

**ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE AGUA NO CONTABILIZADA PARA EL DISTRITO MORRO
BAJO, MEDIANTE LA GENERACIÓN DE UN MODELO DE PRESIÓN ÓPTIMA Y LA
VERIFICACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA DISMINUCIÓN DE PRESIONES EN LA
FACTURACIÓN**

**ANDRÉS FELIPE GUERRA GUEVARA
CAROLINA ACEVEDO ACOSTA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2012**

**ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE AGUA NO CONTABILIZADA PARA EL DISTRITO MORRO
BAJO, MEDIANTE LA GENERACIÓN DE UN MODELO DE PRESIÓN ÓPTIMA Y LA
VERIFICACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA DISMINUCIÓN DE PRESIONES EN LA
FACTURACIÓN**

**ANDRÉS FELIPE GUERRA GUEVARA
CAROLINA ACEVEDO ACOSTA**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

Director

**LUIS FERNANDO CASTAÑEDA GALVIS
Magister en Ingeniería. Área Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO-MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2012**

Este logro quiero dedicarlo:

A mi madre Esperanza y a mi hermanita que son mi todo y gracias a su apoyo he llegado hasta aquí, porque cada vez que caí tube sus manos que me levantaron. Simplemente porque siempre han estado conmigo.

A mis pocos pero verdaderos amigos que me acompañaron en esta travesía y con los cuales compartí un sinnúmero de momentos especiales. En especial a Greisy Zulay por estar ahí siempre y a Andrés Guerra porque esto lo construimos juntos.

A mis familiares que estuvieron pendientes de mi recorrido y desarrollo profesional.

Carolina Acevedo Acosta.

Ala madre Dohora Elcy por su apoyo desde pequeñito, dándome la confianza en mis decisiones y permitiéndome desarrollar mi proyecto de vida.

A mi hermano Reynel Francisco por sus consejos a lo largo de me crecimiento como persona y profesional.

A Carolina por estar en esta etapa de mi vida y brindar su cariño.

A mis familiares Marco Antonio por estar pendiente y darme fortaleza y a mis amigos por su compañía y distracción, las cuales llenaron de buenos recuerdos mi vida.

Andrés Guerra.

AGRADECIMIENTOS

A Dios porque en la fé encontré fortaleza para superar las dificultades

A la virgen María por estar a mi lado, llenarme de fortaleza y espiritualidad en los momentos que necesitaba y darme alegrías inesperadas.

A la mamá de mi amiga Carolina doña Esperanza por dedicarme un poco del amor que les brinda a sus hijas.

A nuestro director Luis Fernando Castañeda por su orientación y dedicación en el desarrollo del proyecto.

Al Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, entidad que permitió realizar esta investigación.

A nuestras madres, hermana (o) que siempre estuvieron ahí, brindándonos su apoyo, su comprensión, su cariño o simplemente una palabra que servía de incentivo en esos momentos de debilidad. Simplemente Gracias por creer en nosotros.

A Universidad Industrial de Santander por ser el claustro que nos formo como profesionales.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	19
1 ANTECEDENTES	21
1.1 INVESTIGACIONES ADELANTADAS	21
2 OBJETIVOS	23
2.1 OBJETIVO GENERAL	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3 MARCO TEORICO	24
3.1 FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERÍAS	24
3.1.1 Fórmula de Darcy-Weisbach ecuación general del flujo de fluidos	24
3.1.2 Factor de fricción	25
3.1.3 Edad de las tuberías	26
3.2 FLUJO DE FLUIDOS EN VALVULAS Y ACCESORIOS	27
3.2.1 Flujo en válvulas y accesorios	27
3.2.2 Pérdidas de presión en válvulas y accesorios	28
3.2.3 Relación entre la pérdida de presión y la velocidad de flujo	28
3.2.4 Coeficiente de resistencia k, longitud equivalente l/d y coeficiente de flujo	28
3.3 LA RED CONSTRUIDA Y SU OPERACIÓN FUTURA	30
3.3.1 Redes de distribución	30
3.4 SOFTWARE QUE INTERVIENE EN EL PROCESO DE CALIBRACIÓN	32
3.4.1 EPANET	33
3.5 CALIBRACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCION	34
3.5.1 Objetivo de la calibración	35
3.5.2 Descripción del problema	35
3.5.3 Parámetros que afectan la calibración	35
3.5.4 Metodología de calibración	39

3.5.5	Fugas	40
3.6	INDICE DE AGUA NO CONTABILIZADA	42
3.6.1	Causas del volumen de agua no contabilizado	42
4	CARACTERISTICAS DEL DISTRITO MORRO BAJO-NORTE	45
4.1	GENERALIDADES	45
4.2	LOCALIZACIÓN	46
4.3	CATASTRO DE LA RED	47
4.3.1	Materiales	47
4.3.2	Diámetros	48
4.3.3	Descripción de usuarios por estrato	49
4.3.4	Descripción del uso de la red	50
5	CALIBRACIÓN	52
5.1	PUNTOS DE CONTROL DE LA RED DISTRIBUCIÓN	53
5.1.1	Control de medición de caudal	53
5.1.2	Control de medición de presión	54
5.2	MODELO INICIAL	55
5.3	CARACTERÍSTICAS INICIALES	56
5.4	CALIBRACIÓN DE MASA	58
5.4.1	Análisis por Demandas	58
5.4.2	Análisis por Emisores	60
5.5	CALIBRACIÓN DE ENERGÍA	65
5.5.1	Análisis por Diámetro	65
5.5.2	Análisis por Rugosidades	67
5.5.3	Análisis por Pérdidas Menores	69
5.6	MODELO UNIFICADO	71
6	IMPLEMENTACIÓN DE VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN EN EL MODELO CALIBRADO	73
6.1	LOCALIZACIÓN DE LAS VRP EN EL MODELO CALIBRADO	74
7	INDICE DE AGUA NO FACTURADA VS PRESION	77
7.1	Índice de agua no facturada	78
7.1.1	IANC régimen de presión alta	80
8	INCIDENCIA EN LA FACTURACIÓN	83

8.1	GENERALIDADES	83
8.2	ANALISIS DE CONSUMOS	83
8.2.1	Variación porcentual de consumos	85
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
	BIBLIOGRAFIA	89
	ANEXOS	91

LISTA DE TABLAS

	PAG.
Tabla 1 Distribución de materiales en la red	47
Tabla 2 Distribución de diámetros en la red del distrito Morro Bajo	48
Tabla 3 Relación de usuarios según el estrato	50
Tabla 4 Relación de usuarios por uso de la red	51
Tabla 5 Válvulas reguladoras de presión del distrito Morro Bajo	55
Tabla 6 Multiplicadores de la Demanda a diferentes estratos	59
Tabla 7 Grupos de presión para análisis por emisores	61
Tabla 8 Factores multiplicadores del análisis por Emisores	62
Tabla 9 Factores multiplicadores de la demanda empleados para conformación del modelo calibración de masas del distrito Morro Bajo-Norte	64
Tabla 10 Factores multiplicadores de emisores empleados para conformación del modelo calibración de masas del distrito Morro Bajo-Norte	64
Tabla 11 Factores multiplicadores de Diámetros.	66
Tabla 12 Factores multiplicadores por Rugosidades	68
Tabla 13 Valores asignados por Pérdidas Menores	70
Tabla 14 Válvulas del distrito Morro-Bajo	80
Tabla 15 Relación total de volumen de agua producido y facturado	82
Tabla 16 consumos por mes del distrito Morro Bajo- Norte	83
Tabla 17 Consumos en m ³ por mes Estrato 1	84
Tabla 18 Precio facturado por el Acueducto	85

LISTAS DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Tipos de flujo	25
Figura 2 Incrustaciones en tuberías de hierro galvanizado	27
Figura 3 Interfaz gráfica Epanet 2.0	34
Figura 4 Cambio de diámetro y rugosidad en una tubería de distribución de agua potable	38
Figura 5 Fuga típica en una tubería de distribución	41
Figura 6 Sector de estudio distrito Morro Bajo-Norte	46
Figura 7 Distribución porcentual de materiales en la red	48
Figura 8 Distribución de diámetros en la red del distrito Morro Bajo	49
Figura 9 Distribución porcentual de usuarios por estrato en el distrito Morro-Bajo	50
Figura 10 Distribución porcentual de uso de la red	51
Figura 11 Diagrama de flujo de la metodología de la calibración empleada	52
Figura 12 Tendencia de la curva de modulación del distrito Morro Bajo-Norte	54
Figura 13 Comportamiento del punto medición de presión en el Modelo inicial	55
Figura 14 Comportamiento del punto medición de presión en el Modelo Inicial	56
Figura 15 Comportamiento del punto medición de caudal en el modelo Características Iniciales	57
Figura 16 Comportamiento del punto medición de presión en el modelo Características Iniciales	58
Figura 17 Comportamiento del punto medición de caudal en el Análisis por Demandas	59
Figura 18 Comportamiento del punto medición de presión en el Análisis por Demanda	60
Figura 19 Comportamiento del punto medición de caudal en el Análisis por Emisores	62
Figura 20 Comportamiento del punto medición de presión en el Análisis por Emisores	63

Figura 21 Comportamiento del punto medición de caudal en el Modelo Calibración de Masa	64
Figura 22 Comportamiento del punto medición de presión en el Modelo Calibración de Masa	65
Figura 23 Comportamiento del punto medición de caudal en el análisis por Diámetros	67
Figura 24 Comportamiento del punto medición de presión en el análisis por Diámetros	67
Figura 25 Comportamiento del punto medición de caudal en el análisis por Rugosidades	68
Figura 26 Comportamiento del punto medición de presión en el análisis por Rugosidades	69
Figura 27 Comportamiento del punto medición de presión en el análisis por Pérdidas Menores	70
Figura 28 Comportamiento del punto medición de caudal en el Modelo Unificado	71
Figura 29 Comportamiento del punto medición de presión en el Modelo Unificado	72
Figura 30 Distribución de las válvulas en el modelo del distrito Morro Bajo-Norte	74
Figura 31 Modelo calibrado con las VRP Figura 32 Modelo calibrado sin las VRP	75
Figura 33 Comportamiento del punto medición de presión en el Modelo Calibrado con las VRP propuestas	76
Figura 34 Diferencia de volumen medido Vs Volumen Facturado	78
Figura 35 Régimen de presiones altas en el distrito	81
Figura 36 Relación de caudales para un régimen de presión alta	81
Figura 37 Consumos del distrito Morro Bajo-Norte	84
Figura 38 Valor facturado para el estrato 1	85

LISTAS DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Diagrama de Moody	91
ANEXO B. Pérdidas de presión vs velocidad del agua	92
ANEXO C. Distribución de diámetros por Material	92
ANEXO D. Clasificación de usuarios por estrato	95
ANEXO E. Clasificación por tipo de uso	96
ANEXO F. Equivalencias de diámetros	96
ANEXO G. Coeficientes asignados y distribución de los nodos Análisis por Emisores	98
ANEXO H. Mejores escenarios para la construcción del Modelo unificado	98
ANEXOS I. Relación Volumen producido-Volumen facturado	99
ANEXO J. Comportamiento de los puntos de medición de presión en el Modelo Unificado del distrito Morro Bajo- Norte	101
ANEXO K. Tarifas de cobro del servicio de acueducto de los municipios de Bucaramanga	102
ANEXO L. Análisis grafico de la incidencia en la facturación	103

RESUMEN

TITULO: ESTIMAR EL ÍNDICE DE AGUA NO CONTABILIZADA EN LA RED HIDRÁULICA DEL DISTRITO MORRO BAJO, BASADOS EN LA OPTIMIZACIÓN DE LA PRESIÓN DE ENTRADA AL DISTRITO, MEDIANTE LA INSTALACIÓN DE VÁLVULAS REGULADORAS Y SU POSIBLE INCIDENCIA EN LA FACTURACIÓN*

AUTORES: ACEVEDO ACOSTA, Carolina

GUERRA GUEVARA, Andrés Felipe**

PALABRAS CLAVES: masa, energía, hidráulica, topológica, Calibración, Escenario, Índice, Presión.

DESCRIPCIÓN

La generación del modelo hidráulico de la red de distribución de agua potable es la base inicial para el proceso de calibración de la red existente de tal forma que su modelo se convierte en una herramienta operacional que permite; detectar zonas con problemas como fugas, optimizar la presión de operación, modelar hipótesis de cambios de operación y mantenimiento, entre otras. Todas estas tareas, no podrían llevarse a cabo sin la generación de un modelo de la red correctamente calibrado.

La calibración de un modelo hidráulico, consiste en ajustar las curvas de masa que representa el caudal que ingresa al sistema y las curvas de energía, que reporta la energía consumida en el transporte y distribución del agua, primero realizamos un monitoreo de la red de distribución a través de mediciones de caudal y presión en distinto puntos de la misma, para la calibración de las curvas se consideran las variables hidráulicas y topológicas que la afecta a la red mediante la creación de escenarios. A través de los cuales se busca ajustar las curvas de masa y energías para obtener así un modelo hidráulico del distrito calibrado.

La finalidad del proceso es obtener las condiciones óptimas de operación de la red de distribución de agua potable del distrito; para así poder identificar una posible relación entre la presión y el índice de agua no contabilizada y la incidencia sobre los consumos del distrito.

* Proyecto de grado.

** Facultad de ingeniería Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis Fernando Castañeda Galvis.

ABSTRACT

TITLE: ESTIMATING THE RATE OF WATER IN THE RED UNACCOUNTED HYDRAULIC HOSE IN DISTRICT BASED ON OPTIMIZING INLET PRESSURE TO THE DISTRICT, BY INSTALLING VALVES AND POSSIBLE REGULATORY IMPACT ON THE BILLING

**AUTHORS: ACEVEDO ACOSTA, CAROLINA
GUERRA GUEVARA, ANDRES FELIPE**

KEYWORDS: mass, energy, hydraulic, topological, calibration, Stage, Index, Pressure.

DESCRIPTION

The generation of the hydraulic model of the distribution network of drinking water is the initial base to the calibration process of the existing network so that your model becomes an operational tool that allows to identify problem areas such as leaks, to optimize the operating pressure, to simulate hypothesis changes operation and maintenance, among others. All these tasks could not be accomplished without the generation of a network model properly calibrated.

Calibration of a hydraulic model is to adjust the mass curves representing the input flow to the system and the energy curves, reporting the energy consumed in the transport and distribution process of the water; first, we monitor the distribution network through flow and pressure measurements in different points of it. To calibrate the curves are considered the hydraulic and topological variables that affect the network by creating scenarios, Through which is sought to adjust the mass and energy curves to obtain a hydraulic model from calibrated district.

The goal of the process is to obtain the optimum operating conditions of the distribution network of drinking water district, to identify a possible relation between pressure and rate of unaccounted water index and the impact on consumption in the district.

* Grade Project.

** Faculty of Engineerings Physicomechanical. School of Civil Engineering. Director: Fernando Castañeda Galvis

INTRODUCCIÓN

Una problemática que afecta a las empresas dedicadas a la producción y distribución de agua potable hace referencia a la regulación que exige la puesta en marcha de procesos que mejoren la gestión y operación de dichas empresas en aspectos como el control de agua no contabilizada. Bajo esta situación se hace necesario que las empresas del sector dispongan de modelos hidráulicos calibrados de las redes de distribución lo suficientemente confiables como para poder tomar decisiones a partir de las simulaciones de estos.

En la práctica los modelos hidráulicos son los encargados de simular el comportamiento de las redes de distribución. Sin embargo, estos no representan con exactitud los resultados obtenidos en campo; ya que la información con la que se establece la simulación no refleja las condiciones reales del sistema en su totalidad.

El presente documento contiene información sobre las variables que intervienen directa e indirectamente en la magnitud del volumen de agua no facturada. Para calibrar el modelo es necesario conocer en forma detallada los parámetros de una red de distribución, que son de tipo hidráulico y topológico. Adicionalmente hay que conocer la demanda de los nodos de alimentación de agua a la red, incluyendo su ubicación topográfica y sus restricciones de caudal. También los caudales de consumo y la presión en algunos nodos con el fin de tener datos para calibrar la red. Dentro del esquema de calibración se emplea la calibración de la curva de masa, se considera dos análisis por demandas y emisores. Se crea escenarios con el incremento de los consumos y la asignación de coeficientes con el fin de simular la presencia de fugas. La creación de estos escenarios se basa en criterios hidráulicos, socioeconómicos y topológicos de la red hidráulica del distrito. Y por último para la calibración de la curva de energía y el modelo definitivo calibrado de la red se tendrá en cuenta los siguientes análisis por diámetros, rugosidades y pérdidas menores. La creación de estos escenarios de prueba se realiza con base en el material, la velocidad de flujo de las tuberías que causan pérdidas de energía, a través de los cuales se busca ajustar las curvas de energías para conseguir un modelo hidráulico del distrito calibrado.

Así el cuidado que se debe tener al momento de calibrar el sector de la red en estudio ya que este puede estar conformado por tuberías con edades superiores a los 30 años. Esta situación implica que en la red se debe llevar a cabo el proceso de calibración en presencia de fugas difíciles de detectar. Cuando se trabaja en ambiente de fugas, es necesario calibrar también las características que las definen. Si esto no se hace, se tendría una calibración inútil, puesto que el resultado no sería representativo de la hidráulica del sistema.

Recopilando lo anterior, el objetivo del presente trabajo de investigación, se centra en generar un ambiente óptimo de calibración para un sector de la red de distribución de agua potable del municipio de Bucaramanga y que se convierta en una herramienta operacional que permite; detectar zonas con problemas como fugas, optimizar la presión de operación, modelar hipótesis de cambios de operación y mantenimiento, entre otras para que el acueducto perfeccione el servicio y maximice sus ingresos.

1 ANTECEDENTES

1.1 INVESTIGACIONES ADELANTADAS

Desde la última década se ha generado un especial interés por parte de las empresas de servicios acueducto y alcantarillado, en establecer un control sobre las pérdidas propias al proceso, las cuales deben estar presupuestadas y controladas. Con la Ley 142 de 1994, conocida como Ley de Servicios Públicos Domiciliarios, se pretendió regular el índice de agua no contabilizada, estableciendo un valor de eficiencia del treinta por ciento (30%)¹ para este indicador. Sin embargo la falencia más fuerte se encuentra en la optimización de los modelos hidráulicos; esto ha despertado el interés en adelantar investigaciones con el fin de dar solución o mejora a la problemática en cuestión.

Hasta la fecha existe una gran cantidad de documentos que desarrollan e implementan una serie de metodologías aplicadas al control del agua no contabilizada, específicamente, el “Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados – CIACUA” de la Universidad de los Andes ha desarrollado una metodología para la determinación del “Plano Óptimo de Presiones”, el objetivo de esta metodología es reducir la presión en la red de distribución de agua potable, la implementación de esta se da a muy bajo precio y con el menor efecto posible en el consumo de los usuarios. Paralelo al desarrollo de esta metodología se han desarrollado en el CIACUA² varias investigaciones acerca del problema de calibración desde 1999 con el propósito de desarrollar una rutina de calibración que permita calibrar una red de distribución a partir de la información que se pueda obtener de la misma.

A estos estudios se le adicionan un conjunto de tesis de grado que aportan componentes importantes para el entendimiento del proceso de calibración de redes de distribución. Entre estas se encuentra la tesis desarrollada por Felipe Leal en enero de 2003 “Metodología para la calibración de redes de distribución bajo un ambiente de fugas”, en la cual el autor analiza el efecto de las fugas en el ajuste de las diferentes variables topológicas de calibración.

En el año 2004 el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga en sociedad con el CIACUA, determinaron un posible plan de actividades de investigación, consultoría y asesoría, cuyo objetivo fue la implementación de la “Metodología para la definición del Plano Óptimo de Presiones y reducción de Agua no Contabilizada”

¹ MARTINEZ, Jhon Jairo. ANALISIS SUBSECTORIAL COMISION DE REGULACION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO-CRA. Bogotá 17 de Junio de 2002. P.4

² Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados

para el distrito el Estadio del municipio de Bucaramanga. En la actualidad, con la resolución 2320 de Noviembre 27 de 2009, la cual modifica el porcentaje de pérdidas técnicas máximas admisibles porcentaje que no debe superar el veinticinco por ciento (25%), con esto implícitamente se reduce el porcentaje de eficiencia para índice de agua no contabilizada, generando así que las empresas prestadoras del servicio de agua potable, implementen nuevas estrategias que les permitan optimizar sus procesos, además desde una perspectiva ambiental, la disminución de las pérdidas de agua representa una reducción en la tasa de explotación del recurso, que se refleja, además en la disminución de los costos de producción.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- ♣ Estimar el índice de agua no contabilizada en la red hidráulica del distrito Morro Bajo-Norte, basados en la optimización de la presión de entrada al distrito, mediante la instalación de válvulas reguladoras y su posible incidencia en la facturación.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ♣ Establecer la zona de estudio, la cual debe cumplir con los criterios técnicos determinados para el análisis propuesto.
- ♣ Generar el modelo de la red de distribución del distrito Morro Bajo-Norte basados en las variables topológicas, consumos de caudales y demás información aportada por la empresa amb³.
- ♣ Calibrar el modelo hidráulico, bajo un ambiente de situaciones generadas con la variación de los parámetros topológicos en el modelo original. Dicho modelo deberá representar adecuadamente las situaciones reales de operación de la red.
- ♣ Comparar el estado de presiones actual con el modelo calibrado en el cual se propondrá la instalación de válvulas reguladoras de presión.
- ♣ Identificar la relación presión-agua no contabilizada en el distrito de estudio.

³ Acueducto Metropolitano de Bucaramanga

3 MARCO TEORICO

3.1 FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERÍAS

Los sistemas de distribución de agua potable están conformados por la unión de una gran cantidad de tuberías simples, las cuales interactúan entre sí para transportar el líquido a través de grandes distancias. Para establecer con certeza el comportamiento de la masa y energía en cualquier momento y en todo lugar dentro de éstas, es necesario resolver de manera simultánea, un conjunto de sistemas de ecuaciones no lineales que resulta como producto del comportamiento de cada uno de los elementos que conforman la red.

3.1.1 Fórmula de Darcy-Weisbach ecuación general del flujo de fluidos

El flujo de los fluidos en tuberías está siempre acompañado de rozamiento de las partículas del fluido entre sí y por la pérdida de energía disponible; en otras palabras, tiene que existir una pérdida de presión en el sentido del flujo. La ecuación general de la pérdida de presión, conocida como la fórmula de Darcy y que se expresa en metros de fluido, es:

$$h_f = f * \frac{l}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 3.1 Ecuación Darcy - Weisbach

Donde:

h_f : Pérdida [m]

f : Factor de fricción de Darcy

l : Longitud del tramo de tubería [m]

D : Diámetro de la tubería [m]

v : Velocidad media del flujo en la tubería [m/s]

La ecuación de Darcy es válida tanto para flujo laminar como turbulento de cualquier líquido en una tubería.

3.1.2 Factor de fricción

La fórmula de Darcy puede deducirse por análisis dimensional con la excepción del factor de fricción f , que debe ser determinado experimentalmente. El factor de fricción para condiciones de flujo laminar ($Re < 2000$) es función lineal del número de Reynolds; mientras que para el flujo turbulento ($Re > 4000$) es también función del tipo de pared de la tubería. La región que se conoce como la “zona crítica” aparece entre los números de Reynolds de 2000 a 4000. En esta región el flujo puede ser tanto laminar como turbulento, dependiendo de varios factores; éstos incluyen cambios de sección, de dirección del flujo y obstrucciones tales como válvulas corriente arriba de la zona considerada. El factor de fricción en esta región es indeterminado y tiene límites más bajos si el flujo es laminar y más altos si el flujo es turbulento.

Figura 1 Tipos de flujo



Para números de Reynolds superiores a 4000, las condiciones de flujo vuelven a ser más estables y pueden establecerse factores de rozamiento definitivos. Esto es importante, ya que permite al ingeniero determinar las características del flujo de cualquier fluido que se mueva por una tubería, suponiendo conocidas la viscosidad y la densidad en las condiciones del flujo.

Si el flujo es laminar ($R < 2000$), el factor de fricción puede determinarse a partir de la ecuación:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Ecuación 3.2 Ecuación de fricción para flujo laminar

Cuando el flujo es turbulento ($R > 4000$) el factor de fricción depende no sólo del número de Reynolds, sino también de la rugosidad relativa de las paredes de la tubería, \mathcal{E}/D , es decir, la rugosidad de las paredes de la tubería (\mathcal{E}) comparada con el diámetro de la tubería (D).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Ecuación 3.3 Ecuación de Colebrook-White

Como el tipo de la superficie interna de la tubería comercial es prácticamente independiente del diámetro, la rugosidad de las paredes tiene mayor efecto en el factor de fricción para diámetros pequeños. En consecuencia las tuberías de pequeño diámetro se acercan a la condición de gran rugosidad y en general tienen mayores factores de fricción que tuberías del mismo material pero de mayores diámetros.

La información más útil y universalmente aceptada sobre factores de fricción que se utiliza en la fórmula de Darcy, la presentó L.F. Moody. El profesor Moody mejoró la información en comparación con los conocidos diagramas de factores de fricción, de Pigott y Kemler, incorporando investigaciones más recientes y aportes de muchos científicos de gran nivel.

El factor de fricción f , con base a la rugosidad relativa y el número de Reynolds. El valor f se determina por la proyección horizontal de la intersección de la curva ϵ/D seguir el número de Reynolds (ver anexo A). Como la mayor parte de los cálculos tratan con tuberías de acero comercial o tuberías de hierro forjado debe tenerse en cuenta que estos valores sólo se aplican cuando las tuberías son nuevas y están limpias.

3.1.3 Edad de las tuberías

Las pérdidas por fricción en tuberías son muy sensibles a los cambios de diámetro y rugosidad de las paredes. Para un caudal determinado y un factor de fricción fijo, la pérdida de presión por metro de tubería varía inversamente a la quinta potencia del diámetro. Por ejemplo, si se reduce en 2% el diámetro, causa un incremento en la pérdida de la presión del 11%; a su vez, una reducción del 5% produce un incremento del 29%.⁴

En muchos de los servicios, el interior de la tubería se va incrustando con cascarilla, tierra y otros materiales extraños; luego, es una práctica prudente dar margen para reducciones del diámetro de paso. Los técnicos experimentados indican que la rugosidad puede incrementarse con el uso (debido a la corrosión o incrustación) en una proporción determinada por el material de la tubería y la naturaleza del fluido. Ippen⁵, comentando sobre el efecto de la edad de las tuberías, cita: “Una tubería de 4 pulgadas de acero galvanizado que duplicó su

⁴ Crane. *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. 1ª edición. Pagina I-9

⁵ Profesor asistente, Laboratorio de Hidráulica, Universidad de Lehigh, Bethlehem, Pa.

rugosidad e incrementó el factor de fricción en 20% después de 3 años de un uso moderado.

Figura 2 Incrustaciones en tuberías de hierro galvanizado



Fuente: <http://www.tratamientosdeaguas.es>

3.2 FLUJO DE FLUIDOS EN VALVULAS Y ACCESORIOS

3.2.1 Flujo en válvulas y accesorios

3.2.1.1 Válvulas

Si las válvulas se clasificaran según su resistencia que ofrece al flujo, las que presenta un paso directo del flujo como las válvulas de compuerta, bola, macho y de mariposa pertenece al grupo de baja resistencia. Las que tiene un cambio en la dirección del flujo como las válvulas como las de globo y angulares esta en el grupo de alta resistencia.

3.2.1.2 Accesorios

Los acoplamientos o accesorios para conexiones se clasifican en: de derivación de reducción de ampliación y desviación. Los accesorios como té, cruces, codos con salida lateral, etc. Pueden agruparse como accesorios de derivación.

Los conectores de reducción o ampliación son aquellos que cambian la superficie de paso del fluido. En esta clase están las reducciones y las uniones. Los accesorios de desvío, curvas, codos, curva en U, etc., son aquellos que cambia la dirección de flujo.

3.2.2 Pérdidas de presión en válvulas y accesorios

Cuando un fluido se desplaza uniformemente por una tubería recta, larga de diámetro constante la configuración del flujo se indica por la distribución de la velocidad sobre el diámetro de la tubería la cual adopta una forma característica. Cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial. Altera la configuración característica de flujo y ocasiona una turbulencia causando una pérdida de energía mayor de la que normalmente se produce en un flujo por una tubería recta. Ya que las válvulas y accesorios en una línea de tuberías alteran la configuración del flujo, produce una pérdida de presión adicional.

La pérdida de presión total producida por una válvula o accesorios consiste en:

- ♣ La pérdida de presión dentro de la válvula.
- ♣ La pérdida de presión en la tubería de entrada es mayor de la que se produce normalmente si no existe válvula en la línea. Este efecto es pequeño.
- ♣ La pérdida de presión en la tubería de salida es superior a la que se produce normalmente si no hubiera válvula en la línea. Este efecto puede ser muy grande.

3.2.2.1 Válvula reductora de presión

Es una válvula modulante pilotada que se instala en la red para regular la presión aguas abajo a un valor menor regulado y constante. Como válvula modulante, el paso de agua viene determinado por la posición del pistón que se encuentra en su interior y al haber diferentes situaciones de consumo y presión de entres existe una infinidad de posiciones.

3.2.3 Relación entre la pérdida de presión y la velocidad de flujo

Muchos experimentos han demostrado que la pérdida de presión debida a válvulas y accesorios es proporcional a la velocidad elevada a un exponente constante. Cuando la caída de presión o pérdida de presión se gráfica contra la velocidad en coordenadas logarítmicas, la curva resultante es por tanto una línea recta (ver anexo B *Pérdidas de presión vs velocidad del agua*).

3.2.4 Coeficiente de resistencia k, longitud equivalente l/d y coeficiente de flujo

Las pérdidas de presión en un sistema de tuberías se deben a varias características del sistema, que pueden clasificarse así:

1. Rozamiento en las paredes de la tubería, que es función de la rugosidad de la superficie interior de la misma, del diámetro interior de la tubería y de la velocidad, densidad y viscosidad del fluido.
2. Cambios de dirección del flujo.
3. Obstrucciones en el paso del flujo.
4. Cambios repentinos o graduales en la superficie y contorno del paso del flujo.

La velocidad en una tubería se obtiene mediante la presión o altura estática, y el descenso de la altura estática o pérdida de presión debida a la velocidad es:

$$h_m = \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación 3.4 Ecuación de pérdida de presión debida a la velocidad

El flujo por una válvula o accesorio en una línea de tubería causa también una reducción de la altura estática, que puede expresarse en función de la altura de velocidad. El coeficiente de resistencia K_m en la ecuación,

$$h_m = K_m \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación 3.5 Ecuación de pérdida de altura de velocidad para una válvula o accesorio

Está siempre asociado con el diámetro al cual se refiere la velocidad. En la mayor parte de las válvulas o accesorios las pérdidas por fricción (punto 1 de los mencionados), a lo largo de la longitud real de flujo, son mínimas comparadas con las debidas a uno o más de los otros tres puntos mencionados.

Por ello, el coeficiente de resistencia K_m se considera independiente del factor de fricción y del número de Reynolds, que puede tratarse como constante para cualquier obstáculo dado (por ejemplo, válvula o accesorio) en un sistema de tuberías bajo cualquier condición de flujo, incluida la de régimen laminar. La misma pérdida para una tubería recta se expresa por la ecuación de Darcy:

$$h_f = \left(f \frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación 3.6 Ecuación de Darcy-Weisbach

De donde resulta que:

$$K_m = \left(f \frac{L}{D} \right)$$

Ecuación 3.7 Ecuación del coeficiente de resistencia

La relación L/D es la longitud equivalente en diámetros de tubería recta que causa la misma pérdida de presión que el obstáculo, en las mismas condiciones de flujo. Ya que el coeficiente de resistencia K_m es constante para cualquier condición de flujo, el valor de L/D para cualquier válvula o accesorio dados, debe variar de modo inverso al cambio del factor de fricción para las condiciones diferentes de flujo.

El coeficiente de resistencia K_m , en teoría es una constante para todas las medidas de un cierto diseño o línea de válvulas y accesorios, si todas las medidas fueran geoméricamente similares. Sin embargo, la similitud geométrica es difícil que ocurra; si lo fuera, es porque el diseño de válvulas y accesorios se rige por costos de fabricación, normas, resistencia estructural y otras consideraciones.

3.3 LA RED CONSTRUIDA Y SU OPERACIÓN FUTURA

3.3.1 Redes de distribución

Las tuberías interconectadas en las cuales el flujo en una salida dada, puede venir de diferentes circuitos, se conoce como una red de tuberías, análogas al flujo a través de redes eléctricas. Los problemas en estas redes, en general son complejos y requiere soluciones de prueba y errores en las cuales los circuitos elementales se balancean en tandas hasta que todas las condiciones de flujo se satisfagan.

Las siguientes condiciones se deben satisfacer en una red de tubería:

- ♠ La suma algebraica de las caídas de presiones en cada circuito debe ser cero.
- ♠ El caudal de entrada debe ser igual al de salida en cada unión.

Se debe satisfacer la ecuación de Darcy-Weisbach, o una fórmula equivalente exponencial de fricción, para una tubería, es decir, la relación apropiada entre la pérdida de cabeza y el caudal se debe mantener en cada tubería.

3.3.1.1 Ecuaciones de cabeza

Si para un nodo i, se plantea la ecuación de conservación de masa, teniendo en cuenta los signos de los caudales (positivo si entra al nodo, negativo si sale), se obtiene:

$$\sum_{j=1}^{NT_i} Q_{ij} - Q_{Di} = 0$$

Ecuación 3.8 Ecuación de conservación de masas

NTi: Número de tubos que se conectan al nodo i

Qij: Caudal que va del nodo j al nodo i

La diferencia de energía entre dos nodos conectados por un tubo es igual a las pérdidas de energía que ocurren en ese tubo. Si para cada tubo conectado al nodo i, se plantea la ecuación de conservación de energía, se tiene:

$$\begin{aligned}
 H_j - H_i &= Hm_{ij} + Hf_{ij} \\
 \Rightarrow H_j - H_i &= \left[\sum Km \right]_{ij} \frac{v_{ij}^2}{2G} + \left[f \frac{L}{D} \right]_{ij} \frac{v_{ij}^2}{2G} \Rightarrow H_j - H_i = \frac{v_{ij}^2}{2G} \left[\sum Km + f \frac{L}{D} \right]_{ij} \\
 \Rightarrow H_j - H_i &= \frac{Q_{ij}^2}{2GA_{ij}^2} \left[\sum Km + f \frac{L}{D} \right]_{ij} \Rightarrow Q_{ij} = \left(\frac{H_j - H_i}{\left[\sum Km + f \frac{L}{D} \right]_{ij}} \right)^{1/2} A_{ij} \sqrt{2G}
 \end{aligned}$$

Ecuación 3.9 Ecuación de conservación de energía

Ésta última ecuación define el caudal en un tubo. Si se reemplaza en la ecuación de conservación de masa del nodo se obtiene:

$$\sum_{j=1}^{NT_i} \left(\frac{H_j - H_i}{\left[\sum Km + f \frac{L}{D} \right]_{ij}} \right)^{1/2} A_{ij} \sqrt{2G} - Q_{Di} = 0$$

Ecuación 3.10 Ecuación de conservación de masas

Estas ecuaciones se conocen como las ecuaciones de cabeza. En la red se tienen $(NU^6 - 1)$ ecuaciones de éste tipo, debiéndose conocer alguna cabeza en la red, para poder resolver las demás. Esto permite conocer la distribución de caudales en la red, pues ésta depende de los cambios de energía entre nodos, no de sus valores absolutos.

3.3.1.2 Ecuaciones de caudal

La ecuación de energía alrededor de un circuito se puede plantear de la siguiente manera:

$$\sum_{j=1}^{NT'_i} Hf_{ij} + \sum_{j=1}^{NT'_i} Hm_{ij} = 0$$

Ecuación 3.11 Ecuación de energía

NT': Número de tubos del circuito i

$$\Rightarrow \sum_{j=1}^{NT'_i} \frac{v_{ij}^2}{2G} \left[\sum Km + f \frac{L}{D} \right]_{ij} = 0 \qquad \Rightarrow \sum_{j=1}^{NT'_i} \frac{Q_{ij}^2}{2GA_{ij}^2} \left[\sum Km + f \frac{L}{D} \right]_{ij} = 0$$

Ecuación 3.12 Ecuaciones de caudal

Las ecuaciones de éste tipo se conocen como las ecuaciones de caudal y existen NC ecuaciones de éstas en una red, donde NC es el número de circuitos en la red.

3.4 SOFTWARE QUE INTERVIENE EN EL PROCESO DE CALIBRACIÓN

Actualmente existen diferentes herramientas tecnológicas que facilitan la modelación de las redes de distribución, generando así un modelo que se acerca más a las condiciones reales de la red.

⁶ NU = Número de nodos o uniones

3.4.1 EPANET⁷

EPANET es un programa que realiza simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución a presión. En general, una red consta de tuberías, nodos (conexiones entre tuberías), bombas, válvulas y tanques de almacenamiento o depósitos. EPANET determina el caudal que circula por cada una de las conducciones, la presión en cada uno de los nodos, el nivel de agua en cada tanque y la concentración de diferentes componentes químicos a través de la red durante un determinado período de simulación analizando en diferentes intervalos de tiempo.

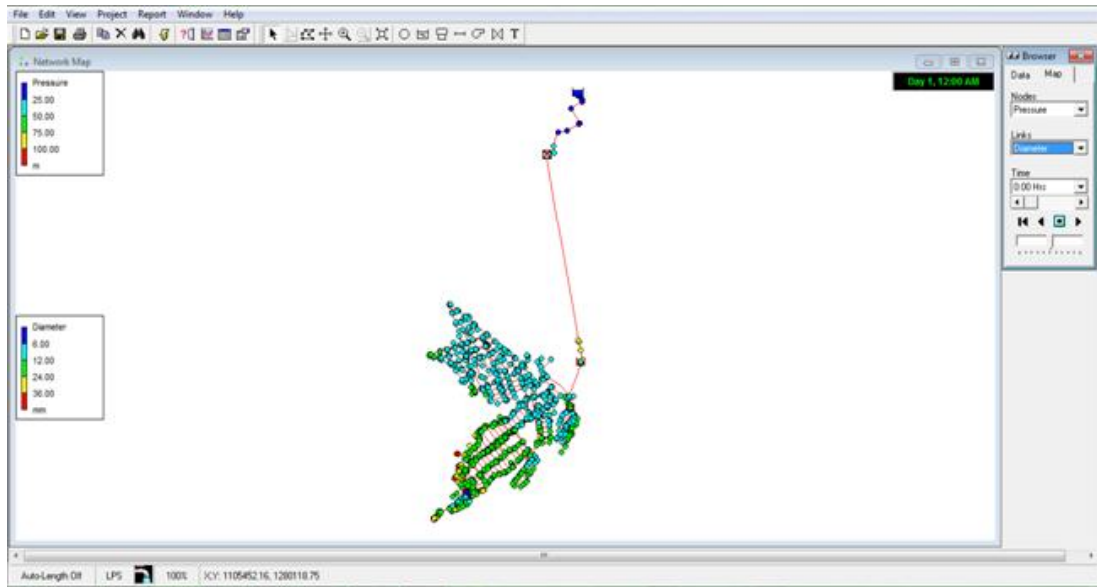
EPANET está diseñado para ser una herramienta de desarrollo en el aumento del conocimiento relacionado con el movimiento y el destino de los constituyentes del agua en una red de distribución. Las múltiples aplicaciones del programa es lo que garantiza tanto su uso, como la optimización de las redes de distribución y el análisis de sus diferentes variables; entre estas aplicaciones cabe nombrar el trazado y selección de nuevos elementos, la detección de los “cuellos de botella” de red, la regulación de las presiones en la red, la reducción de los costos de operación, la regulación del uso de los tanques para aminorar los tiempos de retención del agua, la previsión de la respuesta de la red ante la clausura de un punto de alimentación o la incorporación de nuevas urbanizaciones, la planificación de actuaciones en casos de emergencia, como la entrada de un contaminante no controlado, la localización de estaciones de reclusión, la sectorización de la red para el control de fugas.

De esta manera la creación de modelos permite que la toma de decisiones técnicas en la empresa se presente de una mejor manera, identificando solamente los factores que estén afectando determinada operación. Además permite modificar el régimen de bombeo, o de llenado y vaciado de los depósitos, también establecer planes de limpieza y reposición de tuberías.

Las actualizaciones realizadas al software han permitido un nuevo entorno que mejora el manejo de gráficos de redes complejas, de esta manera se puede trabajar con redes que posean un gran número de nodos y ocupar menos memorias al guardar la información. También la adopción de unidades del Sistema Internacional, así como la ecuación de Darcy-Weisbach, son entre otras las series de mejoras que permiten trabajar de mejor manera en el programa.

⁷ Software elaborado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de EEUU, EPA por sus siglas en inglés (Environmental Protection Agency)

Figura 3 Interfaz gráfica Epanet 2.0



Fuente: *Modelo hidráulico del distrito morro bajo norte, Acueducto Metropolitano de Bucaramanga.*

3.5 CALIBRACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCION

En el caso de las redes que ya se encuentran en funcionamiento, es imposible conocer el verdadero estado de las variables hidráulicas y topológicas, por lo que es necesario realizar un proceso de ajuste a los modelos hidráulicos que las representan, para que éstos tengan la capacidad de reproducir correctamente el funcionamiento del sistema localizado en campo.

Al ser la calibración un problema donde el número de variables es mucho mayor que el de las ecuaciones disponibles para su solución, no es posible encontrar una solución directa. Por esta razón, el procedimiento de calibración sigue unos pasos donde se generan diferentes soluciones (escenarios de calibración), que corresponden a cambios en las condiciones iniciales del modelo, según el parámetro que se desea calibrar. Estos escenarios son individuos de solución, dentro de un espacio de búsqueda, que son evaluados de acuerdo con las condiciones reales de la red. Este proceso es indispensable para que el modelo hidráulico de una red de distribución de agua potable, sea útil en la toma de decisiones tanto en labores de operación como de mantenimiento.

3.5.1 Objetivo de la calibración

La calibración de una red de distribución de agua potable tiene como objetivo obtener un modelo hidráulico que represente bien el prototipo existente.

3.5.2 Descripción del problema

La calibración de una red de distribución de agua potable consiste en la modificación de ciertos parámetros o variables en la modelación hidráulica para que sus resultados se aproximen mejor a los valores medidos en campo. La modelación hidráulica de una red corresponde únicamente al cálculo de las presiones en cada uno de sus nodos y los caudales en cada uno de sus tubos, en un instante del tiempo o a través de periodos extendidos, teniendo en cuenta las demandas de agua de los usuarios y la fuente de agua en cuanto a masa y energía. Los valores calculados de las presiones y caudales también dependen de la topología de la red y de las características físicas de los tubos y accesorios. En caso de que existan fugas en la red, dichos parámetros de cálculo dependen también de las características físicas de las roturas.

Las características físicas de tubos y accesorios de la red se conocen para un estado inicial, es decir, cuando la red se encuentra bajo diseño. Pero las características van cambiando con el tiempo, de tal manera que cuando se tiene una red con muchos años de servicio, éstas no se conocen. Por lo tanto, cuando se toman mediciones de presión en algunos nodos o de caudal en algunos tubos, estos serán diferentes a los calculados en el modelo hidráulico haciendo uso de la información de la red nueva. Entonces se deben calcular o estimar los nuevos valores de las características físicas para que el modelo reproduzca correctamente las presiones y caudales encontrados en campo. La calibración de una red de agua potable consiste en calcular estos nuevos valores.

3.5.3 Parámetros que afectan la calibración

Al interior de una red de distribución existen 5 parámetros, los cuales gobiernan el comportamiento hidráulico de la misma. El estado concreto de cada uno de éstos solo se conoce con exactitud durante la etapa de diseño, en donde se establecen las cantidades por defecto que cada fabricante sugiere para sus productos, se asignan valores encontrados de forma empírica y se fijan las demandas establecidas por las dotaciones esperadas para cada sector.

Dependiendo de su naturaleza se clasifican en topológicas e hidráulicas.

3.5.3.1 Hidráulicas

Conocidas así porque determinan en gran medida la cantidad de agua que fluye a través de los diferentes elementos que conforman el sistema. Las Variables

Hidráulicas 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, des calibración en los micro medidores instalados, errores en las mediciones o la ausencia de la misma.

Las Demandas Desconocidas pueden ser clasificadas de una gran cantidad de formas, todas ellas dependiendo de la naturaleza del usuario al cual se encuentre asociada. Entre los tipos más destacados se tienen:

- **Demandas desconocidas domésticas:** Muy comunes en barrios y conjuntos residenciales de todos los estratos socioeconómicos, al interior de los cuales algunos usuarios deciden manipular las acometidas o los micro medidores de forma tal que el caudal registrado sea diferente al consumido. Sin importar el método de fraude utilizado, las Demandas Desconocidas Domésticas comparten una característica en común, presentan un comportamiento y un orden de magnitud similar al de los consumos conocidos domésticos.
- **Demandas desconocidas no domésticas:** Son todas aquellas demandas de líquido no registradas a las empresas prestadoras del servicio de agua potable, las cuales no tienen ni un comportamiento ni un orden de magnitudes similar es a las de un suscriptor promedio. En esta categoría se encuentran las empresas o instituciones que demandan agua de la red clandestinamente y que presenten un tren de producción constante a lo largo del día o con picos diferentes a los de un suscriptor común.

Por otro lado, existen negocios o establecimientos que sustraen el líquido durante las horas de la noche y lo almacenan para su posterior consumo.

▲ Emisores

Los emisores se pueden definir como 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 atmósfera⁸ (ver Figura 3.2). En la modelación hidráulica las fugas se consideran como emisores. El caudal de salida por un

⁸ U.S. Environmental Protection agency, Epanet 2.0 Manual, Water Supply and Water Resources Division, Cincinnati Ohio, 2000.

emisor varía en función de la presión disponible en el nodo, conforme con la ecuación.

$$Q = CP^x$$

Ecuación 3.13 Ecuación de caudal emitido por emisores

Donde:

C = Parámetro de entrada en unidades de L/sm.^{0.5}

P = Presión en el nodo en m.c.a.

Q = Caudal en L/s.

x = es un exponente que depende de la ecuación de pérdidas utilizada. Comúnmente se utiliza un valor de 0.5.

La siguiente ecuación es válida únicamente en el caso de orificios rígidos.

$$Q = CA\sqrt{2gH}$$

Ecuación 3.14 Ecuación de descarga a través de un orificio rígido

3.5.3.2 Topológicas

Conformadas por todos aquellos aspectos físicos del sistema, los cuales determinan principalmente la dirección y velocidad del flujo, así como la distribución de la energía en su interior. Las Variables Topológicas presentes en un sistema típico de distribución son:

♠ Diámetros

El diámetro interno de las tuberías puede llegar a variar con el paso del tiempo, debido a diversos factores tales como la aparición de biopelículas, incrustaciones, sedimentos u otros elementos que afectan su comportamiento hidráulico (Figura 3.6).

La determinación en campo de su valor exacto es una labor extremadamente compleja debido, entre otros factores, al tamaño de las redes, a que las tuberías se encuentran bajo tierra y a que estos pueden variar continuamente con el paso del tiempo; por lo que es necesario estimar su valor durante el proceso de calibración.

Figura 4 Cambio de diámetro y rugosidad en una tubería de distribución de agua potable



Fuente: <http://ewr.cee.vt.edu/environmental/teach/wtprimer/corrosion/pipe.jpg>

♠ Rugosidades

La superficie interna de las tuberías no es totalmente lisa; en ella se encuentran pequeñas irregularidades que producen un esfuerzo cortante en sentido contrario a la dirección del flujo, el cual es uno de los responsables de la aparición de las pérdidas por fricción.

Estas irregularidades conocidas como Rugosidad (k_s), dependen del material en el cual están construidas las tuberías, a partir del cual se establece un valor promedio por defecto, que puede ser utilizado para representar el comportamiento del flujo al interior de la red. La contextura de las paredes de las tuberías, al igual que los diámetros internos, puede variar con el paso del tiempo, lo cual afecta directamente el coeficiente de fricción de las mismas, por lo que es necesario estimar el valor del mismo en redes de distribución en funcionamiento, a través del proceso de calibración.

Tabla 1 Rugosidad absoluta (k_s) para diferentes materiales utilizados

Material	k_s (mm)
Vidrio	0.0003
PVC, CPVC	0.0015
Asbesto cemento	0.03
GRP	0.03
Acero	0.046
Hierro forjado	0.06
CCP	0.12
Hierro fundido asfaltado	0.12
Hierro galvanizado	0.15
Arcilla vitrificada	0.15
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Madera cepillada	0.18-0.9
Concreto	0.3-3.0
Acero bridado	0.9-9

En la Tabla 1, se presentan valores típicos de rugosidad (k_s) para tuberías nuevas de acuerdo al material en que se encuentran elaboradas.

3.5.4 Metodología de calibración

Esto consiste en el monitoreo de una red de distribución que se realiza a través de mediciones de caudal y de presión en distintos puntos. Los puntos de medición de caudal se localizan a la entrada de la red, estos representan la masa que entra al sistema. Los puntos de medición de presión, son los distribuidos a lo largo de toda la red, estos reportan toda la energía consumida en el transporte y distribución del agua. El proceso se inicia con un modelo hidráulico del distrito y la inclusión de los diámetros internos reales de todas las tuberías, además de coeficientes de pérdidas menores para simular el efecto de uniones.

El siguiente escenario es la calibración de la masa que entra al sistema se procede primero a un análisis por demanda con el incremento de los consumos y otro análisis por emisores con la asignación de coeficientes de emisión a los nodos de la red con el fin de simular presencia de fugas, la creación de los escenarios se basa en los criterios hidráulicos, socioeconómicos y topológicos de la red.

En el próximo escenario se busca ajustar de forma definitiva las curvas de masa, además tener una buena aproximación al comportamiento medido en relación a las curvas de energía. Para la calibración de la curva de energía se procede a realizar tres análisis, el primero por diámetros a través del cual se analiza el efecto que tiene sobre el sistema las ligeras variaciones en los diámetros que pueden ocurrir en las tuberías debido al flujo de agua. Para la generación de escenarios se

tiene en cuenta el material y las velocidades de flujo. En el segundo análisis por rugosidades, se prueba el efecto que tiene los cambios en la rugosidad original de las tuberías, sobre el comportamiento hidráulico del modelo. Los escenarios de prueba se crean con base en el material y la velocidad de flujo de las tuberías y por último un análisis por pérdidas menores, en el cual se considera el efecto que tiene sobre la red la existencia de accesorios u otros elementos en contacto con el flujo, que causan pérdidas de energía.

Finalmente, el modelo unificado consolida en un solo modelo los resultados encontrados durante los análisis por diámetros, rugosidades y pérdidas menores. A través de este se busca principalmente ajustar las curvas de masa (caudales) y energía (presiones) obtenidas durante el proceso. El modelo unificado representa el último paso de la calibración, después del cual se dispone de un modelo hidráulico que representa en la forma más exacta posible el prototipo existente.

Un modelo matemático de la red que se encuentre correctamente calibrado permite: medir la fidelidad de los instrumentos de medición, detectar zonas problemáticas en la red, encontrar zonas con altas fugas, detectar fugas mayores, ubicar parámetros de pérdidas de energía y masa y realizar cálculos precisos de modelación hidráulica y de calidad de agua. Un modelo sin calibrar interpretaría en forma inexacta la información que se adquiera en campo en tiempo real.

3.5.5 Fugas

Estas ocurren a lo largo de la red de distribución, y pueden ser de dos tipos:

3.5.5.1 Fugas no detectables

Es normal que en una red existan fugas cuya detección y reparación no sean económicamente viables. Las fugas no detectables tienden a aumentar con la edad y aparentemente son función del diámetro y longitud de la tubería, del material de esta, del número de uniones y accesorios por unidad de longitud, del número de acometidas domiciliarias y, por supuesto, de la presión de la red. La complejidad del problema de las fugas no detectables aumenta con el tamaño de la red, volviéndose muy importante en grandes ciudades con redes antiguas combinadas con redes modernas. En algunos casos, las fugas no detectables pueden llegar a sumar hasta el 30 por ciento del agua que entra a un sector dado de la distribución.

Debido a que el caudal total de fuga puede ser muy alto, pensar calibrar la red sin tenerlo en cuenta no tiene sentido, especialmente si lo que se quiere es precisamente una herramienta que permita la gerencia integral de los activos bajo tierra. Es necesario calibrar la red con sus fugas, para poder decir en donde se localizan.

3.5.5.2 Fugas detectables

Se pueden localizar y reparar. Estas fugas representan grandes cantidades de pérdida de agua, pero normalmente de corta duración para aquellas que son reportadas.

Figura 5 Fuga típica en una tubería de distribución



Fuente: <http://www.encuestam.com.mx/?v1=nota&v2=25898>.

3.5.5.3 Factores que afectan las fugas

Los factores que afectan las fugas son los siguientes:

- ♣ **Presión** La presión incide de diferentes formas dentro del volumen de agua perdido:
 - Las pérdidas en las uniones y demás accesorios aumentan con un aumento de presión.
 - Los cambios drásticos de presión (ej. Encendido o apagado de una bomba) causan daños en las tuberías que dan lugar a fugas.
 - Los ciclos de presión pueden desgastar las tuberías.
 - Altas presiones aumenta la tasa a la cual se fuga el agua por huecos o fisuras. A pesar de que se producen más fugas, cuando hay mayor presión es más fácil detectarlas.

Existen dos relaciones para detectar las fugas a partir de la presión en la red:

$$H = k\sqrt{P}$$

Ecuación 4.3 Ecuación teórica

$$H = k\sqrt{P^3}$$

Ecuación 4.4 Ecuación Empírica

Donde:

P = Es la presión en la tubería.

H = Fugas entre dos puntos de la tubería.

k = Coeficiente que depende de la rugosidad, diámetro, etc., de la tubería.

3.6 INDICE DE AGUA NO CONTABILIZADA

El índice de agua no contabilizada (IANC) es toda aquella que habiendo sido producida en pozos o plantas de tratamiento no es comercializada. Se cuantifica como la diferencia entre el agua potabilizada y el agua facturada.

El índice de agua no contabilizada se expresa como una fracción del agua producida.

$$\text{IANC} = \frac{\text{Volumen de agua producida} - \text{Volumen de agua facturada}}{\text{Volumen de agua producida}} 100\%$$

Ecuación 3.16 Ecuación de Índice de Agua no contabilizada

3.6.1 Causas del volumen de agua no contabilizado

De forma general, las pérdidas de agua se clasifican en pérdidas comerciales y pérdidas técnicas. Las comerciales están relacionadas con los volúmenes de agua que no son facturados por desviaciones o problemas en la gestión comercial y las técnicas se refieren a aquellos volúmenes de agua que no se facturan gracias a fallas en los equipos o a problemas en las tuberías.

De igual forma, se ha adoptado una clasificación en función del tipo de destinación del volumen no facturado. El nivel general de esta desagregación se divide en: pérdidas reales y pérdidas aparentes. Las pérdidas reales son aquellas cantidades de agua potable que no son consumidas ni utilizadas para la finalidad a la cual fueron producidas, es decir, las fugas visibles y las fugas no visibles. Las pérdidas aparentes son aquellas cantidades de agua que son efectivamente consumidas pero que no son facturadas.

Se presenta a continuación una descripción de las clasificaciones citadas, con el fin de entenderlas al momento de ser utilizadas.

3.6.1.1 Pérdidas reales – Pérdidas aparentes

Pérdidas reales: Este componente del agua no contabilizada se refiere a todas aquellas fugas de agua generadas en la red de acueducto, aguas debajo de la

planta de tratamiento y aguas arriba del micro medidor final, estas fugas se deben a: Rupturas visibles y no visibles en las tuberías, uniones y válvulas; reboses de los tanques, falta de hermeticidad en las estructuras y escapes en otros accesorios. La experiencia en la investigación de este campo ha mostrado que la mayor causa de estas fugas se debe a las pobres especificaciones de los activos y equipos de los sistemas⁹. Adicionalmente, se ha encontrado que estas pérdidas son función de: la longitud promedio de las acometidas, la longitud de las redes principales, las condiciones del suelo, la presión del sistema y la continuidad del servicio¹⁰. En este orden de ideas, hay cinco aspectos principales hacia los cuales se deben enfocar los programas para el control de estas pérdidas. Estos son: control de presiones, optimización de reboses, eficiencia en la atención y reparación de daños, seguimiento a las fugas y control de calidad en los materiales de las tuberías y en la selección de accesorios.

Pérdidas aparentes: Este componente se refiere al agua producida que es consumida o utilizada pero no es efectivamente facturada o cobrada. Puede ser subdividida en aquella que es consumida sin autorización y aquella consumida con autorización. La primera se refiere a los fraudes por conexiones únicas clandestinas, por consumo del servicio sin estar registrado en el sistema* y por entradas paralelas con By-pass. La segunda se refiere a aquellas distorsiones o subregistros en la medición al usuario final, causadas por la posición de los micromedidores, por la dificultad en la lectura, por el desgaste de los accesorios internos, por el calibre o caudal nominal de los equipos, etc.

Lo anterior nos indica que el volumen de agua, se puede perder de la siguiente forma:

- ♣ Agua usada para la operación propia de las plantas de tratamiento.
- ♣ Pérdidas en la planta de tratamiento.
- ♣ Pérdidas por infiltración y/o roturas en los sistemas troncales.
- ♣ Pérdidas por infiltración y/o roturas en las redes de distribución.
- ♣ Usos de agua potable exentos de cobro.
- ♣ Usos no autorizados de agua potable.
- ♣ Ineficiencia en las empresas.
- ♣ Errores en la macro y micro medición (40% de las pérdidas).

Para efectos prácticos y para poder solucionar el problema de forma real, se considera que el IANC¹¹ se pierde de dos formas: como pérdidas comerciales y como pérdidas técnicas. Las comerciales son aquellas relacionadas con el

⁹ Nom-Revenue, Water. Asian Development Bank

¹⁰ LAVILLE & HUTCHINSON. *Non-Revenue Water Reduccion Strategy. The Bahamian Experience.*

* *Los habitantes abastecidos deben pagar por el servicio prestado. Ley 142 de 1994*

¹¹ *Índice de Agua No Contabilizada*

funcionamiento de la empresa, como la no detección de conexiones ilegales, deficiencia en la medición y usuarios no facturados (aproximadamente 65% de las pérdidas totales). A pesar de que las deficiencias se consideran comerciales.

Las pérdidas técnicas pueden ser divididas en:

- ♣ Fugas en transmisión y distribución
- ♣ Vertimientos en tanques de almacenamiento
- ♣ Fugas en las conexiones a medidores de los usuarios

Las fugas técnicas pueden ser en algunos casos detectables y reparables, pero en su mayoría no son manifestadas y la pérdida de agua permanece de forma constante. Estas últimas generan un IANC que se encuentra en un rango entre el 30% y el 50% para el escenario Colombiano, y alrededor de una rango similar en países latinoamericanos.

4 CARACTERISTICAS DEL DISTRITO MORRO BAJO-NORTE

4.1 GENERALIDADES

La red de distribución de agua potable del municipio de Bucaramanga está conformada por aproximadamente cuarenta (40) distritos, para este proyecto estudiaremos el distrito de morro bajo-norte, esta red de abastecimiento de agua potable cuenta con aproximadamente 44.14 Km de tuberías de cinco materiales diferentes de los cuales predomina el PVC, el Asbesto Cemento y el Hierro Fundido.

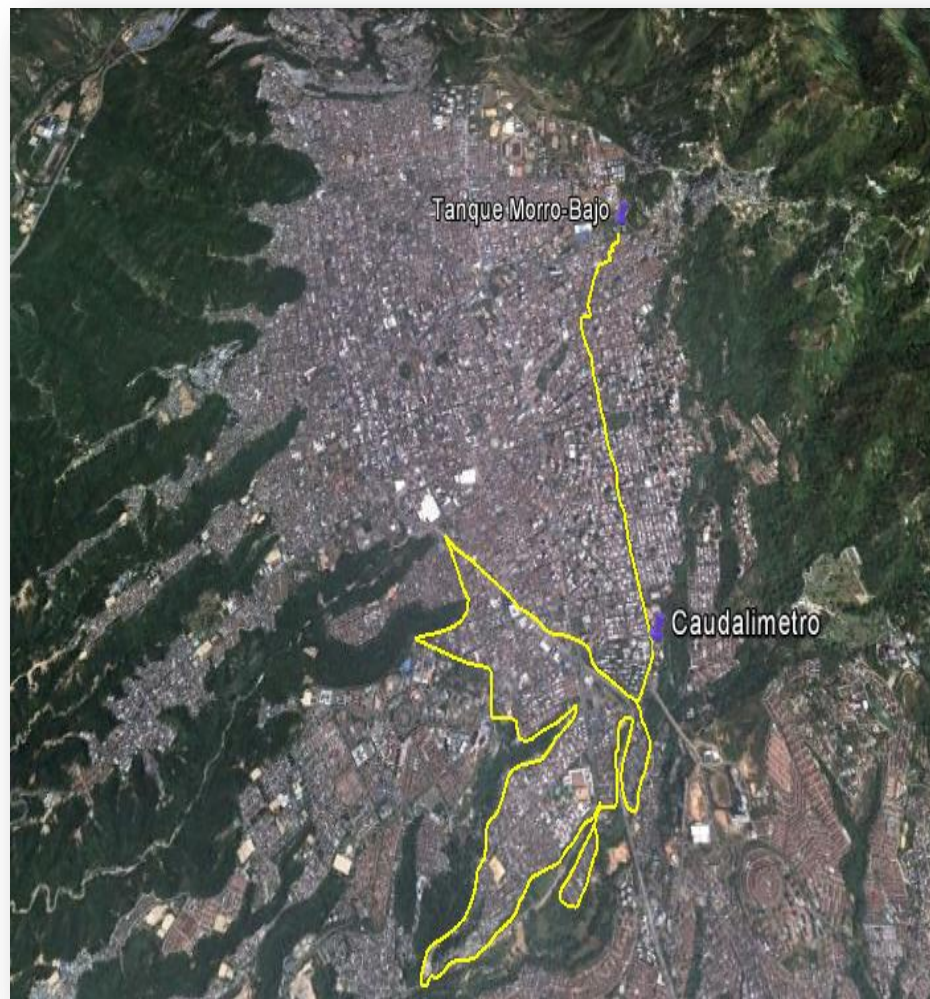
Del sistema Flora-Morrórico, se alimentan en ruta varios sectores. De la planta la Flora parten dos conducciones vitales en el sistema, una de ellas de 16" en acero entrega al tanque Norte Alto que a su vez se comunica con el tanque Morro Alto, a donde llegan aguas del río Toná tratadas en la Planta de Morrórico y del bombeo de Bosconia, cuando las necesidades de bombeo del tanque el Estadio lo permiten. El tanque Morro Alto alimenta el tanque de Morro Bajo y de él se derivan tres tuberías de distribución, dos de las cuales alimentan el distrito que lleva el mismo nombre, y la tercera tubería alimenta directamente una industria local.

El tanque Morro Bajo con una altura aproximada de 1048 msnm, distribuye en tubería de 24" y el flujo se encuentra controlado por una válvula de compuerta estrangulada en las instalaciones de la planta de Morrórico, esta conducción se ramifica y entrega aguas a cuatro importantes tanques que abastecen el sur y sur-occidente de la ciudad, entre ellos el tanque Malpaso, sitio de unión de los sistemas del Norte (Bosconia-floramorro) y del Sur (florida) es el punto más crítico del sistema de distribución en la actualidad. Posee actualmente entradas de agua de las cuatro plantas de tratamiento y abastece el sur-sur occidente del área. De la conducción de Morro Bajo a Malpaso, también deriva la conexión al tanque cañaverál, que abastece, todo el sector occidental del Municipio de Floridablanca.

La red se cuenta con un punto de medición de caudal ubicado en la carrera 33 transversal oriental y cuatro válvulas reguladoras de presión ubicadas en diferentes puntos de la red, todo el sistema de distribución del agua potable para el Distrito Morro Bajo-Norte funciona completamente por gravedad.

4.2 LOCALIZACIÓN

Figura 6 Sector de estudio distrito Morro Bajo-Norte



Fuente: *Fotografía satelital Google Earth*

El distrito Morro Bajo-Norte se extiende por el sur-occidente del municipio de Bucaramanga, en la parte alta oriental se encuentra ubicado el tanque de almacenamiento. Esta zona se caracteriza por tener construcciones en laderas,

está conformada por barrios (27) barrios pertenecientes a las comunas 4, 6, 7, 8 y 9. Algunos de estos barrios fueron fundados en las primeras décadas del siglo XX. Además de este distrito hacen parte tres tugurios: Tugurio Juan XXIII, Tugurio 20 de Julio, Tugurio El África.

4.3 CATASTRO DE LA RED

A continuación se presentan las características generales de la topología de la red del distrito Morro Bajo-Norte. Los datos están basados en la información recolectada del modelo inicial suministrado por el acueducto metropolitano de Bucaramanga.

4.3.1 Materiales

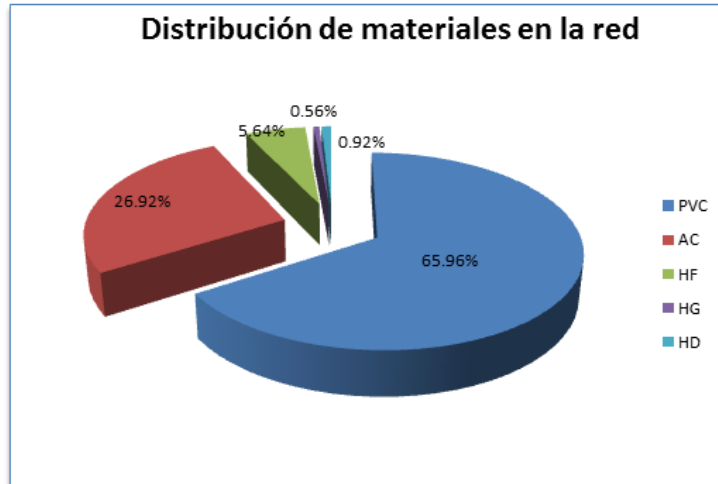
El sector tiene tuberías de PVC, Asbesto Cemento (AC), Hierro Galvanizado (HG), Hierro Fundido (HF) y Hierro Dúctil (HD). En la gráfica 4.2 se muestra la distribución porcentual de los materiales que conforman la totalidad del sector en estudio. Como se puede observar, el material predominante es el PVC con un 65.96% del total de la red, seguido por el asbesto cemento con un 26.92% y en tercer lugar se encuentra el hierro fundido con un 5.64% del total. Los detalles se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1 Distribución de materiales en la red¹²

MATERIAL	RUGOSIDAD	LONGITUD [M]	PORCENTAJE [%]
PVC	0.0015	29114.57	65.96
AC	0.03	11879.55	26.92
HF	0.15	2488.19	5.64
HG	0.25	247.73	0.56
HD	0.26	407	0.92

¹² Información tomada del modelo suministrado por el acueducto metropolitano de Bucaramanga

Figura 7 Distribución porcentual de materiales en la red



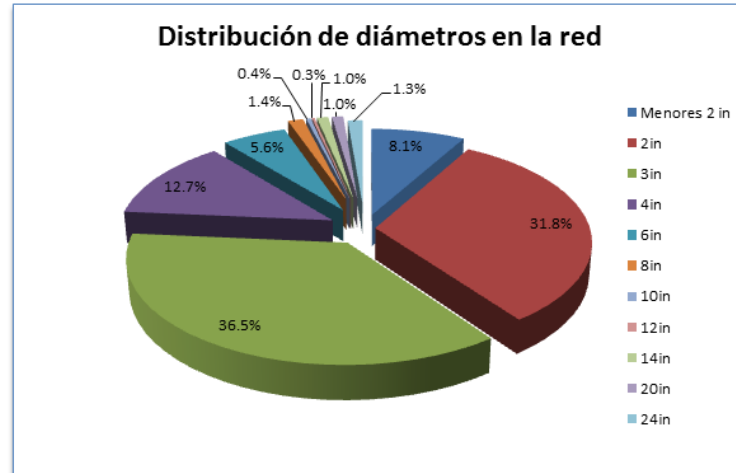
4.3.2 Diámetros

A continuación se muestra la distribución porcentual de diámetros a lo largo de la red de distribución.

Tabla 2 Distribución de diámetros en la red del distrito Morro Bajo

Diámetros	Porcentaje
Menores 2 in	8.1
2in	31.8
3in	36.5
4in	12.7
6in	5.6
8in	1.4
10in	0.4
12in	0.3
14in	1
20in	1
24in	1.3

Figura 8 Distribución de diámetros en la red del distrito Morro Bajo



Además la información fue ordenada por material con el fin de generar un informe más detallado ver anexo c.

4.3.3 Descripción de usuarios por estrato

El modelo está compuesto por 1819 nodos y 1988 tuberías, los cuales conforman la red de 44137 metros de longitud, esta es utilizada para suplir una demanda 58.18 l/s para 6000 usuarios aproximadamente.

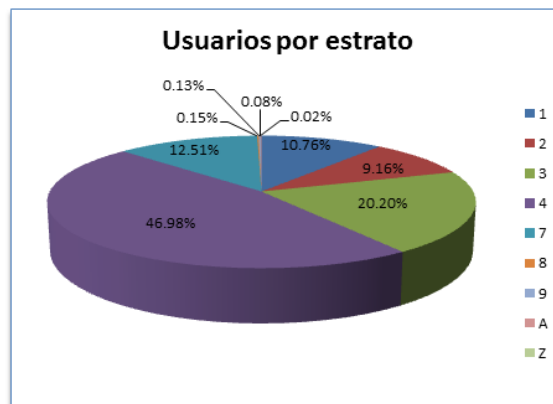
Los usuarios fueron clasificados por estratos, en el municipio de Bucaramanga aquellos usuarios de estratos superiores a estrato 6 poseen una clasificación especial, esta se debe al tipo de acometida que se instala. En el anexo D se muestra la clasificación de los usuarios por estrato en la red de distribución del municipio de Bucaramanga.

La clasificación de los usuarios por estrato, se realizó a partir de la información de los barrios que conforman el distrito arrojando el siguiente análisis.

Tabla 3 Relación de usuarios según el estrato

USUARIOS	ESTRATO
642	1
547	2
1206	3
2804	4
747	7
9	8
8	9
5	A
1	Z

Figura 9 Distribución porcentual de usuarios por estrato en el distrito Morro-Bajo



El gráfico podemos observar que los usuarios estrato cuatro (4) tienen un porcentaje del 46.98% del total, el segundo estrato con mayor porcentaje es el tres (3) con un 20.2%, seguido del estrato siete (7) con un 12.51% y el estrato uno (1) con un 10.76%, siendo estos los estratos más representativos del distrito, los demás estratos con porcentajes más pequeños.

4.3.4 Descripción del uso de la red

Con la información suministrada por el acueducto metropolitano de Bucaramanga se consiguió realizar una clasificación de usuarios por uso de la red. Esta

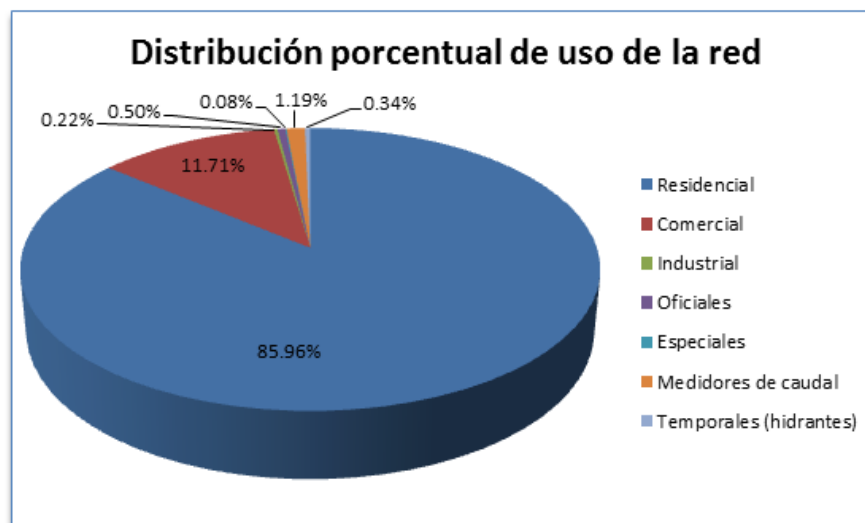
clasificación se realizó con base en lo definido por la circular SSPD CRA No. 0002 de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios y de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico, Ver anexo E.

A continuación se relacionan los usuarios por tipo de uso de la red.

Tabla 4 Relación de usuarios por uso de la red

USO	USUARIOS
Residencial	5129
Comercial	699
Industrial	13
Oficiales	30
Especiales	5
Medidores de caudal	71
Temporales (hidrantes)	20
Pilas Públicas	2

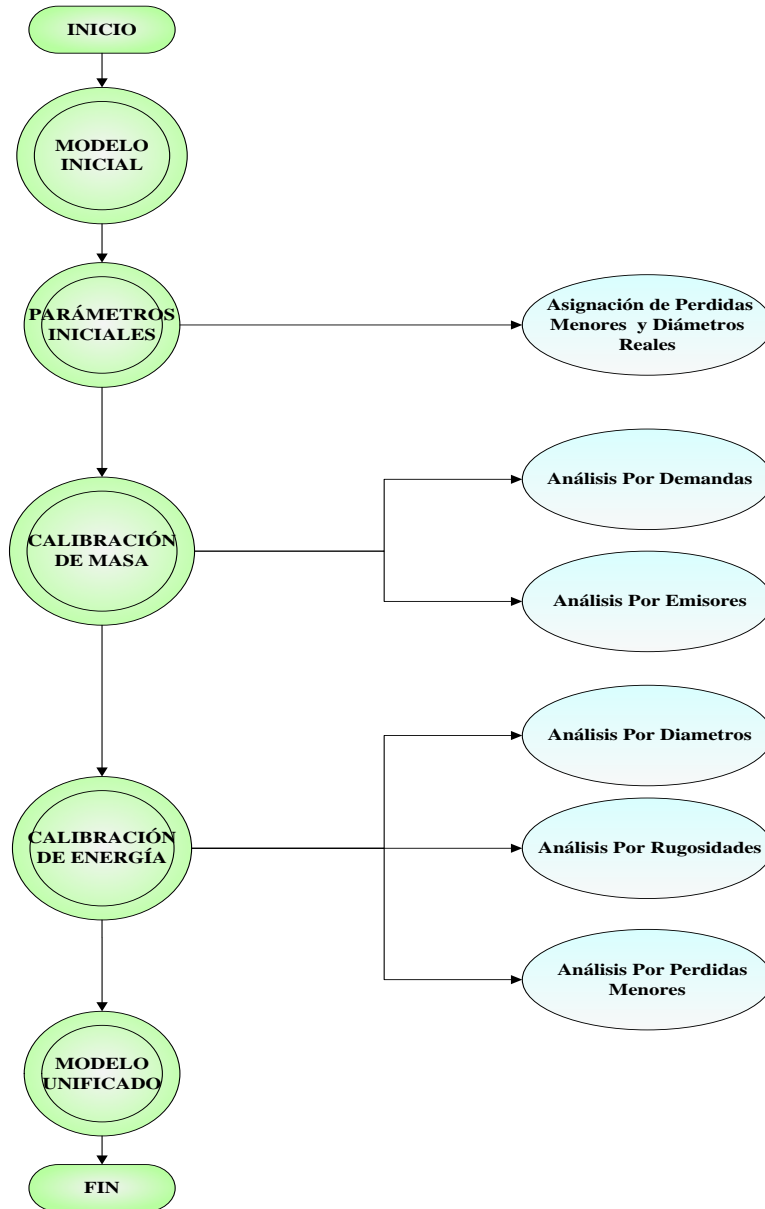
Figura 10 Distribución porcentual de uso de la red



El distrito Morro Bajo se caracteriza por el uso residencial con un porcentaje del 85.96%, seguido del uso comercial con el 11.71% del total, en una menor proporción se encuentra el uso industrial, los demás usos presentan porcentajes bastante bajos.

5 CALIBRACIÓN

Figura 11 Diagrama de flujo de la metodología de la calibración empleada



La metodología general de calibración está compuesta por una serie de pasos que deben seguirse en un orden determinado. Cada uno de estos pasos son enunciados en la figura 11, que consiste en el ajuste de las curvas de masa y de energía, las cuales gobiernan el comportamiento hidráulico del modelo, buscando

de esta forma que lo simulado se acerque lo más posible a lo medido en campo. Antes de iniciar la calibración se procede a un análisis de medición en los puntos de control del sistema de distribución de agua.

5.1 PUNTOS DE CONTROL DE LA RED DISTRIBUCIÓN

La red de distribución del distrito en estudio, cuenta con varios puntos de medición encargados de controlar la masa que ingresa al sistema y la energía que se distribuye a lo largo de ella, a esto también se le conoce como análisis de macromedición y existe dos controles de medición: de caudal y presión.

5.1.1 Control de medición de caudal

Es un proceso de lectura de caudales que ingresa al sistema proveniente del tanque de almacenamiento Morro Bajo con capacidad de 8250 [m³]¹³ ubicado en el parque del agua esta labor se realiza a través de un caudalímetro digital el cual fue instalado en la tubería de entrada al distrito morro bajo en la carrera 33 transversal oriental.

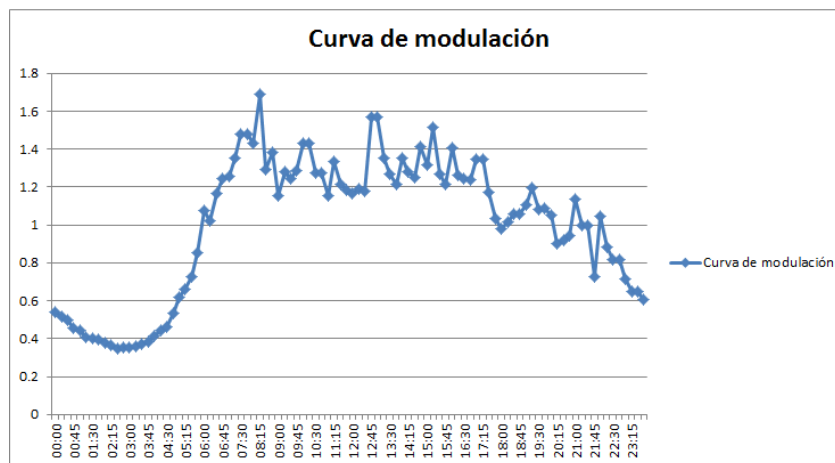
Las lecturas obtenidas por los macromedidores de caudal se registran en intervalos muy pequeños de 1 a 3 minutos, en este caso particular son mediciones del día **31 marzo de 2012**. Con esto valores se construye la curva de patrón de consumo la cual se conoce como aquella curva unitaria¹⁴, construida con base en la variación de caudales a la salida de los tanques que se encargan de alimentar las distintas zonas en las que se divide el sistema, a través de la cual se simula la variación en las demandas de los usuarios con el paso del tiempo.

El comportamiento de la curva de modulación obtenida a partir de las mediciones de caudal del tanque Morro Bajo (Figura 12) presenta un comportamiento poco uniforme a lo largo del día, observándose una tendencia a presentar picos abruptos. Este fenómeno se debe en ocasiones a que durante el período de medición, la cantidad de usuarios es muy irregular, provocando que cualquier aumento o disminución en los consumos se vea reflejado en el macromedidor del tanque, además este comportamiento puede ser provocado por la proximidad entre la válvula reguladora y el caudalímetro.

¹³ Acueducto Metropolitano de Bucaramanga

¹⁴ Curva unitaria: Conocida así porque la suma de sus factores equivale a la unidad

Figura 12 Tendencia de la curva de modulación del distrito Morro Bajo-Norte



5.1.2 Control de medición de presión

La medición de presión en una red permite establecer la distribución de energía en su interior. Siendo este un factor importante para garantizar un servicio apropiado a los usuarios, a la vez permite operar el sistema de manera que evite valores excesivos, disminuya la vida útil de tuberías y accesorios que la conforma.

Las lecturas de presión del sistema son tomadas por manómetros digitales estos datos son procesados con el fin de definir un rango de validez de las series, buscando eliminar aquellas que sean defectuosas, ya sea por mala operación de equipos, por falta de energía o por descalibración de los instrumentos.

La tabla 6 se encuentra la relación de las válvulas reguladoras y un punto de medición de presión baja en el barrio Ricaurte, instalados por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga en el distrito Morro Bajo-Norte.

Tabla 5 Válvulas reguladoras de presión del distrito Morro Bajo

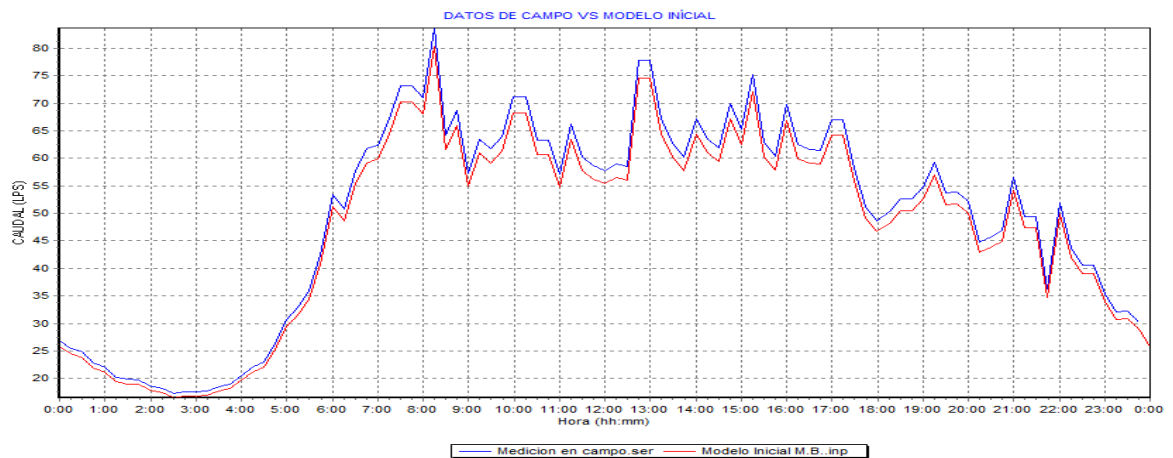
ID Nodo	Ubicación de las VRP
vf_19220	La Victoria Cra 33 transv. Oriental
274589	Autop. B/g-Girón entrada Barrio nueva granada
274486	Calle 68A No 10A-27 Juan XXIII
20756	Barrio Ricaurte

Para la calibración del distrito Morro Bajo-Norte se mostrara el punto de medición de presión 20756 ubicada en barrio Ricaurte los demás puntos son mostrados en los anexos.

5.2 MODELO INICIAL

El modelo Inicial de la red de distribución de agua potable del distrito Morro Bajo fue suministrado por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, empresa que posee una base datos con toda la información necesaria para la creación del modelo actual del distrito.

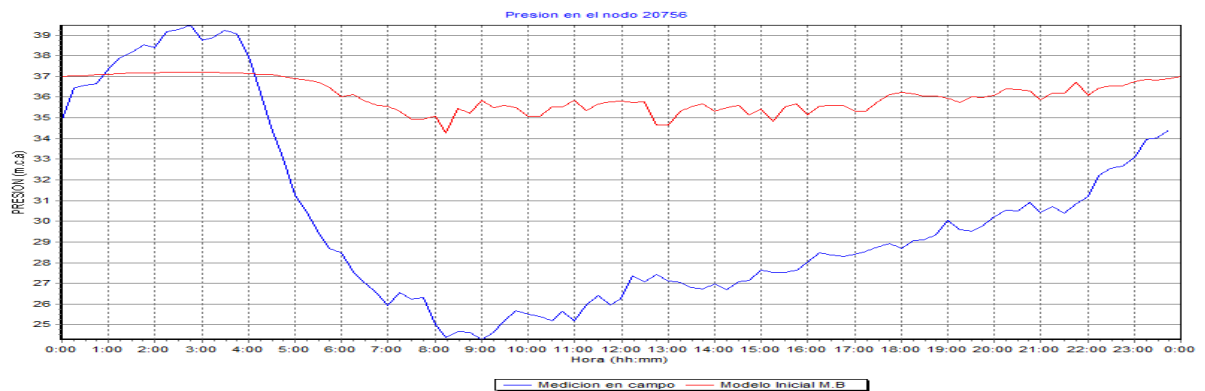
Figura 13 Comportamiento del punto medición de presión en el Modelo inicial



A partir de la gráfica anterior se puede concluir que el modelo hidráulico sin calibrar de la red de distribución de agua potable del distrito en estudio, no tiene la

capacidad de simular apropiadamente la cantidad de masa que ingresa al sistema. Lo anterior se puede ocasionar debido a la existencia de usuarios conectados de forma irregular, a problemas con la lectura de micromedidores ó por otro lado, a la presencia de daños al interior de las redes, a través de los cuales se pierde gran cantidad de agua.

Figura 14 Comportamiento del punto medición de presión en el Modelo Inicial



Obtenido el modelo inicial del distrito se debe realizar una inspección y corrección de los posibles errores en el modelo suministrado por el acueducto. Los errores más comunes que se pueden generar en la creación del modelo son:

- Asignación de Demandas altas.
- Demandas a cero a usuarios.
- Tuberías en estado cerrado, longitudes, diámetros y rugosidades incorrectas.
- Nodos con cotas topográficas incorrectas.
- Nodos sueltos.
- Válvulas con aperturas incorrectas.

Con las adecuaciones realizadas al modelo suministrado se obtiene un modelo inicial acorde a las condiciones del distrito Morro Bajo más confiable para calibración.

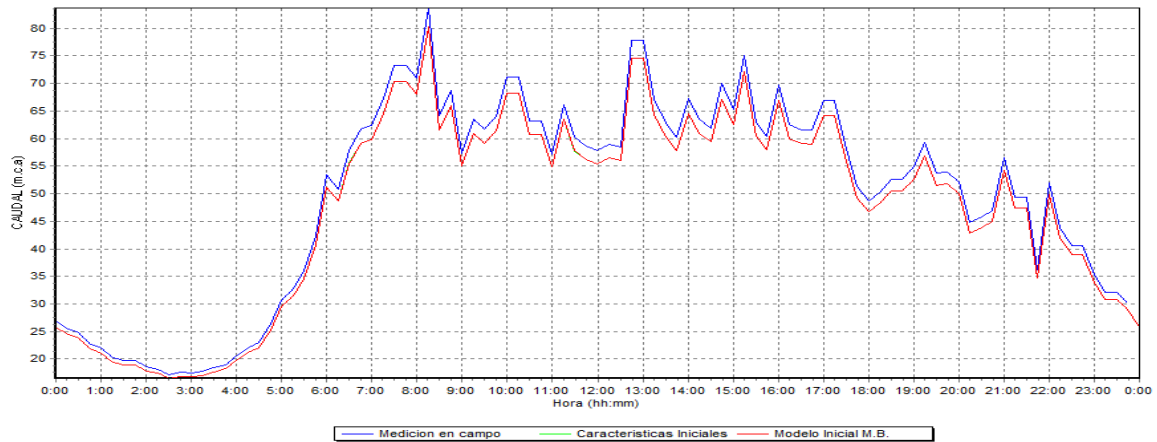
5.3 CARACTERÍSTICAS INICIALES

En el modelo inicial se asignan los valores nominales de los diámetros. Posteriormente, en este proceso de calibración se sustituyen los diámetros

nominales por los diámetros internos de las tuberías; las equivalencias utilizadas en el presente proyecto se muestran en el anexo F. Además se asignan valores de pérdidas menores por metro para simular el efecto de uniones.

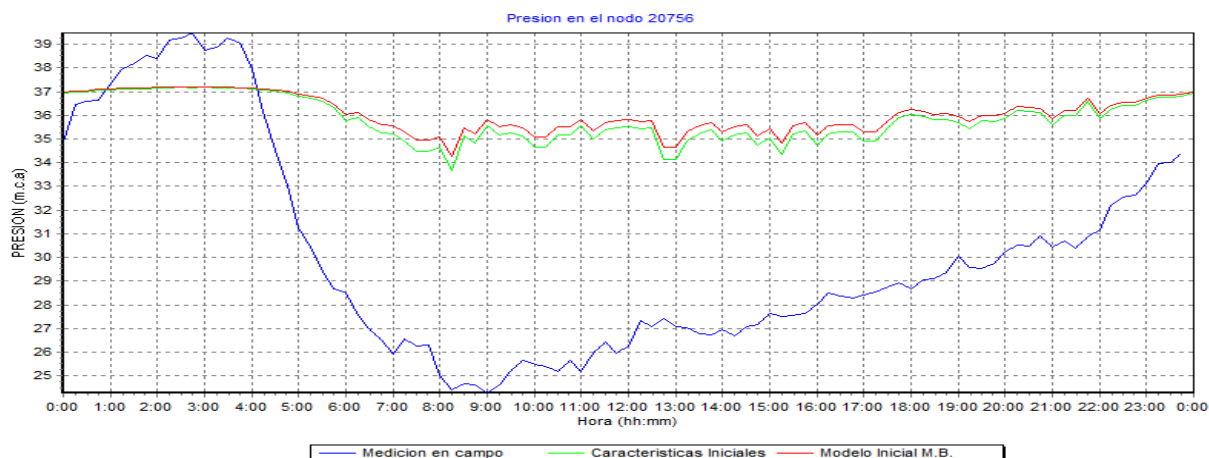
En esta etapa se modifican los parámetros, no como fruto de la comparación entre el comportamiento del modelo y el sistema en los puntos medidos, si no por considerar características inherentes a la red e independiente a la hidráulica de esta.

Figura 15 Comportamiento del punto medición de caudal en el modelo Características Iniciales



Como se observa en la figura 15, el comportamiento del modelo inicial y características iniciales no presenta ninguna características perceptibles, lo que se significa que la inclusión de los diámetros reales de las tuberías y de coeficientes de pérdidas menores debido a accesorios, no afecta de forma alguna la cantidad de masa que ingresa al sistema.

Figura 16 Comportamiento del punto medición de presión en el modelo Características Iniciales



Con respecto a los punto de medición de presión (figura 16), en los cuales las modificaciones incluidas en el modelo características iniciales tiene un efecto directo, el punto de medición de presión en la figura 16, se presento una mejora 0.5 m.c.a en horas de alto consumo, mientras que en horas de bajo consumo no hubo ningún cambio con respecto al modelo inicial.

A pesar que los parámetros introducidos provocan cambios directos en la curva de energía, no se logra cambios notorios en las series de presión simuladas en los puntos macromedición.

5.4 CALIBRACIÓN DE MASA

Escenarios encargados de recopilar resultados obtenidos a través de los análisis independientes por demandas y emisores.

5.4.1 Análisis por Demandas

Las demandas están referidas a los nodos del modelo y representan el consumo de los usuarios del distrito Morro Bajo, estos a su vez se encuentran asociados a una curva de modulación. El caudal asignado a los nodos proviene del facturado por el acueducto metropolitano de Bucaramanga.

Para tener en cuenta el caudal de pérdida por conexiones clandestinas y por medidores defectuosos en la calibración, se crean escenarios con factores multiplicadores que aumenta la demanda base de los nodos. El análisis por

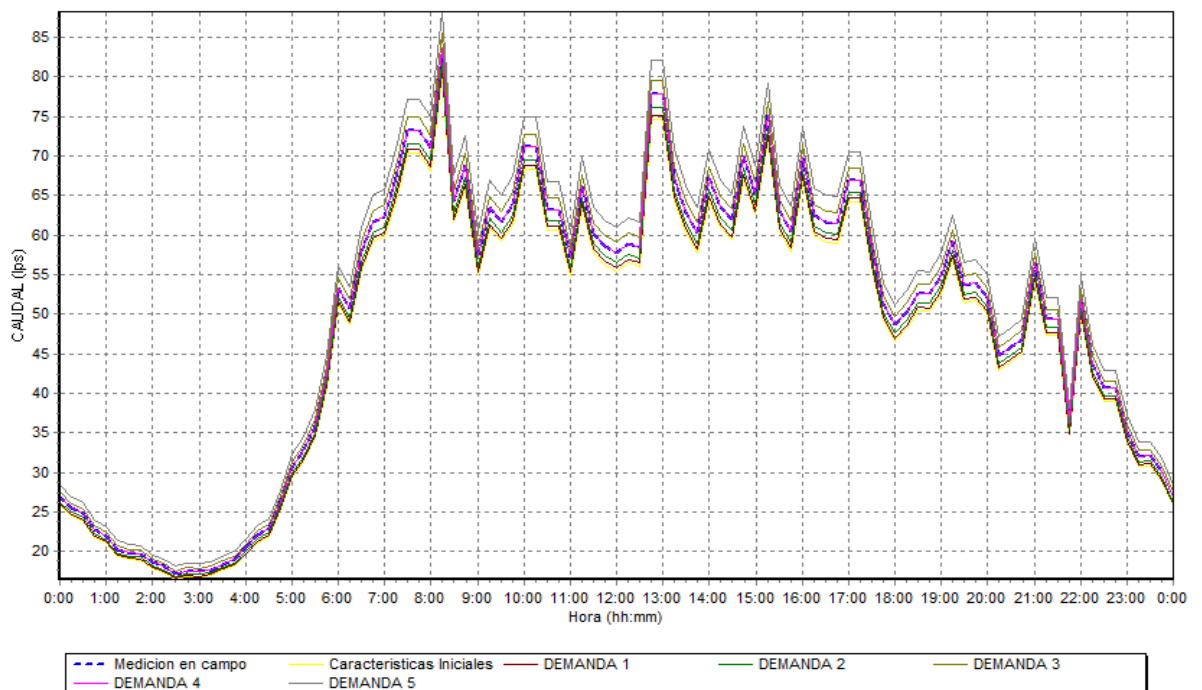
demandas se basa en criterios hidráulicos y socioeconómicos. Los escenarios más representativos se encuentran en la tabla 7.

Tabla 6 Multiplicadores de la Demanda a diferentes estratos

Escenario	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5
Demanda_1	1.1	1.05	1	1	1
Demanda_2	1.2	1.1	1.05	1	1
Demanda_3	1.4	1.3	1.2	1.1	1
Demanda_4	1.35	1.25	1.15	1	1
Demanda_5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.05

En la figura 17 y 18, se muestra el comportamiento de los escenarios en el punto de medición de caudal y presión de la red de distribución del distrito Morro Bajo durante el análisis por demanda.

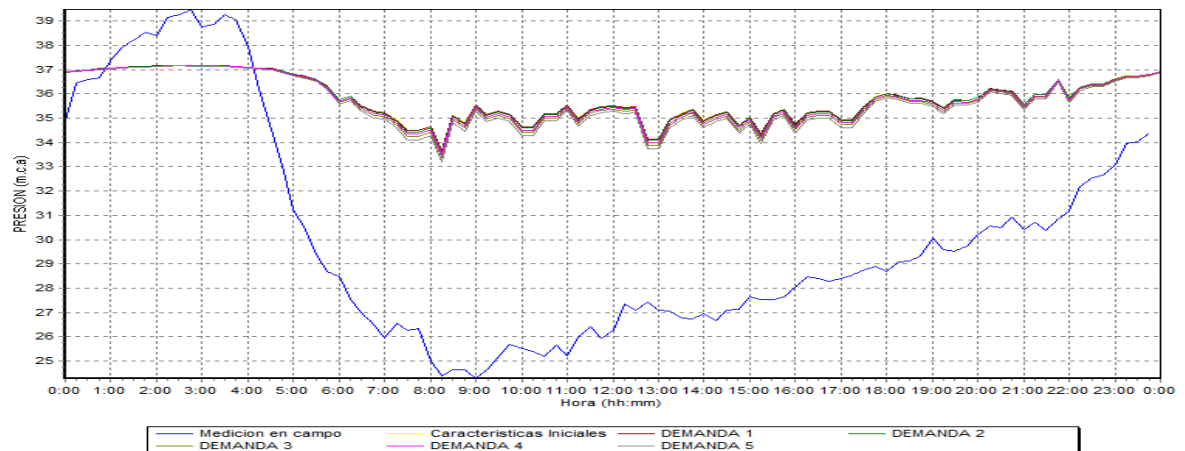
Figura 17 Comportamiento del punto medición de caudal en el Análisis por Demandas



Aunque la diferencia entre caudal del modelo inicial y la medición en campo es pequeña cerca del 3%, esta diferencia se debe a que no se presentaron las

condiciones hidráulicas para las mediciones de consumo del distrito Morro Bajo, esta diferencia se explicara más adelante. Se puede observa que el escenario que mejor se ajusto a las mediciones en campo fue **DEMANDA 4** esto se ve reflejado en las horas de mayor consumo donde la curva generada por los datos de medición en campo y demandas 4 están superpuestas (ver figura 17).

Figura 18 Comportamiento del punto medición de presión en el Análisis por Demanda



En la figura 18 se observa que la diferencia de presión por análisis demanda es pequeña, de esta forma el escenario que mejor presenta buenos resultados es el escenario DEMANDA 4 del cual se logro balancear la cantidad de masa que entra al sistema y fue el escenario escogido en el análisis por demanda.

5.4.2 Análisis por Emisores

El modelo inicial no utiliza emisores, solo después de las comparaciones de este con los valores medidos es posible hacer una estimación adecuada de las fugas en la red y su ubicación.

En la modelación hidráulica las fugas se consideran como emisores; estos se pueden definir como dispositivos asociados a los nodos de la red del distrito Morro Bajo que permite modelar el flujo de salida a través de una tubería o un orificio. El análisis por emisores se realiza teniendo en cuenta los nodos que están sometidos a grandes presiones debido a que estos puntos son los más susceptibles a la aparición de fugas.

Los escenarios fueron creados según los parámetros causantes de las fugas, de acuerdo con lo descrito a continuación.

5.4.2.1 Parámetros de calibración por Emisores

♣ Presión

Dentro de una red de distribución, las tuberías que son sometidas a altas presiones de servicio son más susceptibles a presentar fugas, debido entre otras causas, a uniones defectuosas durante el proceso de instalación y presiones de trabajo excesivas.

Adicionalmente, como se señaló anteriormente, la magnitud de la fuga es proporcional a la potencia de la presión a la que está sometida la tubería, por lo que este parámetro, como se demostrará más adelante, es el más importante dentro de la calibración por Emisores. Para asignar los valores de los coeficientes, se conformaron tres (3) grupos de presión dentro de la red, según los siguientes rangos (Tabla 8).

Tabla 7 Grupos de presión para análisis por emisores

	Presión [m.c.a]		
Grupo	Baja	Media	Alta
Rango	Menores 35	35-50	Mayores 50

♣ Material de la tubería

Cada material posee características específicas, al momento de la fabricación se deben garantizar las condiciones que permitan certificar la resistencia de la tubería o accesorios a presiones, agentes internos y externos, dentro del rango determinado de acuerdo a sus especificaciones. La naturaleza rígida o flexible del material, su edad, la exposición a agentes químicos, entre otros factores, hace que algunos materiales puedan ser más vulnerables y presenten fallas que se traducen en fugas. Tuberías hechas con materiales rígidos y de fractura frágil, como el Asbesto Cemento, son más susceptibles a fugas por falla mecánica, que materiales flexibles y con fractura dúctil, como el policloruro de vinilo (PVC), siendo éstas últimas más vulnerables ante la acción de conexiones fraudulentas, realizadas en la mayoría de los casos sin ningún procedimiento técnico, elevando la probabilidad de generar fugas.

Para el análisis por materiales se asignaron diferentes multiplicadores para los grupos de nodos correspondientes a las tuberías de la red de estudio, los valores más elevados se establecieron a los materiales más susceptibles a fugas.

♣ Estrato socio-económico

La incidencia del estrato socioeconómico en la presencia de fugas, es otro factor que vale la pena analizar. En ocasiones la tendencia de fugas en estratos bajos es

mayor, ya que en estos ocasionalmente es donde con mayor frecuencia se presentan conexiones clandestinas, además de existir otros factores como las redes de difícil acceso las cuales no tienen el mantenimiento adecuado. El distrito en estudio tiene variados estratos, sin embargo para este escenario se tomaron los estratos 1, 2, 3, 4 y 5.

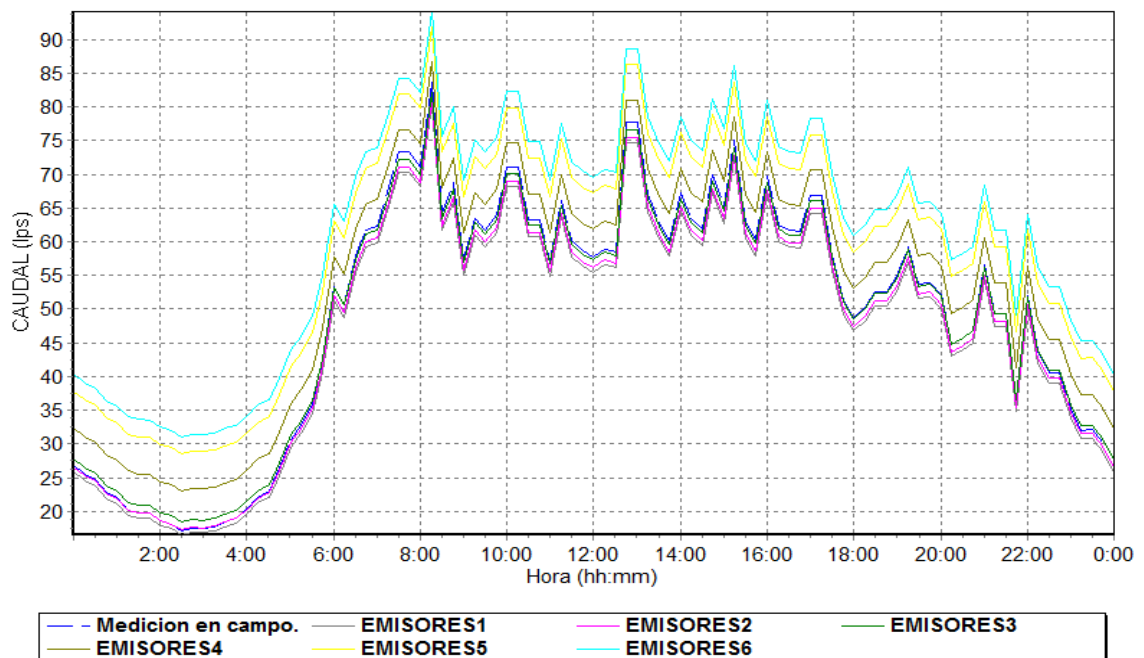
La Tabla 9 muestra los escenarios planteados teniendo en cuenta los parámetros expuestos anteriormente con los coeficientes asignados a cada uno.

Tabla 8 Factores multiplicadores del análisis por Emisores

Escenario	Valor Asignado según la Presiones			Multiplicador Estrato					Multiplicador Material					Multiplicador Diámetro		
	Baja	Media	Alta	1	2	3	4	5	AC	PVC	HG	HD	HF	<50	50-100	>100
Emisores 1	0.000025	0.00003	0.00015	1.5	1.1	1	1	1	1.6	1.1	1.05	1.07	1.08	1.5	1.6	1.7
Emisores 2	0.00004	0.0007	0.00085	2.2	1.7	1.4	1.2	1	2.1	1.4	1.1	1.13	1.1	1.4	2	2.2
Emisores 3	0.0006	0.00085	0.002	2.4	2.8	2.2	1.5	1	2.8	1.7	1.01	1.04	1	1.2	1.4	1.6
Emisores 4	0.0015	0.003	0.02	1.3	1.3	1.2	1	1	1.5	1.3	1.08	1.07	1.07	1.13	1.7	1.4
Emisores 5	0.001	0.002	0.015	2.5	2.7	2	1.2	1	2	1.6	1	1	1	1.35	2	2
Emisores 6	0.002	0.0015	0.01	3.8	3.3	2.7	1.5	1	2.6	1.8	1.11	1.14	1.14	1.35	2.2	2.3

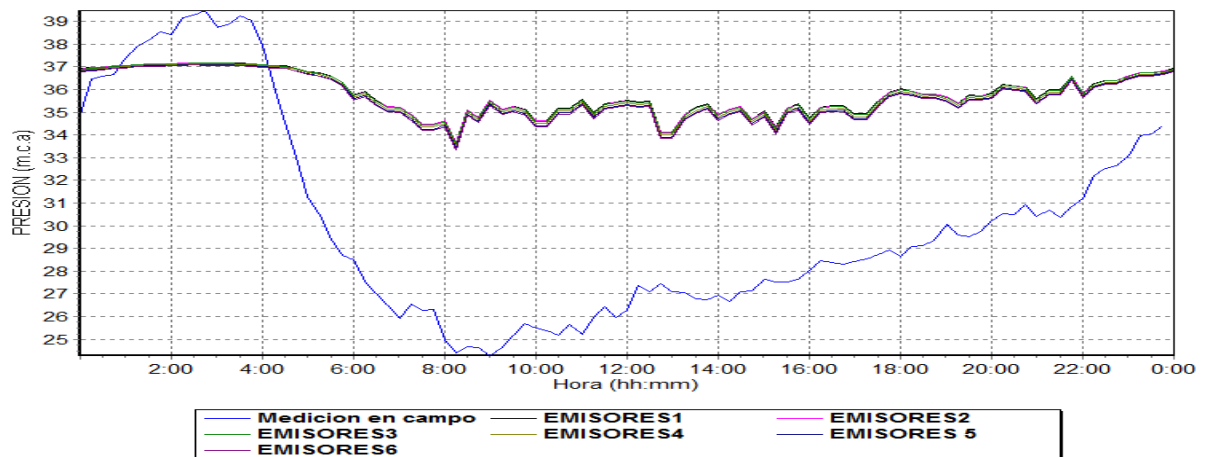
En el anexo G se muestran los nodos a los cuales se les asignaran los coeficientes definidos para cada escenario.

Figura 19 Comportamiento del punto medición de caudal en el Análisis por Emisores



La figura 19 ilustra los escenarios encontrados al simular el incremento en las fugas para toda la red. Puede apreciar que el escenario EMISORES 2 logra un buen ajuste en la horas de bajo consumo para la curva de caudal medida, esto se debe cuando hay fugas en el sistema el caudal aumenta cuando la presión en la red es mayor por consiguiente la existe emisores se revela en las horas de menor consumo Cabe resaltar que la mayoría de los nodos seleccionados de la red se clasificaron dentro del rango de presión alta.

Figura 20 Comportamiento del punto medición de presión en el Análisis por Emisores



En la figura 20 se observa que los escenarios probados durante el análisis de emisores no presentan mayores cambios en las series simuladas en la curva de energía. El caudal emitido por fugas no es suficiente como para reducir la presión de manera notable. Se tendrá en cuenta el escenario **EMISORES 2** ya que es el que logra el mejor ajuste de la curva de masa.

Con base en los modelos generados anteriormente, se recopila los mejores escenarios a través de los análisis independientes por demandas y emisores los cuales serán tomados para el modelo unificado de calibración de masa. Se busca ajustar de forma casi definitiva la curva de caudal del distrito Morro Bajo-Norte, además de tener una buena aproximación al comportamiento medido en relación a las curvas de energía.

Para la elaboración del modelo calibración de masa del distrito se tomaron los ajuste de la demanda propuesto en el escenario de calibración **DEMANDA 4** (ver tabla 10) el cual ajusto de forma casi definitiva el punto de medición de caudal.

Además se escogió el escenario **EMISORES 2**, tomando los valores base y los factores multiplicadores de los coeficientes de emisores (ver tabla 11).

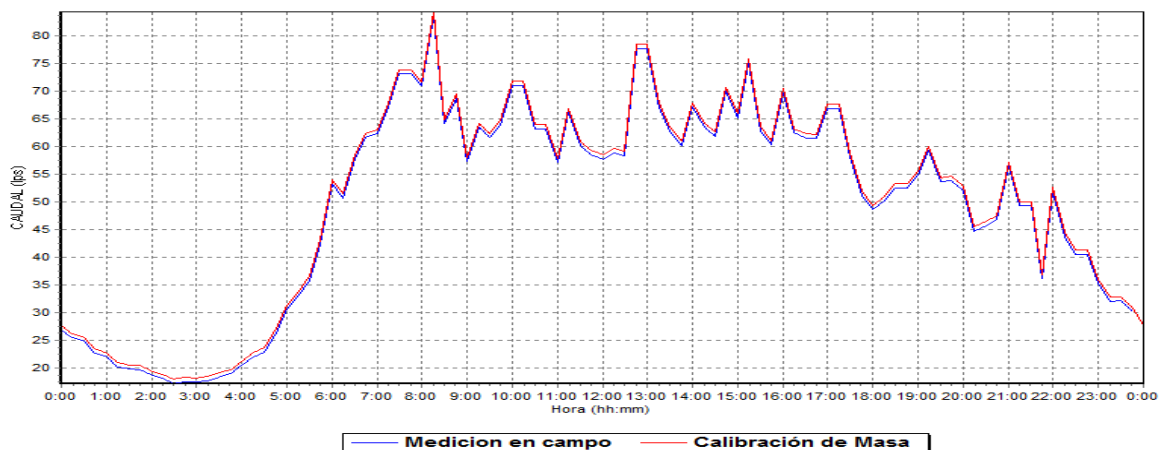
Tabla 9 Factores multiplicadores de la demanda empleados para conformación del modelo calibración de masas del distrito Morro Bajo-Norte

Escenario	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5
Demanda_4	1.35	1.25	1.15	1	1

Tabla 10 Factores multiplicadores de emisores empleados para conformación del modelo calibración de masas del distrito Morro Bajo-Norte

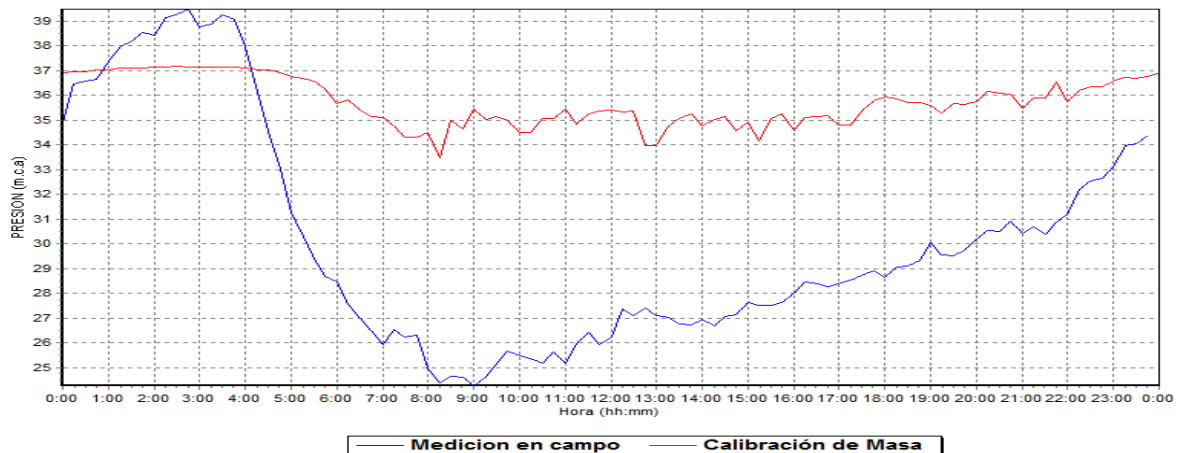
Escenario	Valor Asignado según la Presiones			Multiplicador Estrato					Multiplicador Material					Multiplicador Diámetro		
	Baja	Media	Alta	1	2	3	4	5	AC	PVC	HG	HD	HF	<50	50-100	>100
Emisores 2	0.00004	0.0007	0.00085	2.2	1.7	1.4	1.2	1	2.1	1.4	1.1	1.13	1.1	1.4	2	2.2

Figura 21 Comportamiento del punto medición de caudal en el Modelo Calibración de Masa



La figura 21 se observa que el modelo calibración de masa, tiene la capacidad de simular de manera correcta la cantidad de masa que ingresa a la red distribución del distrito Morro Bajo-Norte.

Figura 22 Comportamiento del punto medición de presión en el Modelo Calibración de Masa



En la figura 22 se observa que la diferencia presión no presenta mayores cambios donde se redujo aproximadamente 1 m.c.a en las horas de mayor consumo, en las series simuladas de la curva de energía generadas por el modelo Calibración de Masa con respecto al Modelo Inicial.

Esta es una de las etapas más importantes del proyecto, ya que al combinar los análisis por demanda y emisores se obtienen una aproximación de la magnitud y la ubicación de las pérdidas técnicas y las pérdidas comerciales.

5.5 CALIBRACIÓN DE ENERGÍA

Es esta fase se ajusta la curva de energía del modelo, analizado la variación de los diámetros, los coeficientes de pérdidas menores y las rugosidades de manera independiente. Estos cambios tienen una mayor influencia en la topografía de la superficie de presiones que sobre la distribución y magnitud de caudales sin embargo se debe tener en cuenta que existe una relación entre el caudal de los emisores y la presión de la red.

5.5.1 Análisis por Diámetro

El análisis por diámetros realizado para la red estudiada, se elaboró con base en características físicas de las tuberías, como el material. El objetivo de este análisis es determinar, mediante diferentes escenarios, las condiciones que mejor

representen el estado actual de la red. En este nivel el modelo hidráulico de la red ya cuenta con los diámetros internos reales de las tuberías.

Los escenarios planteados buscan representar diversos fenómenos que ocasionan las posibles variaciones de diámetro en las tuberías, producidos en algunos casos por el deterioro del material, el crecimiento de biopelículas que se pueden producir por la descalcificación del agua.

En la tabla 12 se presenta los factores multiplicadores de los escenarios que varían la capacidad hidráulica de las tuberías por modificación de los diámetros.

Tabla 11 Factores multiplicadores de Diámetros.

Escenario	A.C	PVC	HG	HD	HF
Diametros_1	0.96	1.1	1	1	1
Diametros_2	0.9	1.05	0.8	0.8	0.8
Diametros_3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Diametros_4	0.9	0.91	0.93	0.93	0.93
Diametros_5	1.05	1.09	1.09	1.09	1.09
Diametros_6	1.1	1.2	1.15	1.15	1.15

En la figura 23 se muestra que para este parámetro la curva no muestra mayor sensibilidad. En la figura 24 se observa que el escenario **DIAMETROS 3** se descarta por presentar presiones negativas en la curva de energía.

El escenario que mejor representa el comportamiento del punto de medición de presión es **DIAMETROS 4** (ver figura 24). Este escenario refleja la disminución de la capacidad hidráulica, condición que aumenta las pérdidas por fricción en el modelo y por ende la energía disponible.

Figura 23 Comportamiento del punto medición de caudal en el análisis por Diámetros

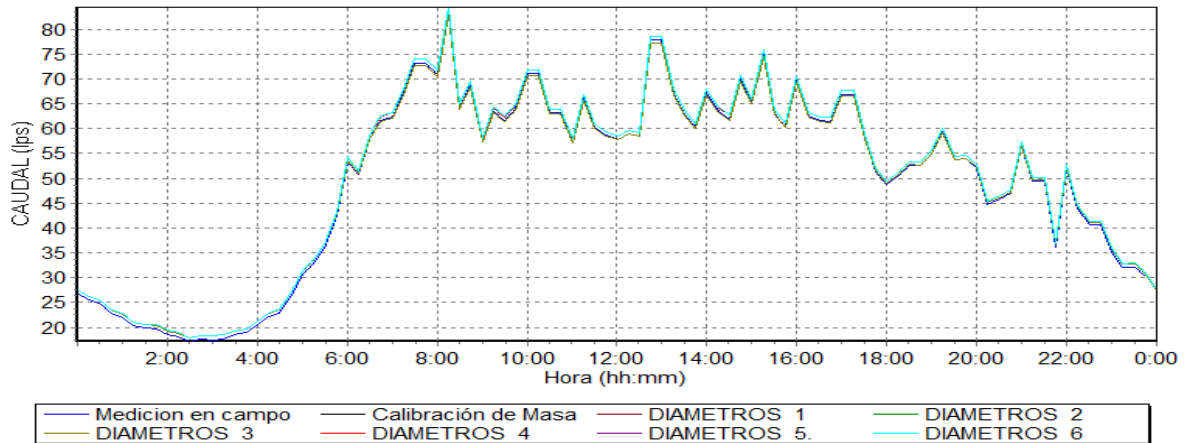
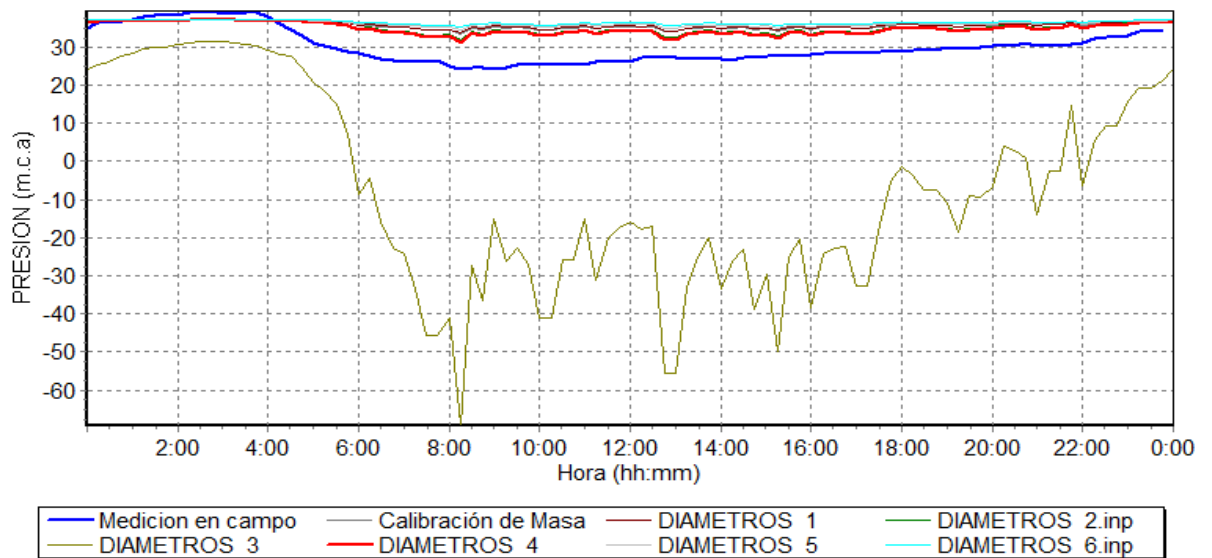


Figura 24 Comportamiento del punto medición de presión en el análisis por Diámetros



5.5.2 Análisis por Rugosidades

La incertidumbre que presenta la rugosidad se debe principalmente a la evolución que puede tener el material debido a la erosión, a la formación de biopelículas, incrustaciones y otras fuentes como errores en el reconocimiento del material en

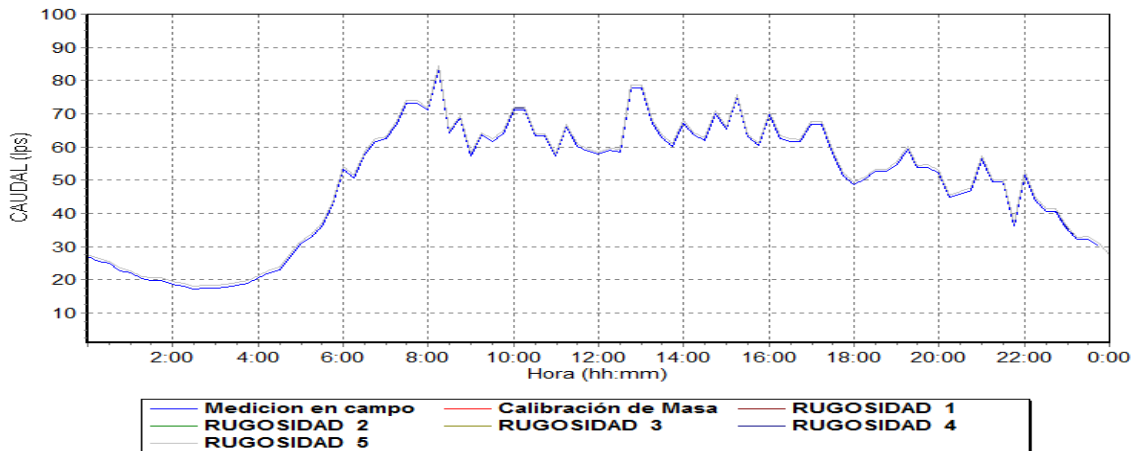
campo durante el catastro de la red. La influencia de estos factores en la rugosidad es determinada durante el proceso de calibración.

Para realizar el análisis por rugosidades se generaron diferentes escenarios de calibración que especifica factores multiplicadores aplicados a la rugosidad teórica de los materiales de las tuberías, estos tienen en cuenta la resistencia del material al desgaste, los escenarios más representativos se encuentran en la tabla 13.

Tabla 12 Factores multiplicadores por Rugosidades

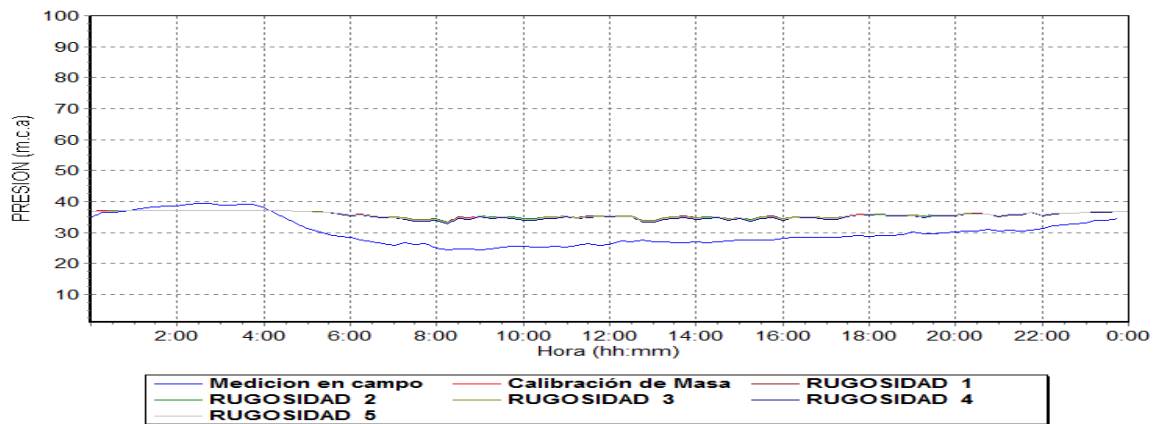
Escenario	A.C	PVC	H.G	H.D	H.F
Rugosidad_1	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5
Rugosidad_2	1.8	2	2	2	2
Rugosidad_3	2.5	2.7	2.7	2.7	2.7
Rugosidad_4	3	3.2	3.2	3.2	3.2
Rugosidad_5	3.8	3.95	3.95	3.95	3.95

Figura 25 Comportamiento del punto medición de caudal en el análisis por Rugosidades



En la figura 25 la curva de masa no tiene un cambio significativo en la calibración por Rugosidades esto se debe que la curva de caudal es independiente de la rugosidad ya que el consumo asignado a los nodos no depende de la hidráulica de la red. Sin embargo una menor presión disminuye el caudal de los emisores y por ende una disminución en la curva de masa.

Figura 26 Comportamiento del punto medición de presión en el análisis por Rugosidades



En la Figura 26 se observa que la influencia de la rugosidad no es significativa, esto se debe a que el flujo se comporta hidráulicamente liso cerca a las paredes de la tubería y por lo tanto el factor de fricción es independiente de la rugosidad.

Los cambios realizados en los escenarios de calibración por rugosidad no son suficientes para cambiar el comportamiento de flujo. Debido a esto se considera que el modelo debe mantener las rugosidades asignadas en el modelo Inicial.

5.5.3 Análisis por Pérdidas Menores

Los accesorios y cambios de alineamiento en la tubería producen curvaturas en las líneas de corriente que se traducen en pérdidas de energía. Estas pérdidas son modeladas mediante un factor K_m el cual multiplica la cabeza de velocidad, dando así la pérdida producida por cualquier accesorio. La resistencia de un accesorio depende de su edad, del grado de apertura en el caso de las válvulas. Las pérdidas menores presentes en una red de distribución de agua potable son causadas por la presencia de accesorios o demás elementos usados para la operación o prestación del servicio, que provocan turbulencias y perturbaciones en el flujo, la cuales causan la pérdida de energía.

Determinar el valor exacto en campo de este coeficiente es un trabajo muy complejo debido a la incertidumbre respecto a la operación del sistema.

Durante el análisis de pérdidas menores se probaron varios escenarios con diferentes pérdidas menores por unidad de longitud teniendo en cuenta el material

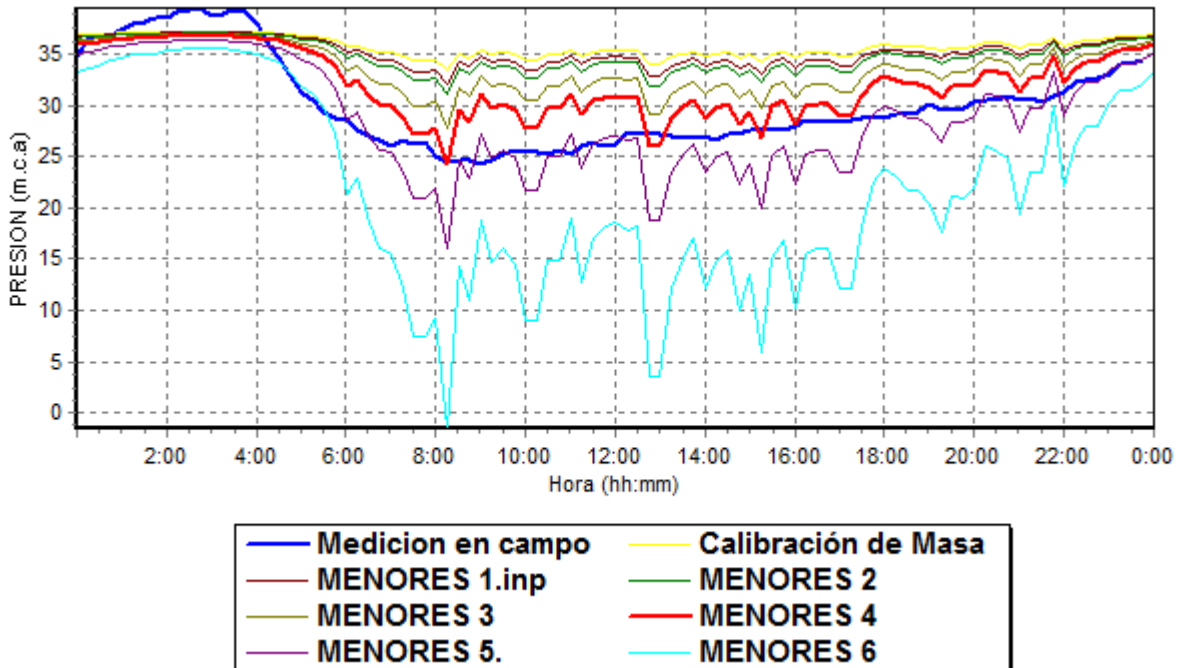
de la tubería. En la tabla 14 se muestran algunos de los escenarios más representativos alcanzados en el presente análisis.

Tabla 13 Valores asignados por Pérdidas Menores

Escenario	K_m/ml				
	A.C	PVC	H.G	H.D	H.F
P. MENORES_1	0.08	0.085	0.085	0.085	0.085
P. MENORES_2	0.1	0.13	0.17	0.17	0.17
P. MENORES_3	0.2	0.35	0.3	0.35	0.35
P. MENORES_4	0.39	0.41	0.41	0.41	0.41
P. MENORES_5	0.7	0.78	0.83	0.83	0.83
P. MENORES_6	1.15	1.2	1.25	1.25	1.15

El coeficiente de pérdidas menores es una variable que afecta la hidráulica del sistema, al reducir la cantidad de energía disponible a lo largo del mismo. Por tal motivo, solamente se realizó un análisis utilizando las curvas de energía medidas y simuladas para los puntos de la red.

Figura 27 Comportamiento del punto medición de presión en el análisis por Pérdidas Menores



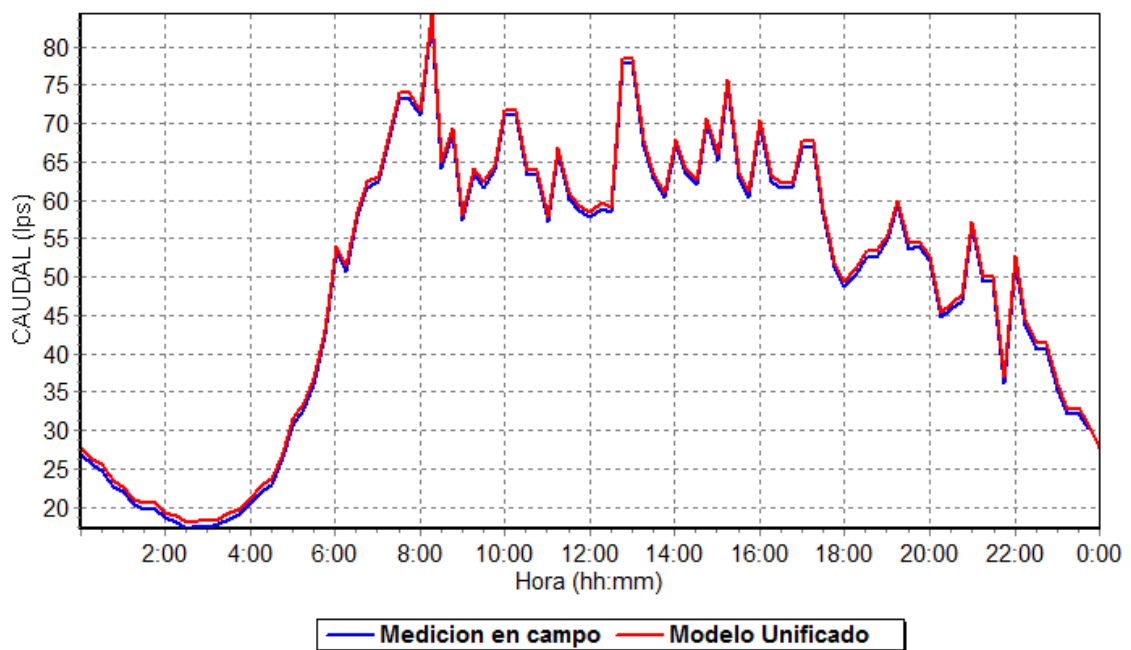
Como se observa en La Figura 27, el escenario que representa mejor el comportamiento de las series medidas de presión es **MENORES 4**, el escenario representa apropiadamente las pérdidas menores por unidad de longitud, debido a los accesorios, a los cambios de dirección en las tuberías y el grado de aperturas de válvulas.

5.6 MODELO UNIFICADO

Como resultado final del proceso de calibración, a continuación se presenta el modelo que recoge los escenarios a través de los cuales se lograron los mejores resultados para la calibración de masa y energía en el anexo H se ven los mejores escenarios por Demandas, Emisores, Diámetros y Pérdidas Menores. Las rugosidades no se modificaron debido a las condiciones presentadas en el Análisis por Rugosidades (ver numeral 6.5.2).

A continuación se mostrará el comportamiento del modelo calibrado, bajo los parámetros descritos anteriormente.

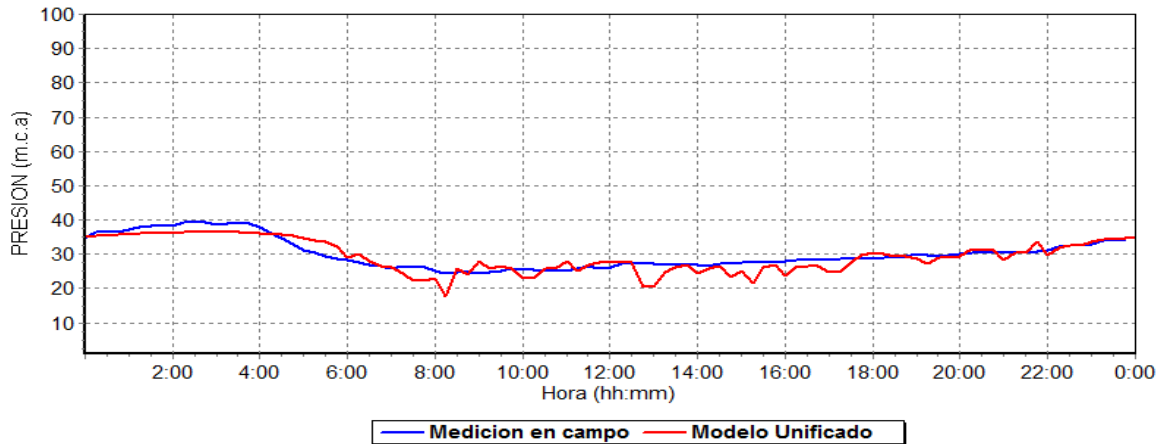
Figura 28 Comportamiento del punto medición de caudal en el Modelo Unificado



En la Figura 28, se puede apreciar que el Modelo unificado de la red de distribución del distrito Morro Bajo-Norte registra en gran porcentaje la totalidad de

agua que ingresa al sistema. Se visualiza tan solo una diferencia del 4% alrededor de las tres (3) de la mañana; sin embargo ésta diferencia no es significativa, por lo que se puede decir que el modelo unificado logra reproducir con bastante precisión los datos recolectados en campo.

Figura 29 Comportamiento del punto medición de presión en el Modelo Unificado



Con respecto al punto de medición de presión de la red de distribución del distrito Morro Bajo-Norte, se destaca que el Modelo unificado reproduce de forma bastante acertada la energía que se distribuye a lo largo del distrito con los ambientes de mediciones encontradas en el terreno.

En el anexo J se puede observar la calibración del modelo unificado con los demás puntos de medición de presión (ver tabla 6) del distrito.

El Modelo unificado de la red de distribución del distrito Morro Bajo-Norte simula correctamente la masa que ingresa al sistema y su distribución de energía para las condiciones de operación en las que se tomaron las mediciones analizadas.

6 IMPLEMENTACIÓN DE VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN EN EL MODELO CALIBRADO

La calibración del modelo hidráulico es una labor minuciosa, esta se desarrolla en varias fases, a través de las cuales se analizan las respuestas de los distintos elementos que conforma la red a la disminución de la presión. Finalizado el proceso de calibración se hace necesaria la revisión de las presiones finales en la red y con esto en la zona problema se debe conseguir una disminución en la presión, para esto se hace necesario instalar una serie de dispositivos conocidos como válvulas reguladoras de presión.

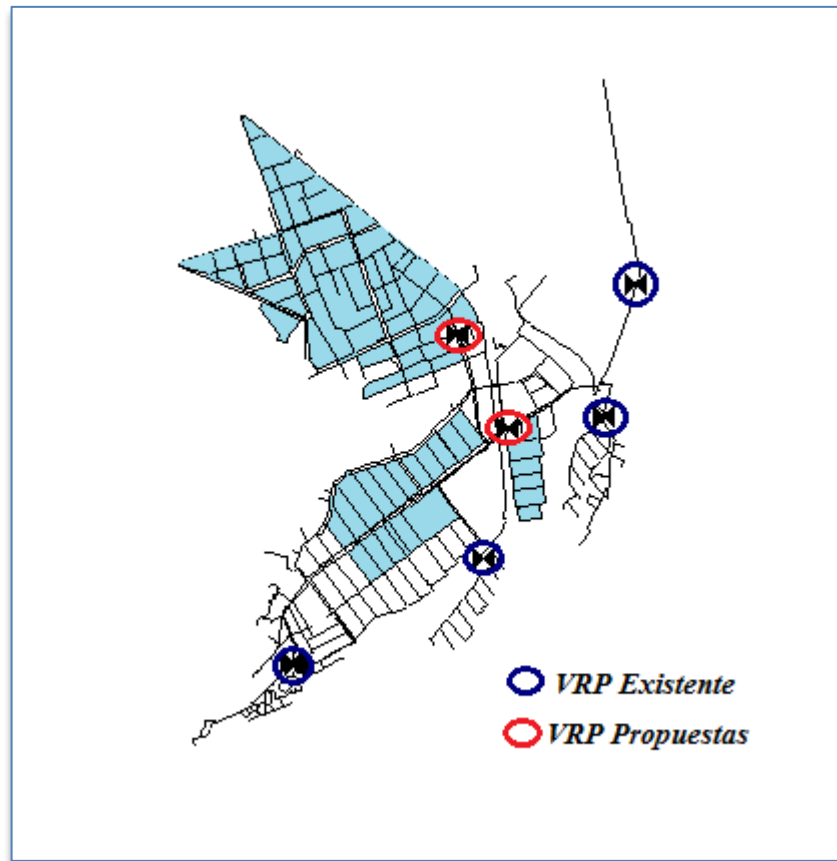
Las válvulas reguladoras de presión se ubican a la entrada de los sectores que por sus características topológicas y topográficas, presenta valores de presión superiores a los 50 m.c.a y además de identificar las posibles zonas con fugas en el distrito Morro bajo-Norte, estas presiones se pueden apreciar en el modelo hidráulico calibrado del distrito.

Dichas válvulas tiene un costo de adquisición e instalación elevado por lo que es necesario escoger su sitio de instalación de forma tal, que la cantidad de energía que controle y el volumen que fluya a través de ella, sean suficiente para recuperar la inversión inicial en un tiempo razonable.

Se recomienda que las zonas donde van a ser ubicadas se encuentren bien sectorizadas, preferiblemente que dispongan una única entrada y que transporte una gran cantidad de caudal. La cantidad de energía que debe controlarse en cada zona se determina a partir del modelo calibrado que representa las condiciones reales del distrito, para el modelo se plantearon varios escenarios con la instalación de las válvulas a lo largo del sistema, buscando controlar la máxima energía posible. A continuación se muestra el mejor escenario encontrado con la instalación de válvulas reguladoras de presión en el modelo calibrado del distrito Morro Bajo-Norte, sin embargo su funcionamiento definitivo debe ser ajustado en campo y corroborado con las mediciones de energía a lo largo del distrito.

6.1 LOCALIZACIÓN DE LAS VRP EN EL MODELO CALIBRADO

Figura 30 Distribución de las válvulas en el modelo del distrito Morro Bajo-Norte



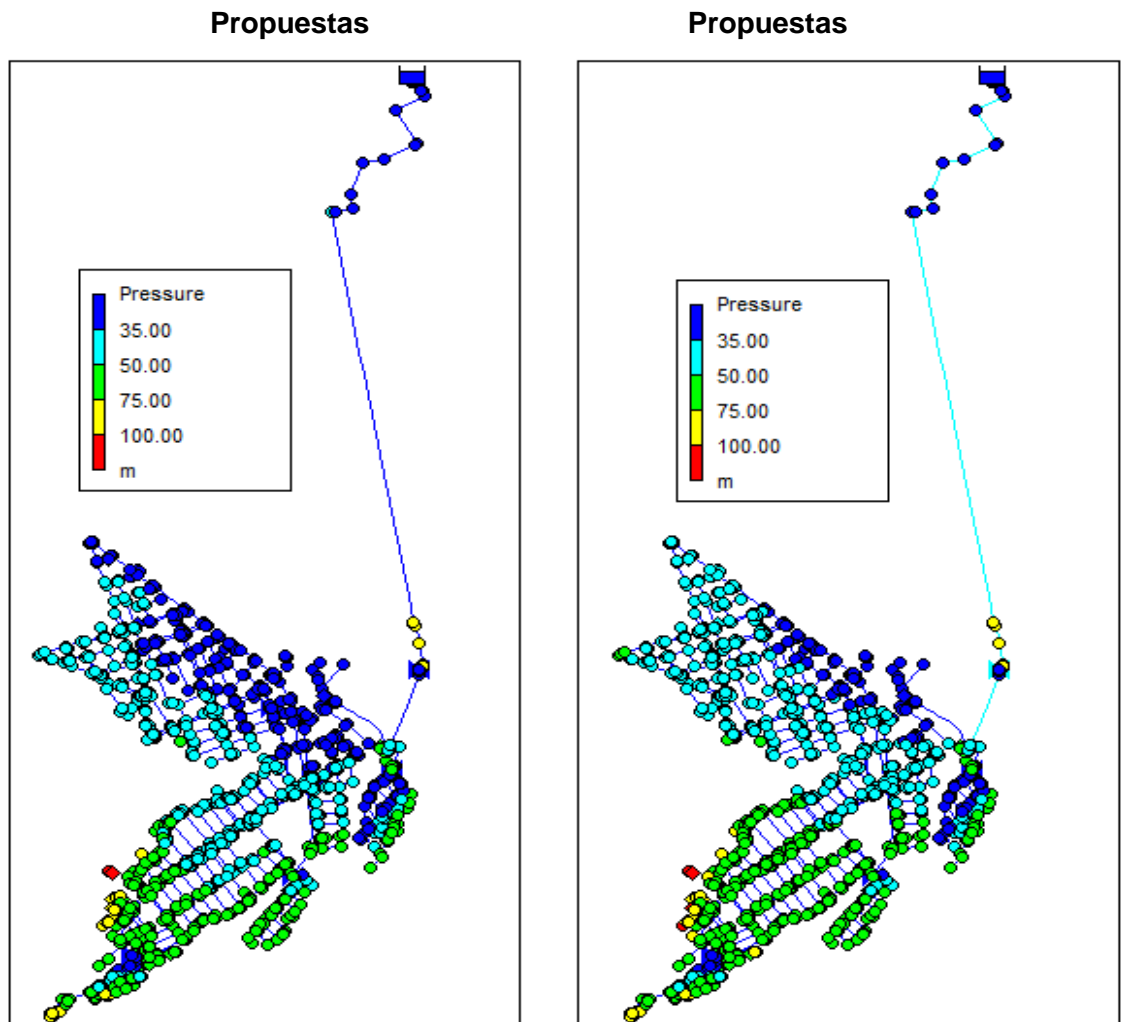
La figura 30 muestra la distribución de las válvulas reductoras de presión para la red del distrito Morro Bajo-Norte, además se observan las válvulas existentes y la zona probable de afectación (parte azul) que puedan tener estas válvulas sugeridas sobre la presión del sistema.

- ♣ La primera válvula a instalar se propone en el barrio la Ceiba carrera 17f con calle 62, en este punto encontramos una tubería de hierro galvanizado de 6 pulgadas de diámetro que abastece los barrios la Ceiba, Ricaurte, Aeropuerto, La Concordia, entre otros.
- ♣ La segunda válvula reductora de presión se ubicara en la calle 67 con carrera 27 Puerta del Sol, en la tubería de asbesto cemento de 18 pulgadas que surte a los barrios la Sallé, La Victoria y demás zonas aledañas.

A continuación se muestran un comparativo del comportamiento de la red de distribución con la instalación de las válvulas reguladoras frente al modelo calibrado solo con las válvulas existentes.

Figura 31 Modelo calibrado con las VRP

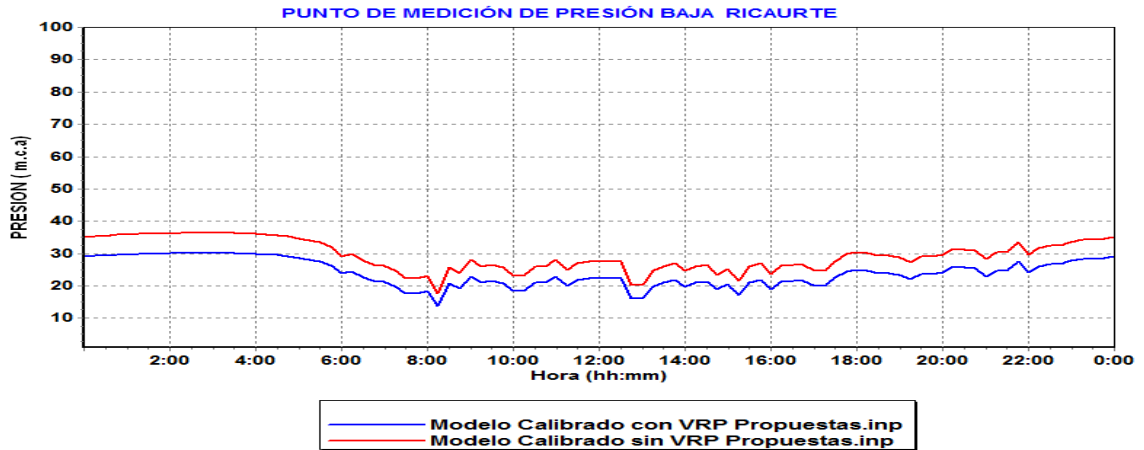
Figura 32 Modelo calibrado sin las VRP



La Figura 31 y Figura 32 representa el estado de presiones a las 3:00 am hora de menor consumo y mayor presión del distrito Morro Bajo-Norte. Se puede apreciar que el modelo con las válvulas propuestas tiene gran influencia sobre la presión de la red de distribución, la zona de afectación se asemeja a la figura 30 donde se especifican los barrios con las disminuciones de presión, además se encuentran zonas en las que la presión disminuye de 75 m.c.a a valores menores de 50 m.c.a con respecto al modelo calibrado sin las válvulas propuestas (figura 32).

Se realizó una modelación de las curvas de presión, arrojando los siguientes resultados.

Figura 33 Comportamiento del punto medición de presión en el Modelo Calibrado con las VRP propuestas



En la Figura 33 se observa una reducción del 25% en la presión a lo largo del día con las VRP propuesta con respecto al modelo sin las VRP, en el punto de medición de presión (Ricaurte). Esto se debe a que las válvulas propuestas controlan la energía de la mayoría de los elementos que conforman el sector en el modelo calibrado.

En el caso de sectores que presenten diferencias muy grandes entre las presiones registrada durante las horas del día y la noche, es necesario establecer un control activo de presiones, en el cual se ajusta el desempeño de la curva de energía en función de hora del día.

Durante la implementación de las válvulas al modelo calibrado de la red distribución del distrito Morro Bajo-Norte, se somete el sistema a un conjunto de variaciones en la presión, conocidos como Regímenes de Presión. Una de las principales metas de estos regímenes es analizar la variación del agua no contabilizada en función de la presión, la cual es muy importante en aquellos casos en que el agua se pierde y se debe a fenómenos de tipo técnico.

7 INDICE DE AGUA NO FACTURADA Vs PRESION

Cuando se habla de presión vs. Índice de agua no facturada, es necesario relacionar el control de la presión dentro de una red de distribución con las demandas y con las fugas que existen dentro del sistema.

Con el modelo calibrado se busca generar un sistema que integre tanto las fugas como las demandas dependientes de la presión en una red de distribución de agua potable. Generalmente, las empresas de acueducto registran una diferencia entre el agua producida en la planta de tratamiento y el agua facturada. Esta discrepancia obedece a diferentes factores, entre los que se encuentran las fugas en tubos y conexiones, sub-mediciones, consumos no registrados o conexiones ilegales. La relación entre el agua registrada y el agua producida se conoce como eficiencia hidráulica.

Cuando se construyen modelos hidráulicos de las redes de distribución, los consumos no controlados en las uniones se consideran proporcionales a las demandas, con el fin de garantizar el equilibrio entre las entradas y salidas al sistema. Sin embargo, esta hipótesis no es del todo válida, porque los consumos y las fugas varían a lo largo del día, dependiendo de las demandas y de la presión en el sistema. Por esta razón, la eficiencia hidráulica no es la misma durante el día (consumos altos y presiones bajas) que durante la noche (demandas bajas, presiones altas).

Dado lo anterior y evidenciando que el volumen de agua a producir se puede calcular como se muestra en la ecuación 8.1. Es evidente que entre menores sean las pérdidas de agua, menor será el volumen de agua a producir.

$$AP = \frac{AF}{P}$$

Ecuación 7.1 Volumen de agua a producir

Donde,

AP: Volumen de agua a producir

AF: Volumen de agua facturada

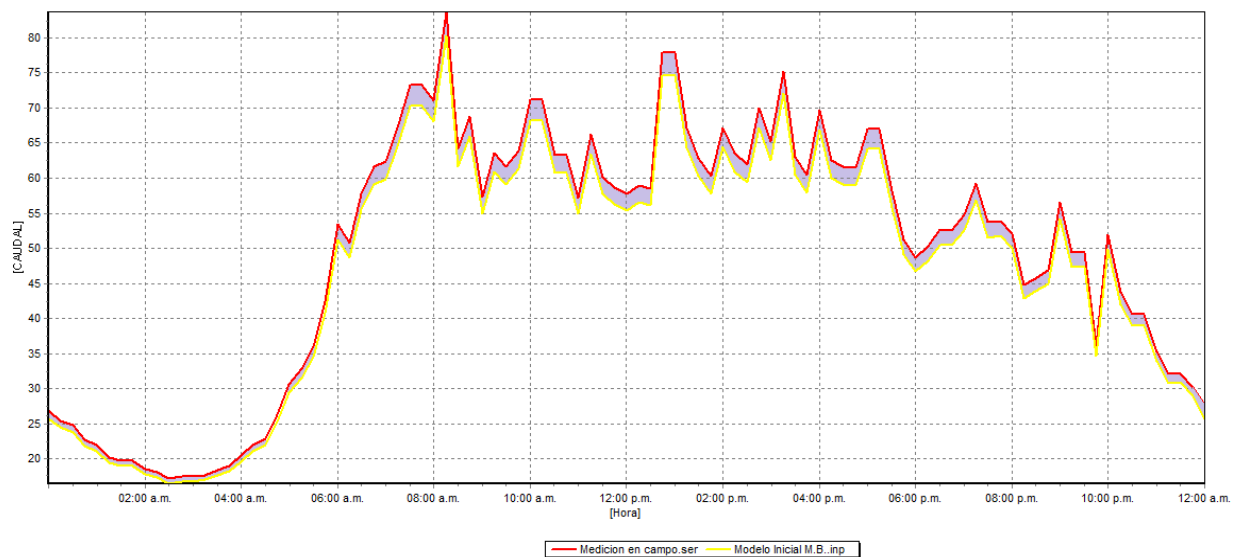
P: Volumen de agua pérdida en el sistema

La anterior ecuación nos permite visualizar de una forma directa la fuerte dependencia de las fugas con el nivel de presión que maneje la red. Por lo cual es importante la implementación de operaciones que permitan la optimización de la presión en la red de distribución.

7.1 Índice de agua no facturada

Para fines prácticos, en este estudio dicho índice se calculará a partir de la diferencia obtenida entre la curva de caudal del modelo inicial y la curva de caudal generada con los datos de las mediciones de campo, dicho de otras palabras, esto equivale a la diferencia entre el volumen de agua producido en la planta y el volumen de agua facturado. En la siguiente gráfica podemos observar la zona que representa la discrepancia de estos volúmenes.

Figura 34 Diferencia de volumen medido Vs Volumen Facturado



Con los datos relacionados en el anexo I, obtenemos el volumen total producido y facturado, esta información nos proporcionara el valor aproximado del IANC del distrito en estudio, este valor se calcula con la ecuación 3.16 expuesta anteriormente, como se muestra a continuación:

Volumen Total Producido [L]	Volumen Total facturado [L]
4287487.50	4112947.72

$$\text{IANC} = \frac{\text{Volumen de agua producida} - \text{Volumen de agua facturada}}{\text{Volumen de agua producida}} 100\%$$

$$\text{IANC} = \frac{4287487.5 - 4112947.72}{4287487.5} * 100$$

$$\text{IANC} = 4.07\%$$

Como se observa este valor no refleja la realidad, ya que el acueducto metropolitano de Bucaramanga ha reportado para el año 2010 un valor 23.63%¹⁵ correspondiente al índice de agua no contabilizado. Con lo anterior podemos deducir que el valor encontrado para este distrito difiere de lo esperado. Una posible fuente de error, se atribuye a las mediciones de caudal dada la proximidad entre el caudalímetro y la válvula reguladora (V_8718) ubicada a una distancia aproximada de 12.5 metros, dicha condición podría estar generando perturbaciones en el flujo y por lo tanto ruido en las mediciones. En la fotografía podemos observar la ubicación del caudalímetro y la válvula reguladora mencionados anteriormente.

¹⁵ Informe de sustentabilidad 2010. Gestión operacional

Ilustración 1 Fotografía del caudalímetro y válvula reguladora a la entrada del distrito



Fuente: *archivo personal*

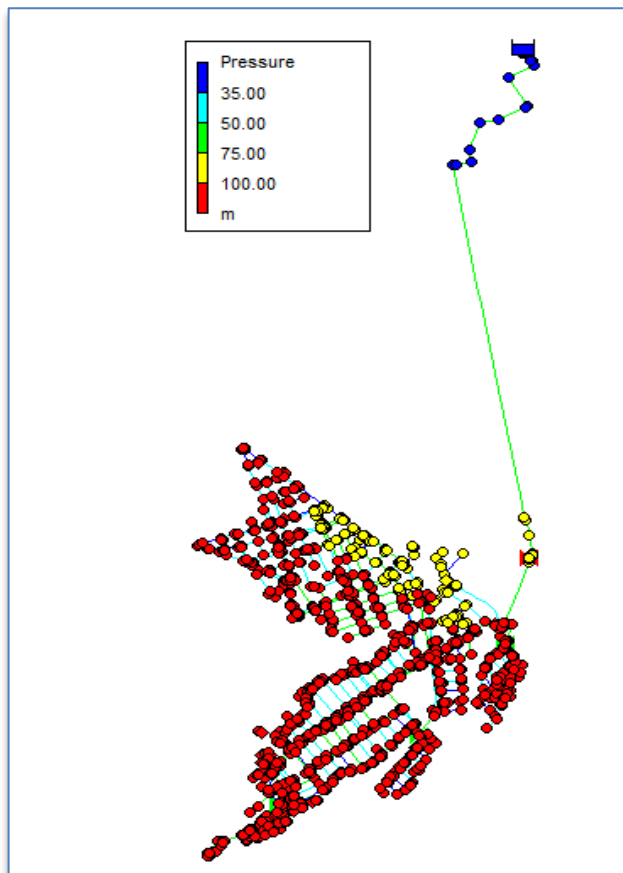
7.1.1 IANC régimen de presión alta

Para simular un régimen de presión alta en el distrito se procedieron a abrir en el modelo las válvulas relacionadas en la tabla 15, generando así que el modelo presente en su mayoría presiones por encima de 75 m.c.a como podemos observar en la figura 35. Esta condición genera una modificación en la curva de energía ya que se espera que los emisores aumenten en especial en las horas de menor consumo.

Tabla 14 Válvulas del distrito Morro-Bajo

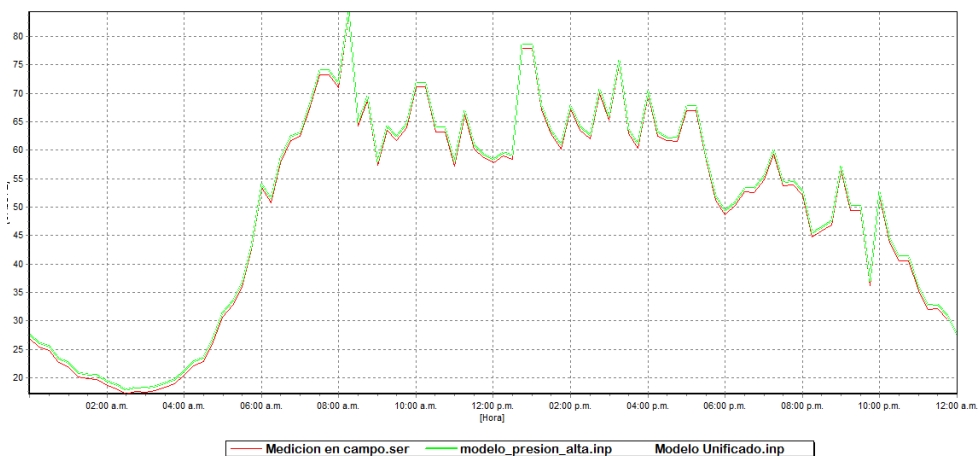
ID	DESCRIPCIÓN
V_8718	Reg. La Victoria
V_19044	Reg. Juan XXIII
V_19045	Reg. Juan XXIII
V_19074	Reg. Nueva Granada

Figura 35 Régimen de presiones altas en el distrito



A pesar del aumento de presión en el modelo, no se logró un cambio significativo en las curvas de masa, esto lo podemos observar en la figura 36.

Figura 36 Relación de caudales para un régimen de presión alta



A pesar que la variación de la curva generada por el modelo a presión alta fue muy pequeña, se espera que el índice de agua no contabilizada aumente debido a que este se encuentra relacionado directamente con la presión de funcionamiento de la red. Para corroborar lo anterior se calculo el IANC con el mismo procedimiento enunciado anteriormente, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 15 Relación total de volumen de agua producido y facturado

Volumen Total Producido [L]	Volumen Total facturado [L]
4376074.64	4112947.72

$$\text{IANC}_{\text{presiones altas}} = \frac{\text{Volumen de agua producida} - \text{Volumen de agua facturada}}{\text{Volumen de agua producida}} 100\%$$

$$\text{IANC}_{\text{presiones altas}} = \frac{4376074.64 - 4112947.72}{4376074.64} * 100$$

$$\text{IANC}_{\text{presiones altas}} = 6.013\%$$

El IANC aumento en un 2.32% respecto al modelo simulado bajo un régimen de presión baja. Con este análisis se puede determinar la cantidad de agua que se pierde, la cual para este estudio es de 88.59 m³/día aproximadamente. Además con estos valores podemos determinar la población que se ve afectada por estas pérdidas, con base en la dotación neta máxima para poblaciones con clima cálido 150 [L/hab-día]¹⁶, lo que equivale a 571 habitantes aproximadamente.

¹⁶ Según resolución 2320 de noviembre 27 de 2009

8 INCIDENCIA EN LA FACTURACIÓN

8.1 GENERALIDADES

Es difícil analizar el efecto que tiene la presión dentro de un conjunto de elementos que integran la tarifa de cobro del servicio de agua potable, ya que está compuesta por diferentes elementos, algunos fijos y algunos variables. La forma en que se relacionan estos elementos en la estructura tarifaria, la fija un marco de regulación establecido por la CRA¹⁷. En Colombia la constitución de 1991 en el artículo 367 establece que la ley fijara las competencias y responsabilidades relativas a la prestación de servicios públicos domiciliarios, su cobertura, calidad y financiación, y el régimen tarifario que tendrá en cuenta además de los criterios de costos, los de solidaridad y redistribución de ingresos. Ya que las tarifas deben ser equivalentes a los costos en que incurre una empresa para la prestación del servicio.

8.2 ANALISIS DE CONSUMOS

En el desarrollo de este proyecto se realizó un análisis sobre la incidencia de la presión en el IANC, de la misma forma la posible afectación en el consumo de los usuarios de una red de distribución de agua potable. Siempre basados en el principio de que las pérdidas de agua conllevan a una sobre explotación del recurso; entre más agua sea necesaria producir, más costos genera la empresa; y ya que la producción del agua implica un costo que debe ser cubierto por los usuarios, entre mayor cantidad de agua se pierda, mayor es la tarifa que se les cobra.

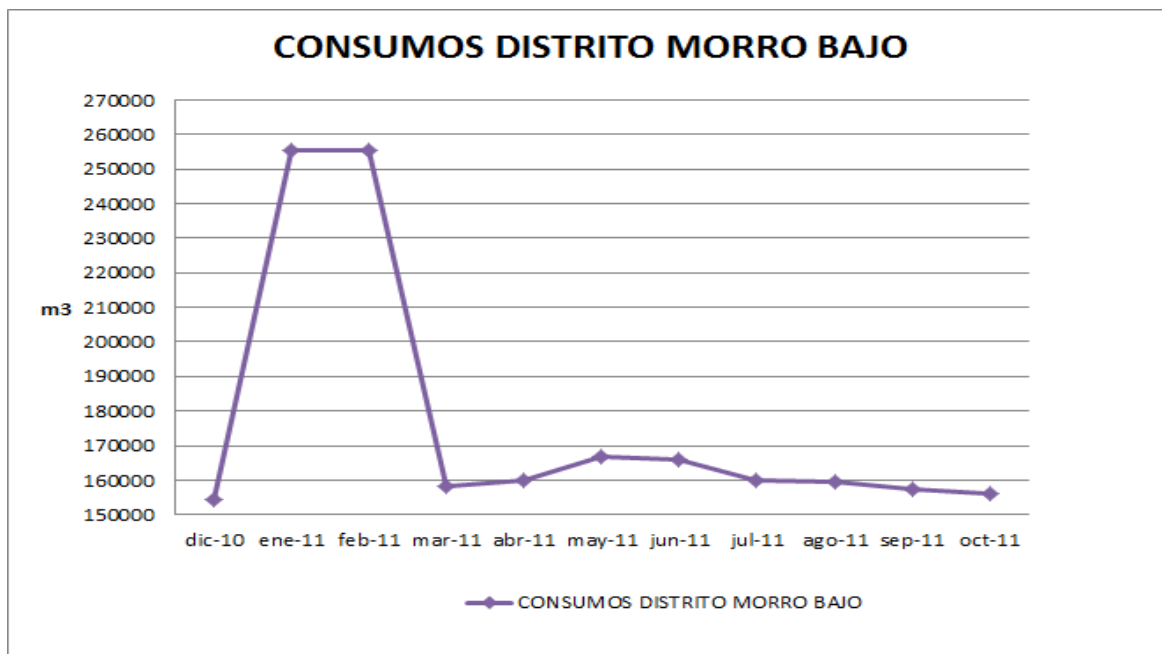
A continuación relacionamos los consumos por mes del distrito Morro Bajo- Norte. Es importante aclarar que al tratarse de datos de consumo no se tiene en cuenta las pérdidas en la red de distribución.

Tabla 16 consumos por mes del distrito Morro Bajo- Norte

MES	dic-10	ene-11	feb-11	mar-11	abr-11	may-11	jun-11	jul-11	ago-11	sep-11	oct-11
CONSUMO [m ³]	154219	255598	255485	158225	159889	166705	165942	159889	159373	157479	156152

¹⁷ Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico

Figura 37 Consumos del distrito Morro Bajo-Norte



La relación nos muestra una tendencia uniforme para los meses de marzo a octubre, esto nos permite establecer la baja sensibilidad que ejerce la presión sobre el consumo de los usuarios; con lo cual se establece que son elementos independientes para el análisis, sin embargo la presión sí es un factor determinante en la cantidad de agua que transporta la red y por ende la que se produce y se debe facturar.

Dado que los cobros en la facturación dependen del estrato socio-económico, se realizó un análisis del consumo por estrato y su costo tarifario.

En la siguiente tabla se determina el costo tarifario para el cargo básico facturado ($\$/m^3$) para los usuarios de estrato uno (1) del distrito Morro Bajo- Norte para un periodo de estudio de once (11) meses durante el año 2011. Los valores para los cálculos fueron tomados de la normatividad vigente (ver anexo K).

Tabla 17 Consumos en m3 por mes Estrato 1

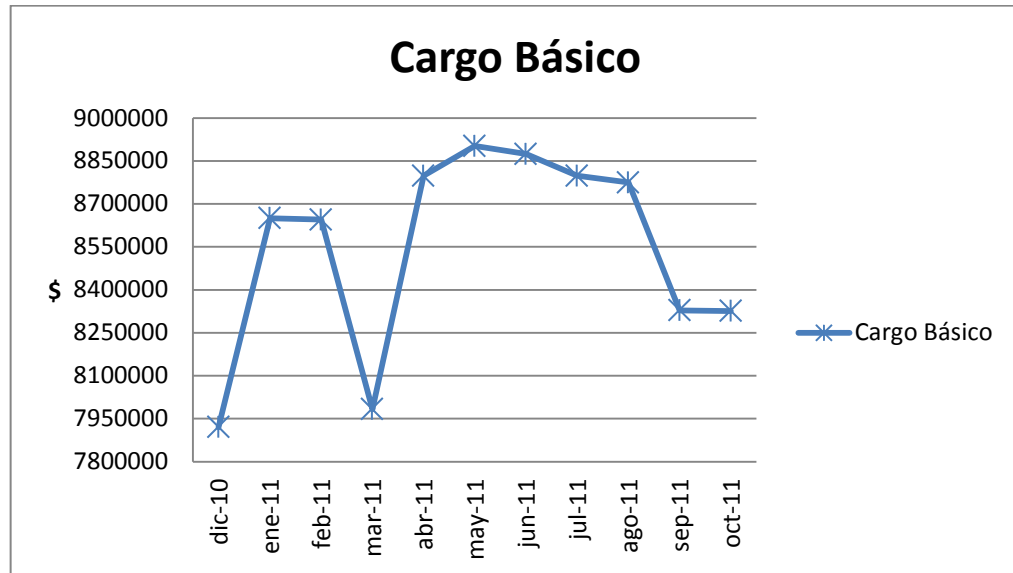
ESTRATO	CONSUMOS en m3 por mes estrato										
	dic-10	ene-11	feb-11	mar-11	abr-11	may-11	jun-11	jul-11	ago-11	sep-11	oct-11
1	12462	13100	13104	13806	13843	13963	14007	13843	12561	13602	13610

Tabla 18 Precio facturado por el Acueducto

PRECIO FACTURADO por el acueducto												
ESTRATO	Cargo Básico (\$/m ³)	dic-10	ene-11	feb-11	mar-11	abr-11	may-11	jun-11	jul-11	ago-11	sep-11	oct-11
1	635.56	7920349	8325836	8328378	8774541	8798057	8874324	8902289	8798057	7983269	8644887	8649972

La siguiente gráfica nos muestra la tendencia del cobro de cargo básico a lo largo del tiempo.

Figura 38 Valor facturado para el estrato 1

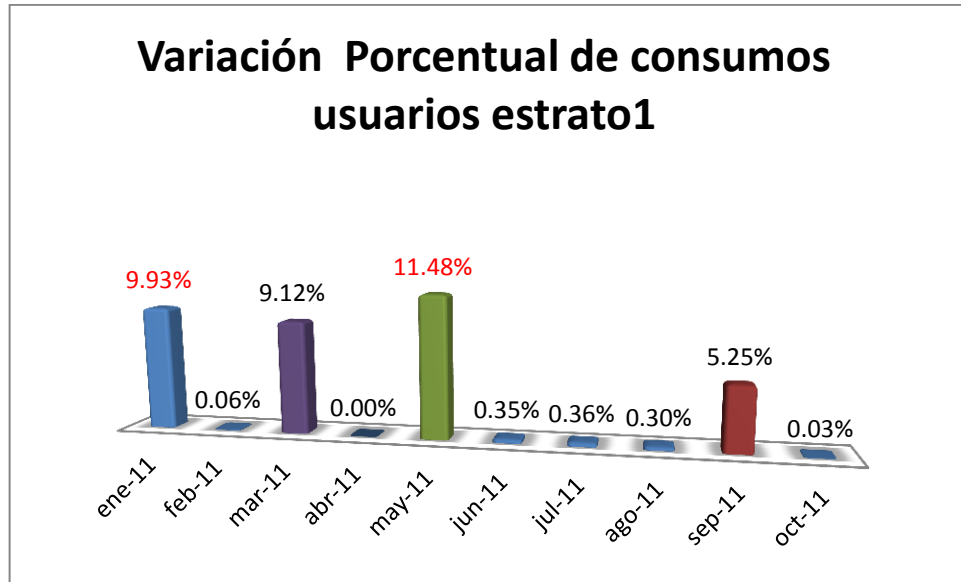


El cargo básico es un parámetro en el cobro de la factura de agua potable, este depende del consumo de los usuarios, por lo tanto si observamos la gráfica podemos concluir que este recaudo es fluctuante ya que depende de condiciones exógenas a la red de distribución.

8.2.1 Variación porcentual de consumos

En un sistema público de abastecimiento de agua, la cantidad de agua consumida varía continuamente en función del tiempo. En la siguiente gráfica podemos analizar la variación en el consumo de los usuarios residenciales estrato 1 durante los meses de enero a octubre del año 2011, información que fue suministrada de

las micro-mediciones realizadas por el acueducto metropolitano de Bucaramanga. Este mismo análisis se realizó para los demás estratos que conforman la red de distribución del distrito en estudio (ver anexo L).



Los consumos durante el mes de enero de 2011 de acuerdo a la gráfica aumentaron un 9.93% respecto a los facturados en el mes de diciembre del año 2010, sin embargo se evidenció una disminución relativa durante los meses siguientes para febrero la disminución fue de 0.06%, en marzo del 9.12% el mes de abril permaneció con el mismo consumo del mes anterior, sin embargo para el mes de mayo los consumos aumentaron un 11.48% respecto a los del mes de abril, los meses siguientes tuvieron un leve disminución siendo el más significativo el del mes de septiembre.

Realizado el estudio anterior y dado que la información no contiene datos sobre las pérdidas en el sistema. Se pone de manifiesto cómo la cantidad demandada de agua para consumo final depende de un conjunto de factores que permiten modular los consumos individuales. Durante el año existen meses de mayor o menor consumo del agua dependiendo de los factores climatológicos, costumbres, actividades, entre otros. Lo anteriormente expuesto nos permite deducir que para este análisis la presión no tiene incidencia en el consumo de los usuarios.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ♣ Siguiendo la metodología de calibración implementada, se descubrió la existencia de una anomalía en el caudal de ingreso al sistema. Se presume que el macro-medidor de caudal ubicado a la entrada del distrito presentó un error en su medición, la cual pudo ser provocada por la proximidad entre el caudalímetro y la válvula reguladora. Lo anterior tuvo una repercusión directa en la calibración de las curvas de caudal, viéndose afectados todos los cálculos que dependían de esta información incluido el IANC.
- ♣ En el proceso de calibración del distrito se encontró que la cantidad de masa que ingresa y circula por cada uno de los sectores que conforma la red de distribución, se encuentra relacionada principalmente con el análisis por demandas y emisores, lo anterior, debido a que se trato de calibrar las curvas de masa a través de los diámetros, rugosidades y perdidas menores sin lograr algún cambio significativo en la curva de caudal, con respecto a las curvas de energía los parámetros por demandas y emisores presentaron poca sensibilidad al momento de calibrar la curva de presión. Esto se debió a que la cantidad de masa ajustada para la calibración fue mínima para que tuviera alguna incidencia en la curva de energía, no obstante las variables por pérdidas menores y diámetros tuvieron una incidencia importante en la presión del sistema.
- ♣ La conclusión más importante que se puede extraer de las mediciones de presión, caudal y lecturas de micro-medición obtenidas del acueducto metropolitano de Bucaramanga, es que la presión no tiene un efecto aparente sobre el consumo de agua de los suscriptores.
- ♣ Con la implementación de la resolución 2320 de noviembre 27 de 2009 las empresas prestadoras del servicio de agua potable deben implementar nuevas estrategias que les permitan reducir sus pérdidas técnicas con el fin de alcanzar los porcentajes exigidos inherente a esta condición la reducción del IANC. Si la empresa cuenta con un buen sistema de micro-medición y con un plan de acción eficiente y eficaz de reparación, reposición y mantenimiento estas pérdidas no deberán representar un problema significativo, es importante destacar que un sistema de monitoreo y medición adecuado no sólo ayuda a detectar fugas, sino que también elimina las pérdidas ocasionadas por errores en macro-medición y micro-medición.

- ♠ En la calibración del distrito Morro Bajo-Norte se obtuvo un modelo calibrado que se ajusta a las diferentes mediciones en campo, este permitió modelar una red de distribución de agua potable en diferentes estados de presiones a la entrada del sistema y obtener un pronóstico de las presiones en todos los nodos y de los caudales de las tuberías.

- ♠ En el Análisis por rugosidades, en la zona analizada el flujo en la red tiende a hacer hidráulicamente liso esto se debe a que a medida que el flujo se acerca a las paredes de la tubería hay una sub capa laminar por lo tanto el factor de fricción es independiente de la rugosidad.

- ♠ Con la implementación de las válvulas reguladoras de presión en el modelo calibrado, se consiguió una significativa reducción de las presiones a lo largo del día, dichas válvulas controlan la energía de la mayoría de los elementos que conforman la red de distribución del distrito Morro Bajo-Norte en el modelo calibrado.

- ♠ Es importante resaltar la baja sensibilidad que ejerce la presión sobre el consumo de los usuarios; con lo cual se establece que son elementos independientes para el análisis de los costos de facturación por consumo, sin embargo la presión sí es un factor determinante en la cantidad de agua que transporta la red y por ende la que se produce y se debe facturar.

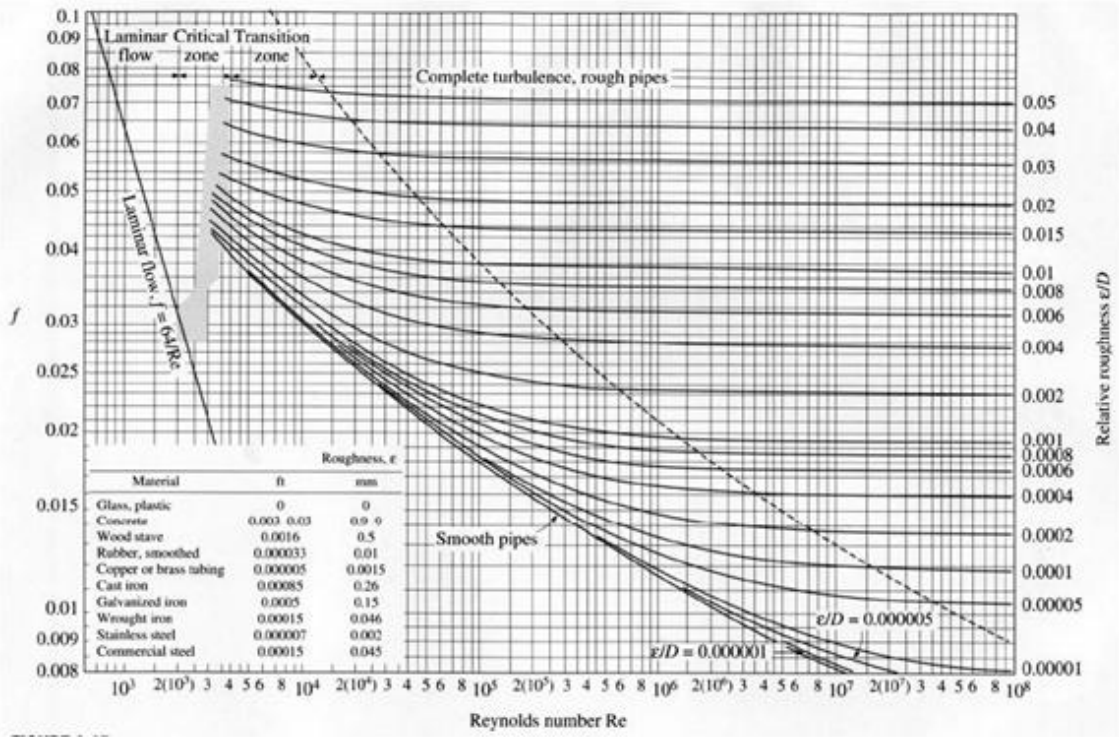
BIBLIOGRAFIA

1. **Streeter, Victor L. Wylie, E. Benjamin. Bedford, Keith W.** *Mecánica de fluidos*. Novena Edición. s.l. : Mc Graw Hill, 1999.
2. **WILCHES, William.** *Cuantificación del efecto de fugas no detectables de agua sobre los costos de operación globales de una red de distribución de agua potable*. s.l. : Tesis de Maestría;Asesor: Juan G. Saldarriaga, 2004.
3. **Instituto Ingeniería del Agua y M.a Universidad Politécnica de Valencia.** *EPANET 2 Manual de usuario en español*. Valencia : s.n., 2002.
4. **División de ingeniería de crane.** *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. Primera edición. s.l. : Mc Graw Hill, 1992.
5. **Rocha Felices, Arturo.** *Hidráulica de tuberías y canales*. Primera edición. 1978.
6. **Saldarriaga, Juan G.** *Hidráulica de tuberías*. Primera edición . s.l. : Mc Graw Hill, 1998.
7. **Lewis, Rossman.** *User's manual EPANET*. 1999 : EPA.
8. **Useche, Daniel Eduardo Salas.** *Redes de distribución de agua potable bajo un ambiente de fugas*. s.l. : Artículo procedente del XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica.
9. **Contreras, Fabio Garzón.** *Influencia de la presión en las pérdidas de agua en sistemas de distribución*. Punta del este : s.n., 2006.
10. **Universidad de los Andes, Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados.** *Proyecto Plano Óptimo de Presiones, Informe Final*. Bogotá : s.n., Octubre de 2006.
11. *Operational optimization of drinking water distribution networks in order to maximize the uniformity of pressure in the consumer nodes.* **Araque, D. J.G Saldarriaga.** Bogotá : Universidad de los Andes, 2011, Revista de Ingeniería, Facultad de Ingeniería.
12. **Lara Mesa, Susana.** *Efectos del índice de agua no contabilizada en las tarifas para acueductos medios y pequeños en Colombia*. Bogotá : Tesis de ingeniería, Universidad de los andes, PAVCO S.A, 2004.

13. **Liong, S. y Atiquzzaman, M.** *Optimal Design of Water Distribution Network using Shuffled Complex Evolution*. Singapore : En Journal of The Institution of Engineers, 2004. Vol. XLIV.

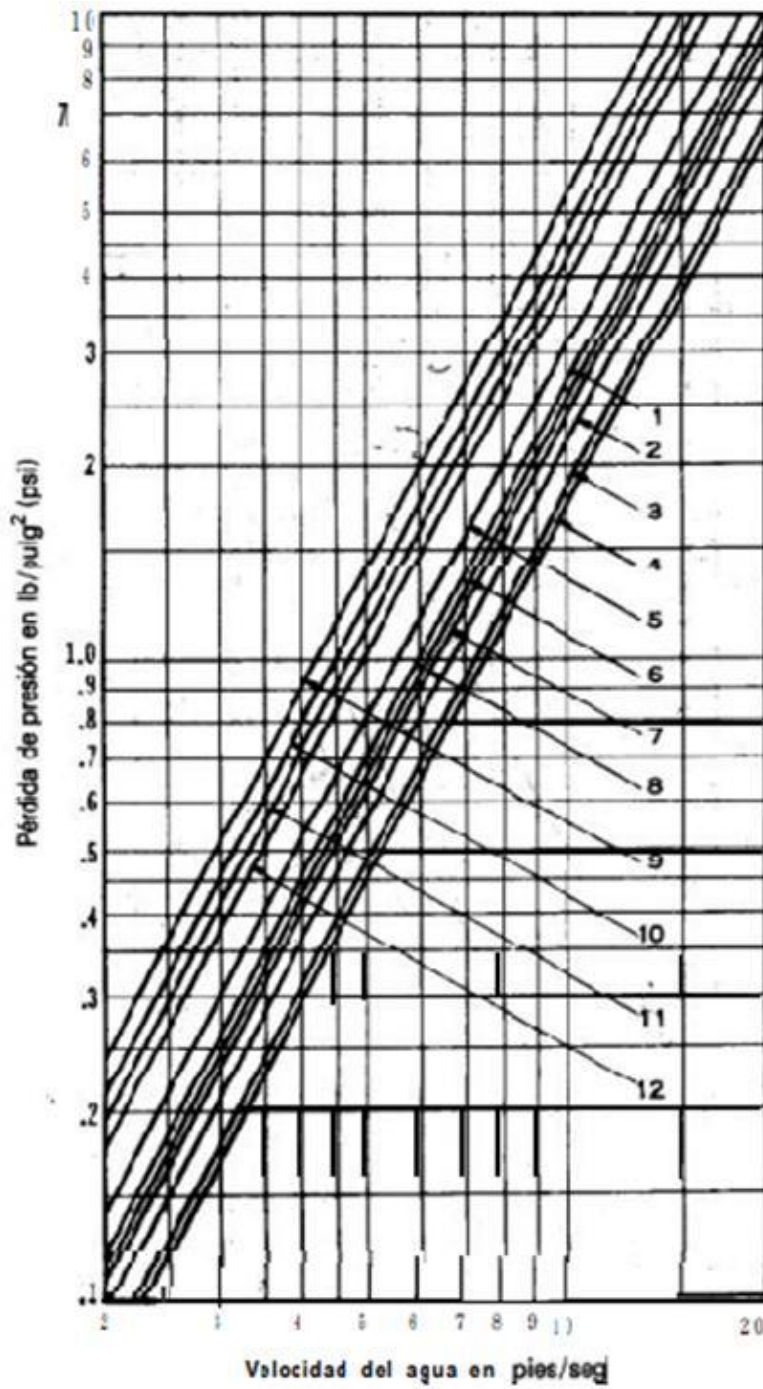
ANEXOS

ANEXO A Diagrama de Moody



Fuente: *Mecánica de fluidos. Victor L. Streeter.*

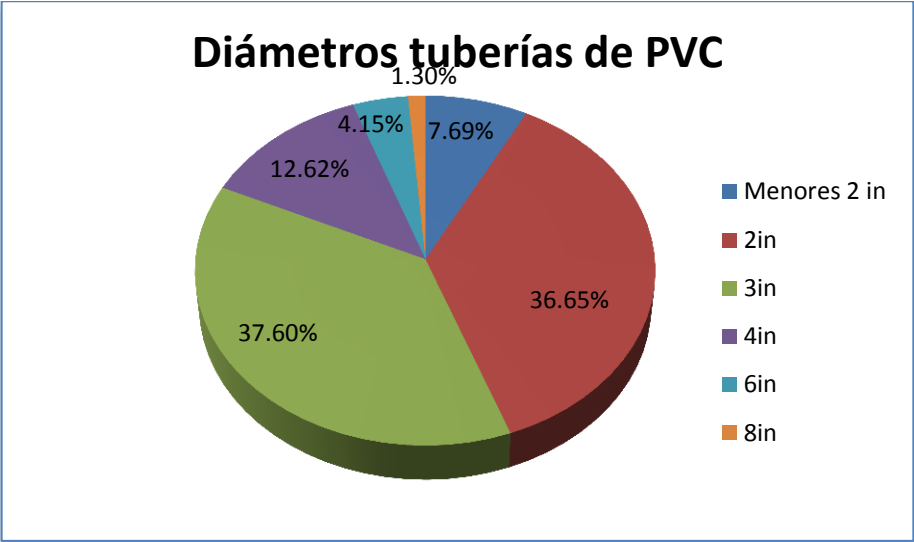
ANEXO B Pérdidas de presión vs velocidad del agua



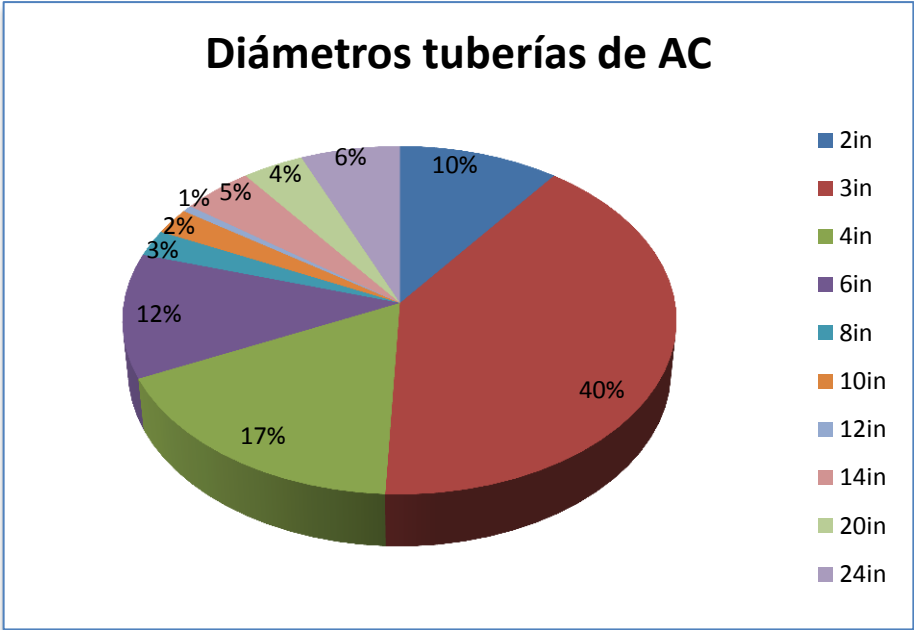
Fuente: Crane. *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. 1ª edición.

ANEXO C Distribución de diámetros por Material

Distribución de diámetros tuberías PVC

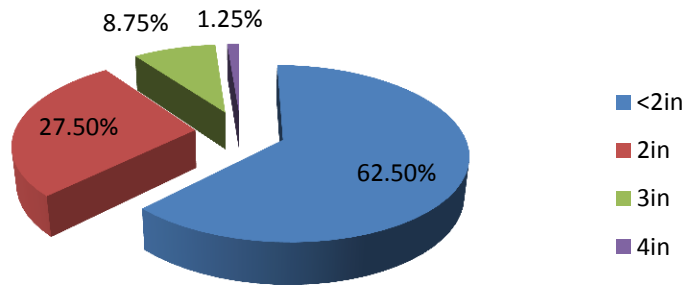


Distribución de diámetros tuberías Asbesto Cemento



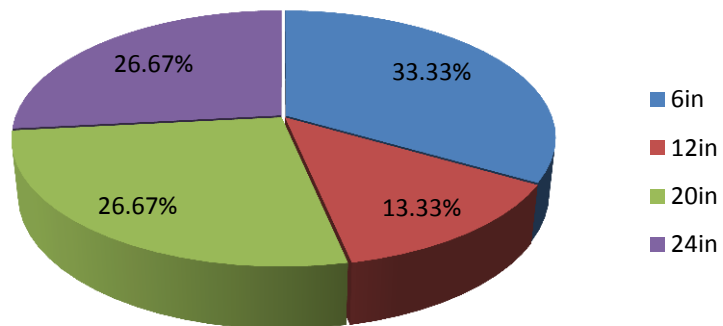
Distribución de diámetros tuberías Hierro Galvanizado

Diámetros tuberías HG

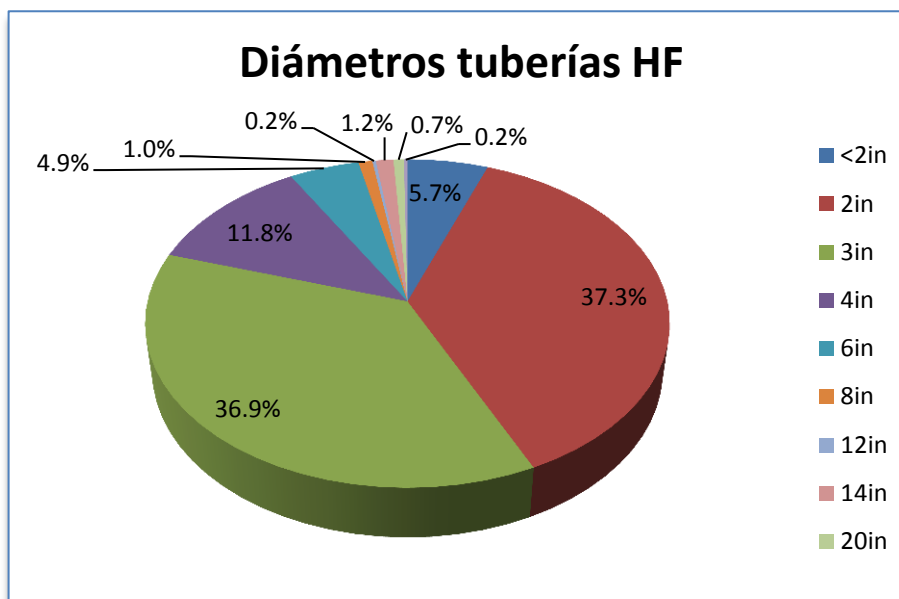


Distribución de diámetros tuberías Hierro Dúctil

Diámetros tuberías HD



Distribución de diámetros tuberías Hierro Fundido



ANEXO D Clasificación de usuarios por estrato¹⁸

CODIGO	NOMBRE
0	No existe
1	Estrato 1
2	Estrato 2
3	Estrato 3
4	Estrato 4
5	Estrato 5
6	Estrato 6
7	Menor a 5/8"
8	3/4"
9	1"
A	Mayor a 1"
B	Gran produc 2-3
C	Categoría 3
D	Demolido/Inexis
E	Especial aseo
F	Categoría 1

¹⁸ Fuente: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga

G	Gran productor
H	Categoría 2-1
I	Categoría 2-2
J	Categoría 2-3
K	Categoría 2-4
L	Peq. Prod. sin AP
M	Gran prod. sin AP
N	No liquida aseo
P	Plazas
Q	Peq. Productor
R	Medidor control
S	Especial aseo
T	Gran productor 3-4
U	Excluido
V	Gran productor 5-6
W	Gran productor 4-5
X	Especial
Y	Ruitoque E.S.P
Z	CAMB

ANEXO E Clasificación por tipo de uso

Uso	Descripción
1	Residencial
2	Comercial
3	Industrial
4	Oficiales
5	Especiales
C	Medidores de Caudal
H	Temporales (hidrantes)
M	Multi usuarios
P	Pilas públicas

ANEXO F Equivalencias de diámetros

Equivalencias entre diámetros nominales y reales para tuberías de PVC

Diámetro nominal		Diámetro interno real (mm)
(pulgadas)	(mm)	
1	25.4	30.20
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

Equivalencias entre diámetros nominales y reales para tuberías de AC

Diámetro nominal		Diámetro interno real
(pulgadas)	(mm)	(mm)
1	25.4	25
2	50.8	50
3	76.2	75
4	101.6	100
6	152.4	150
8	203.2	200
10	254.0	250
12	304.8	300
14	356.6	350

Equivalencias entre diámetros nominales y reales para tuberías de Acero y HG

Diámetro nominal		Diámetro interno real
(pulgadas)	(mm)	(mm)
1	25.4	25.4
2	50.8	50.8
3	76.2	76.2
4	101.6	101.6
6	152.4	152.4
8	203.2	203.2
10	254.0	254.0
12	304.8	304.8

ANEXO G Coeficientes asignados y distribución de los nodos Análisis por Emisores

ID NODO	Emisores 1	Emisores 2	Emisores 3	Emisores 4	Emisores 5	Emisores 6
19648	0.0000528	0.002744	0.0044506	0.007956	0.0124	0.016038
19685	0.0000528	0.002744	0.0044506	0.007956	0.0124	0.016038
19862	0.00004675	0.00014784	0.002448	0.00273	0.00372	0.01242
20194	0.000384	0.004284	0.01176	0.051	0.072	0.0858
20232	0.000384	0.004284	0.01176	0.051	0.072	0.0858
20278	0.00037125	0.0054978	0.016128	0.04407	0.10125	0.13338
20285	0.00037125	0.0054978	0.016128	0.04407	0.10125	0.13338
20368	0.0000528	0.002744	0.0044506	0.007956	0.0124	0.016038
20623	0.0000816	0.0045276	0.0083776	0.00756	0.016	0.024219
20803	0.000252	0.002244	0.004242	0.03672	0.036	0.03663
20815	0.000384	0.004284	0.01176	0.051	0.072	0.0858
20847	0.0000768	0.003528	0.004998	0.00765	0.0096	0.013455
20872	0.0002805	0.0031416	0.00816	0.0364	0.0558	0.0621
20873	0.000264	0.002856	0.00714	0.0442	0.0558	0.0594
20958	0.00037125	0.0054978	0.016128	0.04407	0.10125	0.13338
20970	0.00037125	0.0054978	0.016128	0.04407	0.10125	0.13338
20974	0.00037125	0.0054978	0.016128	0.04407	0.10125	0.13338
20979	0.00037125	0.0054978	0.016128	0.04407	0.10125	0.13338
27132	0.000396	0.005236	0.011424	0.05746	0.11625	0.15048
27152	0.000396	0.005236	0.011424	0.05746	0.11625	0.15048
272876	0.00027285	0.00295834	0.0073216	0.035952	0.06	0.00027285
274482	0.0000484	0.0001904	0.0039984	0.0043095	0.00837	0.026136
63159	0.000396	0.005236	0.011424	0.05746	0.11625	0.15048
67879	0.0000528	0.002744	0.0044506	0.007956	0.0124	0.016038

ANEXO H Mejores escenarios para la construcción del Modelo unificado

Factores multiplicadores de las Demandas empleados para la construcción del Modelo Unificado del distrito Morro Bajo-Norte

Escenario	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5
Demanda_4	1.35	1.25	1.15	1	1

Factores multiplicadores de los Emisores empleados para la construcción del Modelo Unificado del distrito Morro Bajo-Norte

Escenario	Valor Asignado según la Presiones			Multiplicador Estrato					Multiplicador Material					Multiplicador Diámetro		
	Baja	Media	Alta	1	2	3	4	5	AC	PVC	HG	HD	HF	<50	50-100	>100
Emisores 2	0.00004	0.0007	0.00085	2.2	1.7	1.4	1.2	1	2.1	1.4	1.1	1.13	1.1	1.4	2	2.2

Factores multiplicadores de los Diámetros empleados para la construcción del Modelo Unificado del distrito Morro Bajo-Norte

Escenario	A.C	PVC	HG	HD	HF
Diametros_4	0.9	0.91	0.93	0.93	0.93

Valores Asignados por Pérdidas Menores empleados para la construcción del Modelo Unificado del distrito Morro Bajo-Norte

Escenario	K _m /ml				
	A.C	PVC	H.G	H.D	H.F
P. MENORES_4	0.39	0.41	0.41	0.41	0.41

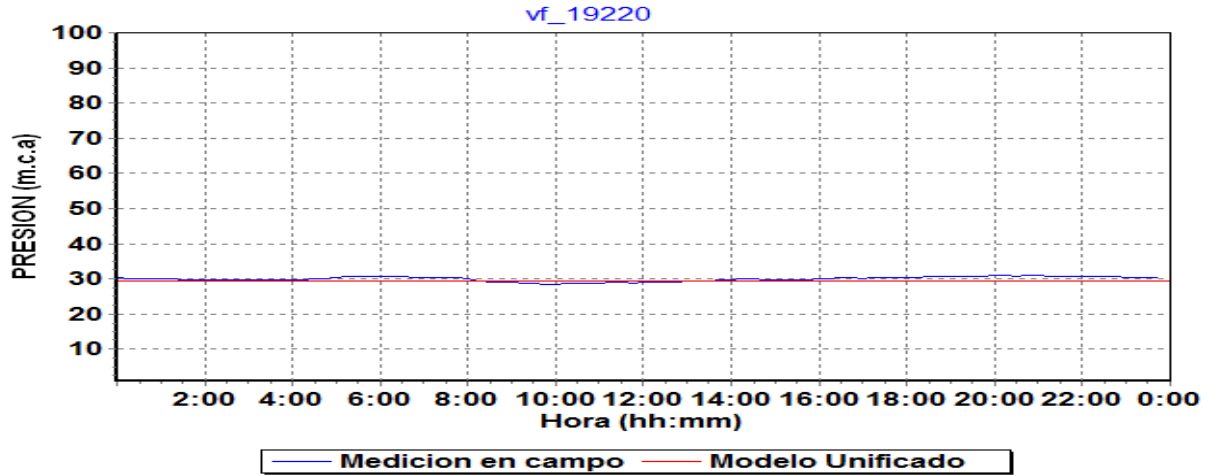
ANEXOS I Relación Volumen producido-Volumen facturado

Hora	Volumen Producido [L]	Volumen facturado [L]	Hora	Volumen Producido [L]	Volumen facturado [L]
00:00	24187.50	23203.18	12:00	51975.00	49858.92
00:15	22950.00	22017.07	12:15	53043.75	50883.92
00:30	22331.25	21423.13	12:30	52593.75	50452.47
00:45	20475.00	19642.24	12:45	70031.25	67178.91
01:00	19800.00	18996.27	13:00	70031.25	67177.45
01:15	18225.00	17485.85	13:15	60412.50	57951.62
01:30	17831.25	17106.98	13:30	56587.50	54282.56
01:45	17775.00	17054.20	13:45	54225.00	52016.10
02:00	16762.50	16082.16	14:00	60468.75	58005.50
02:15	16312.50	15650.85	14:15	57150.00	54821.67
02:30	15468.75	14841.55	14:30	55743.75	53474.41
02:45	15806.25	15165.49	14:45	63000.00	60434.66
03:00	15750.00	15111.28	15:00	58725.00	56333.66
03:15	15975.00	15327.10	15:15	67612.50	64858.21
03:30	16593.75	15920.57	15:30	56643.75	54336.88

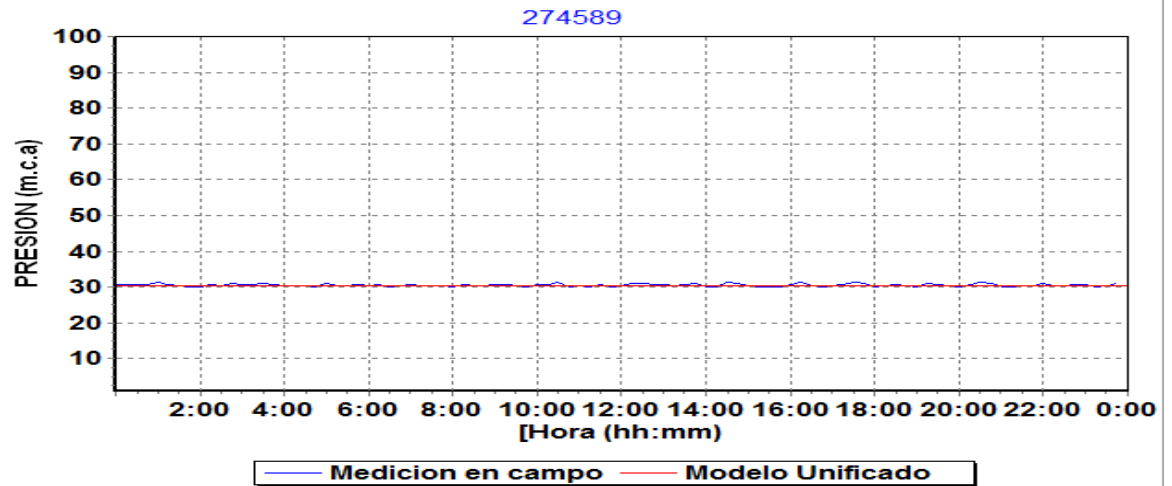
03:45	17100.00	16404.92	15:45	54337.50	52123.69
04:00	18450.00	17700.44	16:00	62775.00	60217.52
04:15	19856.25	19049.84	16:15	56250.00	53958.20
04:30	20643.75	19805.68	16:30	55462.50	53204.75
04:45	23737.50	22773.07	16:45	55350.00	53096.31
05:00	27618.75	26496.57	17:00	60243.75	57790.78
05:15	29531.25	28331.04	17:15	60243.75	57788.43
05:30	32343.75	31028.71	17:30	52368.75	50234.79
05:45	38193.75	36639.25	17:45	46125.00	44245.80
06:00	48037.50	46081.64	18:00	43818.75	42034.71
06:15	45675.00	43815.28	18:15	45225.00	43383.41
06:30	52031.25	49912.00	18:30	47362.50	45433.47
06:45	55518.75	53258.46	18:45	47306.25	45386.04
07:00	56137.50	53851.49	19:00	49331.25	47323.00
07:15	60468.75	58005.41	19:15	53381.25	51207.72
07:30	65925.00	63239.17	19:30	48318.75	46352.11
07:45	65925.00	63239.88	19:45	48543.75	46568.19
08:00	63900.00	61296.54	20:00	46912.50	45002.71
08:15	75318.75	72249.86	20:15	40275.00	38634.95
08:30	57768.75	55416.26	20:30	41175.00	39499.10
08:45	61875.00	59354.46	20:45	42187.50	40471.15
09:00	51581.25	49480.41	21:00	50850.00	48780.67
09:15	57150.00	54821.50	21:15	44437.50	42629.71
09:30	55518.75	53257.28	21:30	44437.50	42628.22
09:45	57543.75	55199.45	21:45	32568.75	31243.36
10:00	64012.50	61404.57	22:00	46743.75	44839.88
10:15	64012.50	61405.26	22:15	39375.00	37772.34
10:30	56925.00	54607.07	22:30	36562.50	35074.70
10:45	56925.00	54606.54	22:45	36562.50	35075.37
11:00	51468.75	49373.24	23:00	31781.25	30488.76
11:15	59568.75	57142.30	23:15	28856.25	27683.60
11:30	54168.75	51964.39	23:30	28968.75	27789.34
11:45	52762.50	50613.55	23:45	27168.75	26064.57

ANEXO J Comportamiento de los puntos de medición de presión en el Modelo Unificado del distrito Morro Bajo- Norte

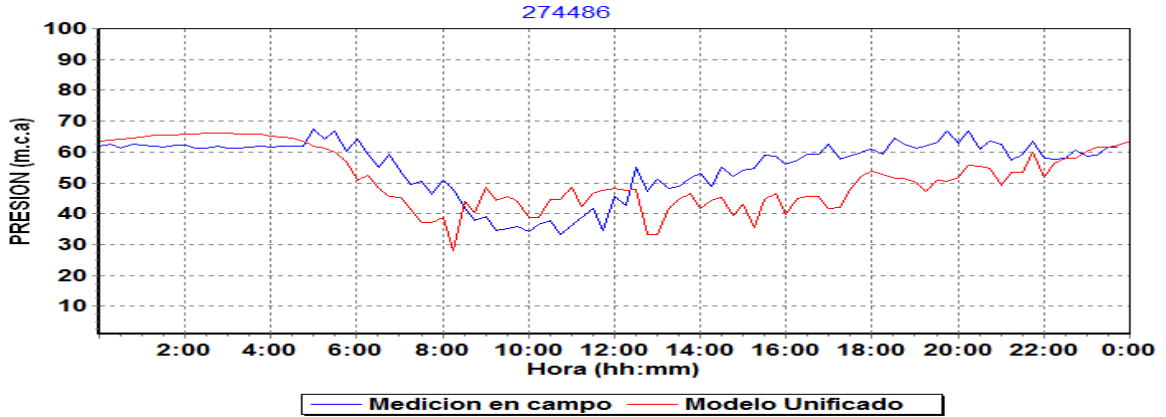
Nodo vf_19220



Nodo 274589



Nodo 274589



ANEXO K Tarifas de cobro del servicio de acueducto de los municipios de Bucaramanga¹⁹



amb
ACUEDUCTO METROPOLITANO
DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.
NIT. 890200162 -2

El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. ESP, en cumplimiento del artículo 125 de la Ley 142 de 1994, la Resolución CRA 200 de 2001 y la Resolución CRA 403 de 2006, informa a sus suscriptores del servicio de acueducto de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón, las tarifas a aplicar A PARTIR DE LOS CONSUMOS DEL MES DE JULIO DE 2010, las cuales se facturarán a partir del mes de SEPTIEMBRE de 2010.

USO RESIDENCIAL	ESTRATO 1	E1 - GIRON	ESTRATO 2	ESTRATO 3
CARGO FIJO (\$/mes)	\$ 3.331,70	\$ 3.998,03	\$ 4.664,37	\$ 6.330,22
C. BASICO (\$/m ³)	\$ 635,56	\$ 762,67	\$ 889,78	\$ 1.207,56
C. COMPLEMENTARIO (\$/m ³)	\$ 1.271,12	\$ 1.271,12	\$ 1.271,12	\$ 1.271,12
C. SUNTUARIO (\$/m ³)	\$ 1.271,12	\$ 1.271,12	\$ 1.271,12	\$ 1.271,12

USO RESIDENCIAL	ESTRATO 4	ESTRATO 5	ESTRATO 6
CARGO FIJO (\$/mes)	\$ 6.663,39	\$ 9.995,09	\$ 10.661,42
C. BASICO (\$/m ³)	\$ 1.271,12	\$ 1.906,68	\$ 2.033,79
C. COMPLEMENTARIO (\$/m ³)	\$ 1.271,12	\$ 1.906,68	\$ 2.033,79
C. SUNTUARIO (\$/m ³)	\$ 1.271,12	\$ 1.906,68	\$ 2.033,79

USO NO RESIDENCIAL	INDUSTRIAL	COMERCIAL	TEMPORAL	OFICIAL
CARGO FIJO (\$/mes)	\$ 8.662,41	\$ 9.995,09	\$ 9.995,09	\$ 6.663,39
C. BASICO (\$/m ³)	\$ 1.652,46	\$ 1.906,68	\$ 1.906,68	\$ 1.271,12

USO NO RESIDENCIAL	ESPECIAL	PROVISIONAL	PROV - GIRON
CARGO FIJO (\$/mes)	\$ 6.663,39	\$ 1.999,02	\$ 3.331,70
C. BASICO (\$/m ³)	\$ 1.271,12	\$ 381,34	\$ 635,56

El incremento aplicado del 3.042%, corresponde al valor acumulado del IPC desde el último incremento de Marzo de 2009.

Se conservarán estos valores de las tarifas hasta tanto se produzca una variación mínima del 3% en el IPC nacional, tomando como base el IPC causado a partir del mes de Julio de 2010.

Min. Unidad de Registro y Liberación 2009-1 | Superintendencia de Servicios Públicos

¹⁹ Acueducto Metropolitano de Bucaramanga

ANEXO L Análisis gráfico de la incidencia en la facturación

