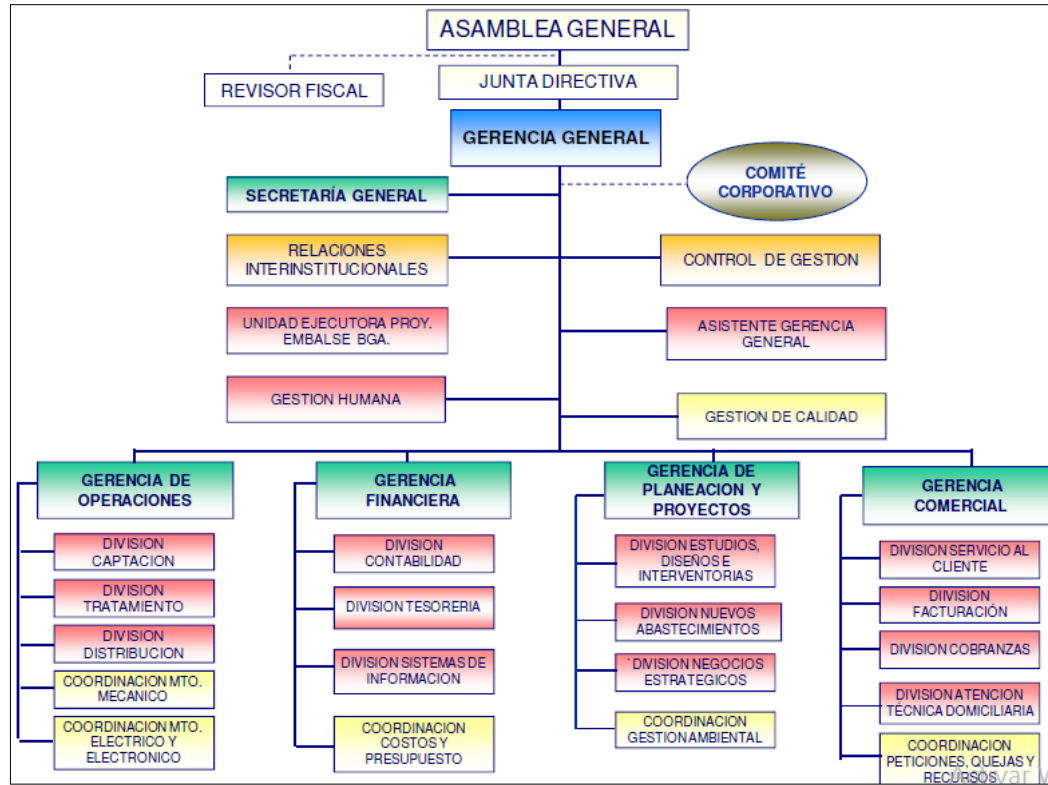
Tabla 3 .Junta directiva del amb S.A E.S.P

NOMBRE	CARGO
MIEMBROS PRINCIPALES	
Dr. LUÍS FRANCISCO BOHÓRQUEZ PEDRAZA	Alcalde de Bucaramanga
Dr. CESAR AUGUSTO GUEVARA BELTRAN	Director CAJASAN
Dr. JUAN CAMILO BELTRAN DOMINGUEZ	Director Ejecutivo Camara de Comercio Santander
Ing. HÉCTOR JOSUÉ QUINTERO	Alcalde San Juan de Girón
Dra. MARÍA EUGENIA CAVANZO	Sector Financiero
DR. RODRIGO JOYA ARENALES	Personal
Dr. DIEGO IGNACIO RIVERA MANTILLA	Ministerio de Hacienda y Crédito Público
MIEMBROS SUPLENTE	
DR CLEMENTE LEON OLAYA	Secretario de Infraestructura Municipio
Dra. CLAUDIA PATRICIA URIBE RODRIGUEZ	Decana Facultad Arquitectura U. Santo Tomás Aquino – USTA
Dr. CARLOS ROBERTO AVILA AGUILAR	Alcalde de Floridablanca
Dr. ALBERTO MUNAR VIDARTE	Gerente Banco de Bogotá
Dr. GERARDO RINCON MURCIA	Accionistas Minoritarios
Dra. CARMEN CECILIA SIMIJACA	Jefe Oficina Jurídica Municipio de Bucaramanga

Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P.

2.8 ORGANIGRAMA

Figura 3. Organigrama Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P



Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1 DEFINICIONES

Se presentan a continuación una serie de definiciones que están directamente relacionadas con la determinación de pérdidas comerciales que son necesarias para la comprensión del contexto de trabajo que se desarrolló⁵.

- **AGUA NO CONTABILIZADA:** Corresponde a la diferencia entre el volumen de agua tratada y el volumen de agua facturada en un sistema de acueducto.
- **ACOMETIDA CLANDESTINA O FRAUDULENTA:** Acometida o derivación de acueducto o alcantarillado no autorizada por la entidad prestadora del servicio.
- **AFORO:** Procedimiento por medio del cual se mide o estima la cantidad de agua que utiliza normalmente un usuario.
- **ASENTAMIENTO SUBNORMAL:** Es aquel cuya infraestructura de servicios presenta serias deficiencias por no estar integrada totalmente a la estructura formal urbana.
- **CATASTRO DE USUARIOS:** Listado de la respectiva persona prestadora, que contiene los usuarios del servicio con sus datos identificadores.
- **CLASE DE MEDIDOR:** Hace referencia a la clasificación metrológica sobre la calidad del medidor establecida en la norma técnica colombiana NTC

⁵ BLANCO PEREZ, Sergio Javier. Monografía como requisito para optar el título de Especialista en alta Gerencia. Propuesta de un plan de acción para la reducción de pérdidas comerciales derivadas del agua no contabilizada en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2008.

1063-1. Está determinada por los valores correspondientes al caudal mínimo y al caudal de transición. Anteriormente se denominaba por las cuatro primeras letras mayúsculas del abecedario A, B, C o D, organizadas de menor a mayor siendo la clase A la de menor calidad y clase D la mayor calidad, actualmente se denomina por una nueva clasificación en donde se reacciona el Q4/Q3 donde Q4 es el caudal de sobrecarga y Q3 es el Caudal permanente, actualmente existen 18 clasificaciones según la relación Q4/Q3.

- **CONSUMO:** Volumen de agua facturado a un usuario. En condiciones normales de funcionamiento del medidor, es la resultante entre dos lecturas tomadas al medidor, en un tiempo determinado.
- **CONSUMO BÁSICO:** Es el consumo ubicado en la franja entre 20 metros cúbicos y 40 metros cúbicos mensuales.
- **CONSUMO COMPLEMENTARIO:** Es el consumo ubicado en la franja de 20 metros cúbicos mensuales y 40 metros cúbicos mensuales.
- **CONSUMO PROMEDIO HISTÓRICO:** Es el consumo resultante del promedio de consumo de los últimos 6 meses.
- **CONSUMO SUNTUARIO:** Es el consumo mayor de 40 metros cúbicos mensuales.
- **DERIVACIÓN FRAUDULENTO:** Conexión realizada a partir de una acometida, o de una instalación interna o de tanques de un inmueble independiente, que no ha sido autorizada por la entidad prestadora del servicio.

- **GEOREFERENCIACIÓN DE SUSCRIPTORES:** Ubicación espacial y representación gráfica de los suscriptores en el mapa del área de prestación de servicios de la empresa.
- **INDICE DE AGUA NO CONTABILIZADA (IANC):** Porcentaje de volumen de agua no facturada con relación al volumen entregado por las plantas de tratamiento al sistema de acueducto (producción neta). El IANC incluye la pérdida técnica, pérdida no-técnica y el consumo legal no facturado. La suma de los dos últimos componentes constituye la pérdida comercial.
- **MEDIDOR:** Dispositivo que mide y acumula el consumo de agua de un usuario del sistema de acueducto.
- **MACROMEDIDOR:** Es un medidor instalado en uno o varios de los componentes del sistema de acueducto.
- **MICROMEDIDOR:** Es un medidor instalado en la acometida del usuario o suscriptor.
- **PERDIDAS COMERCIALES:** Aquellas atribuibles a volúmenes de agua tratada efectivamente consumida, pero no facturada.
- **PILA PÚBLICA:** Suministro de agua por la entidad prestadora del servicio de acueducto, de manera provisional, para el abastecimiento colectivo y en zonas que no cuenten con red de acueducto, siempre que las condiciones técnicas y económicas impidan la instalación de redes domiciliarias.

3.2 CALIBRACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE⁶.

3.2.1. Variables hidráulicas. Comprende las variables calculadas durante el proceso hidráulico. Son valores físicos que dependen del comportamiento de la fricción y la distribución de pérdidas de masa y energía, solo tienen sentido cuando la red está en funcionamiento como lo son el Caudal y la Presión. Se clasifican a su vez, dependiendo del fenómeno que las origine en demandas desconocidas y en emisores.

- **Demandas desconocidas.** Representan la existencia de problemas de tipo comercial al interior del sistema, los cuales pueden ser asociados a conexiones ilegales, descalibración en los micromedidores instalados, errores o ausencia de medición.
- **Emisores.** Dispositivos asociados a los nodos de la red, que permiten modelar el flujo de salida a través de una tubería o en un orificio descargando dicho caudal a la atmósfera. En la modelación hidráulica las fugas se consideran como emisores. El caudal de salida por un emisor varía en función de la presión disponible en el nodo, conforme en la Ecuación.

$$Q = CP^X$$

Donde C es un parámetro de entrada en unidades de L/sm^{0.5}. P es la presión del nodo en m.c.a el caudal en L/s. X es un exponente que depende de la ecuación de pérdidas utilizada. Comúnmente se utiliza un valor de 0.5 para X, la cual es válida únicamente en casos de orificios rígidos. Los emisores representan la existencia de problemas tipo técnico al interior del sistema, los

⁶ SALDARRIAGA, J.G. y SALAS, D.E, Calibración de redes de distribución de agua potable bajo un ambiente de fugas, Seminario Internacional La Hidroinformática. Bogotá D.C: Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, 2007.

cuales pueden ser causados por asentamientos en el suelo, errores de instalación, exceso de presiones, edades de los materiales entre otros.

3.2.2. Variables topológicas. Son variables que solo dependen de las propiedades físicas de las tuberías, su forma, tamaño, posición, interconexiones, etc. Estas tienen sentido aun cuando no haya agua en la red. Las variables topológicas son la rugosidad, el coeficiente de pérdidas menores, el diámetro, la longitud, el coeficiente de descarga y el exponente de fugas.

3.2.3. Variables de calibración. Son las variables que se modifican para lograr que las hipótesis de calibración se asemejen a las mediciones de campo. La forma correcta de definir las variables de calibración es a partir de las variables topológicas. Con un cambio de las variables topológicas, se recalculan las variables hidráulicas utilizando las ecuaciones de resistencia.

Como el problema hidráulico no es lineal, no se puede suponer una cantidad infinita de soluciones. Sólo se sabe que existe una gran cantidad, por esta razón el problema de calibración no se puede resolver con absoluta certeza. Solamente se puede buscar posibles soluciones, Entonces lo mejor es conservar los criterios de escogencia durante el proceso para llegar solamente a posibles respuestas coherentes desde el punto de vista hidráulico⁷.

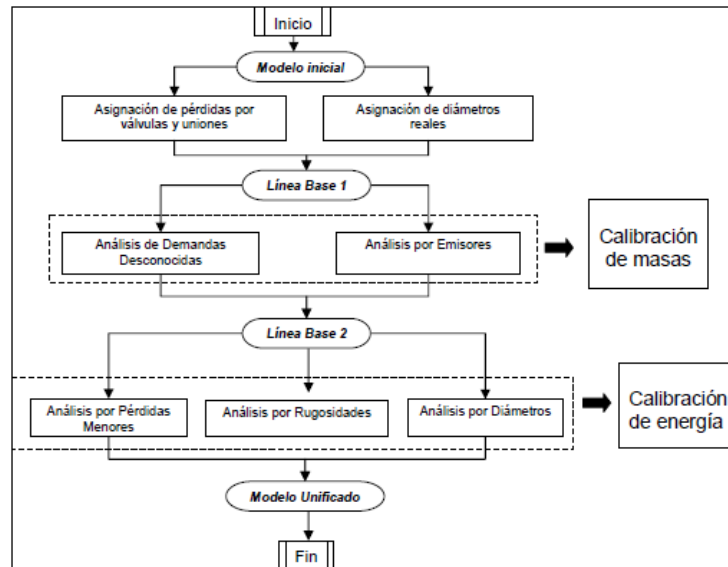
3.3. METODOLOGÍA DE CALIBRACIÓN USADO POR EL CIACUA⁸.

Metodología construida de acuerdo con criterios netamente hidráulicos, proporciona un enfoque sistémico al problema de calibración, clasificando las variables involucradas de acuerdo a sus principales características, tal como se muestra en la figura 4.

⁷ Ibid

⁸ JURADO TORO, Cesar Mauricio, Metodología de calibración de redes de distribución de agua potable. Bogotá D.C: Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, 2007.

Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de calibración.



Fuente: Jurado, Cesar Mauricio. Metodología de Calibración de Redes de Agua Potable.

3.3.1. Modelo Inicial. Consiste en el resultado de procesar y convertir toda la información topológica y de consumos suministrada por la empresa, en un modelo hidráulico digital. El modelo inicial no contiene pérdidas menores, ni diámetros reales, por lo que no tiene la capacidad de reproducir adecuadamente las mediciones de presión y caudal presentes al interior de la red.

3.3.2. Línea Base 1. Este modelo se obtiene como resultado de asignar a el modelo inicial, los diámetros internos de todas las tuberías de acuerdo con los reportes de los fabricantes; además de un conjunto de perdidas menores por metro por concepto de uniones.

- **Análisis por Demandas Desconocidas.** Conjunto de escenarios construidos a partir de la modificación de la demanda base de alguno de los nodos de la red, a través de los cuales se busca identificar zonas en las cuales puedan existir pérdidas comerciales. Al mismo tiempo se busca con

estos escenarios ajustar la masa que entra y sale de la red de distribución, para comprobar así el papel de las demandas en el sistema de forma global.

Los escenarios se construyen teniendo en cuenta algunas características de los nodos, tales como su ubicación, el estrato socioeconómico predominante y el uso que se le da al agua.

- **Análisis por Emisores.** Conjunto de pruebas las cuales buscan identificar zonas en las que posiblemente existen fugas, a través de escenarios en los que varía exclusivamente el coeficiente de emisión de los nodos de la red C.

Al igual que con el análisis de demandas desconocidas, en el análisis por emisores se busca ajustar las curvas de caudal medidas y simuladas en horas de bajo consumo con el fin de establecer el papel global que estos tienen frente al sistema: la creación de escenarios se basa en criterios hidráulicos, socioeconómicos y topológicos.

3.3.3. Línea Base 2. Escenario encargado de recopilar los resultados obtenidos a través de los análisis independientes por demandas desconocidas y emisores. Con la línea Base 2 se busca ajustar de forma casi definitiva las curvas de masas y tener una aproximación con relación a las curvas de energía.

- **Análisis por Diámetros.** Al interior del cual se prueba gran cantidad de escenarios en los cuales se analiza el efecto que tienen sobre ligeras variaciones en los diámetros, que pueden ocurrir debido al flujo de agua. Si mismo se trata de identificar comportamientos atípicos, posiblemente generados por errores topológicos de las tuberías.
- **Análisis por Rugosidades.** Se prueba el efecto que tienen los cambios en la rugosidad original de las tuberías, sobre el comportamiento hidráulica del

modelo, los escenarios se construyen de acuerdo al material y la velocidad de flujo de las tuberías.

- **Análisis por Pérdidas Menores.** En este se considera el efecto que provoca sobre la red la existencia de accesorios u otros elementos en contacto con el flujo, que causan pérdidas de energía.

3.3.4. Modelo Unificado. Consolida en un solo modelo los resultados obtenidos encontrados durante los análisis por Diámetros, Rugosidades y Pérdidas Menores. A través de este se busca ajustar las curvas de masa y energía obtenidas durante la línea de Base 2: el modelo unificado representa el último paso de la calibración, después del cual se dispone de un modelo calibrado.

4. METODOLOGIA DE PLANO ÓPTIMO DE PRESIONES Y REDUCCIÓN DE AGUA NO CONTABILIZADA

4.1 GENERALIDADES

4.1.1 Localización del sector de estudio. Durante el desarrollo de este proyecto la zona de estudio correspondió a el sector Café Madrid ubicado en el Distrito Ferrovias situado en el norte de la ciudad, y se encuentra delimitado al norte con el rio surata, al sur con Ingeser y el Barrio Betania, al oriente con el rio de oro, y al occidente con Bavaria y el Barrio las Hamacas. Se considera un sector aislado geográficamente, lo que permite un mayor control en la medición de entrada de agua al sistema.

Figura 5. Localización del sector de Estudio.



Fuente: Google Earth

El sector Café Madrid, tiene un total de 1264 suscriptores, con uso residencial y comercial. Como primer paso, en el sector se limitaron las entradas de agua al sistema lo cual se conoce como sectorización hidráulica, ya que esto facilita las labores de control del sector, adicionalmente se ubicó en este punto un medidor el cual permite saber la cantidad de masa de agua que entra al sistema.

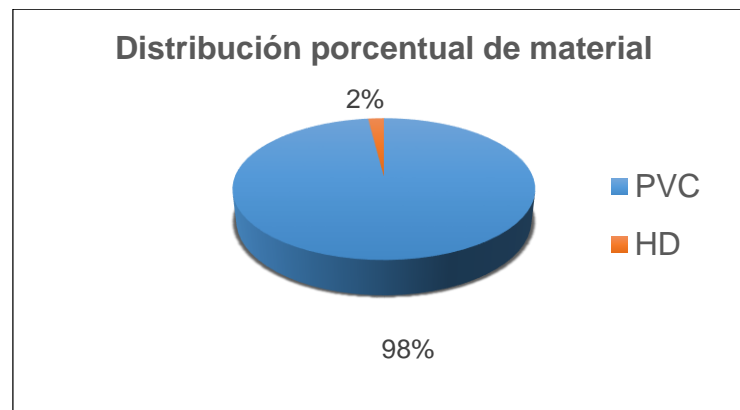
4.2 CATRASTRO DE REDES

Se presentan las características topológicas de la red del sector basados en la información recolectada y suministrada por el amb con fecha del 16 de enero del 2015, la cual incluye las características de las tuberías tales como longitudes, material y diámetros de la red.

El sector posee una red de distribución de 7946 metros de longitud medidos a partir del medidor control.

4.2.1 Materiales. El sector de estudio tiene tuberías de policloruro de vinilo (PVC) y Hierro Dúctil (HD). En la figura 5 se muestra la distribución porcentual de los materiales que conforman el sector de estudio. Como se puede observar el material predominante es el PVC con un 98% del total de la red, seguido por el Hierro Dúctil (HD) con un 2%.

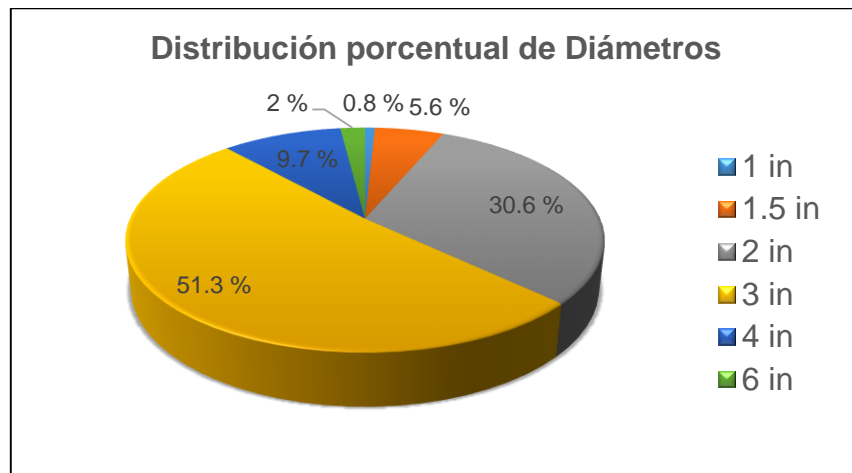
Figura 6. Distribución porcentual de material



Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P

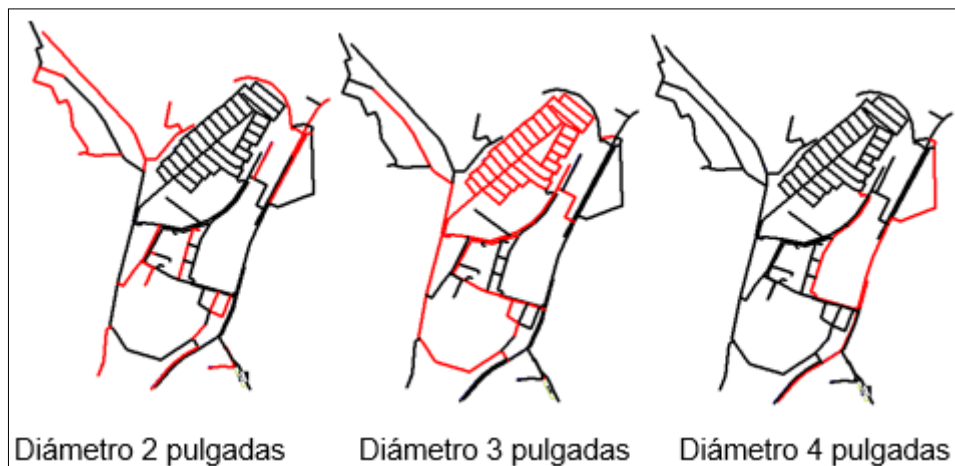
4.2.2 Diámetros. En la figura 6 se muestra la distribución porcentual de diámetros a lo largo de la red de distribución de agua potable en el sector hidráulico Café Madrid. Se puede observar que los diámetros predominantes son los de 2,3 y 4 pulgadas con porcentajes del 30,6% 51,3% y 9,7% respectivamente.

Figura 7. Distribución porcentual de diámetros



Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P

Figura 8. Esquema distribución de Diámetros

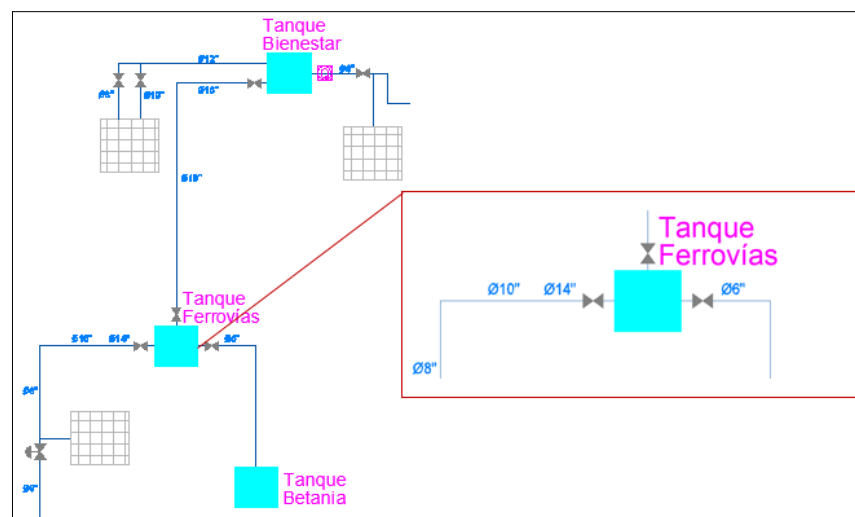


Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P

4.2.3 Funcionamiento y localización del tanque. En la figura 9 se presenta un esquema general del funcionamiento de la red del distrito Ferrovías. Como se puede ver, la totalidad de esta parte del sector de estudio se alimenta por el Tanque Ferrovías que a su vez este se alimenta del tanque Bienestar.

El sistema de agua potable para el sector funciona completamente por gravedad, el tanque que suministra agua a el sector es el tanque ferrovias el cual tiene una capacidad maxima de almacenamiento de 1550 m³, tiene un area de 373.49 m² y una altura de 4.15 m, su cota de fondo es de 779.5 msnm y su cota de rebose es de 183.65 msnm.

Figura 9. Esquema del Tanque Ferrovías.

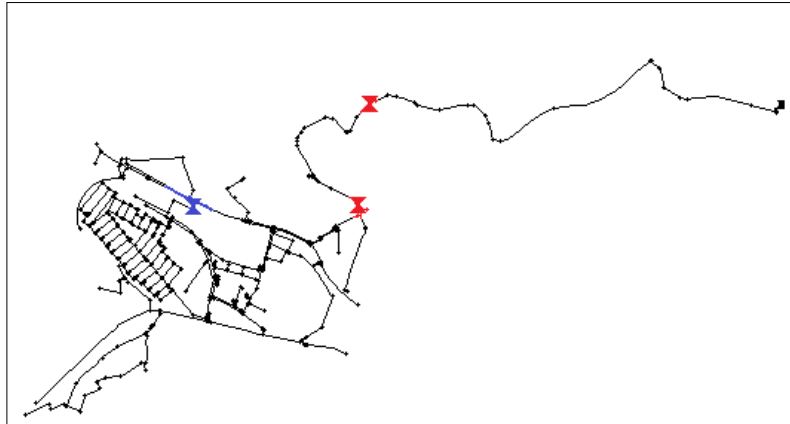


Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P

4.2.4 Válvulas de presión existentes en el sector. En la red de distribución que abastece al sector hidráulico desde el tanque Ferrovías, existen 2 válvulas reguladoras de presión fuera del sector de estudio las cuales son la reguladora de Hamacas Bajo y la Reguladora Ingeser (color rojo). Dentro del sector existe la válvula reguladora Café Madrid (color azul) propuesta anteriormente por la

universidad de los Andes por medio de la metodología para la definición de planos óptimos de presiones y reducción de agua no contabilizada.

Figura 10. Válvulas reguladoras de presión existentes en el sector



Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P

4.2.5 Usuarios. En la figura 11 se muestra la distribución porcentual de tipo de usuario en el sector hidráulico Café Madrid, los usuarios residenciales corresponden al 98.5% y los usuarios comerciales, industriales, institucionales y oficiales corresponden a el 1.5%

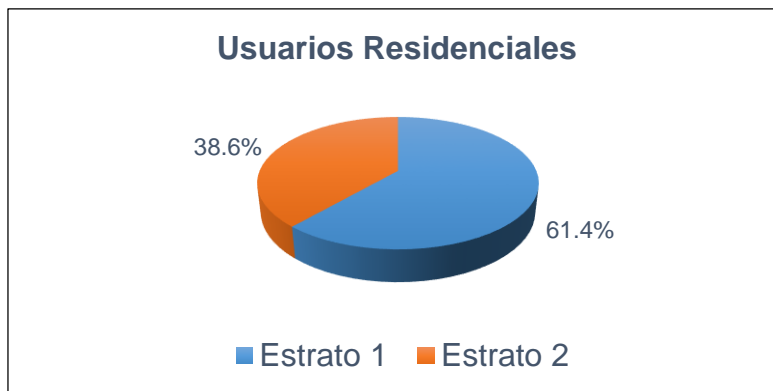
Figura 11. Distribución porcentual según el Tipo de usuario.



Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P

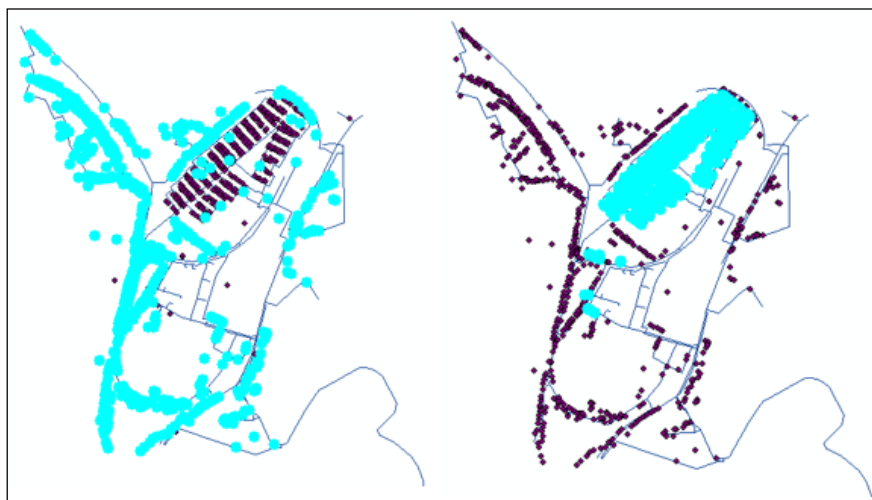
En la figura 12 se muestra la distribución porcentual de el tipo de estrato de usuarios residenciales en el sector hidraulico Café Madrid, los usuarios residenciales de estrato 1 corresponden a un 61.4% y de estrato 2 corresponden a un 38.6%.

Figura 12. Distribución porcentual según estrato para usuarios residenciales



Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P

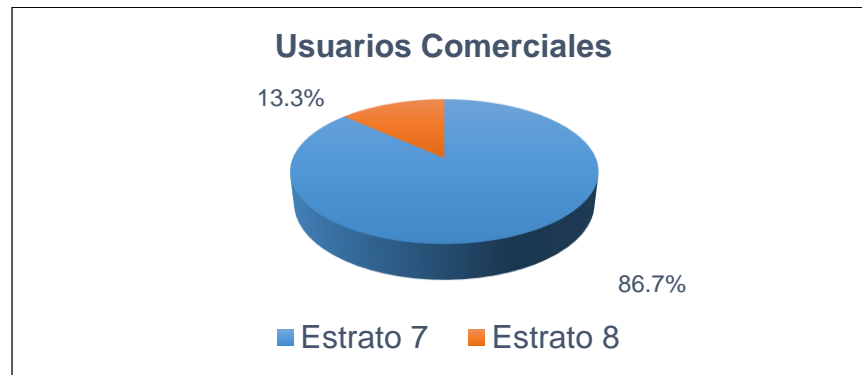
Figura 13. Georeferenciación de usuarios derecha (estrato1) izquierda (estrato2)



Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P

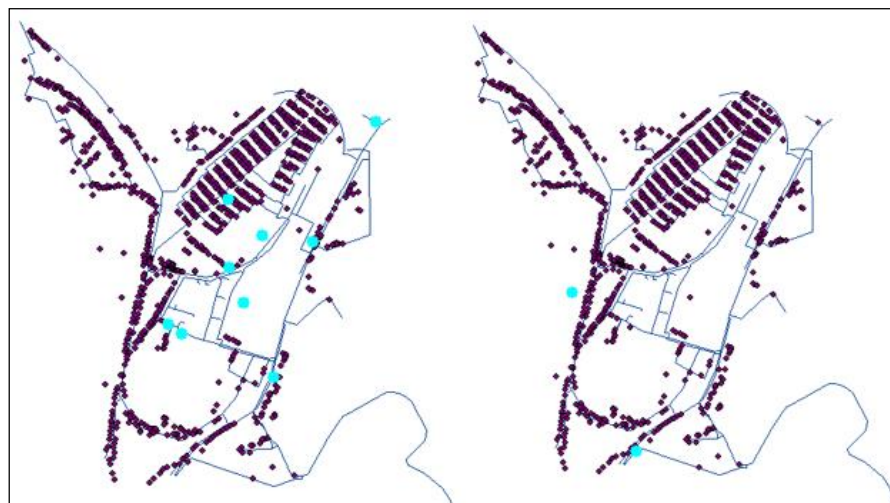
En la figura 13 se muestra la distribución porcentual de el tipo de estrato de usuarios comerciales en el sector hidraulico Café Madrid, los usuarios comerciales de estrato 7 correspondena un 86.7% y de estrato 8 corresponden a un 13.3%.

Figura 14. Distribución porcentual según estrato para usuarios Comerciales, Industriales o institucionales.



Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P

Figura 15. Georeferenciación de usuarios derecha (estrato7) izquierda (estrato8)



Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P

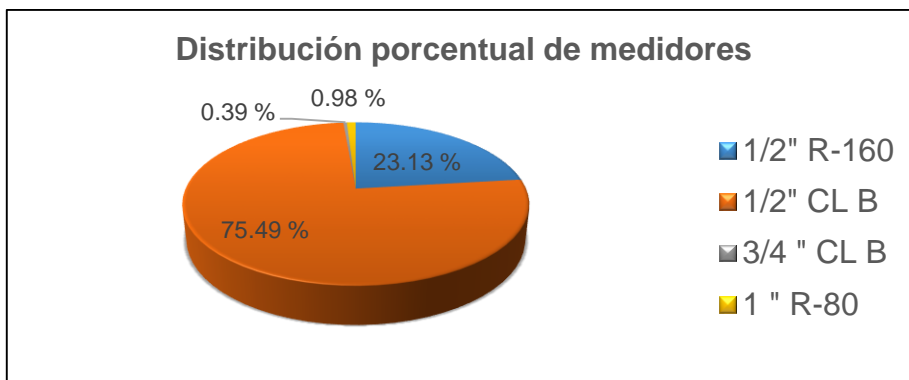
Dentro de los usuarios comerciales industriales, institucionales y oficiales más destacados en el sector se encuentra la escuela Café Madrid, Ingesser de Colombia S.A, la antigua Bodega de Aduana, el antiguo club de ferrocarriles, y la Policía Nacional.

4.3 CATRASTRO DE MEDIDORES.

Por medio de la base de datos comercial del amb se caracterizaron los medidores del sector según su tipo.

4.3.1 Clases. En la figura 16 se muestra la distribución porcentual de las clases de medidores existentes con su respectivo diámetro en el sector hidráulico Café Madrid. Se puede observar que los medidores que predominan son los medidores de media pulgada clase B (1/2" CL B) con un 75.49%, seguidos por los medidores de media pulgada R160 (1/2" R-160) con un 23.13%.

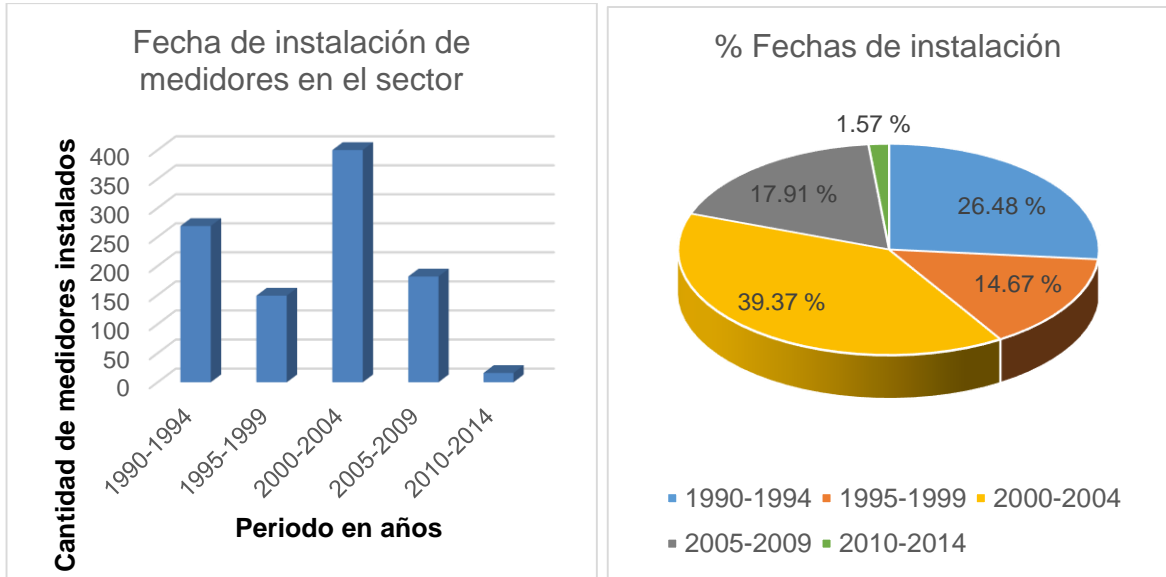
Figura 16. Distribución porcentual de medidores.



Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P

4.3.2 Fechas de Instalación. En la figura 17 se muestra las fechas de instalación de medidores existentes en el sector hidráulico Café Madrid. Se puede observar que la mayor cantidad de medidores fueron instalados entre el año 2000 y el año 2004 que corresponden al 40% de los medidores instalados en el sector.

Figura 17. Fechas de instalación de medidores.



Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P

4.3.3 Medidores detenidos. El número de medidores detenidos en el sector al 17 de abril de 2015 es de 58 medidores correspondientes al 5.71% de los medidores del sector.

Figura 17. Distribución espacial de medidores detenidos.



Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P

4.4 MACROMEDICIÓN Y MICROMEDICIÓN EN EL SECTOR.

Se programaron cuatro (4) mediciones en las cuales conjuntamente se realizó macromedición y micromedición. Los datos de macromedición se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Registros de macromedición

Fecha de Medición	Macromedición
1.Agosto 16 /2014	257.732
2.Agosto 30/2014	272.951
3.Septiembre 13/2014	288.647
4.Septiembre 27/2014	303.966

Para el cálculo de los volúmenes de micromedición se realizó un análisis de la información consignada en la agencia de control de pérdidas del SI++. Inicialmente se crearon Histogramas de frecuencias y se estimó que aproximadamente el 75% de usuarios se encuentran con un consumo por debajo de 10 m³ en cada periodo. Si extrapolamos a un consumo mensual, encontramos los usuarios que tienen un consumo menor a 20 m³/mes, valor que se considera un consumo común según la comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico. En las Figuras 18, 19 y 20 presentan las gráficas de los histogramas de frecuencias en mención.

Figura 18. Histograma de Frecuencias de los consumos del periodo comprendido entre el 16 de Agosto y el 30 de Agosto de 2014

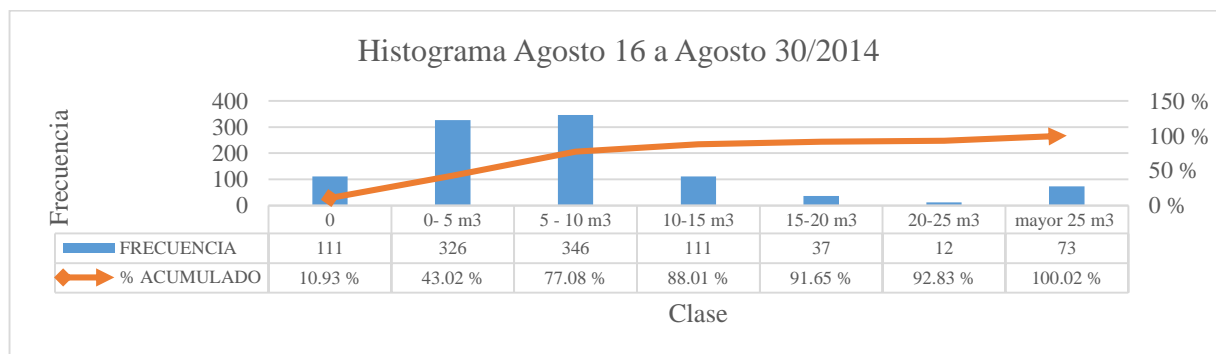


Figura 19. Histograma de Frecuencias de los consumos del periodo comprendido entre el 30 de Agosto y el 13 de Septiembre de 2014

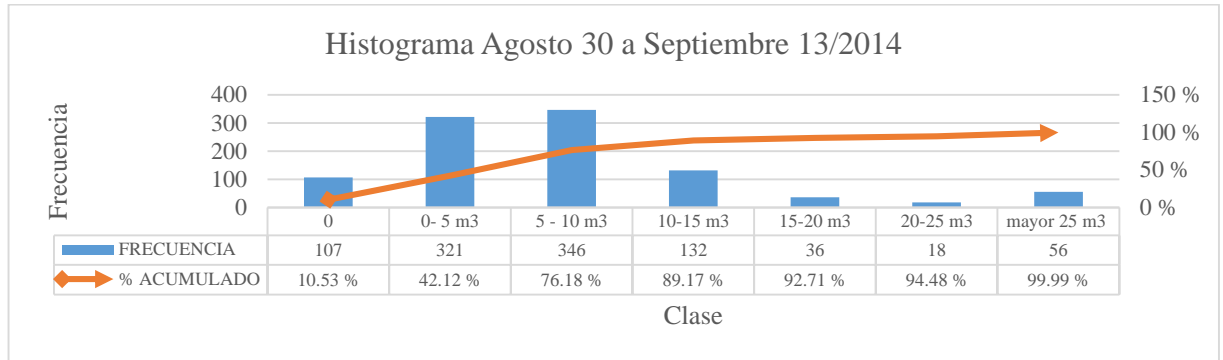
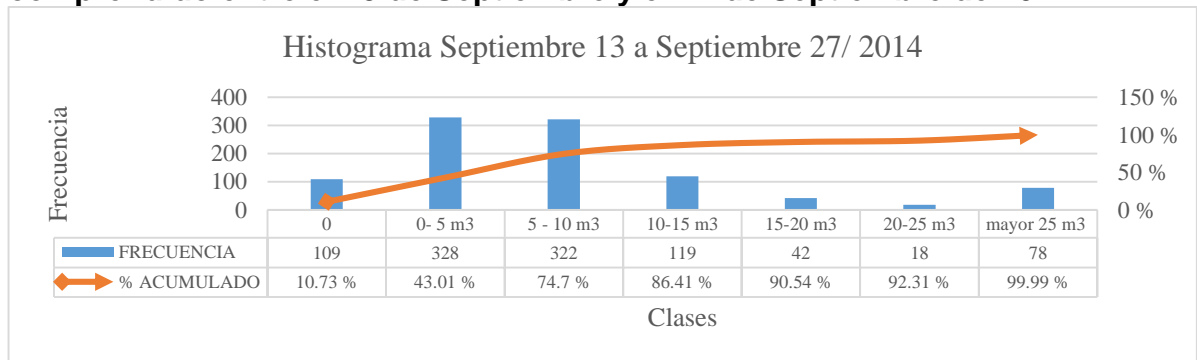


Figura 20. Histograma de Frecuencias de los consumos del periodo comprendido entre el 13 de Septiembre y el 27 de Septiembre de 2014

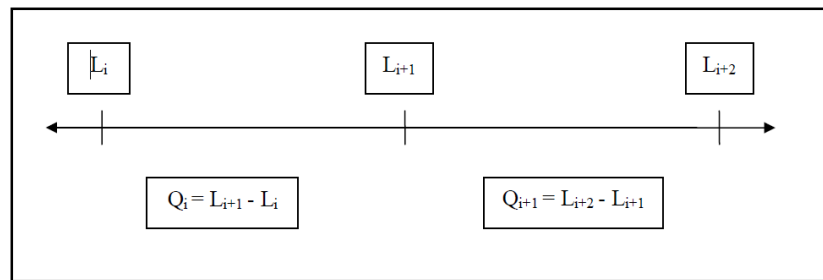


4.4.1 Consumo promedio. El cálculo de este consumo se realiza restando los valores de lecturas consecutivas tomadas durante el periodo de medición y dividiendo este resultado por el número de días transcurridos entre las dos lecturas, el consumo promedio de cada cuenta corresponde al promedio de los caudales micromedidos dentro de cada periodo como se muestra en la ecuación 1. El caudal

consumido de esta manera, es dado en metros cúbicos por día (m³/d) en cada uno de los intervalos.

Sin embargo, algunas lecturas tomadas pueden contener errores originados en el proceso de registro, por lo que algunos de los consumos pueden ser erróneos y poco confiables.

Figura 21. Consumo Promedio



Fuente: Metodología para la definición de planos óptimos de presiones y reducción de agua no contabilizada.

$$\text{Consumo Promedio} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{n}$$

En donde:

Q es el caudal del i -ésimo consumo.

n es el número total de consumos.

i es el i -ésimo consumo, va de 1 hasta n .

4.4.2 Crítica a las mediciones realizadas. Se realizó una crítica de micromedición con base en la relación del PROMEDIO/HISTORICO. Según el estudio realizado por la Universidad de los Andes “Metodología para la definición de los planos óptimos de presiones y Reducción del índice de Agua No Contabilizada”, presenta el uso de esta relación para valores de 1.5.

Esta relación permite visualizar a partir de que valores se deben realizar correcciones de la crítica ya sea por errores en la lectura, en la digitalización o por consumos muy altos. Asimismo, el estudio de la Universidad de los Andes expresa que no necesariamente puedan existir usuarios con un consumo superior a 1.5 veces el consumo histórico. Sin embargo, debido a que no es posible discriminar a partir del análisis estadístico que usuarios tienen este consumo como consecuencia de un error de lectura, o si realmente corresponde a un alto consumo, se fija este rango como una medida conservativa del factor de pérdidas potencial. Se consideró una relación máxima de este parámetro correspondiente a un valor de 1.5.

4.4.3 Periodos de medición. Para el primer periodo de medición comprendido entre 16 de Agosto y el 30 de Agosto de 2014, se estimaron 150 suscriptores correspondientes al 14.76% de los suscriptores del sector para crítica. Para el periodo comprendido entre los periodos entre el 30 de Agosto y el 13 de Septiembre de 2014, se estimaron 125 suscriptores correspondientes al 12.3% de los suscriptores del sector para crítica. Para el periodo del 13 de Septiembre al 27 de Septiembre de 2014, se estimaron 144 suscriptores correspondientes al 14.17% de los suscriptores del sector para crítica.

Tabla 5. Cálculos de los volúmenes de macromedición y micromedición más el volumen estimado con crítica.

Fecha de Medición	Macromedición m3	Micromedición m3	Usuarios en Crítica m3
Agosto 16/2014			
Agosto 30/2014	15.219	7458	2098
Septiembre 13/2014	15.696	8994	1084
Septiembre 27/2014	15.319	7962	1991

A continuación se presentan los valores de micromedición más el volumen estimado por la crítica.

Tabla 6. Cálculos de los volúmenes de micromedición más el volumen estimado con crítica.

Fecha de Medición	Micromedición m3
Agosto 16/2014	
Agosto 30/2014	9.556
Septiembre 13/2014	10.078
Septiembre 27/2014	9.953

4.4 ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE AGUA NO CONTABILIZADA.

Se presenta el cálculo del índice de Agua No Contabilizada para los periodos de medición realizados, en la Tabla 7 se presentan los IANC de los datos de micromedición.

Tabla 7. IANC para las campañas de micromedición en el sector.

Fecha de Medición	IANC
Agosto 16/2014	
Agosto 30/2014	37.21 %
Septiembre 13/2014	35.79%
Septiembre 27/2014	35.03%

En promedio el valor del I.A.N.C tras las micro mediciones realizadas en el sector es de 36.01%, parámetro que puede disminuirse determinando zonas donde existan posibles pérdidas, tanto técnicas como comerciales.

4.5 LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN DE CAUDAL Y DE PRESIÓN.

4.5.1. Medición de presión. Las mediciones de presión se realizaron por medio de manómetros digitales los cuales fueron instalados en los nodos establecidos, los manómetros registran las presiones en psi los que se multiplican por el factor 0.7035 para transformarlos en metros de columna de agua m.c.a, en la tabla 6 se muestra el nodo y la dirección de ubicación en el sector.

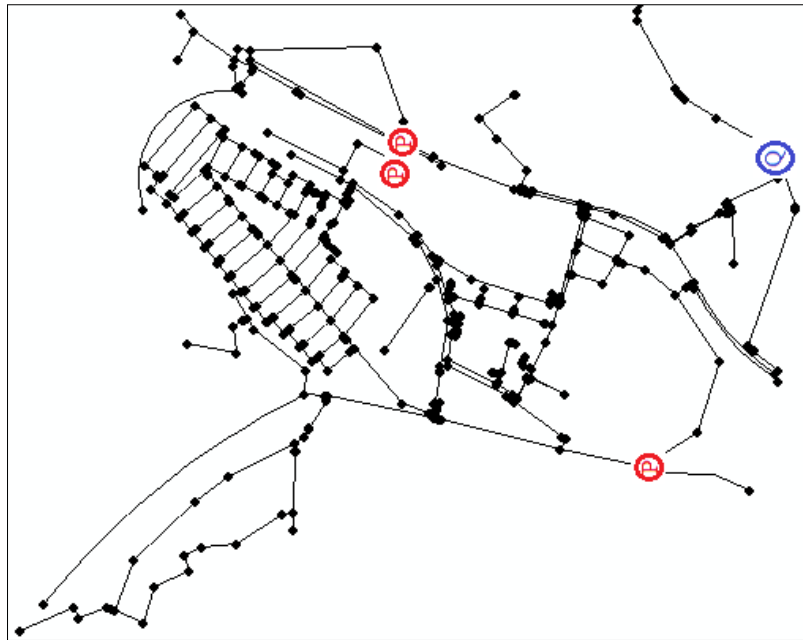
Tabla 8. Listado de nodos de medición de presión.

	Nodo	Dirección
Válvula Café	8643	Carrera 6 N 43N-23 (aguas arriba)
Madrid	vf_8643	Carrera 6 N 43N-23 (aguas abajo)
Punto	8747	Carrera 3 N 41N-09

4.5.2. Medición de caudal. La medición de caudal se realizó por medio de un caudalímetro ultrasónico digital el cual fue instalado en este caso en la tubería de entrada de la red, dichas mediciones fueron realizadas el día 2 de julio de 2015 durante 24 horas en un día ordinario en el medidor control del sector, datos que fueron tomados cada 30 segundos para posteriormente ser descargados y procesados.

En la figura 22 se presenta la ubicación de los puntos del sector identificados con la letra P de color Rojo y el punto de medición de Caudal identificado con la letra Q de color azul.

Figura 22. Puntos de medición de caudal y presión en la red



4.6 MODELAMIENTO HIDRAULICO PRELIMINAR.

Por medio de la información suministrada por el amb S.A. E.S.P se procedió a realizar el trazado de la red incluyendo la información del catastro de redes suministradas, en el modelo se obtuvieron un total de 485 nodos y 523 tuberías desde el tanque Ferrovías.

4.6.1. Características del modelo hidráulico preliminar para el sector. El modelo hidráulico preliminar tiene las características que se presentan a continuación:

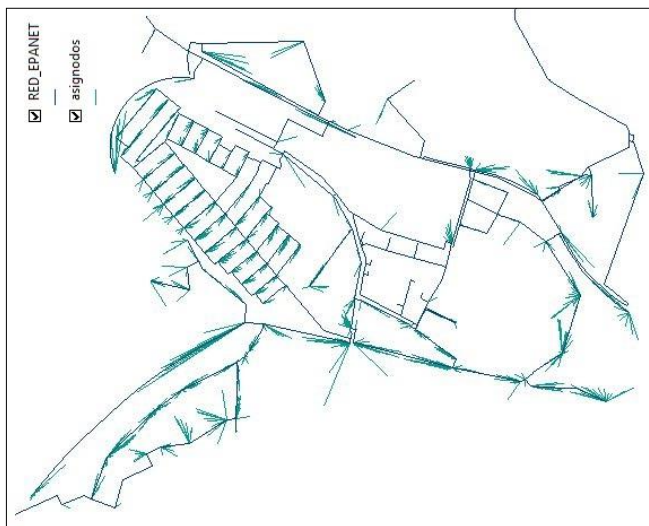
- Los consumos utilizados para el modelo de la red se basa en la información de los consumos históricos anteriores a la campaña de micromedición realizada en el sector.
- El tanque que alimenta al sector (Tanque Ferrovías) fue representado mediante un embalse, sin tener en cuenta la variación temporal en los niveles ni su geometría.
- Las válvulas reguladoras de presión Hamacas Bajo e Ingesser son modeladas con el elemento Valve PRV de EPANET mientras que la válvula Café Madrid

fue modelada con el elemento Valve PBV ya que en el momento no se encontraba en funcionamiento.

- A la red se le asignaron las elevaciones a los nodos según los planos suministrados por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A.

Los consumos asociados a los nodos son la sumatoria de los correspondientes a cada uno de los suscriptores más cercanos. La asignación se realizó por medio del software ArcGIS 10.1 en donde cada usuario tenía un atributo en común con el nodo más cercano. En la figura 23 se muestra un ejemplo del plano estrella, donde se aprecia el usuario que se le asigna a cada nodo.

Figura 23. Ejemplo de asignación de usuarios a los nodos de consumo.

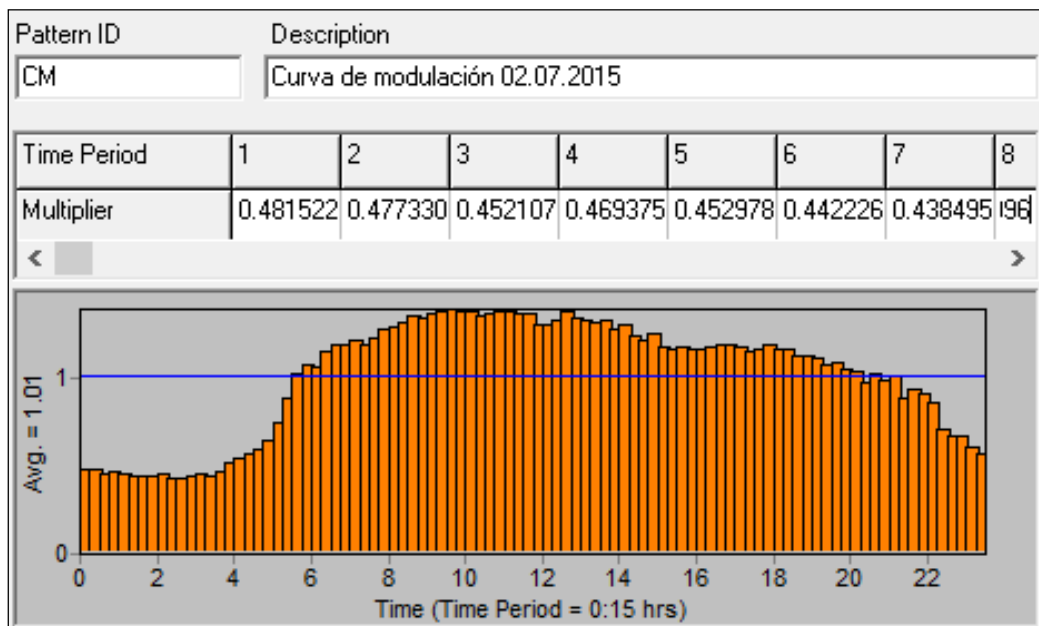


Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P

4.6.2. Curva de modulación. Consiste en una serie de factores multiplicadores que se le aplican a la demanda base de los diferentes nodos de la red, para simular la variación del consumo a lo largo del día. Cada suscriptor perteneciente al sistema de distribución posee un patrón de consumo propio de acuerdo a los hábitos y

necesidades. En términos de modelación se aprovecha el hecho de que esta es muy similar para todos los suscriptores de tipo residencial, constituyéndose una curva típica común. Para su fabricación se utilizan los valores de los caudales promedios diarios registrados en la zona los cuales se transforman en una curva unitaria (conocida porque el promedio de sus elementos es uno). Con los datos de caudal tomados el día 2 de julio de 2015 durante 24 horas en un día ordinario en el medidor control del sector se realizó una curva de modelación para ingresar al modelo, promediando los datos que se tomaron de caudal de cada 30 segundos a 15 minutos.

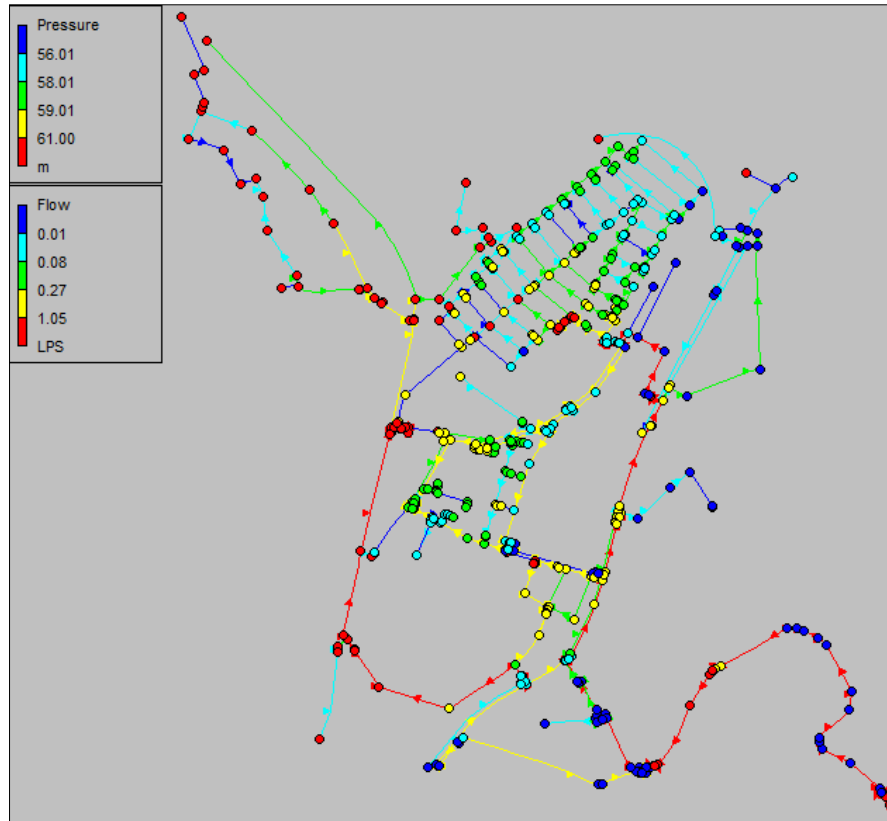
Figura 24. Curva de modulación del sector Café Madrid



De esta manera se generó un modelo que permitió tener una aproximación inicial de la distribución de presiones a lo largo de la red de estudio (ver figura 25). En los resultados obtenidos del modelamiento hidráulico preliminar, existen nodos que presentan presiones superiores a 61 m.c.a lo cual es consistente con la topografía del sector, se puede observar que la presión en todo el sector de estudio es bastante alta debido a que el modelo aún no se encuentra calibrado y por ende, no se tienen

en cuenta las pérdidas de energía producidas por las pérdidas de masa en el sistema, haciendo que se sobreestimen las presiones.

Figura 25. Modelamiento hidráulico preliminar de la red

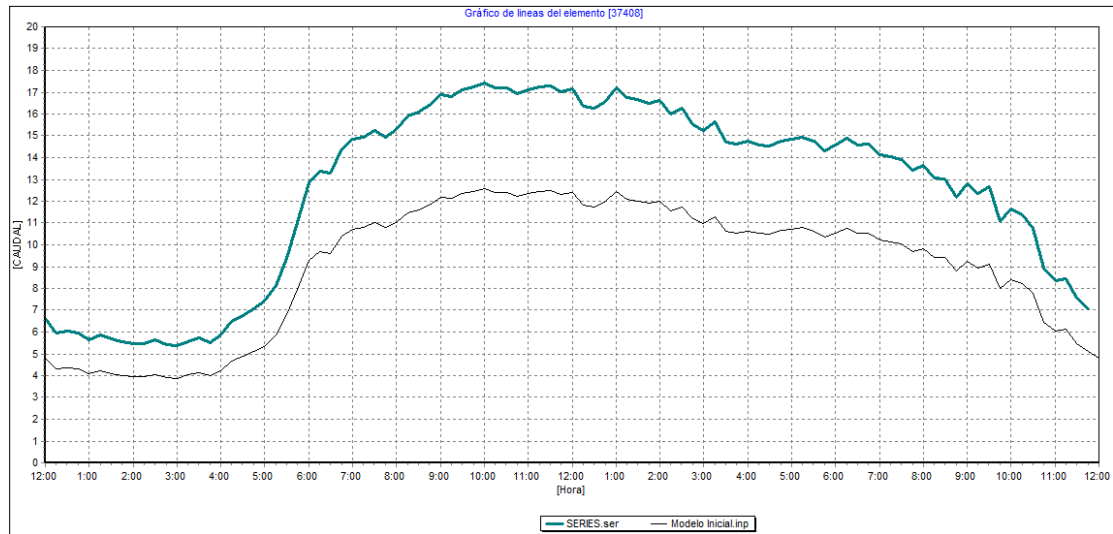


Fuente: Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P

4.7 CALIBRACIÓN DEL SECTOR.

4.7.1. Modelo Inicial. Del modelamiento hidráulico preliminar suministrado por el amb S.A E.S.P anteriormente, se obtuvo el modelo inicial de la red de distribución para el sector hidráulico café Madrid. El modelo inicial posee en sus datos la topología, catastro, topografía, curvas de demanda y demás variables hidráulicas necesarias para su creación. De esta manera se obtuvo una representación del caudal y la presión medida y modelada.

Figura 26. Para el modelo inicial, Grafica de Caudal de entrada al sector (Verde) y caudal del modelo (Negro).



4.7.2. Línea Base 1. La línea base 1 aun no contiene ningún escenario de calibración, en la línea base 1 se consideró la asignación de diámetros internos dependiendo del material y el diámetro nominal, en la Tabla 9 se observan los diámetros reales asignados a el modelo para el material de PVC.

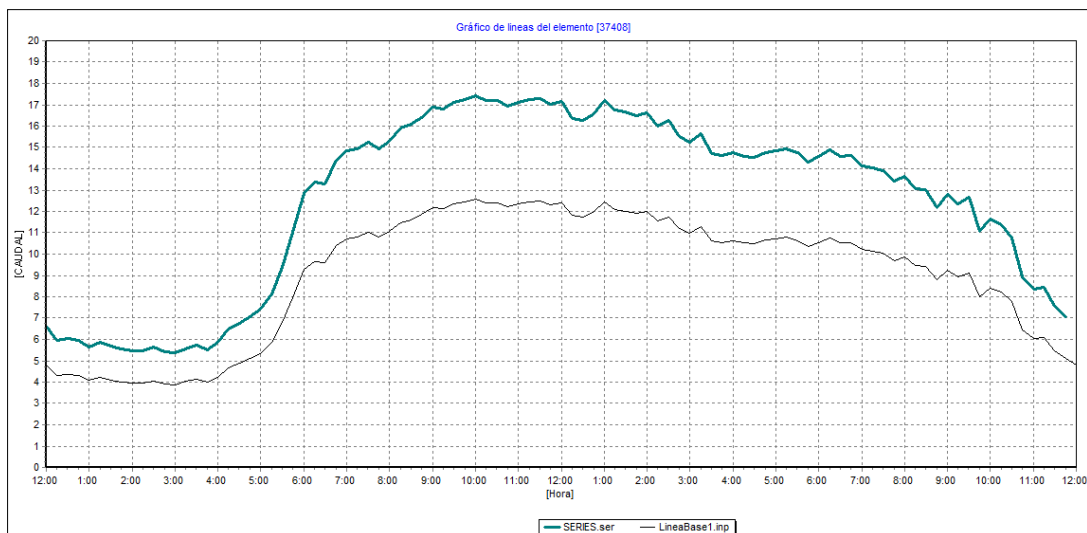
Tabla 9. Equivalencias entre diámetros nominales a reales para tuberías de PVC

Diámetro nominal		Diámetro interno real(mm)
(pulgadas)	(mm)	
1	25.4	30.2
2	50.8	54.58
3	76.2	80.41
4	101.6	103.43
6	152.4	152.22
8	203.2	198.25
10	254	247.09
12	304.8	293.07
14	362.7	345.03

Fuente: CIACUA, 2006.

El ajuste de asignación de los diámetros reales y perdidas menores no modificó de manera significativa la serie simulada, por lo que se puede concluir que estas variables son poco significativas para el ajuste del modelo del sector.

Figura 27. Caudal de entrada al sector (Verde) y caudal de la línea base 1 (Negro).



Análisis por Demandas. Se realiza teniendo en cuenta los nodos de la red del sector café Madrid, los cuales están asociados a una curva la modulación de demanda correspondiente al sector y a un consumo en particular de acuerdo al consumo hecho para los usuarios de la red, aunque la demanda facturada siempre está por debajo de la real, es necesario conocer en qué proporción esta subestimada la demanda en el modelo. Para realizar el análisis de las demandas, se analizó la información socioeconómica del sector, de manera que se pudiese asignar a cada nodo a un estrato socioeconómico y a su respectivo uso.

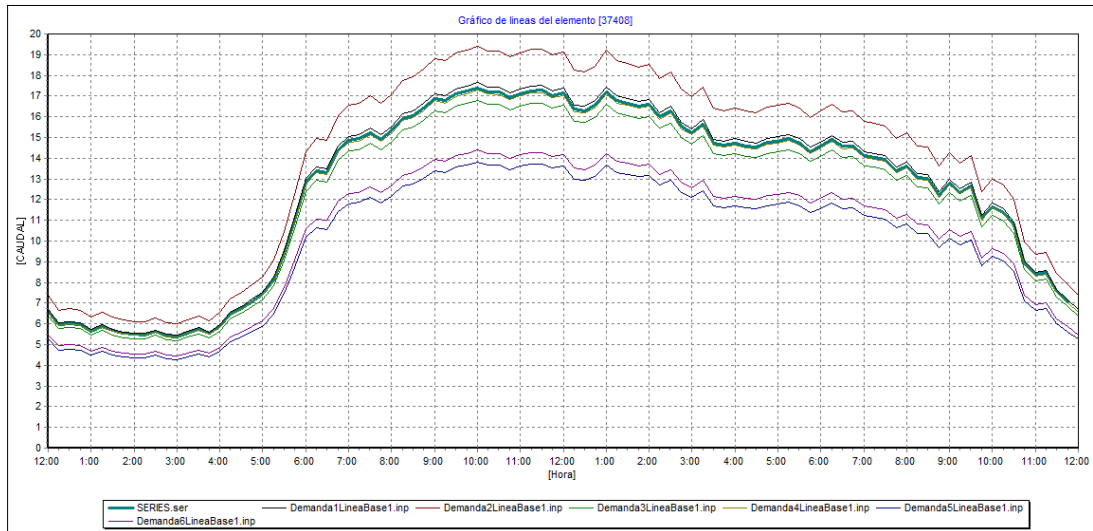
Se crearon escenarios con base en hipótesis de consumo para cada estrato socioeconómico, de manera que se ajusten las curvas de caudal. Los escenarios más representativos se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Escenarios más representativos para el análisis por demandas.

ESCENARIOS	Factor Multiplicador de la Demanda		
	Residencial		Comercial
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 7
Demanda 1	1.7	1.1	1
Demanda 2	1.7	1.4	1
Demanda 3	1.2	1.5	1
Demanda 4	1.6	1.15	1
Demanda 5	1.1	1.1	1.1
Demanda 6	1.1	1.2	1

Los aumentos propuestos a lo largo de los distintos escenarios, presentan significativamente el ascenso de la curva modelada con respecto a los valores medidos, siendo el escenario Demanda 4 a través del cual se alcanza un ajuste ideal de la masa.

Figura 28. Comportamiento del punto de medición de caudal del sector Café Madrid en el análisis por demandas.



Análisis por Emisores. En el análisis de los emisores del Sector se hizo con base teniendo en cuenta varios factores, entre estos el rango de presiones, el material y el estrato socioeconómico. Para el sector Café Madrid se consideraron los siguientes escenarios de Calibración por emisores, donde se utilizaron 22 nodos de acuerdo al régimen de presiones al que se encuentran sometidos, de manera que se pudo determinar los coeficientes aproximados para simular las posibles fugas originadas en el sector (ver tabla 12). En la tabla 11 se presentan los factores multiplicadores utilizados los coeficientes de emisores de los 22 nodos.

Tabla 11. Factores multiplicadores para el análisis por emisores.

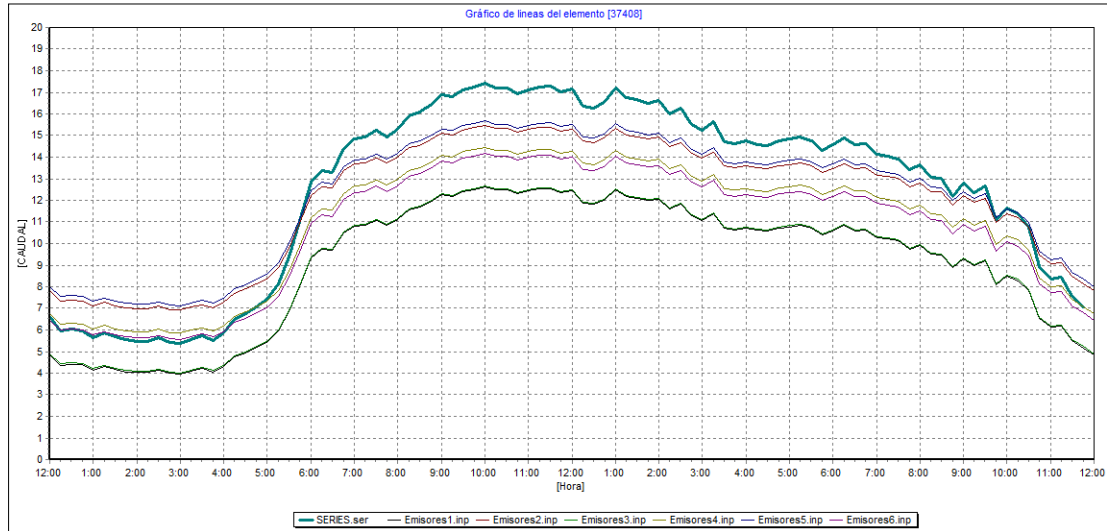
ESCENARIOS	Factores Multiplicadores					
	por presión		por estrato		por Material	
	Alta	Baja	1	2	PVC	HD
Emisores 1	0.0001	0.0003	1.7	1.5	1.3	1
Emisores 2	0.01	0.0015	2.9	1.5	1.1	1.01
Emisores 3	0.0002	0.0005	2	1.25	1.3	1
Emisores 4	0.01	0.002	1.3	1.1	1.5	1.01
Emisores 5	0.015	0.0025	1.3	1.2	1.7	1
Emisores 6	0.01	0.0015	1.7	1.2	1	1.01

Tabla 12. Coeficientes de Escenarios por emisores

ID Nodo	Emisores 1	Emisores 2	Emisores 3	Emisores 4	Emisores 5	Emisores 6
8935	0.000221	0.0319	0.00052	0.0195	0.03315	0.1188
8745	0.000221	0.0319	0.00052	0.0195	0.03315	0.1188
8749	0.000221	0.0319	0.00052	0.0195	0.03315	0.1188
8876	0.00017	0.02929	0.0004	0.01313	0.0195	0.10908
9011	0.000663	0.004785	0.0013	0.0039	0.005525	0.01188
276704	0.000221	0.0319	0.00052	0.0195	0.03315	0.1188
8753	0.000585	0.002475	0.0008125	0.0033	0.0051	0.0066
8662	0.000221	0.0319	0.00052	0.0195	0.03315	0.1188
8751	0.000585	0.002475	0.0008125	0.0033	0.0051	0.0066
8568	0.000663	0.004785	0.0013	0.0039	0.005525	0.01188
8870	0.0003	0.0015	0.0005	0.002	0.0025	0.003
8914	0.000585	0.002475	0.0008125	0.0033	0.0051	0.0066
8892	0.000585	0.002475	0.0008125	0.0033	0.0051	0.0066
8894	0.000585	0.002475	0.0008125	0.0033	0.0051	0.0066
8922	0.000585	0.002475	0.0008125	0.0033	0.0051	0.0066
8909	0.000585	0.002475	0.0008125	0.0033	0.0051	0.0066
8930	0.000585	0.002475	0.0008125	0.0033	0.0051	0.0066
8762	0.000221	0.0319	0.00052	0.0195	0.03315	0.1188
8571	0.000221	0.0319	0.00052	0.0195	0.03315	0.1188
8755	0.000221	0.0319	0.00052	0.0195	0.03315	0.1188
8558	0.000221	0.0319	0.00052	0.0195	0.03315	0.1188
9022	0.000221	0.0319	0.00052	0.0195	0.03315	0.1188

En el modelo con variación de escenarios de emisores que se puede observar que el Escenario Emisores 2 es el que mejor representa el comportamiento, ajustándose en las horas de bajo consumo para la curva de caudal.

Figura 29. Comportamiento del punto de medición de Caudal del sector Café Madrid en el análisis por Emisores.



4.7.3. Línea Base 2. Para la elaboración de la línea base 2 de la red de distribución del sector se toman los análisis propuestos por demandas, el cual fue el escenario Demanda 4 ya que se logró una mejora casi significativa en los puntos de medición de caudal. Con respecto al análisis por emisores, el escenario que representa un buen comportamiento junto con el escenario de demandas del sistema fue Emisores 3, de esta manera se ajustó de forma casi definitiva las curvas de masa del sector.

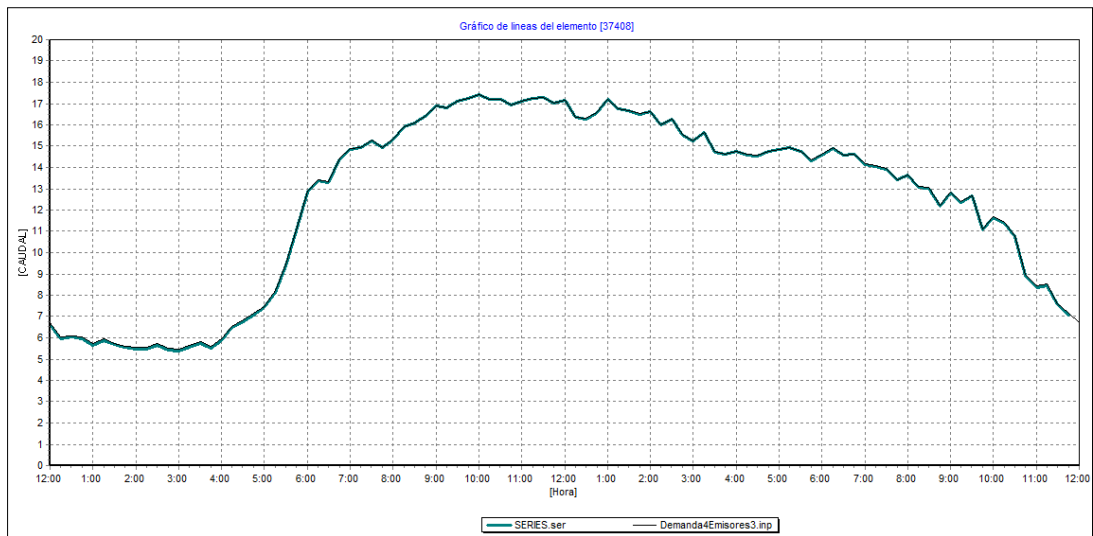
Tabla 13. Escenario de demandas para la conformación de la Línea Base 2.

ESCENARIOS	Factor Multiplicador de la Demanda		
	Residencial		Comercial
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 7
Demanda 4	1.6	1.15	1

Tabla 14. Escenario de emisores para la conformación de la Línea Base 2.

ESCENARIOS	Factores Multiplicadores					
	Presión		estrato		Material	
	Alta	Baja	1	2	PVC	HD
Emisores 3	2E-04	5E-04	2	1.25	1.3	1

Figura 30. Caudal de entrada al sector (Verde) y caudal de la línea base 2 (Negro).



Análisis por Diámetros. Para la generación de escenarios del análisis por diámetros se tiene en cuenta el material y las propiedades topológicas de las tuberías presentes en la red. Con este análisis se busca encontrar el escenario que represente mejor las condiciones de desgastamiento, incrustaciones o sedimentos que sufren las tuberías con el paso de agua además de posibles errores topológicos de las tuberías de la red.

Para realizar el análisis por diámetros, se crearon escenarios con base en hipótesis de material de las tuberías. Los escenarios se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Escenarios para el análisis por diámetros.

ESCENARIOS	PVC	HD
Diámetros 1	1.2	0.8
Diámetros 2	1.1	0.6
Diámetros 3	0.9	0.6
Diámetros 4	0.8	0.6
Diámetros 5	0.7	0.6
Diámetros 6	0.8	0.7

Figura 31 . Comportamiento del punto de medición de Caudal del sector Café Madrid en el análisis por Diámetros.

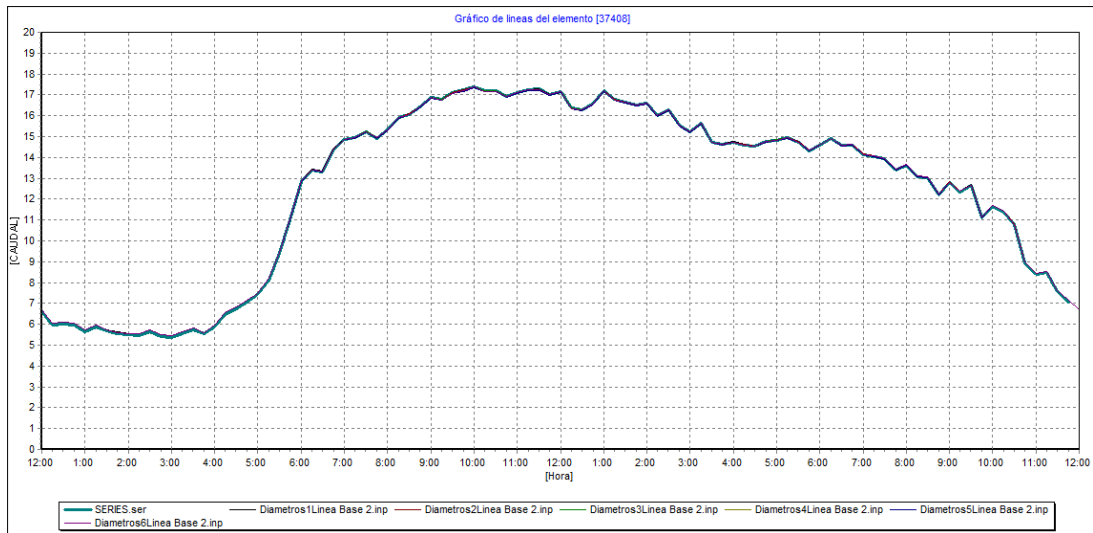
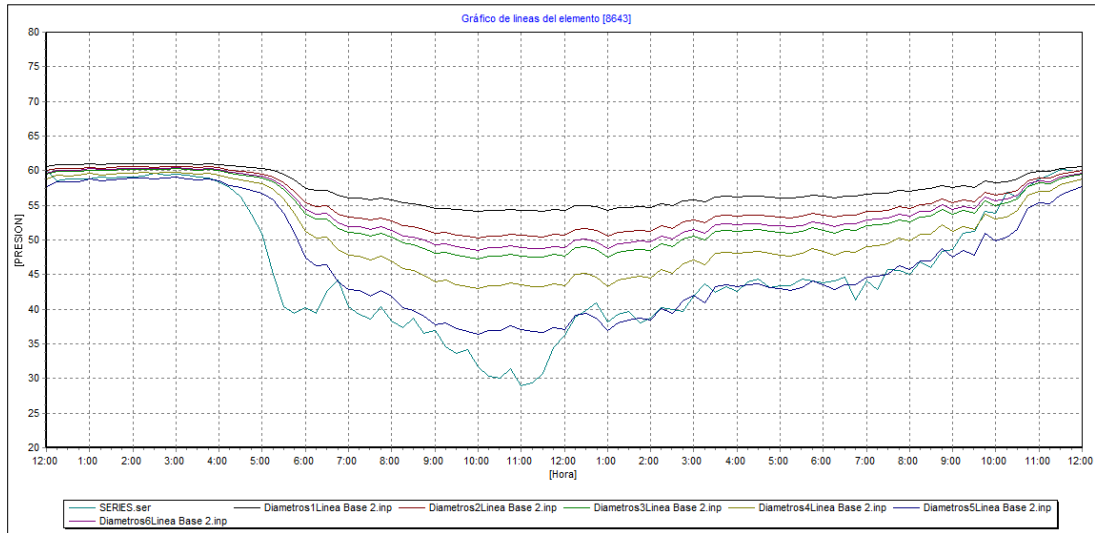


Figura 32. Grafica de presión del sector Café Madrid en el análisis por Diámetros en el nodo 8643



El escenario que mejor representa el comportamiento del punto de medición de presión es el escenario Diámetros 4, en estos escenarios se suponen errores topológicos de las tuberías de PVC del 20% y un desgaste del 40% de las tuberías de Hierro Dúctil (HD) debido a incrustaciones en las paredes de las mismas lo cual hace que su diámetro sea menor.

Análisis por pérdidas menores. En este análisis se consideran el efecto que tienen sobre la red la existencia de accesorios u otros elementos en contacto con el flujo, que generan pérdidas de energía.

Durante el análisis de perdidas menores se probaron varios escenarios con diferentes perdidas menores por unidad de longitud teniendo en cuenta el material de cada tubería.

Tabla 16. Escenarios para el análisis por pérdidas menores.

ESCENARIOS	PVC	HD
Menores 1	1.1	1.2
Menores 2	1.5	1.6
Menores 3	1.6	1.75
Menores 4	1.8	1.92
Menores 5	2	3

Figura 33. Comportamiento del punto de medición de Caudal del sector Café Madrid en el análisis por perdidas menores

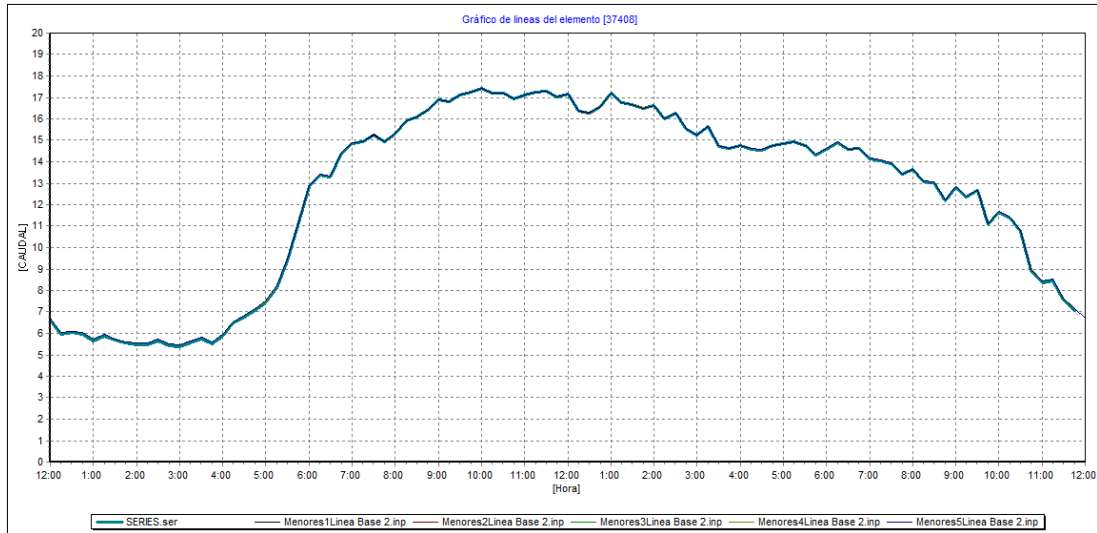
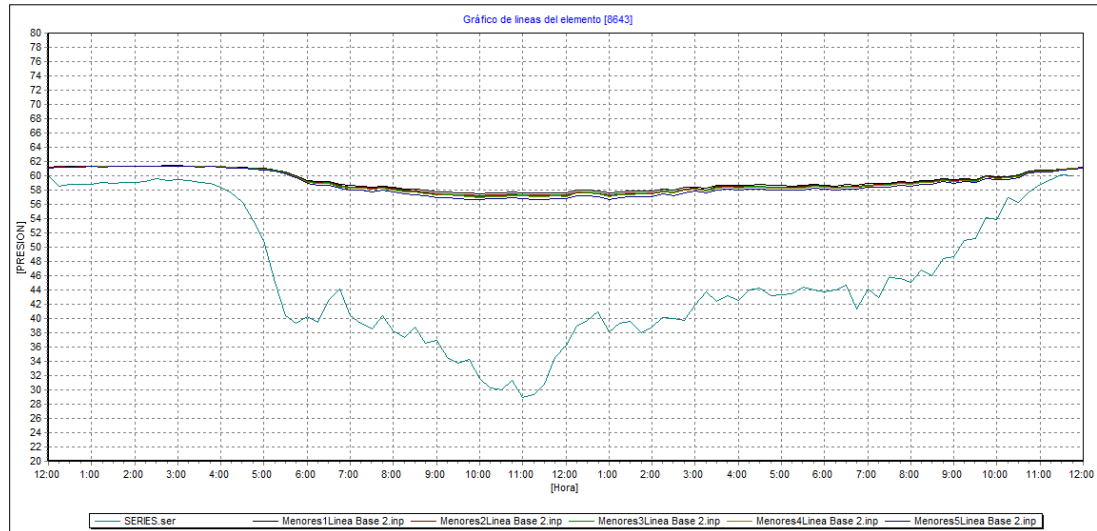


Figura 34. Grafica de presión del sector Café Madrid en el análisis por perdidas menores en el nodo 8643



El modelo no es muy sensible a las perdidas menores por unidad de longitud.

Análisis por rugosidades. En este análisis se analiza el efecto que tienen los cambios de la rugosidad original en las tuberías, sobre el comportamiento hidráulico del modelo. Los escenarios propuestos se crean con base en el material y la velocidad de flujo en las tuberías.

Tabla 17. Escenarios para el análisis por pérdidas menores.

ESCENARIOS	PVC	HD
Rugosidad 1	1.5	2
Rugosidad 2	2	2
Rugosidad 3	1.1	1.1
Rugosidad 4	1.5	1.8
Rugosidad 5	1.7	2

Figura 35. Comportamiento del punto de medición de Caudal del sector Café Madrid en el análisis por rugosidades

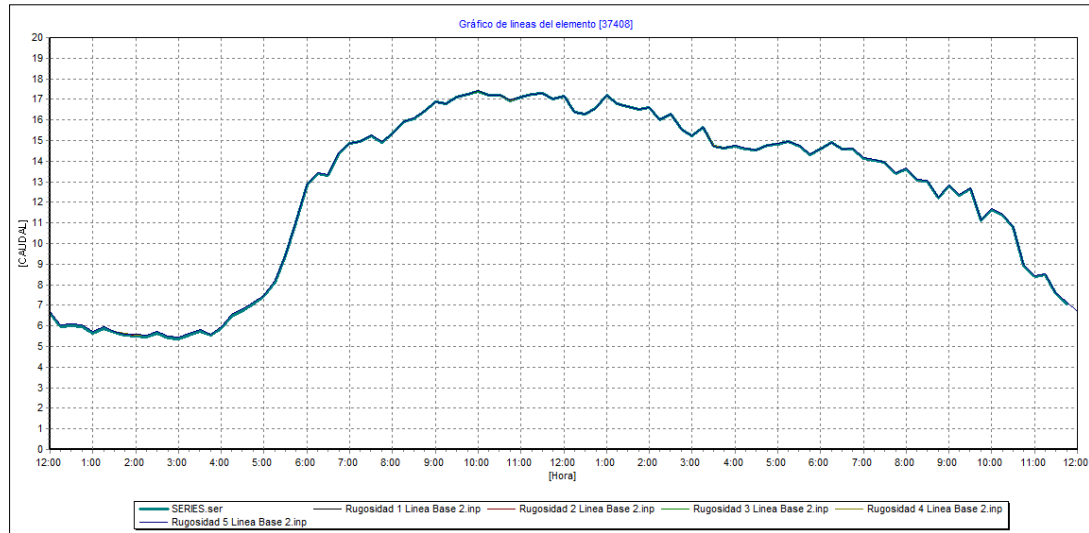
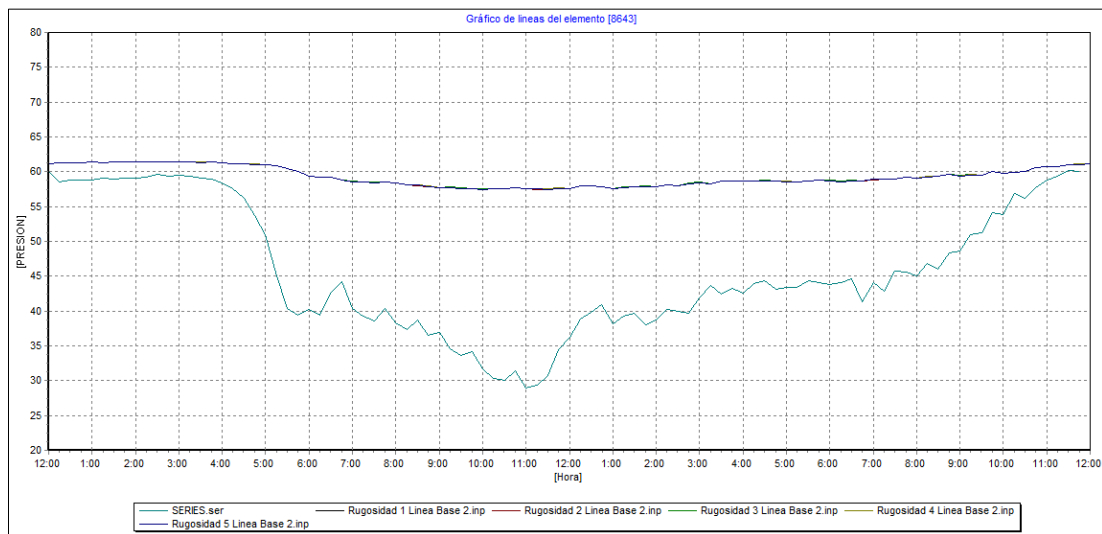


Figura 36. Grafica de presión del sector Café Madrid en el análisis por rugosidades en el nodo 8643



La influencia de las rugosidades no es significativa en el proceso de calibración de la red, probablemente porque el aumento de la rugosidad debido a las biopelículas en las tuberías no es significativo para que el régimen de flujo cambie en las tuberías

tanto de Hierro Dúctil, como las de PVC, ocasionando que el régimen de flujo siga siendo hidráulicamente liso, en donde el factor de fricción en las tuberías no depende de la Rugosidad.

4.7.4 Modelo unificado. Una vez realizados los análisis de sensibilidad de cada parámetro, se procede a tomar cada uno de los escenarios que logran un mejor ajuste para unificarlo en un modelo que abarque los escenarios de calibración que reflejen el comportamiento real de la red de agua potable del sector.

Con la asignación del escenario Demanda 4, Mostrado en la tabla 10 y de Emisores 3 obtenida en la Línea Base 2, también la asignación del escenario Diámetros 4, Rugosidad 3 mostrado en la tabla 12 y el escenario Menores 4.

Figura 37. Comportamiento del punto de medición de Caudal del sector Café Madrid para el modelo unificado.

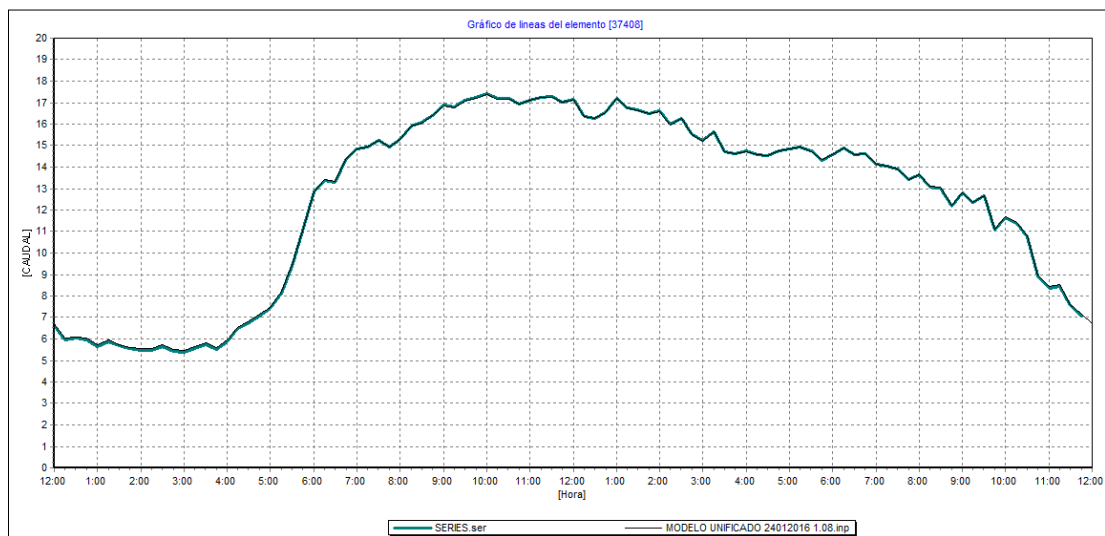
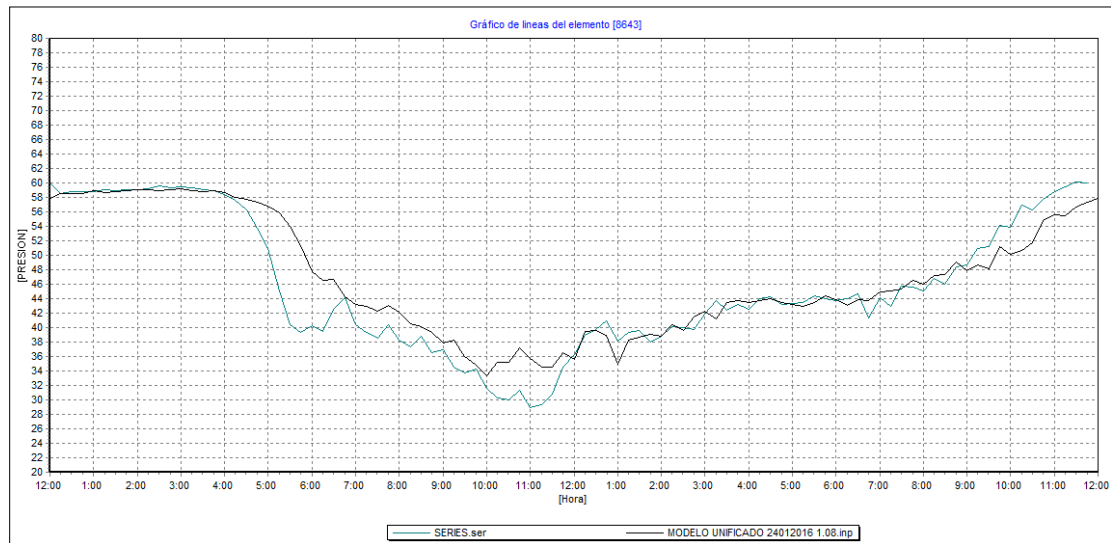


Figura 38. Grafica de presión del sector Café Madrid para el modelo unificado en el nodo 8643



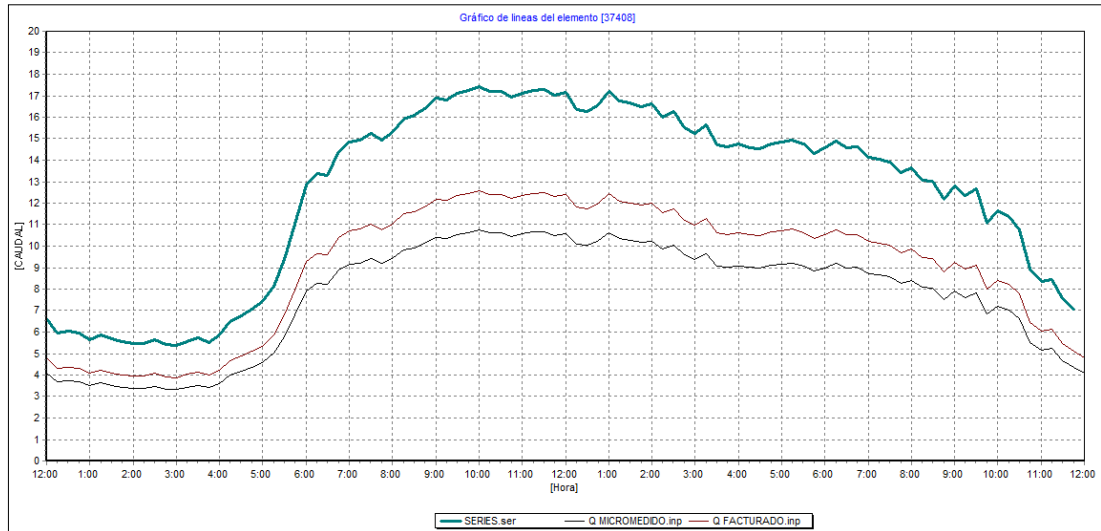
4.7.5 Análisis del índice de agua no contabilizada. Después de la recopilación de los datos de medición que permitieron calcular el caudal de entrada al sector se procedió a calcular el índice de agua no contabilizada mediante la diferencia entre el volumen del líquido que entra al sector y el volumen modelado. En este caso el caudal idealizado del modelo se ingresó primeramente con datos de consumo de facturación, seguidos de los datos de consumo de la campaña de micromedición, para así obtener dos modelos.

A continuación se presenta los datos obtenidos del caudal de entrada al sector medido, como los de los 2 modelos, junto con el volumen de líquido, que corresponde al área bajo la curva hallado con la ecuación del trapecio.

$$A = \frac{(B + b)}{2} * h$$

Donde B y b son la base mayor y menor respectivamente, en este caso el caudal cada 15 minutos, y h la altura, en este caso 15 minutos.

Figura 39. Caudal medido en el sector, caudal del modelo con datos de facturación y caudal del modelo con datos de campaña de micromedición.



En los dos modelos creados para hallar el IANC se nota una diferencia entre el volumen de agua facturada y el volumen de agua micro medido. A continuación se muestra la tabla de caudales de entrada al sector, la tabla de caudales modelada con datos de facturación y la tabla de caudales modelada con datos de la campaña de micromedición.

El volumen producido y entregado al sector fue de 18023.12 litros, el volumen facturado fue de 13011.15 litros y el volumen micromedido fue de 11114.25 litros

Así se procedió a calcular el IANC para los datos facturados y para los datos micromedidos los cuales se muestran en la tabla 15.

Tabla 18. IANC para facturación y campaña de micromedición.

IANC (Facturación)	27.81%
IANC(Campaña de Micromedición)	38.33%

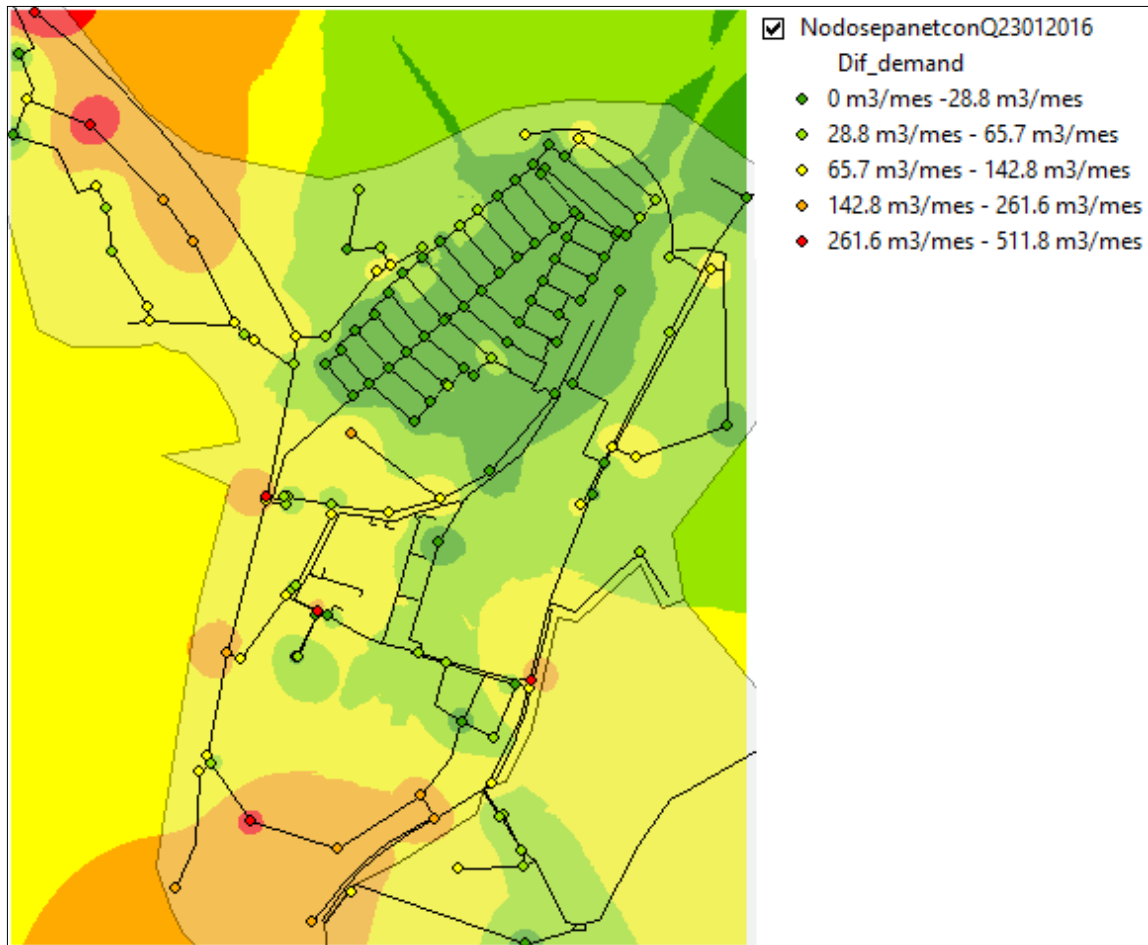
Es notable que la diferencia entre el IANC de datos de facturación y de la campaña de micromedición es superior al 10 %.

Por efectos de facturación cierta cantidad de usuarios entra a un proceso de crítica por parte del área comercial de la empresa, cobrándoles un valor promedio de consumo, ya que poseen una desviación significativa, es decir poseen un aumento o disminución de consumo comparado con los promedios de los últimos 3 periodos si la facturación es bimestral, o de los últimos 6 periodos si la facturación es mensual. Para usuarios con consumos promedios mayores o iguales a 40 m³/mes la desviación significativa es del 35% y para usuarios con consumos promedios menores a 40 m³/mes la desviación significativa es del 65%⁹.

4.7.6 Localización de zonas de demandas desconocidas. A través del software ArcGIS 10.1 se realizó la georreferenciación de los nodos de la red, y cada nodo con sus respectivos atributos de caudal para el modelo inicial y para el modelo calibrado. Para cada uno de los nodos de la red que poseen caudal, se realizó una diferencia entre la demanda del modelo calibrado y la demanda del modelo inicial, extrapolando la diferencia de litros por segundo a metros cúbicos por mes para así tener una mejor noción de la cantidad de agua que está dejando de ser facturada.

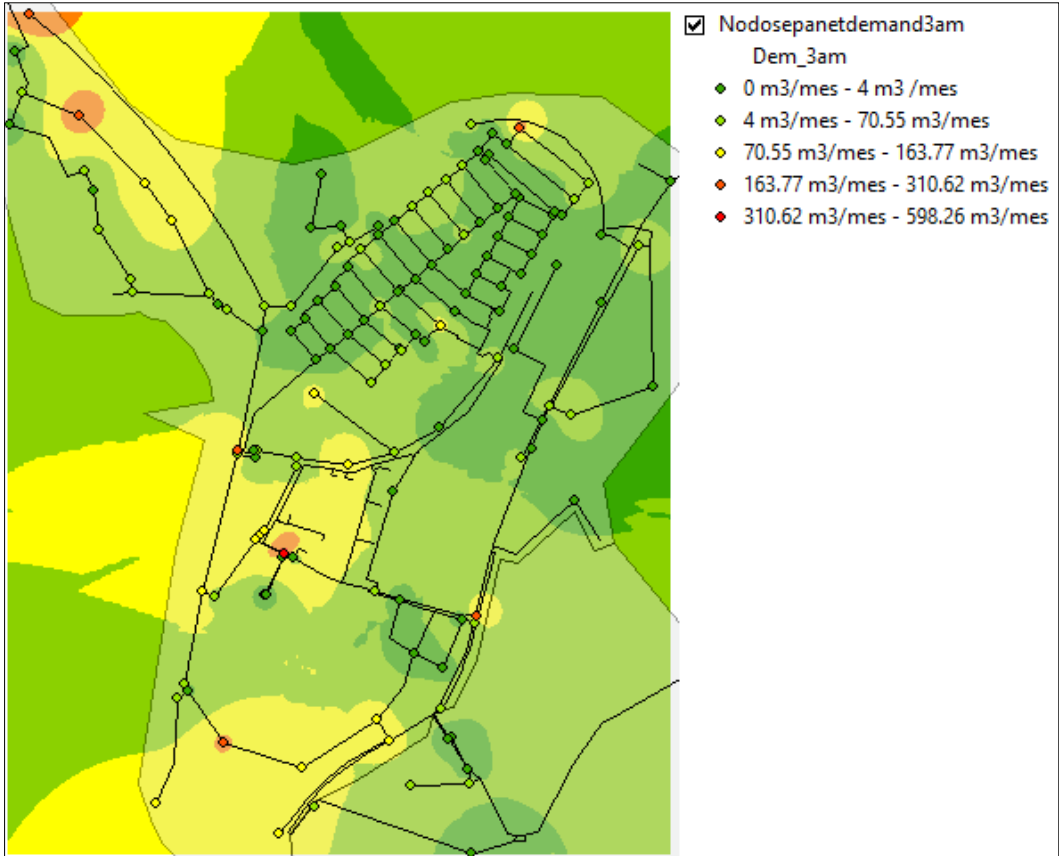
⁹ Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P. Contratos Uniformes. Disponible en: <http://www.amb.com.co/Normatividad/Archivos>

**Figura 40. Diferencia entre demanda del modelo calibrado y el modelo inicial.
Localización de demandas desconocidas**



4.7.7 Localización de zonas con posibles fugas. Se escogió la hora de mayor presión que es la de las 3:00 am para realizar la localización de zonas con posibles fugas, ya que a esta hora los emisores, que son los que simulan las fugas en la red tienen mayor demanda de caudal, la cual se suma a la demanda base del nodo, de esta manera se localizaron zonas con mayor influencia en la red.

Figura 41. Demanda en hora de mayor presión (3:00 AM) localización de pérdidas Técnicas.



5. CONCLUSIONES

El índice de agua no contabilizada (I.A.N.C) del sector Café Madrid con los datos de facturación fue del 27.81 % y con la campaña de micromedición realizada entre el 16 de Agosto hasta el 27 de Septiembre del 2014 fue del 38.33% presentándose una diferencia superior al 10% de este índice, debido a que cierta cantidad de usuarios entra a un proceso de crítica por parte del área comercial de la empresa, facturando para ellos valores promedios de consumo que de una u otra forma ocasiona que el I.A.N.C disminuya.

El ajuste más significativo del modelo hidráulico se presentó al variar la demanda en el modelo para los estratos socioeconómicos 1 y 2, en estrato 1 con un aumento del 60% y para el estrato 2 con un aumento del 15% demostrando que existe submedición y conexiones clandestinas en el sector. En ese orden de ideas las posibles causas de submedición pueden ser la edad de los medidores ya que el 65.85% fueron instalados entre 1990 y 2004, muchos de estos con lecturas mayores a 3000 m³ cumpliendo su etapa de buen funcionamiento, conjuntamente que el 75.49% de los medidores del sector son de ½" clase B , los cuales no tienen una buena precisión en medir caudales bajos menores a 30 litros por hora(l/h) y además de existir 58 medidores detenidos, correspondientes al 4.59% de los medidores del sector; asimismo es evidente la gran influencia de la presencia de conexiones clandestinas debido a la gran diferencia de caudal que se presenta en las horas de mayor consumo, ya que el modelo inicial presenta un caudal de 12.56 litros por segundo(lps) en la hora pico, y el modelo calibrado de 17.36 lps logrando un ajuste significativo cuando se realiza el aumento de las demandas.

Finalmente se obtuvo una noción de la ubicación de las zonas que presentan demandas desconocidas ya sea por conexiones clandestinas o submedición en la micromedición, donde la diferencia de consumo entre la demanda del modelo

calibrado y la demanda del modelo inicial en la hora de mayor gasto superan los 142.8 m³/mes, abarcando un área de 51.178,9 m² de los 312.257 m² que tiene el sector, estando en su mayor parte en el estrato 1. La zona con mayor participación es la que está comprendida en la carrera 3N 44 N (Sector la Loma y sector el túnel) la cual tiene un área de 19.392,29 m² ubicada con gran proximidad a el rio surata, esta zona tiene actualmente 3 suscriptores los cuales son pilas públicas y usuarios que en su momento tuvieron conexiones de un acueducto veredal que tuvo el sector. La segunda zona con mayor influencia está ubicada entre la Carrera 8 y Carrera 9 con Calle 32 AN la cual tiene un área de 28.245 m² y cuenta con algunas franjas rurales; donde la red es vulnerable a ser atacada por usuarios fraudulentos.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda al amb S.A E.S.P realizar mantenimiento a la válvula reguladora Café Madrid pues en el momento no se encuentra en funcionamiento, con lo cual se ayudaría a regular las presiones en las horas de la noche de una manera óptima en el sector, y así disminuir perdidas de tipo técnico en caso de existencia de fugas.

Se recomienda al amb S.A E.S.P realizar visitas a las zonas con mayor influencia de demandas desconocidas por parte de la Unidad Antifraude de la empresa, con el fin de establecer las razones de estas demandas y hallar usuarios fraudulentos para realizar su respectiva legalización y/o judicialización.

Se recomienda al amb S.A E.S.P renovar el parque de medidores con fechas de instalación entre 1990 y 1994 los cuales por tener más de 20 años de funcionamiento y presentar lecturas mayores a los 3000 m³ dejan de ser precisos en la medición y tienen altas probabilidades de presentar fallas.

BIBLIOGRAFIA

- Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P. Gestión de sustentabilidad 2013.
- Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P. Contratos Uniformes. Disponible en: <<http://www.amb.com.co/Normatividad/Archivos>>
- BLANCO PEREZ, Sergio Javier. Monografía como requisito para optar el título de Especialista en alta Gerencia. Propuesta de un plan de acción para la reducción de pérdidas comerciales derivadas del agua no contabilizada en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander, 2008.
- Centro de Investigación de acueductos y alcantarillados CIACUA. Metodología para la definición de planos óptimos de presiones y reducción de agua no contabilizada. Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, 2006.
- CRA. Proyecto de Reducción de pérdidas de Agua Potable y Reforma del Marco Regulador. Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. Disponible en: <<http://www.cra.gov.co>>
- SALDARRIAGA, J.G. y SALAS, D.E, Calibración de redes de distribución de agua potable bajo un ambiente de fugas, Seminario Internacional La Hidroinformática. Bogotá D.C: Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, 2007.