

**SOPORTE PARA LA ELABORACIÓN DE DISEÑOS HIDRÁULICOS DE
TANQUES Y REDES EN EL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE
BUCARAMANGA S.A. E.S.P**

SHARIS MARÍA ARENAS RAMÍREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2007

**SOPORTE PARA LA ELABORACIÓN DE DISEÑOS HIDRAULICOS DE
TANQUES Y REDES EN EL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE
BUCARAMANGA S.A. E.S.P**

SHARIS MARÍA ARENAS RAMÍREZ

**Modalidad Práctica Empresarial presentado como requisito
para optar el título de Ingeniero Civil**

**Director de práctica UIS:
JORGE ALBERTO GUZMÁN JAIMES
Ingeniero Civil, Msc**

**Director de Práctica amb:
ALVARO PRADA ARCINIEGAS
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2007

*A Dios,
Por hacer de mi una mejor persona.*

*A mi Abuela Silvia,
Que ha sido la persona que siempre
ha estado ahí apoyándome para alcanzar mis metas*

*A mis padres Alonso y Maria,
Por apoyarme en todos mis sueños y
Por darme todo su cariño y comprensión.*

*A mi hermano Sergio,
Por todos los buenos momentos
que compartimos.*

*A mi novio Jose Luis,
Por darme el apoyo que
necesitaba para hacer realidad mi sueño.*

SHARIS

AGRADECIMIENTOS

A todas aquellas personas que hicieron posible la realización de esta practica, agradezco sus enseñanzas, dedicación y paciencia.

A cada uno de los integrantes de la dependencia de Planeacion y Proyectos del amb, que me brindaron su amistad, experiencia profesional y conocimientos.

A mis amigos, compañeros y profesores, que de alguna u otra manera han hecho su aporte en mi formación como ingeniera y persona.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO.....	XV
INTRODUCCION.....	XVII
1. PARTICIPACIÓN PROFESIONAL EN LA PRÁCTICA EMPRESARIAL.....	1
1.1 DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES REALIZADAS COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA.....	2
1.1.1 AMPLIACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO LA FLORA	2
1.1.2 REHABILITACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO	5
1.1.3 CONSTRUCCIÓN DE LAS LÍNEAS DE CONDUCCIÓN E IMPULSIÓN Y REDES DE DISTRIBUCIÓN	7
1.1.4 ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL EMBALSE DE BUCARAMANGA, FASE II	11
2. APOORTE DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL	
“MODELO HIDRÀULICO DE LAS CONDUCCIONES QUE UNEN A LA PLANTA DE TRATAMIENTO LA FLORA CON LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO”	14
2.1 CONCEPTO DE UN MODELO HIDRÀULICO.....	15
2.2 CREACIÓN DE UN MODELO HIDRÀULICO.....	16
2.2.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	17
2.2.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE MODELO	23
2.2.3 SELECCIÓN DEL SOFTWARE DE ANÁLISIS	23
2.2.4 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO Y ANÁLISIS	27

2.2.5	VALIDACIÓN DEL MODELO	28
2.2.6	CALIBRACION DEL MODELO	30
3.	CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LAS REDES DE ESTUDIO	31
3.1	LOCALIZACIÓN	31
3.2	ARCHIVOS DIGITALES E INFORMACIÓN DE LA ZONA A MODELAR	35
3.2.1	PREPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE ENTRADA	36
4.	GENERACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO	46
4.1	ELEMENTOS DEL MODELO HIDRÁULICO	47
4.1.1	COMPONENTES FÍSICOS DE LA RED DE CONDUCCIÓN	47
4.1.2	COMPONENTES NO FISICOS DE LA RED	54
5.	ANALISIS DE LOS RESULTADOS GENERADOS POR EL MODELO	58
5.1	COMPARACION DE RESULTADOS	58
5.1.1	CAUDAL DE ENTRADA TANQUE PUERTA DEL SOL	58
5.1.2	CAUDAL DE ENTRADA TANQUE MALPASO	59
5.1.3	CAUDAL DE ENTRADA TANQUE PAN DE AZUCAR	60
5.1.4	PRESION DE ENTRADA BARRIO LA VICTORIA	61
5.2	VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE CAUDALES	62
	CONCLUSIONES	69
	RECOMENDACIONES	71
	BIBLIOGRAFÍA	73
	ANEXOS	75

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. SISTEMA DE PRESEDIMENTACIÓN	3
FIGURA 2. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO	4
FIGURA 3. REHABILITACIÓN MORRO ALTO	6
FIGURA 4. CONSTRUCCIÓN TANQUE DE ALMACENAMIENTO LA MALAÑA	7
FIGURA 5. EMBALSE DE BUCARAMANGA	11
FIGURA 6. MEDIDORES ELECTROMAGNÉTICOS	19
FIGURA 7. MEDIDORES ULTRASÓNICOS	20
FIGURA 8. EQUIPOS DE MICROMEDICIÓN	21
FIGURA 9. VISTA DE ERRORES ESPURIO O ACCIDENTALES	22
FIGURA 10. SISTEMA GENERAL DE LAS CONDUCCIONES	33
FIGURA 11. PLANCHAS CORRESPONDIENTES A LA ZONA DE ESTUDIO	37
FIGURA 12. VISTA DE TABLA DE PROPIEDADES DE LAS TUBERÍAS	40
FIGURA 13. VISUALIZACIÓN EN EL PROGRAMA ARC VIEW	41
FIGURA 14. ARCHIVO .INP PARA EL MODELO	45
FIGURA 15. ESQUEMA DE LA RED DE CONDUCCIÓN	47
FIGURA 16. VISTA DEL EDITOR DE PROPIEDADES	50
FIGURA 17. VISTA CURVA DE MODULACIÓN	55
FIGURA 18. CAUDAL DE ENTRADA T. PUERTA DEL SOL	59
FIGURA 19. CAUDAL DE ENTRADA T. MALPASO	60
FIGURA 20. CAUDAL DE ENTRADA T. PAN DE AZÚCAR	61

FIGURA 21. PRESIÓN A LA ENTRADA DEL BARRIO LA VICTORIA	62
FIGURA 22. CAUDAL CONDUCCIÓN PLANTA LA FLORA – T. NORTE ALTO	63
FIGURA 23. CONDUCCIÓN T. NORTE ALTO – T. NORTE BAJO	63
FIGURA 25. CONDUCCIÓN T. MORRO ALTO – T. MORRO BAJO	64
FIGURA 26. ENTRADA T. PUERTA DEL SOL	65
FIGURA 27. ENTRADA T. CAÑAVERAL	66
FIGURA 28. ENTRADA T. MALPASO	66
FIGURA 29. ENTRADA T. CABECERA	67
FIGURA 30. ENTRADA T. TEJAR	67
FIGURA 31. ENTRADA T. PAN DE AZÚCAR	68
FIGURA 32. CONDUCCIÓN T. PAN DE AZÚCAR – T. TEJAR	68

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. RENDIMIENTOS DE LAS ACTIVIDADES PARA LA INSTALACIÓN DE TUBERÍA	10
TABLA 2. CAUDALES SEGÚN DATOS DE FACTURACIÓN POR RUTA	44
TABLA 3. RUGOSIDAD ABSOLUTA (KS) PARA DIFERENTES MATERIALES	51
TABLA 4. FACTOR DE PÉRDIDA DE LAS VÁLVULAS	53

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A

TABLA A 1. VALOR DEL SUMINISTRO E INSTALACIÓN DEL METRO LINEAL DE TUBERÍAS PVC RDE 32,5, POLIETILENO (PE100) Y FIBRA DE VIDRIO PARA PRESIONES DE 0-10 BAR	75
TABLA A 2. VALOR DEL SUMINISTRO E INSTALACIÓN DEL METRO LINEAL DE TUBERÍAS PVC RDE 21, PVC BIAxIAL, POLIETILENO (PE100) Y FIBRA DE VIDRIO PARA PRESIONES DE 10-20 BAR	76
TABLA A 3. VALOR DEL SUMINISTRO E INSTALACIÓN DEL METRO LINEAL DE TUBERÍAS PVC, HIERRO DÚCTIL Y FIBRA DE VIDRIO PARA PRESIONES DE 20-26 BAR	77
TABLA A 4. VALOR DEL SUMINISTRO E INSTALACIÓN DEL METRO LINEAL DE TUBERÍAS PVC RDE 9 Y HIERRO DÚCTIL PARA PRESIONES >26 BAR	78

ANEXO B

FIGURA B 1. SUPERFICIE DE LA ZONA DE ESTUDIO	79
--	----

ANEXO C

FIGURA C 1. GRÁFICA DE NIVELES DEL TANQUE LA FLORA.....	80
FIGURA C 2. GRÁFICA DE NIVELES DEL TANQUE NORTE ALTO	80
FIGURA C 3. GRÁFICA DE NIVELES DEL TANQUE NORTE BAJO	81
FIGURA C 4. GRÁFICA DE NIVELES DEL TANQUE MORRO ALTO	81
FIGURA C 5. GRÁFICA DE NIVELES DEL TANQUE MORRO BAJO	82
FIGURA C 6. GRÁFICA DE NIVELES DEL TANQUE PUERTA DEL SOL	82

FIGURA C 7. GRÁFICA DE NIVELES DEL TANQUE MALPASO.....	83
FIGURA C 8. GRÁFICA DE NIVELES DEL TANQUE PAN DE AZÚCAR	83
FIGURA C 9. GRÁFICA DE NIVELES DEL TANQUE TEJAR.....	84
FIGURA C 10. GRÁFICA DE CAUDALES DE ENTRADA AL TANQUE PUERTA DEL SOL.....	84
FIGURA C 11. GRÁFICA DE CAUDALES DE ENTRADA AL TANQUE MALPASO	85
FIGURA C 12. GRÁFICA DE CAUDALES DE ENTRADA AL TANQUE PAN DE AZÚCAR.....	85

ANEXO D

TABLA D 1. DATOS DE OPERACIÓN DE LAS VÁLVULAS INSTALADAS EN EL SISTEMA A MODELAR.....	86
--	----

RESUMEN

TITULO:

SOPORTE PARA LA ELABORACIÓN DE DISEÑOS HIDRÁULICOS DE TANQUES Y REDES EN EL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. ESP*

AUTOR: SHARIS MARÍA ARENAS RAMÍREZ**

PALABRAS CLAVES: Modelo Hidráulico, Conducciones, Macromedición, Micromedición

DESCRIPCION

El presente trabajo de grado consistió en la generación del modelo hidráulico de las conducciones que unen la planta de tratamiento La Flora con los tanques de almacenamiento, con el fin de observar el comportamiento hidráulico de las líneas de conducción que hacen parte del sistema general del acueducto, analizando la evolución a través del tiempo del agua que abastece a la zona oriental de la ciudad de Bucaramanga.

Este modelo surge de la necesidad de controlar el sistema, cumpliendo con la normativa de mejorar y modernizar los procesos tanto técnicos como operativos orientados a la reducción de pérdidas y a la optimización hidráulica del mismo.

Para la simulación de las conducciones se empleó el programa de análisis EPANET, utilizando como datos de entrada información de macromedición, micromedición, planos de catastro de redes e información topográfica de la zona, seguido de una corrección y limpieza de la información disponible. Posteriormente, se analizaron los resultados obtenidos de caudales y presiones en el modelo, los cuales fueron comparados con los datos suministrados por el sistema SCADA mediante el estadístico RMSE y el Coeficiente de Nash-Sutcliffe, donde se observó la importancia de realizar medidas en campo y de recopilar mayor información de la zona.

Teniendo en cuenta que el modelo no representaba de manera adecuada el comportamiento real de la red, debido a la poca información con la que se contaba, no se pudo validar, y por ende calibrar. Por lo tanto, se espera que los futuros modelos puedan validarse y así obtener datos confiables que sirvan en la toma de decisiones de tipo operativas.

* Proyecto de Grado. Modalidad Práctica Empresarial.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas UIS, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Ing. Guzmán Jaimes, Jorge Alberto

SUMMARY

TITLE:

SUPPORT FOR THE ELABORATION OF HYDRAULIC DESIGNS OF TANKS AND NETWORKS IN THE METROPOLITAN AQUEDUCT OF BUCARAMANGA S.A. E.S.P*

AUTHOR: SHARIS MARÍA ARENAS RAMÍREZ**

KEY WORDS: Hydraulic model, conductions, macromasurement, micromasurement.

DESCRIPTION

The present thesis consisted in the generation of the hydraulic model of the conductions that connect the treatment plant The Flora with the storage tanks with the purpose of observing the hydraulic behavior of the lines of conduction that make share, of the aqueduct's general system, examining the evolution through the time of the water that he supplies to the Oriental zone of Bucaramanga's city.

This model happens of need to control the system, following the rules to improve and modernizing processes so much technical like operations guided to the loss reduction and to the hydraulic optimization of the same one.

For the simulation of conductions it was used an analysis program called EPANET, using input data information of macromasurement, micromasurement, diagrams of data base of the networks and topographic information of the zone, followed by the correction and cleaning of available information. Next the results obtained of flow intensities and pressures in the model were examined, which also were compared to the data supplied by the system SCADA intervening the statistical RMSE and Nash Sutcliffe's Coefficient, where observed the importance to make measures at field and to compile bigger information of the zone.

Considering that the model was not representative in a suitable way the real behavior of the network due to the little information that was counted on, it could not become validated with, and as a consequence calibrating. Therefore, it waits than the futures models may become validated and thus obtaining reliable data that they serve in operating the decision making of fellow.

* Grade Project.

**UIS Physicomecanic Engineering Faculty, Civil Engineering School, Director: Guzman Jaimes Jorge Alberto.

GLOSARIO

DEFINICIONES

AGUA POTABLE: Agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos es apta y aceptable para el consumo humano.

FLUJO A PRESIÓN: Aquel transporte en el cual el agua ocupa todo el interior del conducto, quedando sometida a una presión superior a la atmosférica.

LÍNEA DE CONDUCCIÓN: Son las tuberías que unen las plantas de tratamiento con los tanques de almacenamiento y los tanques entre si.

LÍNEA DE IMPULSIÓN: Se refiere a las tuberías que conducen el agua impulsada por estaciones de bombeo.

MODELO: Representación simplificada de un sistema real usualmente muy complejo que nos permite predecir el comportamiento de una red.

PERDIDAS MENORES: Pérdida de energía causada por accesorios o válvulas en una conducción del agua.

PERDIDAS POR FRICCIÓN: Pérdida de energía causada por los esfuerzos cortantes del flujo en las paredes de un conducto.

SALIDAS DE MEDICIÓN: Salida practicada en una conducción, obturable con registro y válvula de incorporación, con el objeto de permitir la instalación de una

aparato de medición o muestreo, como pitómetro, medidores de velocidad de flujo, etc.

SIMULACIÓN: Resultado que ofrece un modelo validado, que representa la confiabilidad de las condiciones de operación acorde a la realidad.

ABREVIATURAS

amb, Acueducto Metropolitano de Bucaramanga.

ESP, Empresa de Servicios Públicos.

FAL, Fotogrametría Analítica LTDA de ingenieros consultores.

SIIDAR, Sistema Integrado de Información, Administración y Digitalización de Redes.

SCADA, (Supervisory, Control and Data Acquisition) Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos.

CIACUA, Centro de Investigación en Acueductos y Alcantarillados

INTRODUCCIÓN

El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga es una empresa prestadora de servicios públicos domiciliarios y saneamiento básico, comprometida con el desarrollo socioeconómico de su entorno y reconocida por ofrecer servicios de alta calidad. Razón por la cual se ve enfrentada al continuo mejoramiento y perfeccionamiento de los procesos utilizados para el abastecimiento.

El presente trabajo de grado se lleva a cabo en la modalidad de práctica empresarial, donde se ejecutaron diferentes actividades encaminadas a la ampliación y optimización del sistema general del acueducto. Como complemento se generó el modelo hidráulico de las conducciones que unen a la planta de tratamiento La Flora con los tanques de almacenamiento, donde se emplea la metodología dada por el **amb** y el centro de investigaciones de acueductos y alcantarillados CIACUA.

La construcción de este modelo hidráulico surge de la necesidad de controlar el agua no facturada, con lo cual se busca aumentar la eficiencia de la explotación de las fuentes hídricas y la optimización de operación del sistema existente, conociendo en primera instancia su comportamiento actual. Logrando además, observar el funcionamiento en conjunto ante la realización de futuros diseños, reposiciones o refuerzos de redes a los sectores que requieran de este, con el fin de obtener la alternativa más viable a una posible ampliación y mejoramiento del sistema para una mejor regulación y por ende la prestación de un buen servicio.

Las limitaciones que presenta este modelo se deben a que la información con la que se cuenta no es insuficiente. Por lo que no se logra llegar a la etapa de validación. Se espera que al validarse cumpla con los objetivos propuestos,

llegando así a aumentar la eficiencia económica de la empresa, reduciendo la cantidad de agua producida sin afectar el consumo de los usuarios.

Los modelos hidráulicos han permitido realizar varios estudios, en los cuales se destaca: La definición de planos óptimos de presión y reducción de agua no contabilizada (Convenio amb - CIACUA, 2006).

El presente documento se encuentra dividido en 5 capítulos cuyos contenidos son:

El capítulo 1 del presente documento hace una breve descripción de las actividades realizadas en la práctica empresarial en los diferentes proyectos realizados por la Gerencia de Planeación y Proyectos.

El capítulo 2 hace referencia a la metodología tomada para la realización del aporte, mostrando los diferentes pasos que se requieren para la generación del modelo hidráulico de las conducciones que parten de la planta La Flora.

El capítulo 3, y 4 se realiza una descripción del proyecto, donde se muestra la localización de la red del sector de estudio. De igual forma se describe el catastro de la red, los materiales, diámetros, ubicación de los tanques. Además, se hace la respectiva limpieza y corrección de la información disponible y posteriormente se genera el modelo hidráulico en EPANET.

Por último el capítulo 5 muestra el análisis de los datos arrojados por el modelo y la importancia de tener información de campo para la comparación de los resultados y respectiva validación.

1. PARTICIPACIÓN PROFESIONAL EN LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga cuenta con la Gerencia de Planeación y Proyectos, la cual tiene como función planificar y diseñar proyectos encaminados al abastecimiento de agua, encargándose de llevar a cabo estudios de factibilidad, diseños y ejecución de proyectos que conlleven al mejoramiento y ampliación del sistema para el beneficio de una mayor población pertenecientes a los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón.

Debido a esto, se hace necesario la elaboración de estudios y diseños de diferentes alternativas que puedan contribuir con la búsqueda de un mejor servicio y a ampliar la cobertura del sistema.

Dentro de las labores ejecutadas en la práctica empresarial en la Gerencia de Planeación y Proyectos se tuvo conocimiento de las obras que conforman el proyecto de ampliación y optimización del acueducto, además de cumplir con las actividades propuestas en el plan de proyecto, las cuáles se ejecutaron bajo la tutoría del Ingeniero Álvaro Prada Arciniegas, Jefe de División de Nuevos Abastecimientos de la dependencia de la Gerencia de Planeación y Proyectos.

Dentro de las actividades ejecutadas se encuentran:

- Cálculo de cantidades de obra y soporte para la realización del presupuesto de los proyectos.
- Realización de actas de acuerdo a los formatos establecidos por el **amb**, los cuales se rigen por el nuevo proceso de calidad que se quiere implementar en la interventoría de obras y en cumplimiento de un mejor seguimiento de estas.

- Visitas de obra, para su respectiva inspección y supervisión del ingeniero.

- Actualización del cuadro comparativo de los costos de suministro e instalación de los diferentes tipos de tuberías utilizadas en las redes de la empresa.

- Elaboración de posibles diseños para el sistema que conformará la nueva planta de tratamiento con los tanques de almacenamiento pertenecientes a la zona norte de Bucaramanga y el municipio de Girón.

- Actualización de las tablas de costos para los contratos de consultoría y reajuste del presupuesto del personal requerido para los estudios y diseños fase II del proyecto de regulación Embalse de Bucaramanga.

- Soporte en el estudio técnico de las propuestas presentadas para los estudios y diseños fase II del proyecto de regulación embalse de Bucaramanga.

1.1 DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES REALIZADAS COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA

Cumpliendo con las actividades programadas en la práctica empresarial, se describen a continuación dichas actividades teniendo en cuenta algunos proyectos que en este momento se adelantan en la Gerencia de Planeación y Proyectos.

1.1.1 AMPLIACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO LA FLORA

En los últimos años la demanda de agua potable del Área Metropolitana ha venido creciendo, requiriendo entonces de la ampliación del acueducto e igualmente de la verificación de aspectos técnicos y operativos del sistema. Dando paso a la

construcción de nuevos sistemas que se han venido realizando con el fin de optimizar el sistema actual.

El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, **amb**, S.A. E.S.P., tiene como objetivo ampliar la capacidad actual de la Planta de Tratamiento La Flora, para pasar de un caudal de 1000 L/s a un caudal nominal de 1400 L/s, mediante la aducción del Río Tona, teniendo como meta de calidad producir el 95% del tiempo un agua con turbidez máxima de 0,5 NTU; el resto del tiempo o sea el 5% la turbidez no debe exceder de 2 NTU.

Para la consecución de dicho proyecto se contrató la empresa Hidrosan Ltda. la cual efectuó los estudios y diseños hidráulicos necesarios para la ampliación de la planta.

Dentro de las recomendaciones dadas por esta empresa, se cuentan:

- La adecuación de los tanques presedimentadores.
- La construcción del edificio del sistema de dosificación del sulfato de aluminio.
- La construcción del tanque de contacto de cloro.

Entre otros.

Adecuación de los tanques presedimentadores. Esta obra tiene como fin obtener una capacidad nominal de 1400 L/s. (Ver Figura 1)

Figura 1. Sistema de presedimentación



Fuente: Documentos interventoría de obras de la división de Nuevos Abastecimientos. amb S.A. E.S.P

Dentro del proyecto “Ampliación y Optimización de la Planta de Tratamiento La Flora”, se participó en:

- La realización de solicitud de pago y cuenta de cobro final del proyecto “Ampliación y Optimización de la planta de tratamiento La Flora fase I”.
- Anexo de pago final y acta de liquidación de Obra.

Construcción del edificio del sistema de dosificación de sulfato de aluminio.

Realizada con el objeto de efectuar la conversión del sulfato de aluminio granular a líquido. (Ver Figura 2)

Figura 2. Sistema de dosificación de sulfato de aluminio líquido



Fuente: Documentos interventoría de obras de la división de Nuevos Abastecimientos. amb S.A. E.S.P

Dentro de las actividades realizadas, se tuvo conocimiento de los cambios efectuados en la edificación de dosificación, donde se realizó una visita técnica al área de construcción, para su posterior ejecución. Allí se instalarán los equipos y estructuras pertinentes para la aplicación de la dosis óptima del sulfato de aluminio líquido.

Construcción del tanque de contacto de cloro. Se realizará con el fin de aumentar en 20 minutos la remoción del 99% de Giardias, esto significa, construir un tanque con capacidad de 1680 m³.

Dentro de las actividades realizadas en este proyecto estuvieron:

- Visita al sitio de construcción del Tanque de Contacto de Cloro para la inspección de la zona y verificación de la ubicación en los planos diseñados por la empresa Hidrosan Ltda., donde se observó el cambio previo de la subestación eléctrica cercana a los filtros para la construcción de dicha obra.
- Elaboración de cantidades de obra y soporte para la ejecución del presupuesto del Tanque de Contacto de Cloro, que se construirá en las instalaciones de la planta de tratamiento La Flora, posterior a la filtración y previa descarga en el tanque de almacenamiento.
- Realización de las especificaciones técnicas concernientes a la obra para su posterior inclusión en los pliegos de condiciones y respectivo proceso de licitación de la obra, próximo a iniciar.

1.1.2 REHABILITACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Rehabilitación de las cubiertas 1, 2 y 3 del tanque Morro Alto. Se realizaron estudios de patología estructural del tanque Morro Alto, los cuales demostraron que la cubierta de dicho tanque de almacenamiento se encontraba en pésimo estado, ya que es un tanque construido en 1937 por lo que se rehabilitó estructuralmente bajo las recomendaciones dadas por los estudios realizados. (Ver Figura 3).

Cabe resaltar que el tanque de almacenamiento Morro Alto se abastece de la planta Morro y alimenta al tanque de almacenamiento Morro Bajo, además de suministrar agua al distrito que lleva su mismo nombre.

Figura 3. Rehabilitación Morro Alto



Fuente: Documentos interventoría de obras de la división de Nuevos Abastecimientos. amb S.A. E.S.P

En esta obra se tuvo participación en:

- La liquidación de la obra “Rehabilitación de las cubiertas 1, 2 y 3 del Tanque de Morro Alto”, sumado a esto se solicitó la revisión del valor del cemento, los cuales se encuentran consignados en el acta de pago final, donde se observó que el aumento no era considerable para su reajuste, teniendo en cuenta que el incremento no fue superior a la suma del IPC (índice de precios al consumidor) más el porcentaje de imprevistos.

Construcción tanque de almacenamiento La Malaña. El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga con el fin de beneficiar a una población de diez mil habitantes de los sectores de La Malaña, Buenos Aires y Miraflores que actualmente son abastecidos a través de un sistema de bombeo y rebombeo, construyó el tanque de almacenamiento La Malaña con capacidad de 500 m³ ubicado a un costado de la vía a la vereda El Gualilo en la cota 1320 m.s.n.m., donde se consideraron los costos y la vulnerabilidad de la energía en dicho sistema, por lo que esta obra garantizará el suministro del líquido por gravedad.

El proceso de construcción del tanque de almacenamiento La Malaña se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Construcción tanque de almacenamiento La Malaña



Fuente: Documentos interventoría de obras de la división de Nuevos Abastecimientos. amb S.A. E.S.P

Dentro de las actividades realizadas en este proyecto se encuentra:

- Visitas Técnicas al sitio de construcción del tanque de almacenamiento La Malaña para la inspección de las obras adelantadas hasta el momento.
- Acta de pago y recibo parcial de la obra.
- Entrega final de obra y respectivo Paz y Salvo.

1.1.3 CONSTRUCCIÓN DE LAS LÍNEAS DE CONDUCCIÓN E IMPULSIÓN Y REDES DE DISTRIBUCIÓN

Construcción de la línea de impulsión de la planta de tratamiento La Flora al tanque La Malaña. Dentro de las obras de optimización del sistema oriental, se realizará la construcción de la línea de impulsión que conducirá el agua desde la

planta de tratamiento La Flora al tanque de almacenamiento La Malaña, con una longitud de 1150 m.

El sistema de bombeo será ubicado en la galería de filtros de la planta La Flora y constará de dos motobombas en paralelo, el cual está diseñado para transportar un caudal de 45 L/s.

Para la realización de esta obra se participó en:

- Elaboración de las cantidades de obra del proyecto “Construcción de la línea de impulsión planta de tratamiento La Flora al tanque La Malaña”.
- Elaboración de las cantidades de obra de la red que conducirá del tanque La Malaña a la escuela El Gualilo.
- Realización de las especificaciones técnicas concernientes a la obra, para su posterior inclusión en los pliegos de condiciones y su respectivo proceso de adjudicación de la obra.
- Solicitud de permiso de intervención del espacio público presentado a la oficina de Planeación Municipal.
- Actas de programación, Iniciación y Anticipo para la realización de la obra.

Construcción de las redes de distribución del Nuevo Distrito Centro. Entre otros proyectos a realizar en la Gerencia de Planeación y Proyectos se tiene previsto la optimización del denominado Distrito Centro para el cual se elaboró:

- Las cantidades de obra del proyecto “Redes de distribución del Nuevo Distrito Centro para el Proyecto Ola Invernal”.

Reposición de redes de distribución y conducción. Debido a la construcción del edificio de manejo del personal de redes, se decidió cambiar la ubicación de un tramo de la tubería de conducción que transporta el agua del tanque Morro Bajo al tanque Malpaso, puesto que esta se encontraba instalada justo debajo de la nueva construcción.

En esta actividad se participó en:

➤ Visita técnica a la reposición de un tramo de la conducción Morro Bajo - Malpaso donde se realizó un empalme de tubería de 24 "AC (Asbesto-Cemento) con una de 24" HD (Hierro Dúctil).

Para realizar esta actividad se tuvo que desocupar el tanque Morro Bajo, por lo que se conoció la metodología implementada para su vaciado y respectivo control y limpieza, puesto que es un tanque de grandes dimensiones y por ende suministra agua a gran parte de la población, lo que ocasionó el corte del agua a los distritos Puerta del Sol, Malpaso, Cañaverl y al Barrio La Victoria, principalmente.

También, se realizó una visita técnica a la reposición de la tubería de conducción del sistema oriente, entre los barrios Altos del Jardín –Terrazas, debido a que la tubería existente ya había cumplido su vida útil, donde se cambio una tubería de 12 " ACCP (American Concrete Cilinder Pipe) por una 12" HD (Hierro Dúctil).

Actualización cuadro comparativo de costos de suministro e instalación de tuberías. Se actualizaron los cuadros comparativos de suministro e instalación de tuberías teniendo en cuenta diferentes intervalos de presiones (PN 0-10, 10-16, 16-25, 25-64 Bar), Con el objeto de tener una herramienta práctica que permita tomar decisiones técnico económicas en futuros proyectos.

Se comparan entonces tuberías de: PVC, PVC Biaxial, Polietileno, Hierro Dúctil y Fibra de Vidrio. Esta última se desea implementar en futuros proyectos, debido a las ventajas que presenta, tanto en instalación como en propiedades, las cuales están relacionadas al bajo peso del material (1/10 del peso del concreto y 1/4 del hierro dúctil) y resistencia a la corrosión, así como también al bajo costo que demanda en diseños por sobrepresiones y golpe de ariete, debido a una menor celeridad de onda comparada con tuberías de otros materiales.¹

Para efectos prácticos se trabaja con los diámetros nominales de las tuberías, ya que estos son los que se encuentran disponibles en el mercado. Asimismo, cabe resaltar que los rendimientos asignados a las diferentes actividades se tomaron de la experiencia de los ingenieros interventores del **amb** y el costo del transporte local se encuentra en función del peso de la tubería, y del número de tubos que puede transportar un camión en un viaje. El cuadro comparativo de los costos de suministro e instalación se anexa al final del presente libro. (Ver ANEXO A).

Los Parámetros utilizados para la comparación de costos de obras por clases de tuberías se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Rendimientos de las actividades para la instalación de tubería

RENDIMIENTOS		
CONCEPTO	UND	M.O
EXCAVACIÓN	día/m ³	0,40
RELLENOS	día/m ³	0,40
ROTURAS	día/m ²	0,25
REPARACIONES	día/m ²	0,40
INSTALACION TUBERIA	ml/día	120,00
CAPACIDAD POR PERSONA	Kg./persona	75,00
S.M.L.V	\$	455,700
A.I.U.	%	25,00
IVA	%	16,00

Fuente: Documento de la división de presupuestos. **amb** modificada por el autor

¹ Guía de producto Flowtite Pág. 3

1.1.4 ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL EMBALSE DE BUCARAMANGA, FASE II

Debido a la demanda que solicita la población para el respectivo cumplimiento con su abastecimiento, la empresa ha realizado varios estudios encaminados a la búsqueda de alternativas que cumplan con las necesidades de agua de sus suscriptores.

Dentro de los estudios que se han realizado se encuentra: La exploración de agua subterránea en la meseta de Bucaramanga, estudios hidrológicos, geológicos, climatológicos y de sedimentos realizados en la cuenca del Río Tona.

Una de las alternativas planteadas, según los estudios realizados, es la construcción de una presa con una altura aproximada de 100 m y un volumen de 17 millones de m³ para proporcionar un caudal de 1000 lps. (Ver Figura 5)

Figura 5. Embalse de Bucaramanga



Fuente: Documentos de la División de Nuevos Abastecimientos. amb S.A. E.S.P

Los estudios y diseños del Embalse de Bucaramanga, Fase II, tienen un costo de 2.200 millones de pesos y el plazo para su ejecución es de 7 meses, con lo cual se espera que antes de finalizar el año 2007, se este iniciando la construcción del proyecto del Embalse de Bucaramanga que garantizará el suministro de agua

potable a los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón en los próximos 25 años, con un costo aproximado de 56 millones de dólares.

En este proyecto se participó en:

- Actualización de las tablas de sueldos máximos mensuales en los contratos de consultoría y actualización de presupuesto del personal requerido para los estudios y diseños del Embalse de Bucaramanga fase II.

- Actualización de la tabla de variación de la oferta y la demanda de agua en el tiempo.

- Elaboración de posibles diseños para el sistema que conformará la nueva planta de tratamiento con los tanques de almacenamiento pertenecientes a la zona norte de Bucaramanga y el municipio de Girón.

De esta actividad se obtuvo el caudal que podría transportar por gravedad la tubería desde la nueva planta de tratamiento considerando diferentes alturas piezométricas las cuales variaron entre 820 m a 850 m, obteniendo como resultado un caudal de 150 L/s, para alimentar al tanque de almacenamiento Girón Mayor, un caudal de 450 L/s al tanque Ferrovías y un caudal de 100 L/s al tanque La Esmeralda. Sumado a este, se consideró un consumo en ruta de 300 L/s obteniendo así el caudal total de la planta de 1000 L/s.

- Soporte en el estudio técnico de las propuestas presentadas por las firmas Ingetec S.A., Ponce de León S.A. y Consorcio Río Tona para la elaboración de los estudios y diseños fase II del proyecto de regulación del Embalse de Bucaramanga, el cual contempla: Exploraciones de subsuelo, diseño de la presa con altura de 100 m aproximadamente, Diseño de la Planta de Tratamiento para 1000 L/s, construcción de 22 km de conducción en tubería de 34 pulgadas, diseño
-

y construcción de las vías de acceso y obras anexas e implementación del Plan de Manejo Ambiental.

Los aspectos que se calificaron en todas las propuestas fueron:

- La experiencia de la empresa aspirante en proyectos similares al objeto de la convocatoria.
- La experiencia de cada uno de los especialistas requeridos en los estudios y diseños.

La evaluación de las propuestas se ejecutó en forma individual, revisando cada uno de los proyectos contenidos en las mismas, para luego ponderarlas y preclasificarlas.

➤ Soporte en el estudio de las propuestas para la interventoría de los estudios y diseños fase II del proyecto de regulación Embalse de Bucaramanga.

El estudio de las propuestas se llevo a cabo, siguiendo los parámetros establecidos por la empresa en los procesos de contratación para su posterior adjudicación.

2. APORTE DE LA PRÀCTICA EMPRESARIAL

“MODELO HIDRÀULICO DE LAS CONDUCCIONES QUE UNEN A LA PLANTA DE TRATAMIENTO LA FLORA CON LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO”

Ante la creciente necesidad de tecnificación por parte de las Empresas de Servicios Públicos para cumplir estándares de calidad y eficiencia cada vez más altos, se han desarrollado con el paso del tiempo, herramientas computacionales y sistemas de información que permiten un mayor seguimiento y control de todos sus procesos técnicos y operacionales.

En el sector de distribución de agua potable, esta tendencia computacional no debe ser ajena, ya que los usuarios y nuestro contexto regulatorio exigen una gestión en constante mejoramiento y modernización.

Dentro de este marco, el desarrollo específico de aplicaciones computacionales para la simulación hidráulica de redes de distribución y redes de conducción, se encuentran una gran variedad de ventajas que permiten controlar el sistema, así como una gestión operacional orientada a la reducción de pérdidas y a la optimización hidráulica del mismo, mejorando y modernizando el sistema general de la empresa, buscando aumentar la eficiencia en la explotación de las fuentes hídricas, y por supuesto aumentar la eficiencia económica de las empresas, disminuyendo la cantidad de agua producida sin que este afecte el consumo del usuario.

Teniendo en cuenta las ventajas de obtener el control y supervisión del sistema general del acueducto, se ha querido conocer el comportamiento hidráulico de las redes, con el fin de poder optimizar los procesos que en la actualidad presenta el sistema de acuerdo a su modo de operación. De esta manera se ha efectuado en

primera instancia el modelo hidráulico de las conducciones que parten de la planta de tratamiento La Flora y unen a los tanques de almacenamiento.

2.1 CONCEPTO DE UN MODELO HIDRÁULICO

Un modelo esquematiza la realidad, con el fin de simplificar de la mejor manera las condiciones presentadas tratando de lograr la mayor semejanza posible, de modo que sea compatible con los fines prácticos que se quieren buscar.² Existen dos tipos de modelos:

- ✘ Modelos Físicos
- ✘ Modelos Matemáticos

Modelos Físicos. Hacen referencia a la visualización del comportamiento del sistema en tres dimensiones, mostrando una representación a escala.

Modelos Matemáticos. Es la representación numérica realizada en función de la abstracción de un fenómeno de la vida real.

La aplicación de cualquiera de los dos tipos de modelos, físicos o matemáticos, tiene limitaciones, ya que ésta depende de la complejidad del problema en la intervención de las variables y sus fronteras a tratar, siendo en algunos casos los modelos matemáticos los más apropiados.

La simulación de los sistemas de distribución de agua puede entenderse, como el uso de una representación matemática del sistema real (denominado modelo matemático), con el que se puede predecir el comportamiento de una red, además

² <http://www.monografias.com/trabajos39/simulacion-hidraulica/simulacion-hidraulica2.shtml>

de ayudar a controlar el sistema, utilizando como base el cálculo hidráulico para simular los diferentes estados de carga que se producen en la red.

Los buenos resultados de un modelo dependen en gran medida de la calidad y cantidad de información que se suministre al modelo. En definitiva un modelo puede llegar a ser una herramienta de ayuda para la toma de decisiones. Por lo que los resultados deben ser inteligibles y útiles.

2.2 CREACIÓN DE UN MODELO HIDRÁULICO

Para la realización de un modelo se requiere de un conjunto de programas y rutinas, los cuales convierten la información gráfica suministrada por la empresa, en un modelo hidráulico; mediante el cual, se puede simular el comportamiento de la red en cualquier software comercial.³ Esto implica una serie de pasos, en los que se debe tener especial cuidado, ya que un error en el primer paso genera otro en el siguiente.

Los pasos generalmente empleados en la elaboración de un modelo hidráulico son:

- ✘ Recopilación de la información
- ✘ Selección del tipo de modelo
- ✘ Selección del software de análisis
- ✘ Construcción del modelo y análisis
- ✘ Validación y Calibración del modelo

³ Curso de divulgación - Generación de modelos hidráulicos CIACUA

2.2.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Esta actividad es de relevancia dentro de la elaboración de un modelo hidráulico, debido a que en esta etapa se realiza la recolección y análisis de la información existente de la zona, además se conoce la calidad de los datos que se tienen determinando así, la calidad del modelo.

Para la construcción de un modelo hidráulico es necesario contar con la siguiente información:

- Planos de catastro de redes y planos topográficos actualizados y digitalizados.
- Mediciones de caudal, presión (macromedición) y registro de consumo (micromedición).
- Operación de los equipos de bombeo.

Planos actualizados y digitalizados. Dentro de los planos relevantes para el modelo se tienen los planos topográficos de la zona de estudio y los planos de catastro de redes a modelar.

La utilización de los planos topográficos tiene como objeto obtener las curvas de nivel de la zona de estudio.

Para la obtención de estos datos se pueden utilizar:

- Planos realizados por levantamientos topográficos
- Planchas cartográficas digitales
- Planos de fotogrametría.

Entre otros. Estos últimos suelen ser de buena calidad a nivel de precisión.

Asimismo, la utilización de los planos del catastro de la red a modelar permiten visualizar las propiedades de las tuberías tales como, material, diámetros nominales, longitud e información de la ubicación de todo tipo de accesorios contenidos en la red, como son las válvulas, bombas y cambios de dirección, así como los puntos de llegada y salida de los tanques o redes de distribución y principalmente la geometría general de la red, áreas de los tanques, cotas de fondo. Información de gran importancia para una buena ubicación de estos y obtención de una mejor conectividad de los componentes individuales.

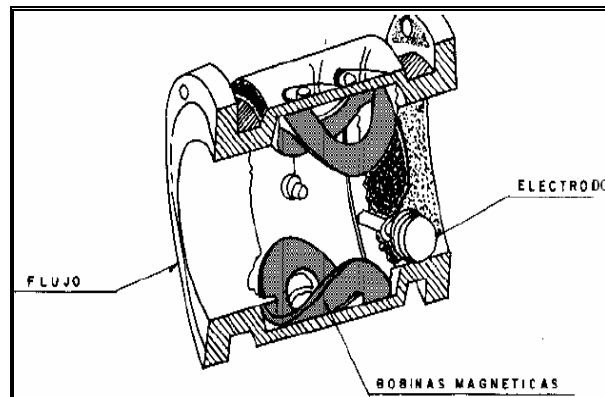
Datos de macromedición y micromedición de las redes a analizar. Para la construcción del modelo de las líneas de conducción, se hace necesario el uso de información correspondiente a caudales, presiones y niveles de agua del sistema de estudio. Esta información se obtiene de las estaciones de macromedición, las cuales son instaladas con el fin de poder obtener, procesar, analizar y divulgar los datos operacionales relevantes para la realización del modelo y posterior comparación con los resultados arrojados por este. Asimismo, esta información sirve de base a la hora de toma de decisiones tanto técnicas como económicas, para el buen funcionamiento del sistema.

Los equipos de macromedición deben ser de alta precisión, de modo que la recolección y obtención de datos sean confiables. Algunos de los equipos utilizados para la toma de medidas de caudal son:

➤ **Medidores Electromagnéticos.** El medidor de caudal electromagnético, consta de dos bobinas colocadas una a cada lado del cuerpo del aparato, que son excitadas por una corriente alterna, produciendo un campo magnético uniforme a través de la parte interna del tubo y conforme pasa el flujo del agua por dicho campo magnético, se genera una inducción de voltaje que es percibida por dos electrodos diametralmente opuestos. El cambio de voltaje se relaciona con la velocidad del fluido. (Ver Figura 6)

Puesto que los electrodos tienen que hacer un contacto con el fluido, su material tiene que ser compatible con las propiedades químicas del fluido que circula. Por lo que uno de los materiales más utilizados es el acero inoxidable.

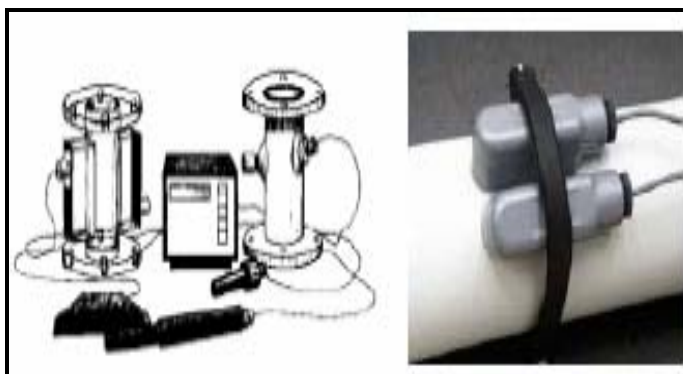
Figura 6. Medidores electromagnéticos



Fuente: <http://www.cna.gob.mx/.../Transparencia/ArticuloXII/GIM//manuales/Unidades%20Tecnodid%E1cticas/Fundamentos.pdf>. Métodos y Sistemas de medición de Caudal, Ochoa A. Leonel.

➤ **Medidores Ultrasónicos.** Se componen de sensores que envían y reciben señales de sonido de alta frecuencia, diagonalmente al flujo del agua para medir su velocidad. Existen medidores cuyo principio es el tiempo de tránsito o de propagación, los cuales utilizan la transmisión por impulsos y aquellos que se basan en el efecto Doppler, que usan la transmisión continua de ondas. (Ver Figura 7)

Generalmente son equipos de alto costo, pero tienen muy buena exactitud y flexibilidad de instalación. Los medidores ultrasónicos modulados por impulsos son los más precisos.

Figura 7. Medidores ultrasónicos

Fuente: <http://www.cna.gob.mx/.../Transparencia/ArticuloXII/GIM/manuales/Unidades%20Tecnologicas/Fundamentos.pdf>. Métodos y Sistemas de medición de Caudal, Ochoa A. Leonel.

Respecto a la precisión, los medidores de tipo magnético pueden llegar hasta ± 0.25 del caudal real, mientras que los de tipo ultrasónicos ± 0.5 .

Asimismo, algunos de los equipos para obtener mediciones de presión, utilizan diafragmas que al ser deformados envían una señal a un aparato electrónico, realizando la transformación a unidades de presión.

Los equipos de medición de nivel de tipo flotante, presentan de la misma manera transmisores electrónicos, llevando así la información de variación al centro de control que el sistema presente.

De la misma manera, se requiere información de micromedición para la asignación del consumo de los sectores que alimenta en ruta la red. Esta información se obtiene de la dependencia de facturación de la empresa.

Los equipos utilizados para la realización de mediciones de micromedición controlan la utilización racional del servicio de acueducto, cobrándolo según su utilización y permitiendo distribuirlo equitativamente al mayor número de usuarios.

Algunos de los equipos utilizados para efectuar la micromedición, se muestran en la Figura 8

Figura 8. Equipos de Micromedición



Fuente: Catalogo Bermad Micromedidores, BEST COLOMBIA

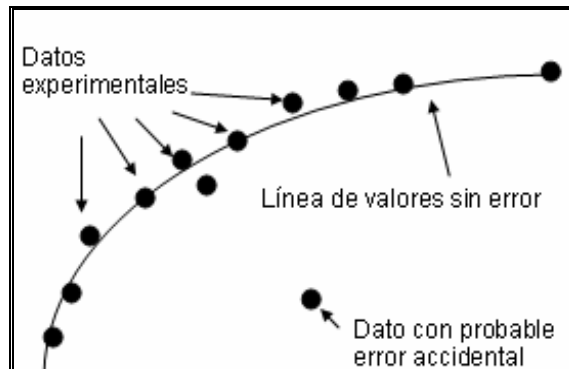
Si bien, la realización de medidas tienen un rango de aproximación al valor real debido a errores humanos, a defectos en los aparatos y a la variabilidad física del propio fenómeno que se está midiendo. Algunos errores típicos se denominan de la siguiente manera:

- Error Espurio o accidental
- Error Sistemático
- Error Aleatorio
- Error de Redondeo

Error Espurio. Causado por accidentes, denominado también error accidental, se presenta cuando ocurren por fallas humanas, por la falta de cuidado o incapacidad física en el momento de realizar la medición. Algunos factores que generan este tipo de error son: mala ubicación de los aparatos, selección equivocada de los valores de referencia, sentido de la vista deficiente. (Ver Figura 9)

Estos errores suelen dispararse del resto de los datos medidos por lo general tienden a ajustarse a un comportamiento esperado.

Figura 9. Vista de errores Espurio o Accidentales



Fuente: <http://www.cna.gob.mx/.../Transparencia/ArticuloXII/GIM//manuales/Unidades%20Tecnodid%E1cticas/Fundamentos.pdf>. Métodos y Sistemas de medición de Caudal, Ochoa A. Leonel.

El error espurio o accidental se disminuye haciendo mediciones cuidadosas, desechando lecturas dudosas o mal tomadas. Lo cual se logra con supervisión y buen entrenamiento.

Error Sistemático. Es ocasionado cuando el instrumento esta mal calibrado, es decir que no esta ajustado a un patrón conocido.

El error sistemático se disminuye seleccionando y calibrando apropiadamente los equipos de medición y revisándolos periódicamente, sobre todo sino se han utilizado, o si se instalaron hace tiempo.

Error Aleatorio. Esta relacionado con las dispersión de los datos inherentes al fenómeno físico. Este error se reduce repitiendo varias veces la misma prueba en condiciones iguales del sitio.

Error de redondeo. El valor de medición se trunca dependiendo de la escala que tenga el aparato.

El error de redondeo se reduce con equipos que dispongan de más cifras o de aquellos que dispongan de una escala más amplia con un mayor número de divisiones.

Información de los sistemas de bombeo. Es de relevancia disponer de la mayor cantidad de información referente a los sistemas de bombeo tales como forma de operación, característica de la bomba, consumos de energía, curvas de rendimiento, etc.

Una vez se ha obtenido toda la información para la creación del modelo recolectada en los pasos precedentes, se debe analizar ésta cuidadosamente, de tal manera que se puedan corregir los datos que no sean confiables, con el fin de minimizarlos o si es posible eliminarlos.

2.2.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE MODELO

Para la selección del tipo de modelo adecuado para la simulación hidráulica de la red, se debe tener en cuenta:

- La disponibilidad y confiabilidad de los datos de partida.
- La cantidad y calidad de mediciones hidráulicas para la validación del modelo.
- El periodo de simulación, ya sea estable o extendido.

2.2.3 SELECCIÓN DEL SOFTWARE DE ANÁLISIS

La importancia de la selección del tipo de análisis se basa en el tipo de algoritmo de cálculo que este emplee para la obtención del modelo, además de:

- Los sistemas operativos sobre el cual debe de ser soportado.

-
- Facilidades de uso.
 - Asistencia técnica a los usuarios.
 - Precio de adquisición.
 - Requisitos de Hardware.

Algunos programas comerciales utilizados para la simulación o diseño de redes son los siguientes⁴:

WATERCAD. Es un programa confiable y fácil de usar, que permite realizar diseños y análisis de sistemas complejos de tuberías a presión, tanques, sistemas de bombeo y demás, se distingue por la alta calidad de la interfaz gráfica del usuario. El programa es de la casa Haestad Methods de los Estados Unidos.

El programa permite modelar varios de los componentes hidráulicos típicos de redes de distribución, tales como válvulas reguladoras, estaciones de bombeo y controles automatizados sensibles a la presión y al caudal. Asimismo es posible manejar diferentes escenarios a fin de evaluar el comportamiento del sistema de distribución que se esté diseñando frente a demandas diferentes a las escogidas inicialmente, a calidades de agua variables y a condiciones de emergencia, tales como de incendios y racionamientos, que implican unas condiciones de operaciones muy especiales.

La entrada de los datos a WATERCAD es sencilla, se introducen a través de ventanas como las de WINDOWS, las cuales presentan diferentes alternativas al usuario para describir la topología de la red que se desea simular o diseñar.

Es posible calcular las pérdidas por fricción mediante las dos principales metodologías de hidráulica de tuberías: La de Hazen-Wiliams y la de Darcy-

⁴ SALDARRIAGA V. Juan G., Hidráulica de tuberías seminario/taller diseño de acueductos de alta tecnología

Weisbach, junto con la ecuación de Colebrook-White. Sin embargo, WATERCAD permite utilizar la ecuación de Manning.

Los resultados arrojados por el programa pueden ser llevados fácilmente a múltiples bases de datos y hojas de cálculo, entre ellas dBase, Paradox, Excel, Lotus y ODBC.

EPANET. Es un programa desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, Environmental Protection Agency), para el análisis del comportamiento de redes hidráulicas a presión.

El programa está compuesto por un módulo de análisis hidráulico que permite simular el comportamiento dinámico de una red de distribución de agua potable. Asimismo, hace posible incorporar a la simulación tuberías, bombas de velocidad fija, bombas de velocidad variable, válvulas de estrangulación, válvulas reductoras y sostenedoras de presión, tanques de cabeza constante o variable y sistemas de control de operación temporales o según nivel o presión.

El análisis hidráulico de la red se puede realizar mediante ecuaciones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach o Chézy-Manning a fin de calcular las pérdidas de cabeza por fricción. EPANET utiliza la metodología de la teoría lineal para la solución matemática de la red.

El programa se encuentra escrito en lenguaje C y puede correr en entornos MS-DOS, UNÍX o WINDOWS en sus diversas versiones.

El programa es bastante rápido y confiable; el tamaño de la red sólo puede verse limitado por las capacidades de memoria del equipo utilizado. La entrada de datos se hace a través de un archivo input de tipo texto donde se encuentra toda la información.

Además, el programa permite generar con los resultados, algunas tablas y gráficas que pueden ser impresas directamente o utilizadas en otras aplicaciones, como EXCEL y WORD.

REDES. El programa fue desarrollado en el Departamento de Ingeniería de Civil de la Universidad de los Andes, a diferencia de los dos programas anteriores, este permite el diseño optimizado de redes de distribución de agua, tanto de redes nuevas como ampliaciones de redes existentes.

El programa está dividido en cuatro módulos, el de cálculo, el de diseño, el de detección de fugas y el de calidad.

REDES, utiliza en el módulo de cálculo, tanto la ecuación de Hazen-Williams como la ecuación de Darcy-Weisbach para el cálculo de las pérdidas de energía producidas por la fricción del flujo con las paredes de las tuberías. Sin embargo en el módulo de diseño es necesario utilizar la ecuación de Darcy-Weisbach junto con la de Colebrook-White.

El programa permite incorporar al cálculo y al diseño tuberías de diferentes materiales, tanques de cabeza constante, estaciones de bombeo con sus curvas características, nodos con sus condiciones topográficas, nodos de medición de presiones para la localización de fugas y plantas de tratamiento o estaciones de adición de químicos para la calidad del agua. Todos los datos son introducidos y modificados en sencillas ventanas de diálogo, en donde se va actualizando, la presentación gráfica.

Los resultados obtenidos por los diferentes módulos del programa pueden ser visualizados en pantalla o consignados en un archivo de tipo texto para su posterior manejo.

2.2.4 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO Y ANÁLISIS

La escritura matemática del modelo a realizar en el programa de análisis, requiere de la definición de las variables que se van a tener en cuenta, el tipo de ecuaciones a considerar, el ajuste de los parámetros solicitados, analizando así las condiciones dadas para la simulación.

De esta manera, una vez se corrige la red con sus respectivas cotas y nomenclatura, se importa al programa de análisis para posteriormente asignar los consumos en los nodos, los cuales simulan la demanda suministrada al sector.

Estos datos son los suministrados por medidas de macromedición y micromedición, los cuales permiten conocer la demanda real que cada tramo de la red debe transportar para la prestación de un buen servicio. De estos valores se puede conocer la demanda base dada a cada consumidor y asimismo, se podrá obtener en periodo extendido los diferentes valores para cada intervalo de tiempo, proporcionando resultados importantes como son los valores máximos y mínimos de la red en estudio y la curva de modulación característica de consumo.

Asimismo, el modelo requiere de las curvas de variación de niveles, valores de consigna de las válvulas, curvas de caudal vs altura de las bombas y demás parámetros a considerar.

Este modelo preliminar se construye con el fin de entender la operación hidráulica actual de la red. Una vez se haya entendido la operación, se procede a plantear una nuevo esquema de operación hidráulica que tenga mayor validez.

En este punto, el modelo permitirá tener una aproximación del comportamiento hidráulico de la red. Sin embargo, las magnitudes reportadas no pueden ser

consideradas del todo representativas de la zona ya que dicho modelo no se encuentra validado ni calibrado.

2.2.5 VALIDACIÓN DEL MODELO

La validación conlleva a la eliminación de los errores en la codificación, es decir, que el modelo haga lo que se desea. Por lo que es necesario comprobar la validez de las simplificaciones realizadas a través de los resultados obtenidos, incluso contrastando estos con situaciones reales ya transcurridas (validar).

Esta etapa de verificación, validación, comprobación da lugar a nuevas necesidades de modelado para mejorar la capacidad de representación de la realidad, realizando así nuevos refinamientos indicados por el usuario.

Así, ya realizada la asignación de consumos y demás parámetros a considerar, se verificará que el comportamiento de la red sea acorde al mostrado por los diferentes datos obtenidos de medidas realizadas en campo o de datos controlados por un sistema de medición, los cuales son comparados con los generados por el programa. De esta manera se realiza un primer análisis de sensibilidad, los cuales se hacen a través de estadísticas comparando los resultados obtenidos.

El análisis de sensibilidad se basa en el uso de pruebas estadísticas que sirven como herramienta en la determinación de la precisión al comparar el grupo de datos de mediciones con el grupo de datos de simulaciones.

Para este caso se utiliza el estadístico RMSE (Raíz cuadrada del error medio) y el Coeficiente de Nash –Sutcliffe.

La primera comparación se hace a través del cálculo del error por medio del RMSE, donde se comparan los datos que se suponen reales (Información suministrada por datos medidos en campo o por un sistema de medición de control) con los datos obtenidos en el modelo generado en el programa de análisis EPANET para cada uno de los datos horarios a través de la siguiente ecuación:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Q_i - Q_t)^2} \text{ Ecuación 1}$$

Donde,

Q_i = Valor de caudal generado por EPANET.

Q_t = Valor real de caudal macromedido.

n = número de datos utilizados.

Una segunda manera de calcular la precisión del modelo se hace mediante el coeficiente de Nash-Sutcliffe, el cual se emplea en modelos tanto hidráulicos como hidrológicos arrojando valores considerados exactos para hacer valido un modelo.

La ecuación con la que se halla es la siguiente:

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - \overline{Q_o^t})^2} \text{ Ecuación 2}$$

Donde,

Q_o = Caudal macromedido.

Q_m = Caudal generado por el modelo.

Q^t = Caudal en el tiempo t.

Como resultado de la conformación y validación del modelo se obtienen valores de caudales en las tuberías y presiones en los nodos.

2.2.6 CALIBRACION DEL MODELO

La calibración del modelo de una red de distribución de agua potable consiste en ajustar una serie de parámetros que gobiernan su comportamiento hidráulico, de forma tal que éste sea capaz de representar de manera adecuada las mediciones que se realicen en campo.

Esta serie de parámetros se definen como variables topológicas (diámetros, rugosidades y pérdidas menores), las cuales se toman en función de la presión. Para esto es necesario determinar una serie de puntos de medición que permitan llevar a cabo este último proceso, teniendo en cuenta su distribución espacial en el sistema.

Dentro de todo el proceso de calibración del modelo hidráulico, es posible obtener más de una combinación de parámetros físicamente coherentes, que modelen adecuadamente el comportamiento medido en la red. Por lo tanto, es necesario realizar una verificación, mediante diferentes escenarios de operación, que permitan validar la solución propuesta, de tal forma que el modelo reproduzca de manera confiable el comportamiento de la red, aún en condiciones hidráulicas diferentes a las usadas en la calibración.

3. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LAS REDES DE ESTUDIO

3.1 LOCALIZACIÓN

La zona de estudio comprende las conducciones que parten de la planta de tratamiento La Flora, las cuales hacen parte del sistema La Flora.

La planta La Flora está localizada al nororiente de Bucaramanga, en el kilómetro dos de la vía que conduce a Pamplona entre las cotas 1170 y 1195 m.s.n.m y esta destinada a tratar las aguas provenientes de las fuentes de la hoya de río Tona, para abastecer las redes norte, oriente y sur del sistema de distribución. Este funciona conjuntamente con las plantas Morrórico (sistema río Tona), Florida (Sistema río Frío) y Bosconia (sistema río Surata), construyendo así el sistema de tratamiento de Bucaramanga, Floridablanca y Girón. La planta es de tipo convencional y tiene una capacidad nominal de tratamiento de 1000 L/s.⁵

Las redes de conducción a estudiar comprenden la unión de 11 tanques de almacenamiento de los 41 tanques que se encuentran distribuidos en los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón, localizados en sitios estratégicos de modo que se pueda regular el suministro de agua a las redes de distribución, como se muestra en la Figura 10.

Las conducciones a simular, son las siguientes:

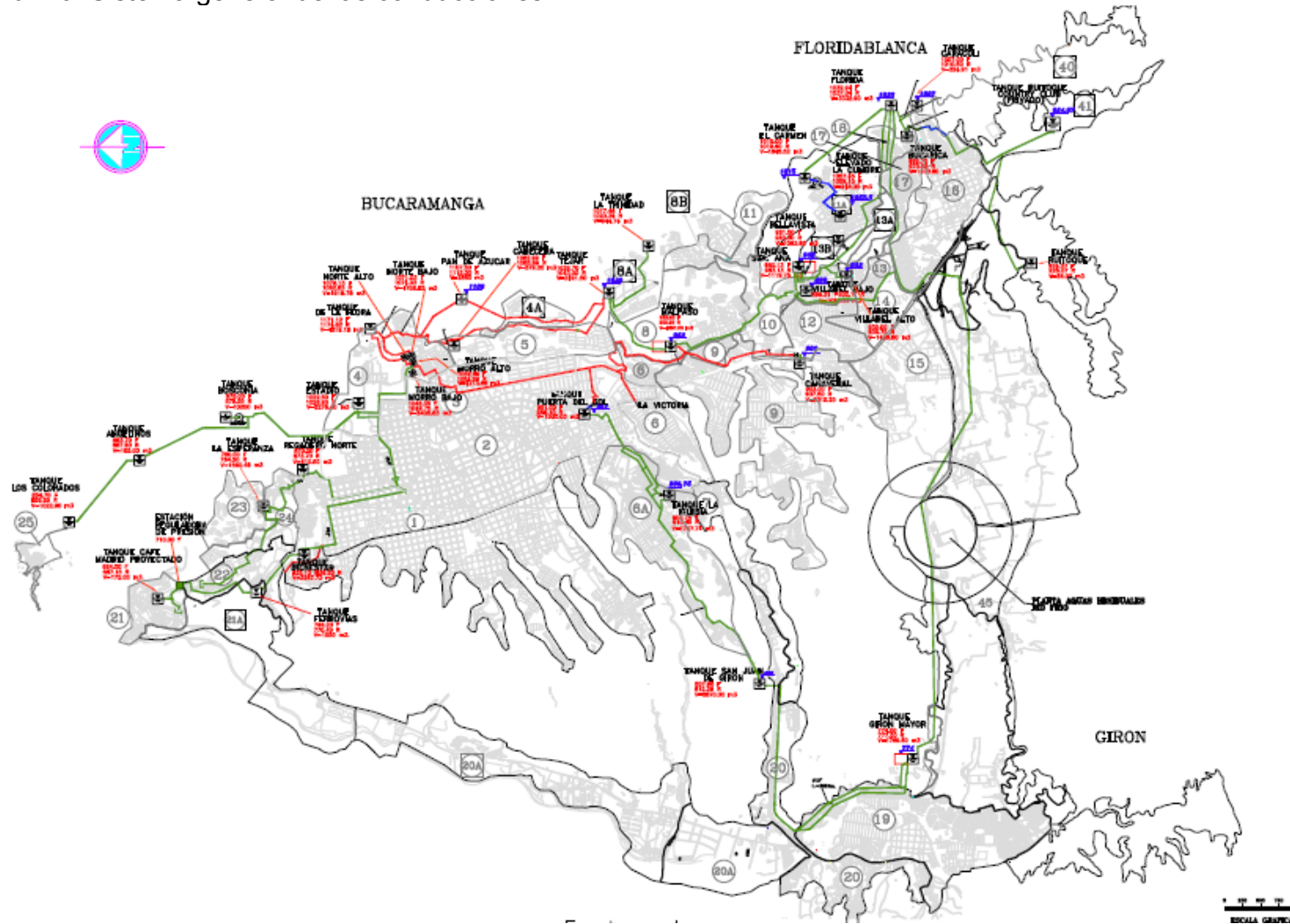
- ✘ Planta La Flora – tanque Cabecera – tanque Tejar
- ✘ Derivación Conducción Oriente - tanque Pan de Azúcar – tanque Tejar

⁵ Consorcio INGETEC S.A y ETA S.A, Estudios de factibilidad y diseños definitivos para la ampliación del acueducto metropolitano de Bucaramanga.

- ✘ Planta La Flora – tanque Norte Bajo
- ✘ Planta La Flora – tanque Norte Alto – tanque Norte Bajo –tanque Morro Alto
- ✘ Tanque Morro Alto - tanque Morro Bajo – tanque Malpaso con derivación al tanque Puerta del Sol y al tanque Cañaverál.

Los materiales de tuberías de mayor uso en las redes de conducción son: ACCP (American Concrete Cilinder Pipe), AC (Asbesto-Cemento), Acero, HD (Hierro Dúctil), PVC (Policloruro de Vinilo) y GRP (Fibra de Vidrio).

Figura 10. Sistema general de las conducciones



Fuente: Documento de la Gerencia de Planeación y Proyectos, amb S.A. E.S.P.

Conducción planta La Flora – t. Cabecera – t. Tejar. Esta conducción parte de la planta La Flora en tubería de 24 “ACCP (American Concrete Cilinder Pipe) y se ramifica en la misma planta en dos conducciones, la primera de ellas es la Conducción Oriente, la cual además de entregar a los tanques Cabecera y Tejar alimenta en ruta a los barrios Albania, Miraflores parte baja, parte alta del barrio Altos de Cabecera, Urbanización Cantabria y Altos del Jardín.

Derivación Conducción Oriente - t. Pan de Azúcar – t. Tejar. Esta conducción es una derivación de la Conducción Oriente y alimenta a los tanques Pan de Azúcar y Tejar, siendo la derivación al tanque Pan de azúcar una de las mas recientes.

Conducción planta La Flora – t. Norte Bajo. Esta conducción parte de la planta de tratamiento La Flora en tubería de 24” y entrega al tanque Norte Bajo, además alimenta en ruta al barrio Los Pinos.

Conducción planta La Flora – t. Norte Alto – t. Norte Bajo y t. Morro Alto. Se inicia en la planta La Flora y alimenta al tanque Norte Alto. Esta conducción presenta diámetros de 12”, 14”, y 16 “en ACCP (American Concrete Cilinder Pipe).

Posteriormente el tanque Norte Alto alimenta al tanque Norte Bajo y al tanque Morro Alto en tubería de 14” AC (Asbesto-Cemento). No presenta ninguna derivación en ruta.

Conducción t. Morro Alto – t. Morro Bajo – t. Malpaso con derivación al t. Puerta del Sol y t. Cañaveral. Esta red de conducción se origina en el tanque Morro Alto, alimentando al tanque Morro Bajo y este abastece a los tanques Puerta del Sol, tanque Cañaveral y tanque Malpaso. Esta conducción se considera de vital importancia debido a que suministra agua a gran parte de sectores en vía de desarrollo.

La conducción que parte del tanque Morro Alto y abastece al Tanque Morro Bajo se encuentra localizada en las instalaciones del **amb**. Posteriormente desciende por la Calle 35 hasta la Carrera 33, tomando rumbo sur hasta la Calle 61 en donde se bifurca para alimentar al Tanque Puerta del Sol en tubería de 18" HD (Hierro Dúctil) y al tanque Cañaveral y Malpaso en la otra derivación en tubería de 16": Esta red de conducción presenta varias válvulas ventosas, las cuales operan continuamente, mostrando esta red condiciones hidráulicas especiales.

Otra derivación de la conducción abastece directamente al Barrio La Victoria en tubería de 20" que luego se empalma con una de 14" AC (Asbesto - Cemento).

3.2 ARCHIVOS DIGITALES E INFORMACIÓN DE LA ZONA A MODELAR

Para poder emplear archivos en EPANET y generar el modelo, se necesita información correspondiente a archivos .dwg que contengan las curvas de nivel de la zona de estudio e información del catastro de redes. Igualmente, se requiere de toda la información disponible de caudales, presiones y niveles de los tanques, además de conocer los consumos de las derivaciones en ruta.

Es importante resaltar que para llegar a conformar el modelo hidráulico, se aplican diferentes programas, de manera que se pueda obtener un resultado final que se ajuste a la realidad.

Algunos de los programas se nombran a continuación en orden de aplicación con su respectiva utilidad:

✘ *AutoDesk, AutoCad Map*

Se utiliza para realizar el empalme de los planos topográficos de la zona de estudio y obtener el esquema en planta de la red.

✘ *AutoDesk Land*

Requerido para la construcción de la superficie del terreno y conformación de la topografía de la red.

✘ *AutoDesk Civil Design*

Empleado para el reconocimiento de los nodos de la red.

✘ *ArcGis (Arcview)*

Transforma la información gráfica en datos, facilitando una mejor visualización de la red.

✘ *Epanet 2.0 en Español*

Utilizado para la conformación del modelo final.

Entre otros programas.

3.2.1 PREPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE ENTRADA

Los pasos realizados para la preparación de la información requerida para realizar el modelo, es la siguiente:

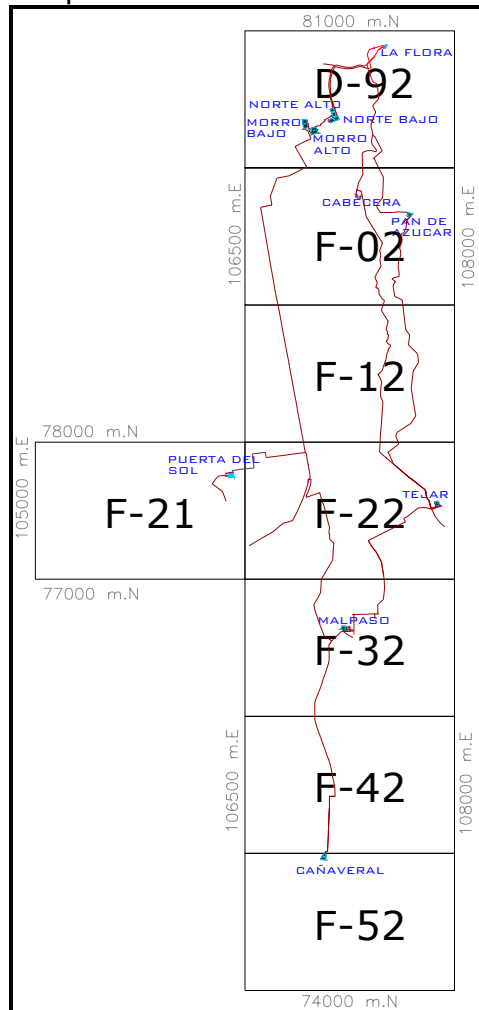
- Utilización de planos topográficos y de catastro
- Conformación de nodos y tanques
- Generación de la superficie del terreno
- Empalme de la superficie del terreno con el catastro de redes
- Manejo de los datos de macromedición y micromedición
- Generación del archivo de entrada a EPANET

Utilización de planos topográficos y de catastro. Para la construcción del modelo hidráulico se emplearon los planos aerofotogramétricos de Bucaramanga

FAL, de los cuales se obtuvo la superficie dada por el terreno, mediante el manejo de curvas de nivel.

Para realizar esta actividad se utilizaron las planchas a escala 1:2000 correspondientes a la nomenclatura D-92, F-02, F-12, F-21, F-22, F-32, F-42 y F-52, las cuáles cubren la zona oriental de Bucaramanga y conforman la topografía del lugar de estudio (Ver Figura 11). Esta información fue tomada de los archivos digitales que posee el **amb**, de acuerdo a estudios realizados en el convenio entre las empresas de servicios públicos de Bucaramanga.

Figura 11. Planchas correspondientes a la zona de estudio



Fuente: Documentos de la Gerencia de Planeacion y Proyecto, amb S.A ESP modificada por e l autor

Cabe resaltar que las coordenadas de los planos aerofotogramétricos digitales, están disminuidas al Norte 1.200.000 metros y al Este 1.000.000 metros.

La unión de las planchas FAL, se hizo a través del programa Autocad, donde se genero un archivo nuevo llamado Topografía de la zona de estudio.

En este nuevo archivo se empalmaron las ocho planchas, que contenían tanto información de curvas de nivel, como de predios de la zona. Esta última se eliminó dejando únicamente la topografía del terreno, donde se encontraban las curvas de nivel cada 2 metros.

Al realizar la unión de las planchas topográficas se observó que las curvas de nivel no empalmaban en los límites de las planchas, por lo que se utilizó AutoCad Map, para unir las curvas y eliminar además las líneas duplicadas, los objetos cortos, seudonodos y grupo de nodos, de modo que se pudiera realizar la respectiva limpieza del dibujo o mapa. Asimismo, se efectuó la búsqueda y actualización de información faltante.

Por otra parte, se manejaron los archivos que contenían información de las líneas de conducción en extensión .dwg. De estos planos se obtuvieron las coordenadas x y y de los puntos más relevantes de la red de conducción.

Una vez conocida la zona de estudio se determinó la red existente que se va a modelar. De éste se tomó las diferentes propiedades de la tubería (longitudes, materiales y diámetros).

La nomenclatura dada para cada tubería obedece a un manual de digitalización interno de la empresa, donde cada tipo de tubería se representa por medio de capas, y se denota por medio de su diámetro y material. Por ejemplo una tubería de cuatro pulgadas en PVC, se denota: TU 4-PVC de color No 55 y tipo de línea

divide2. Esta nomenclatura ayuda a diferenciar una tubería de la otra. Asimismo, se encuentra una serie de capas que diferencian cada accesorio y unión, facilitando la ubicación espacial de estos. Esta información es de importancia debido a que posteriormente se requerirá para conformar la base de datos que se importará al programa EPANET.

La corrección del archivo de catastro de redes se realizó empleando el macro elaborado por el centro de investigación CIACUA llamado rastreo de errores, que se compone de un archivo de extensión .dwb creado en versión VBA el cual se carga en AutoDesk Land, permitiendo corregir y limpiar los errores típicos en los planos topológicos tales como, unión de tuberías, tuberías dobles, además de verificar la no existencia de intersecciones entre las tuberías, observando los accesorios, las posibles rutas que el agua pudiera tomar y demás errores presentados en la digitalización que a simple vista no se puedan encontrar, y que podrían afectar el resultado final de la modelación.

Conformación de nodos y tanques. Para el análisis hidráulico de cada una de las conducciones se definieron tramos comprendidos entre puntos dados por los siguientes criterios:

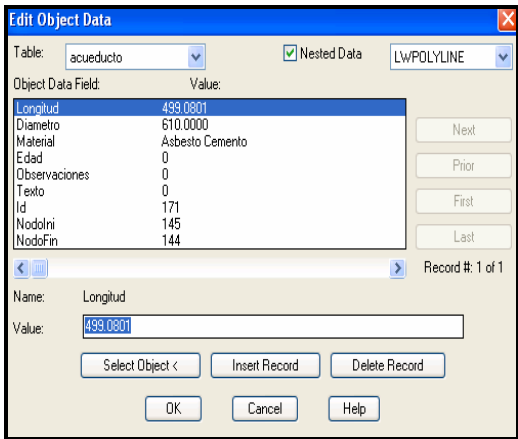
- Cambio de diámetro
- Cambio de material
- Derivaciones a otras redes
- Puntos más altos y bajos (ventosas y purgas)

En primera instancia, se establece la identificación que llevará cada tubería (ID) y utilizando el macro Pipe Data elaborado por el centro de investigación CIACUA, se crea la tabla de propiedades donde se consigna la información de diámetro, material, longitud, además de asignarle un número que identifica a cada tubería.

Seguido se utiliza un nuevo macro denominado Select Tubos donde se identifican los nodos por medio de números sucesivos, permitiendo llevar un control de cada tanque y/o nodo con el fin de clasificarlos adecuadamente y posteriormente llevarlos a un archivo .inp. Estos puntos se originan como puntos civiles.

La tabla de propiedades con la información correspondiente a los nodos se muestra en la Figura 12

Figura 12. Vista de tabla de propiedades de las tuberías



Object Data Field	Value
Longitud	499.0801
Diametro	610.0000
Material	Asbesto Cemento
Edad	0
Observaciones	0
Texto	0
Id	171
Nodolmi	145
Nodofin	144

Fuente: autor

Posteriormente, se emplea el programa AutoDesk Civil Design donde se agrupan los puntos civiles en dos grupos, uno de tanques y otro denominado nodos con el fin de aplicar modificaciones individuales a los miembros de estos de modo que la macro los clasifique adecuadamente en el archivo INP final.

Para visualizar mejor la red se utiliza el programa Arc View, el cual facilita la comprobación de las propiedades de las tuberías observando por medio de un interfaz gráfico la ubicación de esta, así como también se pudo realizar la corrección de las propiedades requeridas para el modelo, donde se encontraron que algunas de estas no aparecían. (Ver Figura 13)

Figura 13. Visualización en el programa Arc View

Material	iz	Mostrar	Mostrar
CCP	1	1	192
CCP	2	1	125
CCP	3	2	103
Asbesto Cemento	4	3	185
PVC	5	4	186
Asbesto Cemento	6	5	5
Asbesto Cemento	7	6	187
CCP	8	7	6
CCP	9	8	168
Hierro Duchil	10	9	164
Hierro Duchil	11	10	9
Hierro Duchil	12	4	10
Hierro Duchil	13	11	4
CCP	14	12	163
Asbesto Cemento	15	13	188
Asbesto Cemento	16	14	189
Hierro Duchil	17	15	92
Asbesto Cemento	18	16	30

Fuente: autor

Generación de la superficie del terreno. Una vez obtenida la topografía de la zona corregida con sus respectivas elevaciones, se creó la superficie en el programa AutoDesk Land.

La realización de la malla tridimensional, se generó a partir de interpolaciones entre curvas de nivel. El modelo digital del terreno que crea AutoDesk Land es una malla de triángulos irregulares en tercera dimensión (3D), cuyos vértices representan los puntos topográficos de las curvas de nivel digitalizadas. (Manual del Usuario AutoDesk Land)

El procedimiento utilizado para crear la superficie fue el siguiente:

- Selección de los datos o información topográfica con la cual se calculó la superficie.
- Cálculo de la malla o superficie.
- Corrección de la malla. Se arreglaron los errores cometidos por el programa durante el cálculo.

En el

ANEXO B. Se encuentra consignada la superficie correspondiente a la zona oriental de Bucaramanga.

Empalme de la superficie del terreno con el catastro de redes. La unión de la red con la topografía, tiene como finalidad asignar a los puntos más relevantes de la red de conducción la coordenada Z. Para esto se empleó el programa Autodesk Civil Design, donde se ajustó la elevación de los nodos o puntos civiles a la forma de la superficie ya generada, donde se copió el archivo de la curvas de nivel con su respectiva elevación en el archivo obteniendo así los puntos civiles. Estos puntos civiles inicialmente con elevación cero se empalman a la superficie asignándoles así su elevación correspondiente.

Manejo de datos de macromedición y micromedición. La información que se tiene para la simulación, se obtuvo del sistema SCADA, el cual supervisa, controla y arroja datos de caudales, consumos, presiones y niveles de algunos tanques. De este sistema se obtuvo información horaria de los meses de Agosto y Septiembre de 2006 en archivo .txt.

Los datos de macromedición que se tienen de la zona de estudio pertenecen a los tanques Puerta del Sol, Malpaso y Pan de Azúcar, los cuales son de gran utilidad, para realizar la comparación con los resultados obtenidos por el modelo. También se cuenta con información de mediciones de presión en el Barrio La Victoria. Asimismo, se tiene información de niveles de 9 de los 11 tanques de almacenamiento, los cuales serán datos de entrada al programa de simulación, de modo que se pueda modular la altura de estos. Los otros dos tanques no presentan gran variabilidad en su nivel debido a que se mantienen en su altura máxima, por lo que estos se encuentran siempre llenos (Ver ANEXO C).

Los errores mas frecuentes que se observan en las lecturas ocurren por falla en los equipos, falta de energía los cuales a simple vista se muestran en las gráficas debido a su cambio repentino de dirección.

Cabe resaltar que para los tanques que no presentan medición de macromedición se encontraron los valores correspondientes a los caudales máximos y mínimos para los dos meses de estudio, debido a que no se tiene información con la que se pueda comparar.

Por otra parte, los datos de consumo de las zonas que alimenta la red en ruta fueron suministrados por la dependencia de la Gerencia Comercial del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, los cuales son datos tomados cada dos meses por la empresa a los medidores de los suscriptores, realizando posteriormente un estudio que arroja como resultado el promedio mensual de consumo por distrito. Esta información se afecta por las pérdidas presentadas durante el año, para posteriormente hallar los caudales máximos diarios y máximos horarios para su respectiva asignación a los puntos de consumo en el modelo. (Ver Tabla 2)

Los factores de demanda utilizados para el cálculo de los caudales medios, máximos diarios y máximos horarios son los siguientes:

➤ **Caudales Medios.** El cálculo de los caudales medios para la situación actual de los distritos alimentados en ruta por la conducción fueron calculados de acuerdo al promedio anual dado hasta el mes de octubre de 2006. El caudal medio se calculó con base al porcentaje de perdidas físicas y comerciales del 27.82% para el año 2005, resultado de la diferencia del porcentaje de agua no contabilizada del 29.43% y 1.61% del consumo operacional.⁶

⁶ Gestión de Resultados. Informe Anual 2005

➤ **Caudal Máximo Diario:** El caudal máximo diario se calculó como 1.15 veces el caudal medio.

$$Q_{MD} = k_1 \times Q_m \text{ Ecuación 3}$$

➤ **Caudal Máximo Horario:** El caudal máximo horario se obtuvo como 1.5 veces el caudal medio.

$$Q_{MH} = k_2 \times Q_m \text{ Ecuación 4}$$

Cabe resaltar que las conducciones que van entre tanques y sin derivaciones en ruta hacia redes de distribución, se diseñan para transportar caudales máximos diarios de los sectores que son alimentados por sus tanques. Por otra parte, las conducciones que presentan alimentaciones en ruta hacia redes de distribución directamente, deberán transportar además de los caudales máximos diarios de los sectores alimentados por los tanques, los caudales correspondientes a los caudales máximos horarios de los sectores alimentados en ruta.

Tabla 2. Caudales según datos de facturación por ruta

SECTOR	CONSUMO MENSUAL PROMEDIO (m ³)	USUARIO	Q _{PROMEDIO} (L/s)	Q _{MD} (L/s)	Q _{MH} (L/s)
DISTRITO LA FLORA					
1 PINOS	73,965	1,397	38.36	44.11	57.54
2 ALBANIA	36,155	1,338	18.75	21.56	28.13
3 MIRAFLORES PARTE BAJA	6,921	264	3.59	4.13	5.38
4 URBANIZACION CANTABRIA Y ALTOS DE CABECERA	6,474	197	3.36	3.86	5.04
5 ALTOS DEL JARDIN	2,342	109	1.21	1.40	1.82
6 LAGOS DEL CACIQUE	13,536	453	7.02	8.07	10.53
DISTRITO MORRO BAJO					
1 LA VICTORIA	93,023	3,155	48.24	55.48	72.36
DISTRITO PAN DE AZUCAR					
1 PAN DE AZUCAR	12,974	478	6.73	7.74	10.09

Fuente: Documentos de la Gerencia Comercial del ambS.A ESP modificada por el autor

Generación del archivo de entrada a Epanet. Para la creación del archivo de entrada se hizo necesaria la comprobación de la información que va a ser

suministrada al programa EPANET, de modo que corresponda a la asignada inicialmente.

Una vez recopilada toda la información disponible de la red se finalizó el proceso utilizando el macro recorrer tabla elaborado por el centro de investigación CIACUA, obteniendo como resultado el archivo en extensión inp el cual puede utilizarse en cualquier programa de simulación de redes. (Ver Figura 14).

Figura 14. Archivo .inp para el modelo

```

bucaramanga - Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
[RESERVOIRS]
:ID HEAD PATTERN
41 904 :
46 1041.17958936019 :
58 1115.33496510833 :
102 1053.87809473684 :
108 1074.26457639709 :
126 1175.37129942313 :
193 1205 :
196 1076.33461137798 :
197 954 :
207 1084 :
209 951.033626615833 :
211 1048.88977475847 :

[PIPES]
:ID NODE1 NODE2 LENGTH DIAMETER ROUGHNESS MINORLOSS STATUS
1 1 192 1.59186716247962 600 0.12 0 Open ;
2 1 125 1.69420025503839 600 0.12 0 Open ;
3 2 103 5.26772578720354 860 0.12 0 Open ;
4 3 185 5.66296828351866 152 0.03 0 Open ;
5 4 186 4.71472289926481 76 0.0015 0 Open ;
6 5 5 15.5110468037591 102 0.03 0 Open ;
7 6 187 8.51920949448099 102 0.03 0 Open ;
8 7 6 152.201841179964 356 0.12 0 Open ;
9 8 168 440.730076926789 300 0.12 0 Open ;
10 9 164 19.7127876402402 300 0.25 0 Open ;
11 10 9 125.236564232219 300 0.25 0 Open ;
12 4 10 48.0205035183178 300 0.25 0 Open ;
13 11 4 587.395994897059 300 0.25 0 Open ;
14 12 163 208.86095014393 300 0.12 0 Open ;
15 13 188 1.89697616919877 500 0.03 0 Open ;
16 14 189 16.4459542908657 500 0.03 0 Open ;
17 15 92 5.76756285597235 450 0.25 0 Open ;
18 16 30 2.07270132331361 305 0.03 0 Open ;
19 17 18 1.5919478143815 203 0.03 0 Open ;
20 18 190 6.58010746276952 203 0.03 0 Open ;
21 19 191 5.02053082134704 1070 0.12 0 Open ;

```

Fuente: autor

4. GENERACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO

Para la construcción de un modelo se requiere del conocimiento de los distintos elementos que componen un sistema de distribución, el cual implica un estudio y análisis de los parámetros a los cuales se quiere llegar, y de los criterios de operación que se van a tomar en cuenta.

Las simulaciones hidráulicas en EPANET se pueden realizar en estado estable (análisis bajo condiciones de flujo permanente) o bajo la figura de periodos de tiempo extendido (EPS). Este último estado convierte el modelo, en un caso más real, de modo que las demandas varíen de forma periódica a lo largo del tiempo. Las opciones de tiempo pueden ser utilizadas en diferentes periodos, ya sean horas, minutos o segundos, dependiendo del estudio y del intervalo de los datos que se dispone. (Manual del Usuario EPANET 2.0)

Para realizar un estudio en periodo extendido, se presentan algunas consideraciones, como es la utilización de curvas de modulación de demanda. Estas curvas se obtienen de información tomada en campo o mediante la utilización de sistemas más avanzados que controlen y supervisen la información del sistema general de acueducto. Además, es posible implementar condiciones de control hidráulico de las diferentes válvulas que se manipulen permanentemente.

El periodo en el que se va a modelar las conducciones comprende un análisis extendido. Para esto, se construyeron curvas de modulación de las demandas en los nodos y las alturas en los tanques, mostrando la variación de niveles. Asimismo, se tomaron diferentes valores de apertura de las válvulas y de consigna, modelando así 1344 horas correspondientes a un periodo similar a ocho semanas.

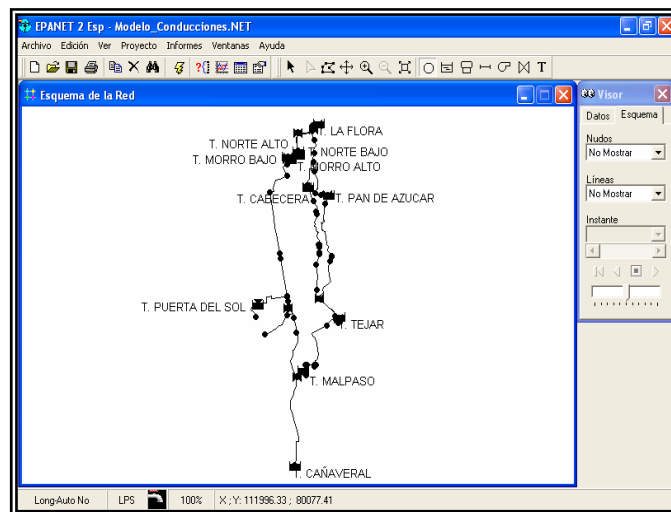
4.1 ELEMENTOS DEL MODELO HIDRÁULICO

EPANET modela un sistema de distribución de agua como un conjunto de líneas conectadas por nodos extremos.

Los componentes físicos y no físicos que configuran el sistema de conducciones a estudiar y sus parámetros operacionales considerados, se nombran a continuación, así como también las diferentes representaciones a las que se puede acceder para modelar los elementos.

La Figura 15 muestra como se interconectan todos los elementos entre sí para formar el modelo de la red en estudio.

Figura 15. Esquema de la red de conducción



Fuente: autor

4.1.1 COMPONENTES FÍSICOS DE LA RED DE CONDUCCIÓN

- **Tanques.** La modelación de un tanque se puede representar de diferentes maneras dependiendo de los propósitos que se quieren alcanzar con la simulación

y de la información con la que se cuenta. Lo ideal, si se tiene toda la información disponible, es modelarlos como depósitos, ya que es lo más cercano a la realidad. Para lograrlo es necesario conocer no solo los niveles máximos y mínimos, sino también la cota de fondo del tanque, las cotas de las tuberías de entrada y salida, y sobretodo, su geometría. Incluso lo ideal sería saber si la descarga al tanque es libre o sumergida y modelarlo de tal manera, ya que los caudales de entrada varían levemente dependiendo de la cabeza del tanque.

Este tipo de modelación es necesaria si se quiere simular el comportamiento del tanque en periodo extendido junto con el sistema ubicado aguas-abajo de éste, así como también el comportamiento de su línea de alimentación. Lo anterior es muy útil para advertirnos, por ejemplo, cuando un tanque podría sobrepasar sus niveles máximos, rebosándose, ó sus niveles mínimos, dejando sin abasto a la red que alimenta aguas-abajo.

Cuando no se cuenta con toda la información mencionada, pero se quiere modelar el comportamiento de la red aguas-abajo, se representa el tanque como un embalse y se utiliza la información de variación de los niveles. Nótese que para este caso los niveles son un dato de entrada y no de salida como si lo es en los depósitos. Además una de las desventajas que se presenta para este tipo de modelación, es que al ser un reservorio una fuente inagotable de agua, no se puede conocer si el tanque se vacía en algún momento determinado.

Lo importante para los dos anteriores tipos de modelación es que se logra romper la presión en el tanque y que se puede modelar el comportamiento aguas-abajo. Además, el caudal de entrada se calcula hidráulicamente y no es por lo tanto un dato de entrada al modelo al menos que se disponga de algún control como una válvula reguladora de caudal por ejemplo.

Asimismo, si lo que se necesita modelar es únicamente el comportamiento de la red aguas-arriba del tanque, entonces se podría modelar éste como un nodo de caudal, teniendo en cuenta, de que se debe asignar el caudal de entrada correspondiente, con su curva de modulación respectiva para todo el periodo de tiempo modelado. En este caso el caudal que ingresa al tanque, es entonces un dato de entrada del modelo.

Para el estudio de las conducciones que parten de la planta La Flora, los once tanques fueron representados por medio de embalses, debido a que no se contaba con toda la información requerida para la modelación como depósito.

Para este tipo de modelo los datos de entrada utilizados fueron:

- Las coordenadas X y Y, para ubicar exactamente el tanque.
- La altura piezométrica, que coincide con la cota de la superficie del agua, se moduló de acuerdo a los valores de nivel horarios dados por SCADA, los cuales comprenden el periodo de análisis de dos meses asociados a una curva donde muestra la variación horaria del nivel como factor del nivel medio.

✘ **Derivaciones en ruta.** Los consumos en ruta se representaron por medio de nodos de caudal, los cuales muestran la demanda variable en el tiempo de los sectores que se bifurcan de la red de conducción. Dichos sectores que se alimentan en ruta son los Barrios Albania, Miraflores parte baja, Los Pinos, parte alta de los barrios Altos de Cabecera y Urbanización Cantabria, Altos del Jardín, Pan de Azúcar y La Victoria, los cuales se encuentran ubicados según lo nombrado en el literal 3.1 correspondiente a la localización del sistema.

Asimismo, los nodos de caudal representan las interconexiones entre una tubería y otra, los cambios de dirección, puntos altos y bajos de la red. Siendo estos, solo puntos de paso.

Para el modelo se consideró:

- Las coordenadas X, Y y Z
- La demanda que sale del nodo, se consideró variable para los caudales en los nodos de consumo en ruta, construyendo así la curva de modulación para 24 horas del día, la cual se extendió para el periodo de análisis referente a los dos meses. Estas curvas de modulación son una secuencia de factores multiplicativos que aplicados sobre un valor base, hacen que este varíe con el tiempo.

La serie de datos que se consideraron se llevan al editor de propiedades de los nodos, como se muestra en la Figura 16.

Figura 16. Vista del editor de propiedades

Propiedad	Valor
*ID Nudo de Caudal	27
Coordenada X	107266.98
Coordenada Y	76578.53
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	949.449370
Demanda Base	115.308018
Curva Modul. Demanda	13
Tipos de Demanda	1
Coefficiente del Emisor	
Calidad Inicial	
Intensidad de la Fuente	

Fuente: autor

- **Tuberías.** Estas se representan por medio de líneas que transportan el agua de un nodo a otro.

Los principales parámetros de una tubería son:

- Los nodos inicial y final
- El diámetro de la tubería

- La longitud
- El coeficiente de rugosidad

Este último se requiere para calcular las pérdidas de carga debido a la fricción por el paso del agua. Para el cálculo de pérdidas originadas en las tuberías se empleó la fórmula de Darcy – Weisbach,

$$h_f = f \left(\frac{L}{D} \right) * \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde,

h_f = Pérdida por fricción (m)

f = Factor de fricción adimensional

g = aceleración de la gravedad (m/s^2)

L = Longitud (m)

D = Diámetro (m)

V = Velocidad (m/s)

En la Tabla 3. Se listan los rangos de variación de los coeficientes de rugosidades, para tuberías de diferentes materiales:

Tabla 3. Rugosidad Absoluta (Ks) para diferentes materiales

Material	Ks (mm)
PVC, CPVC	0.0015
Acero	0.046
AC (Asbesto Cemento)	0.03
GRP (Fibra de Vidrio)	0.03
ACCP (American Pipe)	0.12
Hierro Fundido	0.12
Hierro Galvanizado	0.15
Hierro Dúctil	0.25
Hierro Forjado	0.06
Hierro Fundido Asfaltado	0.12
Arcilla vitrificada	0.15

Fuente: Norma RAS 2000

- **Válvulas.** Representadas por medio de líneas, las cuales limitan la presión o el caudal en un punto determinado de la red.

Los datos principales de una válvula son:

- Los nudos aguas arriba y aguas abajo
- El diámetro
- Las condiciones de operación de la válvula.

Es importante mencionar que la regulación del sistema actual de conducciones se efectúa por medio de válvulas de compuerta o de mariposa, con las cuales se controla la elevación de la línea piezométrica permitiendo la distribución en ruta. Para estas condiciones las válvulas funcionan como válvulas sostenedoras de presión.

Las válvulas sostenedoras de presión, mantienen una mínima diferencia de presiones predefinidas entre dos puntos, independientemente de las fluctuaciones en los caudales o en las presiones aguas arriba.

Adicionalmente, en algunas de las llegadas de las conducciones a los tanques existen válvulas para controlar los niveles, las cuales se cierran cuando el tanque alcanza su máximo nivel. Estas válvulas son de tipo Globo y su función es evitar que los tanques se rebosen.

Existen válvulas, cuya función es la de llevar una presión adecuada a los sectores cuya cabeza de presión no cumplen con la mínima, por lo que no alcanzan a prestar un servicio eficiente en las zonas altas. Estas válvulas son tipo compuerta y son operadas manualmente por el móvil de tanques. Caso como el que ocurre en el tanque Tejar, para abastecer a los barrios Trinidad y Reposo.

Los tipos de válvulas contempladas en el modelo en EPANET son:

- Válvulas de Regulación, cuyo comportamiento se determinó por el valor del coeficiente de perdidas menores en la válvula. Estas perdidas están dadas por la relación entre dicho coeficiente K y el grado de apertura de la válvula. El grado de apertura R se define como la relación entre el número de vueltas en que la válvula está abierta y el número total de vueltas requeridas para lograr la apertura total. Los valores del coeficiente K asignados se encuentran en la Tabla 4

Tabla 4. Factor de Pérdida de las válvulas

R	K
0.05	707.97
0.10	177.8
0.15	67.6
0.20	35.15
0.25	25.49
0.30	18.49
0.35	13.41
0.40	9.73
0.45	7.05
0.50	5.12
0.55	3.71
0.60	2.69
0.65	1.95
0.70	1.42
0.75	1.03
0.80	0.74
0.85	0.54
0.90	0.39
0.95	0.28
1.00	0.21

Fuente: Estudios de factibilidad y diseños para la ampliación del acueducto metropolitano de Bucaramanga

- Válvulas de Rotura de Carga, las cuales obligan a cambiar la presión a través de la válvula.

En la Tabla D 1. Se encuentran consignados los datos de operación de las válvulas consideradas en el modelo.

Adicionalmente, se tuvieron en cuenta las válvulas que se encuentran cerradas en la actualidad, la cuales se modelaron como tuberías cerradas.

Cabe resaltar que los cierres de las válvulas pueden ser locales, automáticos o remotos.

El término local hace referencia a que el operario va directamente al sitio y abre la válvula. Si es automático, en el tanque se instala un equipo que de acuerdo al nivel del agua se determina el momento de cierre de la válvula. Si el sistema es remoto, un operador desde el Centro de Control toma la decisión de cerrar parcial o totalmente la válvula, para ello el **amb**, a partir del 2002 cuenta con un sistema de control denominado SCADA.

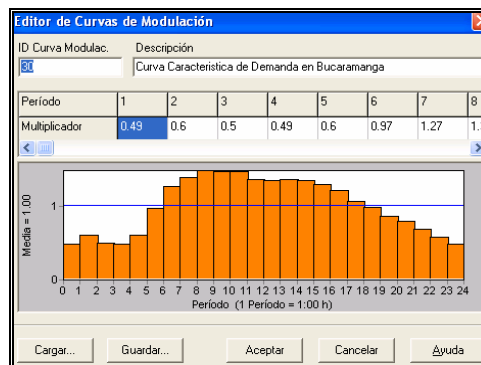
4.1.2 COMPONENTES NO FISICOS DE LA RED

El programa de análisis EPANET considera otros componentes, además de los componentes físicos para describir el comportamiento y modo de operación del sistema. Dentro de estos se encuentran las curvas de modulación y las leyes de control.

- **Construcción de curvas de modulación.** Para la construcción de las curvas de modulación se utilizaron los datos dados por facturación, los cuales constituyen la demanda máxima. Esta es asignada de acuerdo a una variación horaria, a los puntos de consumo de las diferentes zonas que se derivan directamente de la red de conducción. La extensión de la demanda a una variación en el tiempo conlleva a emplear diferentes factores, y debido a que estas salientes no tienen algún control con la que se pueda modular se emplearon curvas características de

sectores similares de los cuales si se contaba con información, asemejándolas a estos. Asimismo, se tomó la curva característica realizada en los estudios de diferentes sectores de la ciudad donde se obtuvo como resultado para 24 horas del día la Figura 17.

Figura 17. Vista Curva de modulación



Fuente: autor

Si bien, las curvas de modulación no solo se asocian a las demandas en los nodos, sino también a las alturas en los embalses, a las velocidades de giro en las bombas, entre otros. (Manual del Usuario EPANET 2.0).

La altura del embalse se tomo como el nivel dado para el tanque el cual sumado al a cota de fondo, resulta la cota de la superficie del agua.

Leyes de Control. Son reglas que determinan el modo de operación de la red durante la simulación. Estas controlan el estado de determinadas líneas de la red en función del tiempo, de los niveles en los depósitos y de las presiones en los puntos de referencia de la red. (Manual del Usuario EPANET 2.0)

Las leyes de control se clasifican en dos categorías:

- Leyes de Control Simples
- Leyes de Control basadas en Reglas

- **Leyes de control Simples.** Estas leyes fueron empleadas para variar la consigna de la válvula que se encuentra a la entrada del Tanque Pan de Azúcar.

Las instrucciones utilizadas para variar la consigna (valor de regulación de la válvula) es la siguiente:

LINK IDlínea estado AT CLOCKTIME hora_real AM/PM

Donde,

IDlínea = identifica el ID de una tubería o válvula

estado = la consigna de una válvula de control

hora_real = la hora del día en que varia la consigna de la válvula, en formato AM ó PM

La válvula del tanque Pan de Azúcar presentó varias consideraciones de consigna las 24 horas del día, debido a que el periodo de tiempo en estudio fue considerable para mostrar que todos los días no presentaban un comportamiento similar. Una ley de control simple considerada en el modelo fue la siguiente:

LINK 86 25 AT CLOCKTIME 0:00 AM

- **Leyes de control basadas en reglas.** Permite controlar el estado de las líneas o las consignas en base a una combinación de situaciones que pueden darse en la red, una vez calculado inicialmente el estado en la misma para el intervalo en curso. (Manual del Usuario EPANET 2.0).

El formato a utilizar para crear una ley de control basada en reglas es la siguiente:

RULE 1

IF SYSTEM CLOCKTIME = hora_real AM/PM

THEN VALVE IDlínea SETTING = valor_consigna

Las leyes de control basadas en reglas se consideraron para operar las válvulas a la entrada de los tanques Puerta del Sol y Malpaso, las cuales se encuentran operadas para ser variadas gradualmente cada hora para un tiempo total de 24 horas, desde el centro de control.

Una de estas leyes consideradas fue la siguiente:

```
RULE 1
IF SYSTEM CLOCKTIME = 0:00 AM
THEN VALVE 17 SETTING = 82
AND VALVE 41 SETTING = 81
```

5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS GENERADOS POR EL MODELO

Luego de introducir todos los parámetros considerados en el modelo para el cual se observó el comportamiento hidráulico durante dos meses de las conducciones de la zona oriental de Bucaramanga, se realiza la validación correspondiente, la cual consiste en la comparación de caudales de entrada a los tanques. Para ello se dispone de los datos tanto del modelo como de los medidos por el sistema SCADA con el fin de obtener la precisión del modelo.

5.1 COMPARACION DE RESULTADOS

El periodo de análisis comprende los meses de Agosto y Septiembre (29 de Julio – 22 de Septiembre), de los cuales se tiene información de caudales de entrada de los tanques Puerta del Sol, Malpaso y Pan de Azúcar e información de presión a la entrada del Barrio La Victoria solo del mes de septiembre. Se compararon entonces los datos, teniendo en cuenta las ecuaciones de RMSE y el coeficiente Nash-Sutcliffe nombrado anteriormente.

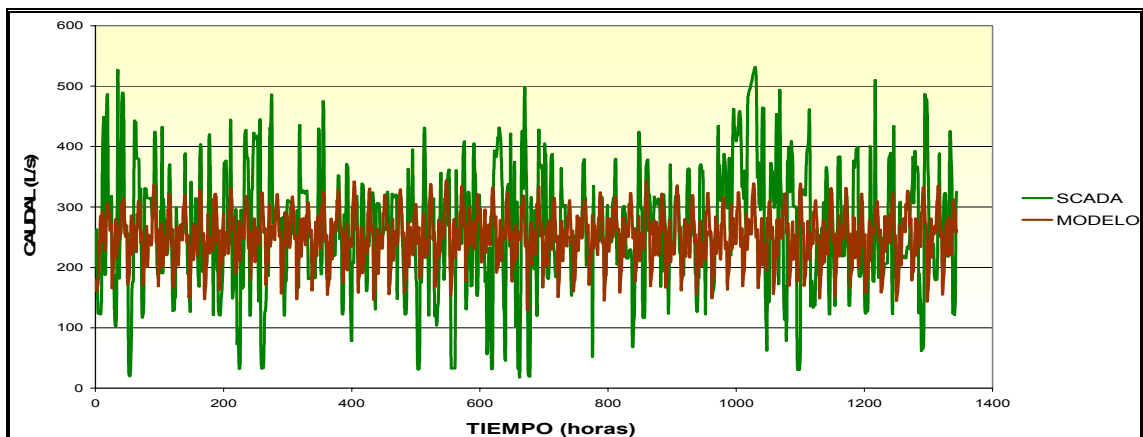
5.1.1 CAUDAL DE ENTRADA TANQUE PUERTA DEL SOL

El máximo caudal de entrada al tanque de acuerdo al modelo es de 344.53 L/s y un caudal mínimo 132.17 L/s que comparados con los valores suministrados por SCADA de 531.6 L/s y 18.90 L/s, se observa una diferencia apreciable. (Ver Figura 18).

El valor dado de RMSE calculado es de 99.6085 L/s y el coeficiente de Nash-Sutcliffe fue de -0.0304.

Se puede observar que el valor del RMSE es alto, debido a la inconsistencia en las magnitudes de caudal y en la variación de esta. La razón principal de la ocurrencia de este evento, es la dificultad con la que se cuenta para la recolección y procesamiento de información de los tanques que conforman la red de conducción que parte del tanque Morro Bajo, la cual se bifurca en tres ramificaciones, alimentando así a los tanques Puerta del Sol, Cañaveral y Malpaso. Puesto que se desconoce los caudales de salida de tanque Morro Bajo, como también el caudal de entrada al tanque Cañaveral y de la misma manera se desconoce la variación de la demanda en el Barrio la Victoria, el modelo muestra entonces, el resultado de la poca información con la que se cuenta para poder llegar a un valor permitido para la validación del modelo. También se muestra que el coeficiente de Nash-Sutcliffe no es aceptable, ya que para considerar su validez este debe ser por lo menos mayor a 0.8.

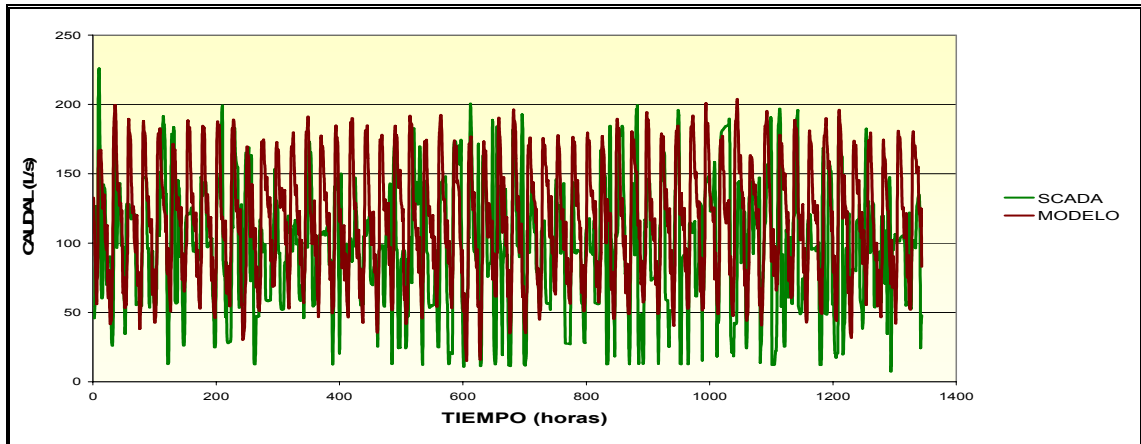
Figura 18. Caudal de Entrada t. Puerta del Sol



Fuente: autor

5.1.2 CAUDAL DE ENTRADA TANQUE MALPASO

El caudal de entrada máximo y mínimo dado por el modelo es de 203.41 L/s y 15.51 L/s, respectivamente. Asimismo, el caudal dado por el sistema SCADA es de 225.70 L/s y 10.90 L/s. (Ver Figura 19)

Figura 19. Caudal de Entrada t. Malpaso

Fuente: autor

El valor de RMSE es 47.8933 L/s y el coeficiente Nash-Sutcliffe es de -0.1385.

Los valores obtenidos por el RMSE y el coeficiente Nash-Sutcliffe, revalidan, la conclusión obtenida anteriormente en el tanque Puerta del Sol, ya que estos se encuentran interconectados dependiendo de esta manera directamente el uno del otro. Igualmente otra de las falencias halladas en la generación del modelo se encuentra en la operación de las válvulas, puesto que no se conoce su grado de apertura en los diferentes periodos de tiempo.

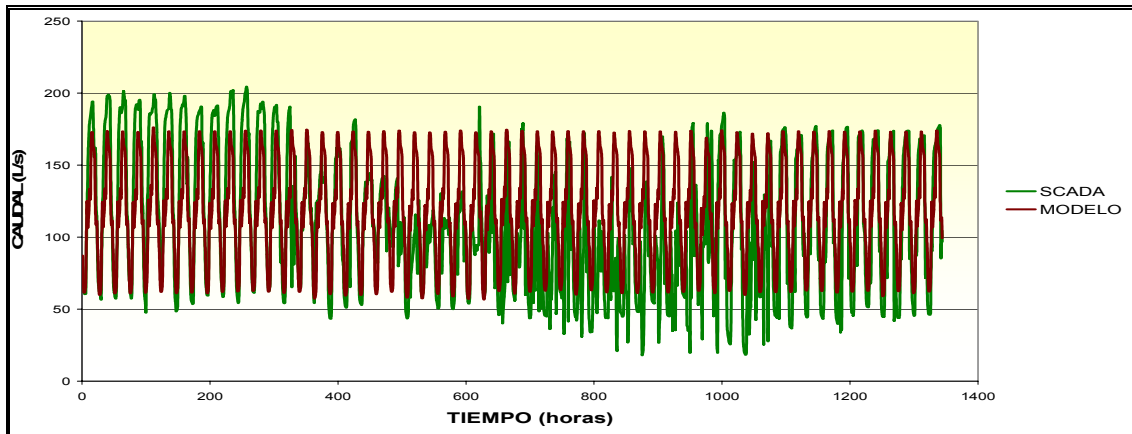
5.1.3 CAUDAL DE ENTRADA TANQUE PAN DE AZUCAR

Los caudales resultantes del modelo máximos y mínimos 176.24 L/s y 56.69 L/s, respectivamente y los dados por el sistema SCADA es de 204.60 L/s y 18.10 L/s, como se muestra en la Figura 20.

Este tanque se caracteriza por la interconexión entre la planta La Flora y los tanques Norte Bajo, Cabecera y Tejar, de los cuales se desconoce tanto el caudal de salida de la planta, como los caudales de entrada de los tres tanques antes mencionados, por lo que existe gran incertidumbre en los valores generados por el

modelo. Además, la operación en este sistema de conducciones, se encuentran dos válvulas reguladas desde el centro de control, las cuales fueron simuladas teniendo en cuenta solo los valores de entrada al tanque Pan de Azúcar.

Figura 20. Caudal de Entrada t. Pan de Azúcar



Fuente: autor

El RMSE dado en la comparación de los datos de caudal de entrada del tanque Pan de Azúcar es de 36.5755 L/s y el coeficiente de Nash-Sutcliffe es de 0.4262.

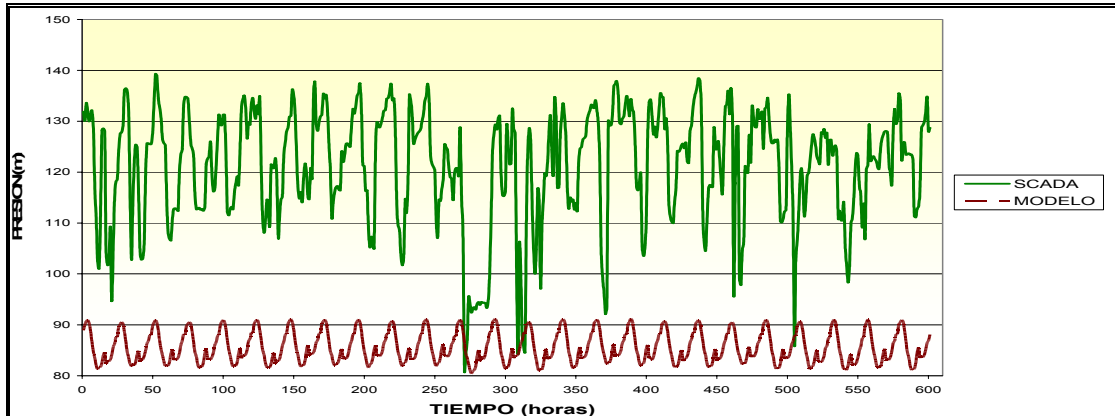
5.1.4 PRESION DE ENTRADA BARRIO LA VICTORIA

Los valores máximos y mínimos de presión obtenidos en el modelo corresponden a 91.20 m y 80.41 m, respectivamente. Los datos suministrados por el sistema SCADA de presión máxima es 139.30 m y presión mínima de 69 m.

El valor de RMSE es de 36.9245 m y para el coeficiente de Nash-Sutcliffe de 9.3753. Estos valores confirman la importancia de tener equipos que suministren la información necesaria para una primera validación del modelo, así como también de la revisión y mantenimiento de los equipos ya instalados.

Como se observa en la Figura 11, los valores suministrados por SCADA, presentan en algunos puntos cambios de dirección repentinos y que no concuerdan con el comportamiento periódico del punto analizado.

Figura 11. Presión a la Entrada del Barrio La Victoria



Fuente: autor

5.2 VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE CAUDALES

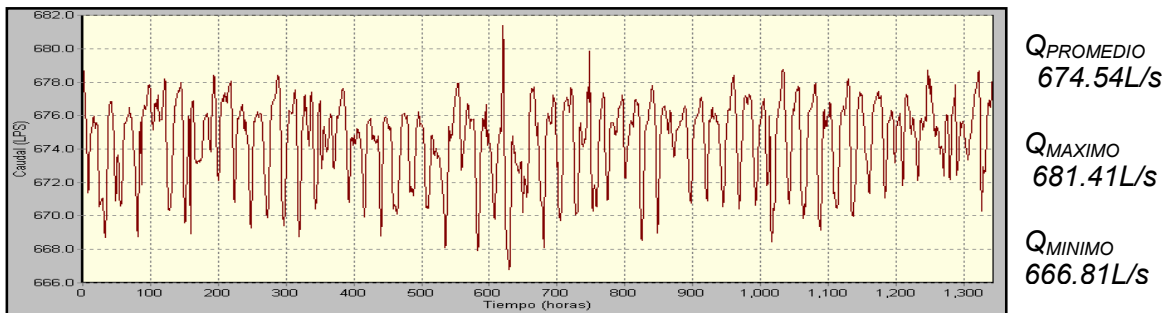
Cada una de las entradas a los tanques, se analizaron mediante el programa de análisis EPANET, donde se obtuvo la información de caudales del periodo de estudio de las conducciones que parten de la planta La Flora, con el fin de mostrar los valores arrojados por el modelo y presentar un estimativo de los caudales que transportan las redes, de modo que en futuros modelos se pueda adicionar y complementar la información faltante para llegar a conocer la viabilidad de abastecimiento que pueda suministrarle a un nuevo sector. Así como también, llegar a comparar los datos con medidas tomadas en campo y validarlo posteriormente.

Si bien, conocer el caudal transportado son datos relevantes en los diseños hidráulicos. De la misma manera, lo es poder observar el comportamiento a través del tiempo, permitiendo concluir las horas de mayor consumo, los caudales

máximos y mínimos, entre otros. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente forma:

➤ **CONDUCCIÓN PLANTA LA FLORA – T. NORTE ALTO.** Esta red de conducción inicia en tubería de 16” en AC, y posteriormente cambia a una de diámetro de 14” en ACCP. El valor máximo encontrado es de 681.41 L/s el día 23 de Agosto a las 9 p.m. (Ver Figura 22). Es una conducción que no presenta cambios considerables.

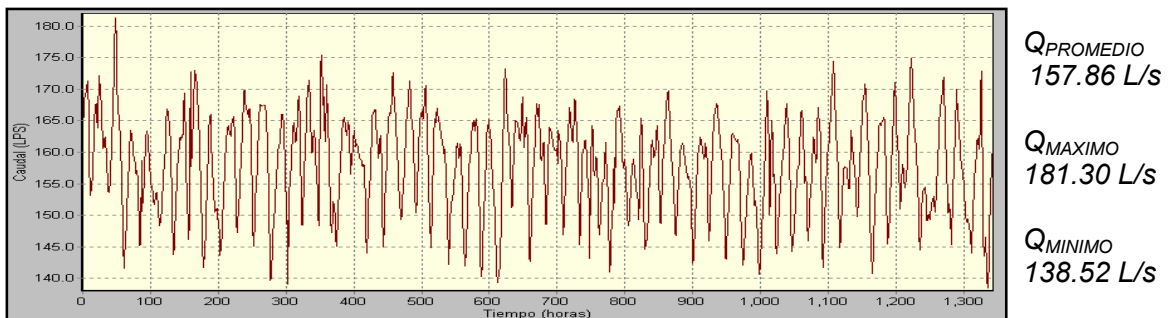
Figura 22. Caudal Conducción planta La Flora – t. Norte Alto



Fuente: autor

➤ **CONDUCCIÓN T. NORTE ALTO – T. NORTE BAJO.** Esta conducción en ACCP de 10” es corta debido a la cercanía entre los dos tanques (Longitud=10 m aprox.), por lo que no se considera una red importante. El valor máximo encontrado es de 181.30 L/s el día 31 de Julio a las 2 a.m. (Ver Figura 23)

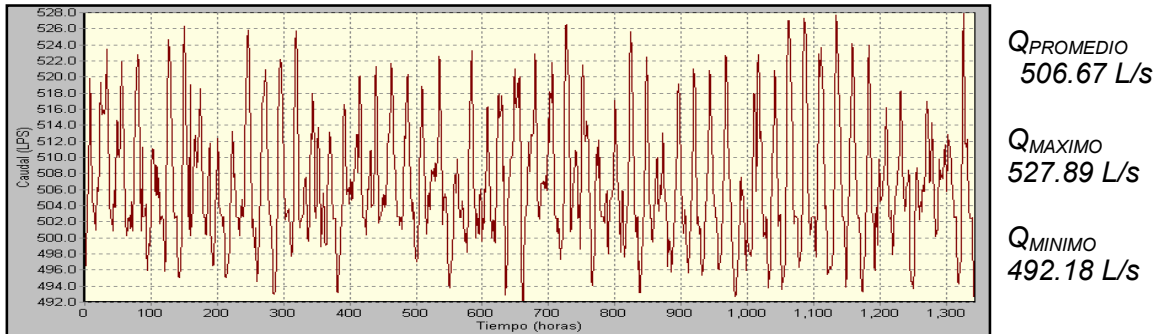
Figura 23. Conducción t. Norte Alto – t. Norte Bajo



Fuente: autor

- **CONDUCCIÓN T. NORTE ALTO – T. MORRO ALTO.** La red de conducción es de AC de 14". El caudal máximo transportado es de 527.89 L/s el día 22 de Septiembre a las 7 a.m. (Ver Figura 24)

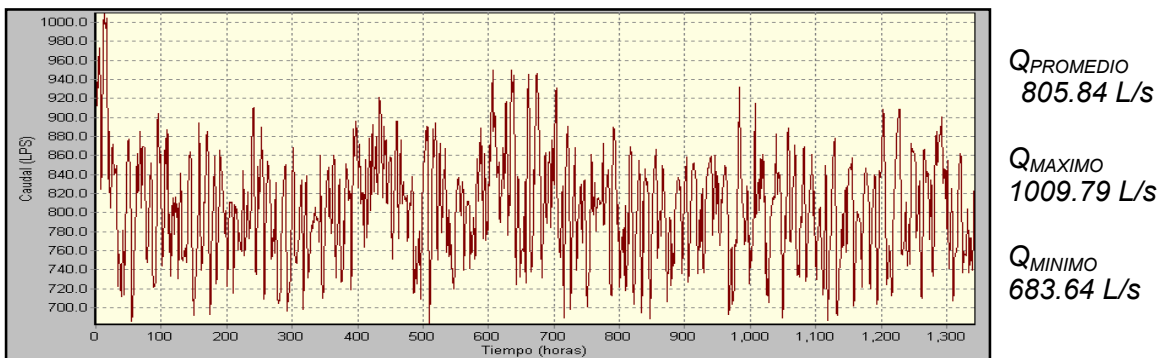
Figura 24. Conducción t. Norte Alto – t. Morro Alto



Fuente: autor

- **CONDUCCIÓN T. MORRO ALTO – T. MORRO BAJO.** Esta conducción es de 30" ACCP. El tanque Morro Alto es considerado crítico, ya que presenta una alta dependencia de otros tanques, además de abastecer a una alta población. El máximo caudal encontrado es de 1009.79 L/s el día 29 de Julio a las 2 p.m. (Ver Figura 25)

Figura 25. Conducción t. Morro Alto –t. Morro Bajo



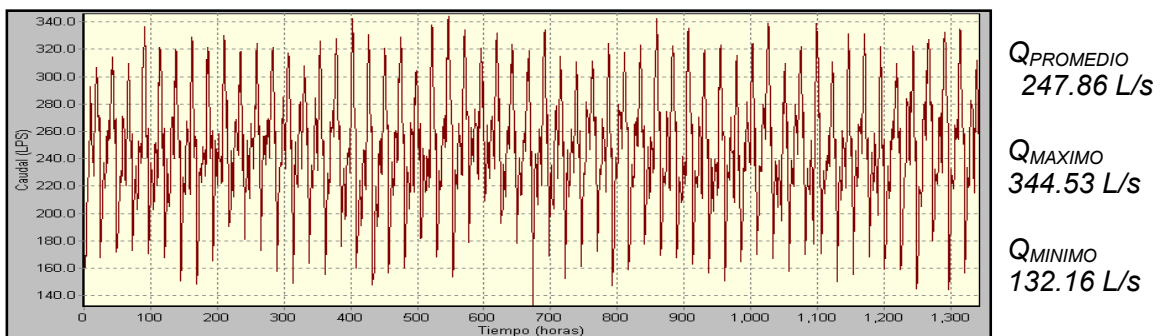
Fuente: autor

➤ **CONDUCCIÓN T. MORRO BAJO – T. MALPASO CON DERIVACIÓN AL T. PUERTA DEL SOL Y T. CAÑAVERAL.** Se analizaron los caudales de entrada a los tanques Puerta del Sol, Cañaveral y Malpaso. La tubería de mayor uso en esta red de conducción es AC y HD en diámetros de 16", 18" y 24".

Los datos de caudales obtenidos en el modelo a la salida de tanque Morro Bajo varían entre 300 y 600 L/s, los cuales se distribuyen en los tres tanques Puerta del Sol, Cañaveral y Malpaso, además de alimentar al Barrio La Victoria

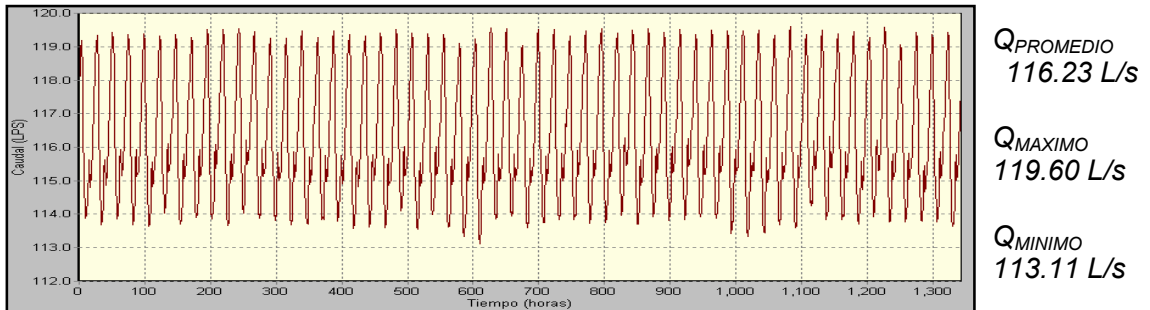
El valor máximo encontrado para el tanques Puerta del Sol es de 344.53 L/s el día 20 de Agosto a las 8 p.m. (Ver Figura 26)

Figura 26. Entrada t. Puerta del Sol



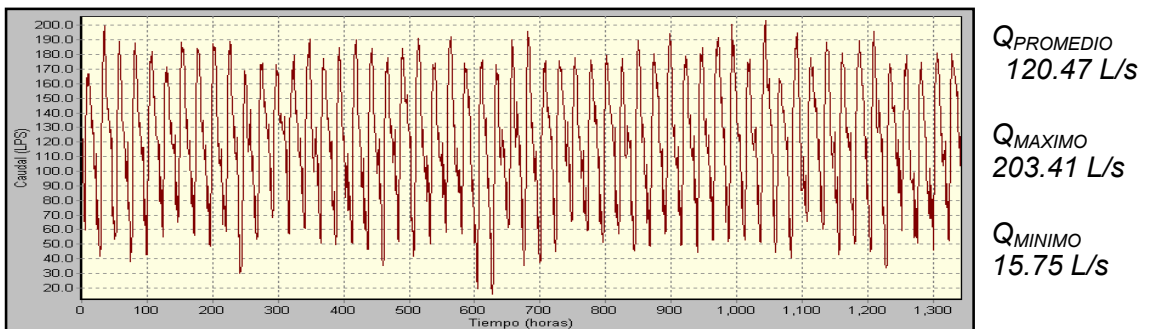
Fuente: autor

La red de conducción que va al tanque Cañaveral no presenta cambios representativos, debido a que este funciona con una válvula limitadora de caudal, lo que hace que no varíe considerablemente. Además, el tanque Cañaveral opera de modo que este siempre se encuentre lleno. El caudal máximo presentado es de 119.60 L/s el día 12 de Septiembre a las 2 p.m. (Ver Figura 27)

Figura 27. Entrada t. Cañaverál

Fuente: autor

El tanque Malpaso es también considerado uno de los tanques de almacenamiento relevantes en el sistema La Flora, por alimentar a una alta población. El caudal máximo encontrado es de 203.41 L/s el día 10 de septiembre a la 1 p.m. como se muestra en la Figura 28.

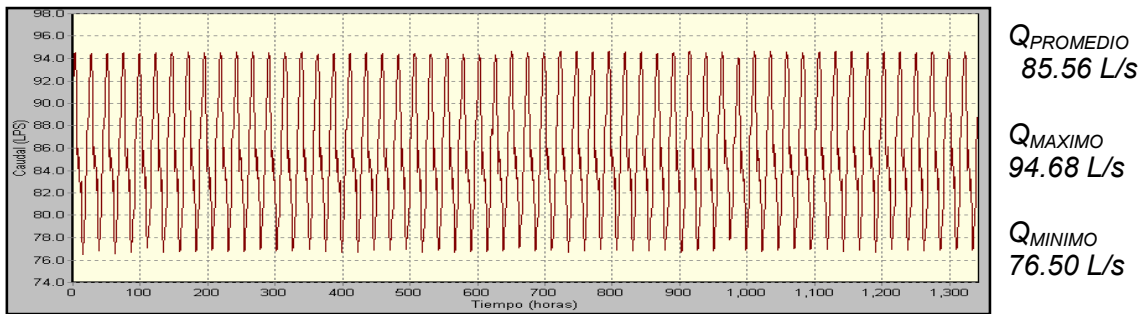
Figura 28. Entrada t. Malpaso

Fuente: autor

➤ **CONDUCCIÓN PLANTA LA FLORA – T. CABECERA – T. TEJAR.** Esta red de conducción alimenta a los tanques Cabecera y Tejar, además, de alimentar en ruta a diferentes sectores.

El caudal máximo presentado en el tanque Cabecera fue de 94.68 L/s el día 25 de Agosto a las 4 a.m. Este tanque se regula por medio de una válvula globo, por lo que los valores generados por el modelo son constantes. (Ver Figura 29)

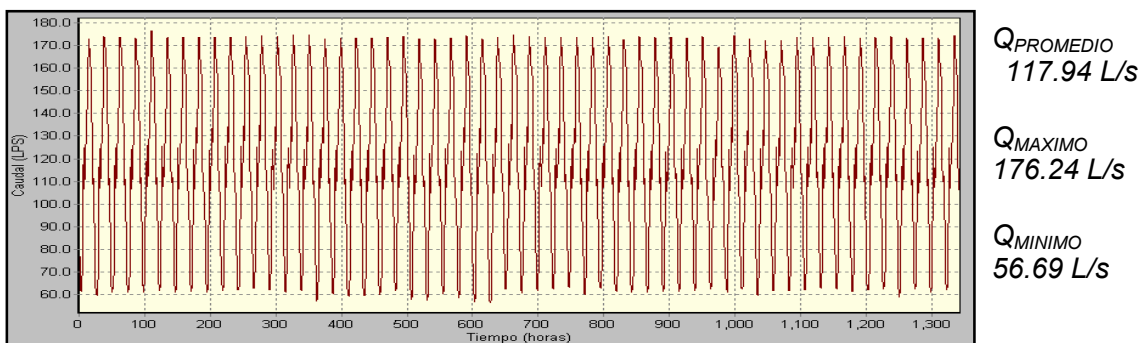
Figura 29. Entrada t. Cabecera



Fuente: autor

El tanque Tejar alimenta en ruta a varios sectores, el caudal de entrada máximo encontrado, fue de 231.50 L/s el día 9 de Septiembre a las 4 a.m. (Ver Figura 30)

Figura 30. Entrada t. Tejar



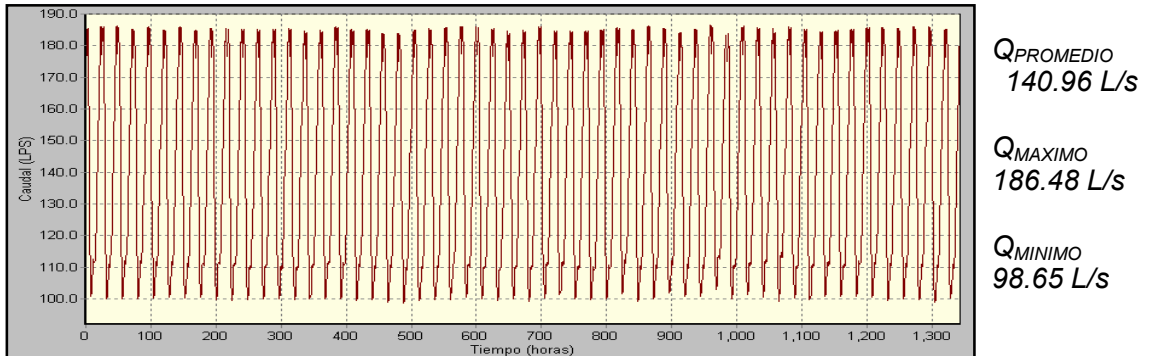
Fuente: autor

➤ **CONDUCCIÓN ORIENTE - DERIVACIÓN T. PAN DE AZÚCAR – T. TEJAR.**

Es una de las redes mas recientes, se construyo como refuerzo para disminuir la vulnerabilidad de la Conducción Oriente, la cual si sale de servicio por razones de mantenimiento no se podría alimentar ninguno de los distritos que depende de esta.

El caudal máximo de entrada al tanque Pan de Azúcar durante el periodo de análisis fue de 186.48 L/s correspondiente al día 2 de Agosto a las 4 p.m. como se muestra en la Figura 31.

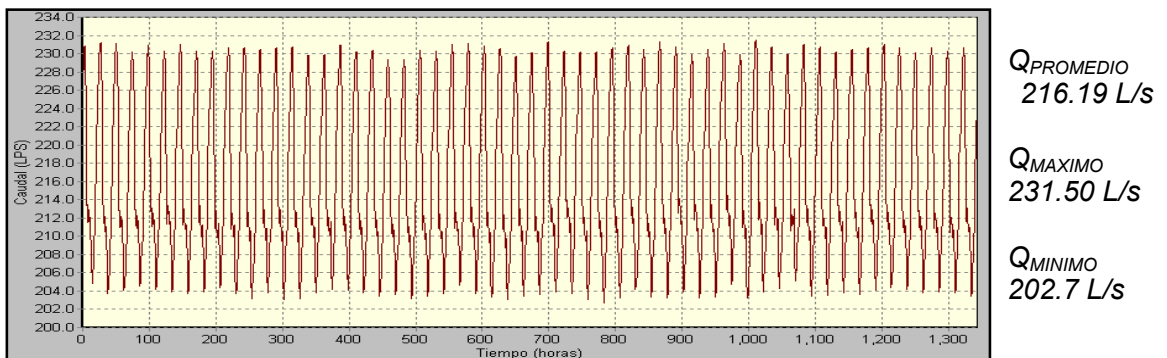
Figura 31. Entrada t. Pan de Azúcar



Fuente: autor

La conducción que une a los tanques Pan de Azúcar y Tejar presenta una derivación en ruta, el caudal máximo generado por el modelo fue de 231.50 L/s el día 6 de Septiembre a las 12 a.m. (Ver Figura 32)

Figura 32. Conducción t. Pan de Azúcar – t. Tejar



Fuente: autor

Teniendo en cuenta las diferentes gráficas obtenidas de la simulación, se puede observar la notable variabilidad entre una conducción y otra, por lo que se muestra las diferencias que hay entre los distintos sectores, de acuerdo a la variación en el consumo, confirmando así la importancia de contar con información de medidas que ayuden a la comparación y puesta en marcha de modelo a representar la zona oriental de Bucaramanga.

CONCLUSIONES

- Se encontró que los datos generados por el modelo no representan el comportamiento real de la red, debido a las notables diferencias tanto en magnitud como en forma de los diferentes valores comparados, así como también ocurre en el análisis estadístico realizado tanto en el método RMSE como en el coeficiente de Nash-Sutcliffe, los cuales arrojaron errores que superaban los permitidos para poder validarlo. Por lo que se concluye que el modelo no presenta un funcionamiento adecuado para la toma de decisiones de tipo técnicas y operativas.
- Una de las falencias que presentó el modelo, fue la poca información con la que se contó en mediciones de macromedición de los diferentes tanques, además de la incertidumbre de la variación de la demanda en los sectores alimentados en ruta por las redes de conducción a través del tiempo.
- El manejo de las válvulas empleadas para regular los niveles de los tanques y los caudales de entrada en el modelo hidráulico, demuestran la importancia de modularlas o temporizarlas automáticamente, variando el grado de apertura de manera unificada y estandarizada, de modo que estos cambios puedan ser implementados al modelo para el correcto ajuste con los datos de medición. Por lo que esta operación se convirtió en el principal problema, debido a que actualmente son manipuladas según el criterio del operador.
- Se observa la importancia de implementar sistemas que ayuden a una mejor recolección y procesamiento de la información faltante para la construcción del modelo. Asimismo, se hace necesaria la realización de revisiones periódicas a los equipos, teniendo en cuenta el correcto funcionamiento y en caso contrario de realizar los respectivos ajustes.

-
- Dentro de los beneficios que traerá los procesos de modelamiento de las redes, se pueden enunciar las siguientes:
 - ✓ La realización de un mejor control de la red desde el punto de vista hidráulico y comercial.
 - ✓ Es una herramienta adecuada para la toma de decisiones técnico – económicas en la implementación de nuevos sistemas.
 - ✓ La racionalización en recursos y reducción de costos a largo plazo, debido a la eficiencia de los equipos y el mejoramiento del control del sistema.

RECOMENDACIONES

- La medición de presiones y caudales requiere de grandes inversiones en compra de equipos, construcción de cámaras y posterior operación, lo que conlleva a la recolección de un volumen considerable de información precisa para realizar posteriormente un buen proceso de calibración.
- Es necesario que las válvulas de compuerta y mariposa no sean empleadas como elementos de regulación de presiones, puesto que esta práctica reduce considerablemente la vida útil de estos elementos, los cuales no están diseñados para este fin.
- Se requiere que los modelos hidráulicos generados lleguen a la etapa de calibración, de modo que se pueda obtener una herramienta que permita verificar las condiciones de servicio en los nuevos escenarios de operación hidráulica, que ayuden a prevenir fallas en el servicio durante los siguientes periodos de medición, así como también se pueda tener una visión de los lugares o puntos que se requieren para la toma de medidas que faciliten una rápida validación del modelo.
- Una vez se haya validado el modelo se recomienda mantenerlo actualizado con mediciones vigentes e información de catastro de redes, de modo que cuando se presenten cambios que puedan afectar las condiciones operacionales, se puedan adicionar a este, obteniendo los mejores resultados en la simulación. Asimismo, un modelo no puede depender de la capacidad del computador, por lo que se recomienda contar con equipos de cómputo de última tecnología que optimicen el proceso de actualización y mantenimiento.

-
- Los procesos de modernización que se han venido presentando desde el 2002 en el **amb**, muestran la importancia y preocupación por parte de la empresa de tener un control adecuado del sistema general, el cual debe incrementarse en la implementación de nuevas tecnologías. Por lo que se recomienda que no sea un obstáculo de carácter económico o de prestigio sino que se muestre, el objetivo principal que es el de contar con mediciones en tiempo real de los diferentes sectores de la ciudad. integrando así, estos nuevos equipos al sistema SCADA.

BIBLIOGRAFÍA

- Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, amb , S.A ESP, *Informe Anual Gestión y resultados*, 2005
- Autodesk Inc, *User´s Guide of AutoCad Land Development Desktop* (Release 2), Autodesk Inc, 1999
- Centro de Investigaciones en Acueducto y Alcantartillados CIACUA, *Curso de divulgación Generación de Modelos Hidráulicos*, Universidad de los Andes, 2005
- Consorcio INGETEC S.A y ETA S.A, *Estudios de factibilidad y diseños definitivos para la ampliación del acueducto metropolitano de Bucaramanga*, 1996-1998.
- Grupo de Aguas de Valencia, España. *Manual del Usuario EPANET 2.0 en Español*, Julio 2002
- Guzmán, Jorge A. *Spell Stat*. No publicado, 2003
- Haestad Methods Inc, *User´s guide water cad for windows*, versión 5, 1986-2000.
- http://en.wikipedia.org/wiki/Nash-Sutcliffe_efficiency_coefficient
- http://en.wikipedia.org/wiki/Mean_squared_error

-
- Manual Técnico FLOWTITE, *Tuberías y accesorios de Fibra de Vidrio*. Medellín.
 - Manual Técnico PAMCOL, *Tuberías y accesorios de Hierro Dúctil para el agua*. Bucaramanga.
 - Manual Técnico PAVCO, *Tuberías y accesorios de PVC y polietileno para conducción de agua potable*. Bucaramanga.
 - Convenio Universidad de los Andes y el **amb**, *Metodología de Planos Óptimos de Presiones y Reducción de Agua No Contabilizada*, Informe Final, Bogotá, Octubre 2006
 - Saldarriaga V. Juan G., *Hidráulica de tuberías seminario/taller diseño de acueductos de alta tecnología*, Edición Especial Editorial Mc Graw-Hill, Santa fé de Bogotá, 1998.
 - Streeter Victor L., *Mecánica de Fluidos*, Novena Edición, Editorial Mc Graw-Hill, Santa fe de Bogotá, 2000.

ANEXOS

ANEXO A

Tabla A 1. Valor del suministro e instalación del metro lineal de tuberías PVC RDE 32,5, Polietileno (PE100) y Fibra de Vidrio para presiones de 0-10 Bar

DIAMETRO	Ø= 2 pulg	Ø= 3 pulg	Ø= 4 pulg	Ø= 6 pulg	Ø= 8 pulg	Ø= 10 pulg	Ø= 12 pulg	Ø= 14 pulg	Ø= 16 pulg	Ø= 18 pulg	Ø= 20 pulg	Ø= 24 pulg	Ø= 28 pulg	Ø= 32 pulg
CONCEPTO	50 (mm)	80 (mm)	100 (mm)	150 (mm)	200 (mm)	250 (mm)	300 (mm)	350 (mm)	400 (mm)	450 (mm)	(500 mm)	(600 mm)	(700 mm)	(800 mm)
EXCAVACIÓN	\$ 6,114.00	\$ 6,380.00	\$ 7,975.00	\$ 8,294.00	\$ 10,048.00	\$ 10,420.00	\$ 12,334.00	\$ 13,557.00	\$ 14,009.00	\$ 17,013.00	\$ 17,544.00	\$ 20,469.00	\$ 23,805.00	\$ 26,955.00
RELLENO	\$ 6,286.00	\$ 6,560.00	\$ 8,200.00	\$ 8,528.00	\$ 10,332.00	\$ 10,714.00	\$ 12,682.00	\$ 13,940.00	\$ 14,404.00	\$ 17,493.00	\$ 18,039.00	\$ 21,046.00	\$ 24,604.00	\$ 28,095.00
PVC Transporte Local de tubería		\$ 256.41	\$ 418.12	\$ 983.61	\$ 1,621.62	\$ 2,352.94	\$ 3,636.36	\$ 3,636.36	\$ 5,454.55	\$ 6,666.67	\$ 10,909.09			
Manejo y descargue de tubería		\$ 221.52	\$ 221.52	\$ 221.52	\$ 221.52	\$ 221.52	\$ 443.04	\$ 443.04	\$ 443.04	\$ 664.56	\$ 886.08			
Instalación de tubería		\$ 2,300.00	\$ 2,500.00	\$ 3,000.00	\$ 3,500.00	\$ 4,700.00	\$ 6,000.00	\$ 7,200.00	\$ 9,000.00	\$ 11,000.00	\$ 13,700.00			
Instalación de accesorios (10%)		\$ 230.00	\$ 250.00	\$ 300.00	\$ 350.00	\$ 470.00	\$ 600.00	\$ 720.00	\$ 900.00	\$ 1,100.00	\$ 1,370.00			
P.E Transporte Local de tubería	\$ 129.87	\$ 266.08	\$ 398.67	\$ 827.59	\$ 1,304.35	\$ 2,105.26								
Manejo y descargue de tubería	\$ 221.52	\$ 221.52	\$ 221.52	\$ 221.52	\$ 221.52	\$ 221.52								
Instalación de tubería	\$ 1,600.00	\$ 1,800.00	\$ 2,000.00	\$ 2,500.00	\$ 2,800.00	\$ 3,800.00								
Instalación de accesorios (10%)	\$ 160.00	\$ 180.00	\$ 200.00	\$ 250.00	\$ 280.00	\$ 380.00								
GRP Transporte de tubería							\$ 18,636.36	\$ 20,454.55	\$ 21,666.67	\$ 21,666.67	\$ 25,909.09	\$ 25,909.09	\$ 30,000.00	\$ 39,000.00
Manejo y descargue de tubería							\$ 221.52	\$ 221.52	\$ 443.04	\$ 443.04	\$ 443.04	\$ 664.56	\$ 886.08	\$ 1,107.80
Instalación de tubería							\$ 9,600.00	\$ 12,000.00	\$ 15,000.00	\$ 19,000.00	\$ 24,000.00	\$ 38,000.00	\$ 60,000.00	\$ 95,000.00
Instalación de accesorios (10%)							\$ 960.00	\$ 1,200.00	\$ 1,500.00	\$ 1,900.00	\$ 2,400.00	\$ 3,800.00	\$ 6,000.00	\$ 9,500.00
SUBTOTAL INSTALACIÓN PVC		\$ 3,007.93	\$ 3,389.64	\$ 4,505.13	\$ 5,693.14	\$ 7,744.46	\$ 10,679.41	\$ 11,999.41	\$ 15,797.59	\$ 19,431.23	\$ 26,865.17			
SUBTOTAL INSTALACIÓN P.E	\$ 2,111.39	\$ 2,467.60	\$ 2,820.19	\$ 3,799.11	\$ 4,605.87	\$ 6,506.78								
SUBTOTAL INSTALACIÓN GRP							\$ 29,417.88	\$ 33,876.07	\$ 38,609.71	\$ 43,009.71	\$ 52,752.13	\$ 68,373.65	\$ 96,886.08	\$ 144,607.60
Herramientas menores (5% M.O. excav. y relleno)	\$ 620.00	\$ 647.00	\$ 809.00	\$ 841.00	\$ 1,019.00	\$ 1,057.00	\$ 1,251.00	\$ 1,375.00	\$ 1,421.00	\$ 1,725.00	\$ 1,779.00	\$ 2,076.00	\$ 2,410.00	\$ 2,753.00
Señalización (5% M.O. Excav.)	\$ 306.00	\$ 319.00	\$ 399.00	\$ 415.00	\$ 502.00	\$ 521.00	\$ 617.00	\$ 678.00	\$ 700.00	\$ 851.00	\$ 877.00	\$ 1,023.00	\$ 1,180.00	\$ 1,348.00
SUBTOTAL MANO DE OBRA PVC	\$ 16,913.93	\$ 20,772.64	\$ 22,583.13	\$ 27,594.14	\$ 30,456.46	\$ 37,563.41	\$ 41,549.41	\$ 46,331.59	\$ 56,513.23	\$ 65,104.17				
SUBTOTAL MANO DE OBRA P.E	\$ 15,437.39	\$ 16,373.60	\$ 20,203.19	\$ 21,877.11	\$ 26,506.87	\$ 29,218.78								
SUBTOTAL MANO DE OBRA GRP							\$ 56,301.88	\$ 63,426.07	\$ 69,143.71	\$ 80,091.71	\$ 90,991.13	\$ 112,987.65	\$ 148,685.08	\$ 203,758.60
Corte de Pavimentos con Maquina	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00
Rotura de Pavimentos	\$ 3,423.00	\$ 3,423.00	\$ 4,107.00	\$ 4,107.00	\$ 4,792.00	\$ 4,792.00	\$ 5,477.00	\$ 5,819.00	\$ 5,819.00	\$ 6,846.00	\$ 6,846.00	\$ 7,530.00	\$ 8,215.00	\$ 8,899.00
Reparación de Pavimentos	\$ 24,676.00	\$ 24,676.00	\$ 31,473.00	\$ 31,473.00	\$ 38,890.00	\$ 38,890.00	\$ 46,927.00	\$ 51,179.00	\$ 51,179.00	\$ 64,864.00	\$ 64,864.00	\$ 74,763.00	\$ 85,283.00	\$ 96,423.00
SUBTOTAL PAVIMENTO	\$ 36,499.00	\$ 36,499.00	\$ 43,980.00	\$ 43,980.00	\$ 52,082.00	\$ 52,082.00	\$ 60,804.00	\$ 65,398.00	\$ 65,398.00	\$ 80,110.00	\$ 80,110.00	\$ 90,693.00	\$ 101,898.00	\$ 113,722.00
VALOR TUBERÍA POR METRO LINEAL														
PVC RDE 32.5 PN 9		\$ 7,116.00	\$ 16,466.00	\$ 34,295.00	\$ 58,009.00	\$ 91,159.00	\$ 127,667.00	\$ 172,560.00	\$ 226,821.00	\$ 292,692.00	\$ 361,059.00			
PE (POLIETILENO) PN 10	\$ 5,220.00	\$ 10,506.00	\$ 15,738.00	\$ 32,946.00	\$ 51,602.00	\$ 106,360.00								
FIBRA DE VIDRIO GRP PN 10							\$ 77,301.00	\$ 98,336.00	\$ 121,193.00	\$ 146,136.00	\$ 173,813.00	\$ 225,585.00	\$ 295,007.00	\$ 369,682.00
TOTAL TUBERÍA Y ACCESORIOS (10% TUBERÍA)														
PVC RDE 32.5 PN 9		\$ 7,828.00	\$ 18,113.00	\$ 37,725.00	\$ 63,810.00	\$ 100,275.00	\$ 140,434.00	\$ 189,816.00	\$ 249,503.00	\$ 321,961.00	\$ 397,165.00			
P.E. (POLIETILENO) PN 10	\$ 5,742.00	\$ 11,557.00	\$ 17,312.00	\$ 36,241.00	\$ 56,762.00	\$ 116,996.00								
FIBRA DE VIDRIO GRP (Incluye Acoples) PN 10							\$ 101,322.00	\$ 127,044.00	\$ 154,081.00	\$ 183,589.00	\$ 216,427.00	\$ 292,405.00	\$ 376,331.00	\$ 467,261.00
TOTAL OBRA CON PAVIMENTO														
PVC RDE 32.5 PN 9		\$ 61,241/m	\$ 82,866/m	\$ 104,288/m	\$ 143,486/m	\$ 182,813/m	\$ 238,801/m	\$ 296,763/m	\$ 361,233/m	\$ 458,584/m	\$ 542,379/m			
P.E.(POLIETILENO) PN 10	\$ 57,678/m	\$ 64,430/m	\$ 81,495/m	\$ 102,098/m	\$ 135,351/m									
FIBRA DE VIDRIO GRP PN 10							\$ 218,428/m	\$ 255,868/m	\$ 288,623/m	\$ 343,791/m	\$ 387,528/m	\$ 496,086/m	\$ 626,914/m	\$ 784,742/m
TOTAL OBRA SIN PAVIMENTO														
PVC RDE 32.5 PN 9		\$ 24,742/m	\$ 38,886/m	\$ 60,308/m	\$ 91,404/m	\$ 130,731/m	\$ 177,997/m	\$ 231,365/m	\$ 295,835/m	\$ 378,474/m	\$ 462,269/m			
P.E.(POLIETILENO) PN 10	\$ 21,179/m	\$ 27,931/m	\$ 37,515/m	\$ 58,118/m	\$ 83,269/m									
FIBRA DE VIDRIO PN 10							\$ 157,624/m	\$ 190,470/m	\$ 223,225/m	\$ 263,681/m	\$ 307,418/m	\$ 405,393/m	\$ 525,016/m	\$ 671,020/m

Tabla A 2. Valor del suministro e instalación del metro lineal de tuberías PVC RDE 21, PVC Biaxial, Polietileno (PE100) y Fibra de Vidrio para presiones de 10-20 Bar

DIAMETRO	Ø= 2 pulg	Ø= 3 pulg	Ø= 4 pulg	Ø= 6 pulg	Ø= 8 pulg	Ø= 10 pulg	Ø= 12 pulg	Ø= 14 pulg	Ø= 16 pulg	Ø= 18 pulg	Ø= 20 pulg	Ø= 24 pulg	Ø= 28 pulg	Ø= 32 pulg
CONCEPTO	50 (mm)	80 (mm)	100 (mm)	150 (mm)	200 (mm)	250 (mm)	300 (mm)	350 (mm)	400 (mm)	450 (mm)	500 (mm)	600 (mm)	700 (mm)	800 (mm)
EXCAVACIÓN	\$ 6.114,00	\$ 6.380,00	\$ 7.975,00	\$ 8.294,00	\$ 10.048,00	\$ 10.420,00	\$ 12.334,00	\$ 13.557,00	\$ 14.009,00	\$ 17.013,00	\$ 17.544,00	\$ 20.469,00	\$ 23.605,00	\$ 26.955,00
RELLENO	\$ 6.286,00	\$ 6.560,00	\$ 8.200,00	\$ 8.528,00	\$ 10.332,00	\$ 10.714,00	\$ 12.682,00	\$ 13.940,00	\$ 14.404,00	\$ 17.493,00	\$ 18.039,00	\$ 21.046,00	\$ 24.604,00	\$ 28.095,00
PVC														
Transporte Local de tubería	\$ 118,46	\$ 256,41	\$ 418,12	\$ 983,61	\$ 1.621,62	\$ 2.352,94	\$ 3.636,36	\$ 3.636,36	\$ 5.454,55	\$ 6.666,67	\$ 10.909,09			
Manejo y descargue de tubería	\$ 221,52	\$ 221,52	\$ 221,52	\$ 221,52	\$ 221,52	\$ 443,04	\$ 443,04	\$ 664,56	\$ 664,56	\$ 886,08	\$ 1.107,60			
Instalación de tubería	\$ 2.000,00	\$ 2.300,00	\$ 2.500,00	\$ 3.000,00	\$ 3.500,00	\$ 4.700,00	\$ 6.000,00	\$ 7.200,00	\$ 9.000,00	\$ 11.000,00	\$ 13.700,00			
Instalación de accesorios (10%)	\$ 200,00	\$ 230,00	\$ 250,00	\$ 300,00	\$ 350,00	\$ 470,00	\$ 600,00	\$ 720,00	\$ 900,00	\$ 1.100,00	\$ 1.370,00			
PVC BIAxIAL														
Transporte Local de tubería			\$ 418,12	\$ 983,61	\$ 1.621,62	\$ 2.352,94	\$ 3.636,36							
Manejo y descargue de tubería			\$ 221,52	\$ 221,52	\$ 221,52	\$ 221,52	\$ 221,52							
Instalación de tubería			\$ 2.500,00	\$ 3.000,00	\$ 3.500,00	\$ 4.700,00	\$ 6.000,00							
Instalación de accesorios (10%)			\$ 250,00	\$ 300,00	\$ 350,00	\$ 470,00	\$ 600,00							
P.E														
Transporte Local de tubería	\$ 129,87	\$ 266,08	\$ 398,67	\$ 827,59	\$ 1.304,35	\$ 2.105,26								
Manejo y descargue de tubería	\$ 221,52	\$ 221,52	\$ 221,52	\$ 221,52	\$ 221,52	\$ 443,04								
Instalación de tubería	\$ 1.600,00	\$ 1.800,00	\$ 2.000,00	\$ 2.500,00	\$ 2.800,00	\$ 3.800,00								
Instalación de accesorios (10%)	\$ 160,00	\$ 180,00	\$ 200,00	\$ 250,00	\$ 280,00	\$ 380,00								
GRP														
Transporte de tubería							\$ 18.636,36	\$ 20.454,55	\$ 21.666,67	\$ 21.666,67	\$ 25.909,09	\$ 25.909,09	\$ 30.000,00	\$ 39.000,00
Manejo y descargue de tubería							\$ 18.857,88	\$ 20.676,07	\$ 22.109,71	\$ 22.109,71	\$ 26.352,13	\$ 26.573,65	\$ 30.886,08	\$ 40.107,60
Instalación de tubería							\$ 9.600,00	\$ 12.000,00	\$ 15.000,00	\$ 19.000,00	\$ 24.000,00	\$ 38.000,00	\$ 60.000,00	\$ 95.000,00
Instalación de accesorios (10%)							\$ 960,00	\$ 1.200,00	\$ 1.500,00	\$ 1.900,00	\$ 2.400,00	\$ 3.800,00	\$ 6.000,00	\$ 9.500,00
SUBTOTAL INSTALACIÓN PVC	\$ 2.539,98	\$ 3.007,93	\$ 3.389,64	\$ 4.505,13	\$ 5.693,14	\$ 7.965,98	\$ 10.679,41	\$ 12.220,93	\$ 16.019,11	\$ 19.652,75	\$ 27.086,70			
SUBTOTAL INSTALACIÓN PVC BIAxIAL			\$ 3.389,64	\$ 4.505,13	\$ 5.693,14	\$ 7.965,98	\$ 10.679,41	\$ 12.220,93	\$ 16.019,11	\$ 19.652,75	\$ 27.086,70			
SUBTOTAL INSTALACIÓN P.E	\$ 2.111,39	\$ 2.467,60	\$ 2.820,19	\$ 3.799,11	\$ 4.605,87	\$ 6.728,30								
SUBTOTAL INSTALACIÓN GRP							\$ 48.054,25	\$ 54.330,61	\$ 60.276,38	\$ 64.676,38	\$ 78.661,22	\$ 94.282,74	\$ 126.886,08	\$ 183.607,60
Herramientas menores (5% M.O. excav. y relleno)	\$ 620,00	\$ 647,00	\$ 809,00	\$ 841,00	\$ 1.019,00	\$ 1.057,00	\$ 1.251,00	\$ 1.375,00	\$ 1.421,00	\$ 1.725,00	\$ 1.779,00	\$ 2.076,00	\$ 2.410,00	\$ 2.753,00
Señalización (5% M.O. Excav.)	\$ 306,00	\$ 319,00	\$ 399,00	\$ 415,00	\$ 502,00	\$ 521,00	\$ 617,00	\$ 678,00	\$ 700,00	\$ 851,00	\$ 877,00	\$ 1.023,00	\$ 1.180,00	\$ 1.348,00
SUBTOTAL MANDO DE OBRA PVC	\$ 15.865,98	\$ 16.913,93	\$ 20.772,64	\$ 22.583,13	\$ 27.594,14	\$ 30.677,98	\$ 37.563,41	\$ 41.770,93	\$ 46.553,11	\$ 56.734,75	\$ 65.325,70			
SUBTOTAL MANDO DE OBRA PVC BIAxIAL			\$ 20.772,64	\$ 22.583,13	\$ 27.594,14	\$ 30.677,98	\$ 37.563,41	\$ 41.770,93	\$ 46.553,11	\$ 56.734,75	\$ 65.325,70			
SUBTOTAL MANDO DE OBRA P.E	\$ 15.437,39	\$ 16.373,60	\$ 20.203,19	\$ 21.877,11	\$ 26.506,87	\$ 29.440,30								
SUBTOTAL MANDO DE OBRA GRP							\$ 74.938,25	\$ 83.880,61	\$ 90.810,38	\$ 101.758,38	\$ 116.900,22	\$ 138.896,74	\$ 178.685,08	\$ 242.758,60
Corte de Pavimentos con Maquina	\$ 8.400,00	\$ 8.400,00	\$ 8.400,00	\$ 8.400,00	\$ 8.400,00	\$ 8.400,00	\$ 8.400,00	\$ 8.400,00	\$ 8.400,00	\$ 8.400,00	\$ 8.400,00	\$ 8.400,00	\$ 8.400,00	\$ 8.400,00
Rotura de Pavimentos	\$ 3.423,00	\$ 3.423,00	\$ 4.107,00	\$ 4.107,00	\$ 4.792,00	\$ 4.792,00	\$ 5.477,00	\$ 5.819,00	\$ 5.819,00	\$ 6.846,00	\$ 6.846,00	\$ 7.530,00	\$ 8.215,00	\$ 8.899,00
Reparación de Pavimentos	\$ 24.676,00	\$ 24.676,00	\$ 31.473,00	\$ 31.473,00	\$ 38.890,00	\$ 38.890,00	\$ 46.927,00	\$ 51.179,00	\$ 51.179,00	\$ 64.864,00	\$ 64.864,00	\$ 74.763,00	\$ 85.283,00	\$ 96.423,00
SUBTOTAL PAVIMENTO	\$ 36.499,00	\$ 36.499,00	\$ 43.980,00	\$ 43.980,00	\$ 52.082,00	\$ 52.082,00	\$ 60.804,00	\$ 65.398,00	\$ 65.398,00	\$ 80.110,00	\$ 80.110,00	\$ 90.693,00	\$ 101.898,00	\$ 113.722,00
VALOR TUBERÍA POR METRO LINEAL														
PVC RDE 21 PN 14	\$ 4.977,00	\$ 10.198,00	\$ 16.827,00	\$ 36.525,00	\$ 61.904,00	\$ 95.796,00	\$ 134.740,00	\$ 182.649,00	\$ 239.731,00	\$ 303.890,00	\$ 365.011,00			
PVC BIAxIAL PN 14			\$ 18.501,00	\$ 40.157,00	\$ 68.123,00	\$ 105.381,00	\$ 148.182,00							
P.E. (POLIETILENO) PN 16	\$ 7.650,00	\$ 15.507,00	\$ 23.088,00	\$ 48.951,00	\$ 76.288,00	\$ 157.674,00								
FIBRA DE VIDRIO GRP PN 16							\$ 58.570,00	\$ 75.112,00	\$ 93.040,00	\$ 114.054,00	\$ 135.291,00	\$ 172.743,00	\$ 218.961,00	\$ 272.260,00
TOTAL TUBERÍA Y ACCESORIOS (10% TUBERÍA)														
PVC RDE 21 PN 14	\$ 5.475,00	\$ 11.218,00	\$ 18.510,00	\$ 40.178,00	\$ 68.094,00	\$ 105.376,00	\$ 148.214,00	\$ 200.914,00	\$ 263.704,00	\$ 334.279,00	\$ 401.512,00			
PVC BIAxIAL PN 14			\$ 20.351,00	\$ 44.173,00	\$ 74.935,00	\$ 115.919,00	\$ 163.000,00							
P.E. (POLIETILENO) PN 16	\$ 8.415,00	\$ 17.058,00	\$ 25.397,00	\$ 53.846,00	\$ 83.917,00	\$ 173.441,00								
FIBRA DE VIDRIO GRP (Incluye Acoples) PN 16							\$ 81.210,00	\$ 102.115,00	\$ 123.899,00	\$ 149.282,00	\$ 174.926,00	\$ 235.938,00	\$ 296.762,00	\$ 365.941,00
TOTAL OBRA DGN PAVIMENTO														
PVC RDE 21 PN 14	\$ 57,840/m	\$ 64,631/m	\$ 83,263/m	\$ 106,741/m	\$ 147,770/m	\$ 188,136/m	\$ 246,581/m	\$ 308,083/m	\$ 375,655/m	\$ 471,124/m	\$ 546,948/m			
PVC BIAxIAL PN 14			\$ 85,104/m	\$ 110,736/m	\$ 154,811/m	\$ 198,457/m	\$ 281,146/m							
P.E. (POLIETILENO) PN 16	\$ 60,351/m	\$ 69,931/m	\$ 89,580/m	\$ 119,703/m	\$ 162,506/m	\$ 254,963/m								
FIBRA DE VIDRIO GRP PN 16							\$ 216,952/m	\$ 251,394/m	\$ 280,107/m	\$ 331,150/m	\$ 371,936/m	\$ 465,528/m	\$ 577,345/m	\$ 722,422/m
TOTAL OBRA BIN PAVIMENTO														
PVC RDE 21 PN 14	\$ 21,341/m	\$ 28,132/m	\$ 39,283/m	\$ 62,761/m	\$ 95,688/m	\$ 136,054/m	\$ 185,777/m	\$ 242,685/m	\$ 310,257/m	\$ 391,014/m	\$ 466,838/m			
PVC BIAxIAL PN 14			\$ 41,124/m	\$ 66,756/m	\$ 102,529/m	\$ 146,375/m	\$ 200,342/m							
P.E. (POLIETILENO) PN 16	\$ 23,852/m	\$ 33,432/m	\$ 45,600/m	\$ 75,723/m	\$ 110,424/m	\$ 202,881/m								
FIBRA DE VIDRIO PN 16							\$ 156,148/m	\$ 185,996/m	\$ 214,709/m	\$ 251,040/m	\$ 291,826/m	\$ 374,835/m	\$ 475,447/m	\$ 608,700/m

Tabla A 3. Valor del suministro e instalación del metro lineal de tuberías PVC, Hierro Dúctil y Fibra de Vidrio para presiones de 20-26 Bar

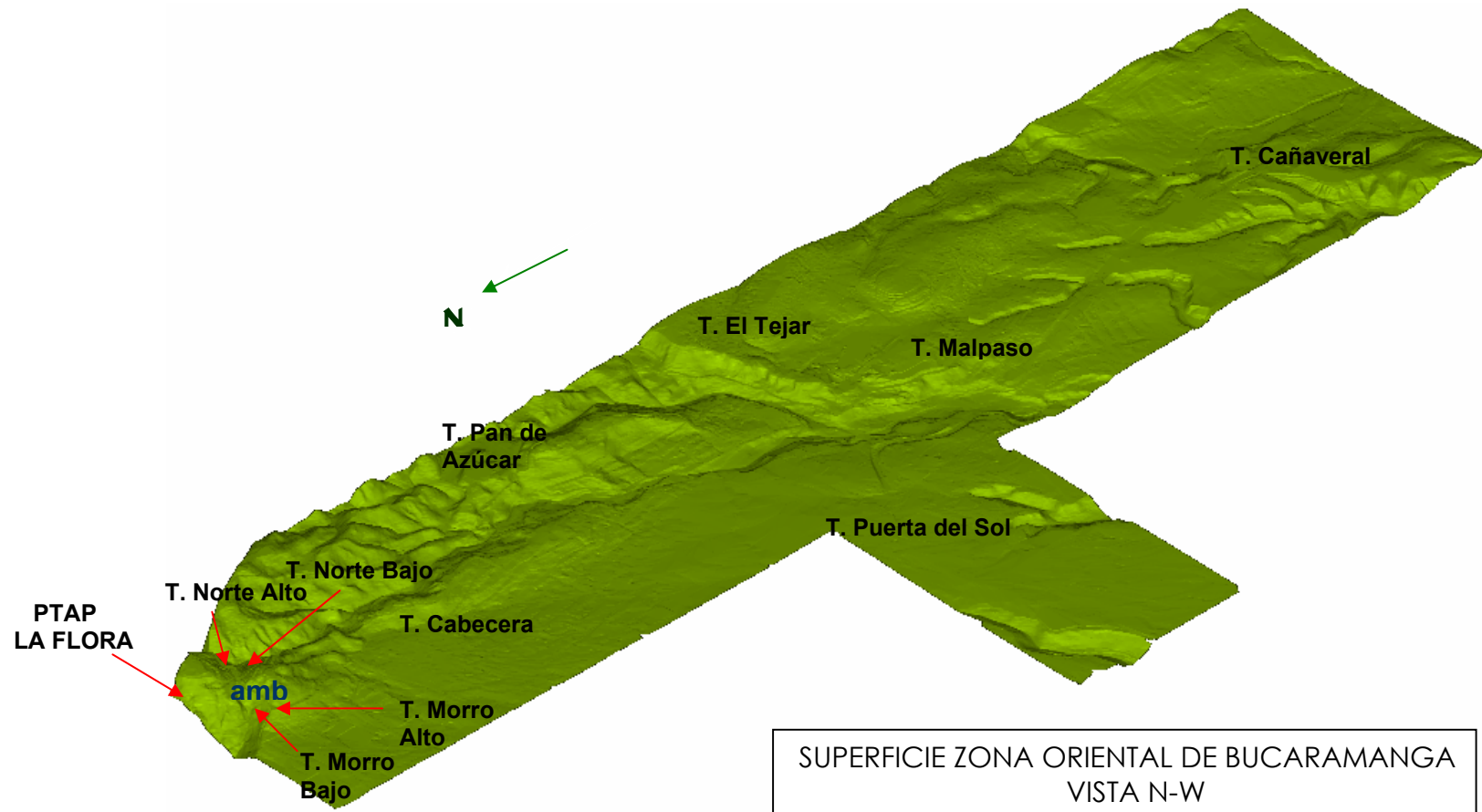
DIAMETRO	Ø= 2 pulg	Ø= 3 pulg	Ø= 4 pulg	Ø= 6 pulg	Ø= 8 pulg	Ø= 10 pulg	Ø= 12 pulg	Ø= 14 pulg	Ø= 16 pulg	Ø= 18 pulg	Ø= 20 pulg	Ø= 24 pulg	Ø= 28 pulg	Ø= 32 pulg
CONCEPTO	50 (mm)	80 (mm)	100 (mm)	150 (mm)	200 (mm)	250 (mm)	300 (mm)	350 (mm)	400 (mm)	450 (mm)	500 (mm)	600 (mm)	700 (mm)	800 (mm)
EXCAVACIÓN	\$ 6,114.00	\$ 6,380.00	\$ 7,975.00	\$ 8,294.00	\$ 10,048.00	\$ 10,420.00	\$ 12,334.00	\$ 13,557.00	\$ 14,009.00	\$ 17,013.00	\$ 17,544.00	\$ 20,469.00	\$ 23,605.00	\$ 26,955.00
RELLENO	\$ 6,286.00	\$ 6,560.00	\$ 8,200.00	\$ 8,528.00	\$ 10,332.00	\$ 10,714.00	\$ 12,682.00	\$ 13,940.00	\$ 14,404.00	\$ 17,493.00	\$ 18,039.00	\$ 21,046.00	\$ 24,604.00	\$ 28,095.00
PVC														
Transporte Local de tubería		\$ 256.41	\$ 418.12	\$ 983.61	\$ 1,621.62									
Manejo y descargue de tubería		\$ 221.52	\$ 221.52	\$ 221.52	\$ 443.04									
Instalación de tubería		\$ 2,300.00	\$ 2,500.00	\$ 3,000.00	\$ 3,500.00									
Instalación de accesorios (10%)		\$ 230.00	\$ 250.00	\$ 300.00	\$ 350.00									
HD														
Transporte Local de tubería											\$ 15,000.00	\$ 17,142.86	\$ 40,000.00	
Manejo y descargue de tubería											\$ 2,658.25	\$ 3,322.81	\$ 3,987.38	
Instalación de tubería											\$ 47,400.00	\$ 75,000.00	\$ 119,000.00	
Instalación de accesorios (10%)											\$ 4,740.00	\$ 7,500.00	\$ 11,900.00	
GRP														
Transporte de tubería							\$ 18,636.36	\$ 20,454.55	\$ 21,666.67	\$ 21,666.67	\$ 25,909.09	\$ 25,909.09	\$ 30,000.00	\$ 39,000.00
Manejo y descargue de tubería							\$ 221.52	\$ 221.52	\$ 443.04	\$ 443.04	\$ 443.04	\$ 664.56	\$ 886.08	\$ 1,107.60
Instalación de tubería							\$ 9,600.00	\$ 12,000.00	\$ 15,000.00	\$ 19,000.00	\$ 24,000.00	\$ 38,000.00	\$ 60,000.00	\$ 95,000.00
Instalación de accesorios (10%)							\$ 960.00	\$ 1,200.00	\$ 1,500.00	\$ 1,900.00	\$ 2,400.00	\$ 3,800.00	\$ 6,000.00	\$ 9,500.00
SUBTOTAL INSTALACIÓN PVC		\$ 3,007.93	\$ 3,389.64	\$ 4,505.13	\$ 5,914.66									
SUBTOTAL INSTALACIÓN HD												\$ 69,798.25	\$ 102,965.67	\$ 174,887.38
SUBTOTAL INSTALACIÓN GRP							\$ 29,417.88	\$ 33,876.07	\$ 38,609.71	\$ 43,009.71	\$ 52,752.13	\$ 68,373.65	\$ 96,886.08	\$ 144,607.60
Herramientas menores (5% M.O. excav. y relleno)	\$ 620.00	\$ 647.00	\$ 809.00	\$ 841.00	\$ 1,019.00	\$ 1,057.00	\$ 1,251.00	\$ 1,375.00	\$ 1,421.00	\$ 1,725.00	\$ 1,779.00	\$ 2,076.00	\$ 2,410.00	\$ 2,753.00
Señalización (5% M.O. Excav.)	\$ 306.00	\$ 319.00	\$ 399.00	\$ 415.00	\$ 502.00	\$ 521.00	\$ 617.00	\$ 678.00	\$ 700.00	\$ 851.00	\$ 877.00	\$ 1,023.00	\$ 1,180.00	\$ 1,348.00
SUBTOTAL MAND DE OBRA PVC		\$ 16,913.93	\$ 20,772.64	\$ 22,583.13	\$ 27,815.66									
SUBTOTAL MAND DE OBRA HD												\$ 114,412.25	\$ 154,764.67	\$ 234,038.38
SUBTOTAL MAND DE OBRA GRP							\$ 56,301.88	\$ 63,426.07	\$ 69,143.71	\$ 80,091.71	\$ 90,991.13	\$ 112,987.65	\$ 148,685.08	\$ 203,758.60
Pavimentos														
Corte de Pavimentos con Maquina	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00
Rotura de Pavimentos	\$ 3,423.00	\$ 3,423.00	\$ 4,107.00	\$ 4,107.00	\$ 4,792.00	\$ 4,792.00	\$ 5,477.00	\$ 5,819.00	\$ 5,819.00	\$ 6,846.00	\$ 6,846.00	\$ 7,530.00	\$ 8,215.00	\$ 8,899.00
Reparación de Pavimentos	\$ 24,676.00	\$ 24,676.00	\$ 31,473.00	\$ 31,473.00	\$ 38,890.00	\$ 38,890.00	\$ 46,927.00	\$ 51,179.00	\$ 51,179.00	\$ 64,864.00	\$ 64,864.00	\$ 74,763.00	\$ 85,283.00	\$ 96,423.00
SUBTOTAL PAVIMENTO	\$ 36,499.00	\$ 36,499.00	\$ 43,980.00	\$ 43,980.00	\$ 52,082.00	\$ 52,082.00	\$ 60,804.00	\$ 65,398.00	\$ 65,398.00	\$ 80,110.00	\$ 80,110.00	\$ 90,693.00	\$ 101,898.00	\$ 113,722.00
VALOR TUBERÍA POR METRO LINEAL														
PVC RDE 13.5 PN 22		\$ 24,641.00	\$ 40,343.00	\$ 87,010.00	\$ 147,459.00									
H.D. PN (23-26)											\$ 544,040.00	\$ 643,684.00	\$ 787,164.00	
FIBRA DE VIDRIO GRP PN 20							\$ 88,198.00	\$ 111,631.00	\$ 138,078.00	\$ 164,191.00	\$ 193,487.00	\$ 243,884.00	\$ 315,126.00	\$ 394,953.00
TOTAL TUBERÍA Y ACCESORIOS (10% TUBERÍA)														
PVC RDE 13.5 PN 22		\$ 27,105.00	\$ 44,377.00	\$ 95,711.00	\$ 162,205.00									
H.D. PN (23-26)											\$ 636,527.00	\$ 753,110.00	\$ 920,982.00	
FIBRA DE VIDRIO GRP (Incluye Acoples) PN 20							\$ 120,383.00	\$ 149,855.00	\$ 178,209.00	\$ 209,702.00	\$ 244,478.00	\$ 303,313.00	\$ 416,552.00	\$ 517,679.00
TOTAL OBRA CON PAVIMENTO														
P.V.C. RDE 13.5 PN 22		\$ 80,518/m	\$ 109,130/m	\$ 162,274/m	\$ 242,103/m									
H.D. PN (23-26)											\$ 797,018/m	\$ 1,073,939/m	\$ 1,355,683/m	
FIBRA DE VIDRIO GRP PN 20							\$ 237,489/m	\$ 278,679/m	\$ 312,751/m	\$ 369,904/m	\$ 415,579/m	\$ 506,994/m	\$ 667,135/m	\$ 835,160/m
TOTAL OBRA SIN PAVIMENTO														
P.V.C. RDE 13.5 PN 22		\$ 44,019/m	\$ 65,150/m	\$ 118,294/m	\$ 190,021/m									
H.D. PN (23-26)											\$ 750,939/m	\$ 907,875/m	\$ 1,155,020/m	
FIBRA DE VIDRIO GRP PN 20							\$ 176,685/m	\$ 213,281/m	\$ 247,353/m	\$ 289,794/m	\$ 335,469/m	\$ 416,301/m	\$ 565,237/m	\$ 721,438/m

Tabla A 4. Valor del suministro e instalación del metro lineal de tuberías PVC RDE 9 y Hierro dúctil para presiones >26 Bar

DIÁMETRO	Ø= 2 pulg	Ø= 3 pulg	Ø= 4 pulg	Ø= 6 pulg	Ø= 8 pulg	Ø= 10 pulg	Ø= 12 pulg	Ø= 14 pulg	Ø= 16 pulg	Ø= 18 pulg	Ø= 20 pulg	Ø= 24 pulg	Ø= 28 pulg	Ø= 32 pulg
CONCEPTO	50 (mm)	80 (mm)	100 (mm)	150 (mm)	200 (mm)	250 (mm)	300 (mm)	350 (mm)	400 (mm)	450 (mm)	500 (mm)	600 (mm)	700 (mm)	800 (mm)
EXCAVACIÓN	\$ 6,114.00	\$ 6,380.00	\$ 7,975.00	\$ 8,294.00	\$ 10,048.00	\$ 10,420.00	\$ 12,334.00	\$ 13,557.00	\$ 14,009.00	\$ 17,013.00	\$ 17,544.00	\$ 20,469.00	\$ 23,605.00	\$ 26,955.00
RELLENO	\$ 6,286.00	\$ 6,560.00	\$ 8,200.00	\$ 8,528.00	\$ 10,332.00	\$ 10,714.00	\$ 12,682.00	\$ 13,940.00	\$ 14,404.00	\$ 17,493.00	\$ 18,039.00	\$ 21,046.00	\$ 24,604.00	\$ 28,095.00
PVC														
Transporte Local de tubería		\$ 350.88	\$ 579.71	\$ 1,237.11	\$ 2,105.26									
Manejo y descargue de tubería		\$ 221.52	\$ 221.52	\$ 443.04	\$ 443.04									
Instalación de tubería		\$ 2,300.00	\$ 2,500.00	\$ 3,000.00	\$ 3,500.00									
Instalación de accesorios (10%)		\$ 230.00	\$ 250.00	\$ 300.00	\$ 350.00									
HD														
Transporte Local de tubería				\$ 2,448.98	\$ 3,243.24	\$ 4,137.93	\$ 5,000.00	\$ 6,000.00	\$ 7,058.82	\$ 8,571.43	\$ 10,909.09			
Manejo y descargue de tubería				\$ 664.56	\$ 664.56	\$ 886.08	\$ 1,107.60	\$ 1,329.13	\$ 1,550.65	\$ 1,772.17	\$ 1,993.69			
Instalación de tubería				\$ 6,000.00	\$ 7,600.00	\$ 9,500.00	\$ 12,000.00	\$ 15,000.00	\$ 19,000.00	\$ 24,000.00	\$ 30,000.00			
Instalación de accesorios (10%)				\$ 600.00	\$ 760.00	\$ 950.00	\$ 1,200.00	\$ 1,500.00	\$ 1,900.00	\$ 2,400.00	\$ 3,000.00			
SUBTOTAL INSTALACIÓN PVC		\$ 3,102.40	\$ 3,551.23	\$ 4,980.16	\$ 6,398.30									
SUBTOTAL INSTALACIÓN HD				\$ 9,713.54	\$ 12,267.81	\$ 15,474.01	\$ 19,307.60	\$ 23,829.13	\$ 29,509.47	\$ 36,743.60	\$ 45,902.78			
Herramientas menores (5% M.O. excav. y relleno)	\$ 620.00	\$ 647.00	\$ 809.00	\$ 841.00	\$ 1,019.00	\$ 1,057.00	\$ 1,251.00	\$ 1,375.00	\$ 1,421.00	\$ 1,725.00	\$ 1,779.00	\$ 2,076.00	\$ 2,410.00	\$ 2,753.00
Señalización (5% M.O. Excav.)	\$ 306.00	\$ 319.00	\$ 399.00	\$ 415.00	\$ 502.00	\$ 521.00	\$ 617.00	\$ 678.00	\$ 700.00	\$ 851.00	\$ 877.00	\$ 1,023.00	\$ 1,180.00	\$ 1,348.00
SUBTOTAL MANO DE OBRA PVC		\$ 17,008.40	\$ 20,934.23	\$ 23,058.16	\$ 28,299.30									
SUBTOTAL MANO DE OBRA HD				\$ 27,791.54	\$ 34,168.81	\$ 38,186.01	\$ 46,191.60	\$ 53,379.13	\$ 60,043.47	\$ 73,825.60	\$ 84,141.78			
Corte de Pavimentos con Maquina	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00
Rotura de Pavimentos	\$ 3,423.00	\$ 3,423.00	\$ 4,107.00	\$ 4,107.00	\$ 4,792.00	\$ 4,792.00	\$ 5,477.00	\$ 5,819.00	\$ 5,819.00	\$ 6,846.00	\$ 6,846.00	\$ 7,530.00	\$ 8,215.00	\$ 8,899.00
Reparación de Pavimentos	\$ 24,676.00	\$ 24,676.00	\$ 31,473.00	\$ 31,473.00	\$ 38,890.00	\$ 38,890.00	\$ 46,927.00	\$ 51,179.00	\$ 51,179.00	\$ 64,864.00	\$ 64,864.00	\$ 74,763.00	\$ 85,283.00	\$ 96,423.00
SUBTOTAL PAVIMENTO	\$ 36,499.00	\$ 36,499.00	\$ 43,980.00	\$ 43,980.00	\$ 52,082.00	\$ 52,082.00	\$ 60,804.00	\$ 65,398.00	\$ 65,398.00	\$ 80,110.00	\$ 80,110.00	\$ 90,693.00	\$ 101,898.00	\$ 113,722.00
VALOR TUBERÍA POR METRO LINEAL														
PVC RDE 9 PN 35		\$ 38,087.00	\$ 62,677.00	\$ 135,697.00	\$ 229,707.00									
H.D. PN (28-64)				\$ 109,156.00	\$ 138,416.00	\$ 167,852.00	\$ 198,824.00	\$ 263,320.00	\$ 310,648.00	\$ 361,920.00	\$ 416,440.00			
TOTAL TUBERÍA Y ACCESORIOS (10% TUBERÍA)														
PVC RDE 9 PN 35		\$ 52,370.00	\$ 86,181.00	\$ 186,583.00	\$ 315,847.00									
H.D. PN (28-64)				\$ 159,641.00	\$ 199,508.00	\$ 245,484.00	\$ 290,780.00	\$ 385,106.00	\$ 454,323.00	\$ 529,308.00	\$ 609,044.00			
TOTAL OBRA CON PAVIMENTO														
PVC RDE 9 PN 35		\$ 105,877/m	\$ 151,095/m	\$ 253,621/m	\$ 396,228/m									
H.D. PN (28-64)				\$ 187,433/m	\$ 233,677/m	\$ 283,670/m	\$ 336,972/m	\$ 438,485/m	\$ 514,366/m	\$ 603,134/m	\$ 693,186/m			
TOTAL OBRA SIN PAVIMENTO														
PVC RDE 9 PN 35		\$ 69,378/m	\$ 107,115/m	\$ 209,641/m	\$ 344,146/m									
H.D. PN (28-64)				\$ 187,433/m	\$ 233,677/m	\$ 283,670/m	\$ 336,972/m	\$ 438,485/m	\$ 514,366/m	\$ 603,134/m	\$ 693,186/m			

ANEXO B

Figura B 1. Superficie de la zona de estudio



ANEXO C

Figura C 1. Gráfica de Niveles del Tanque La Flora

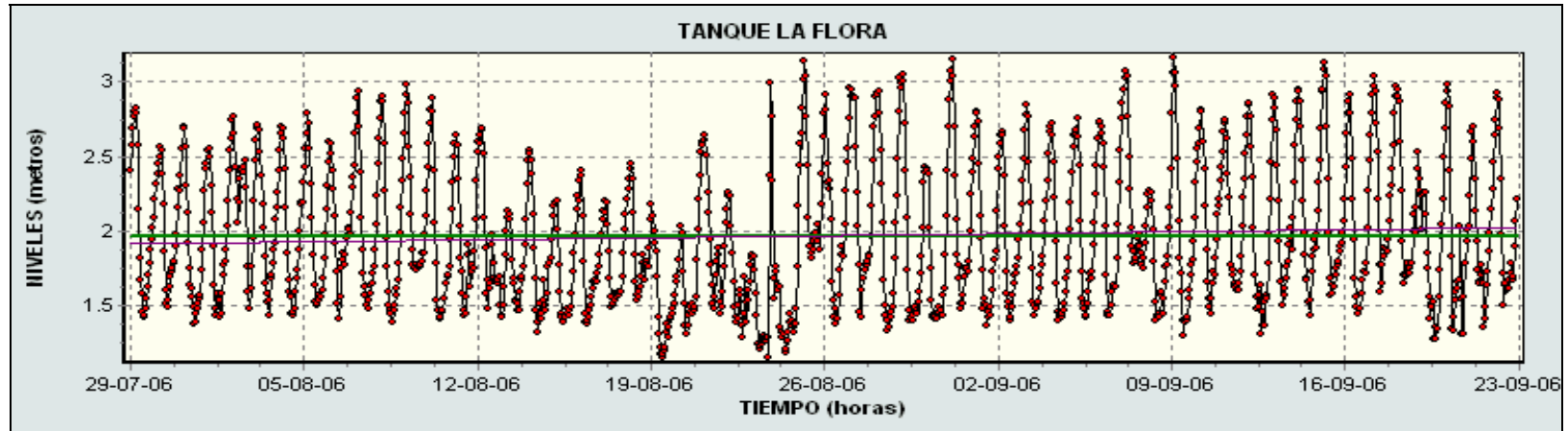


Figura C 2. Gráfica de Niveles del Tanque Norte Alto

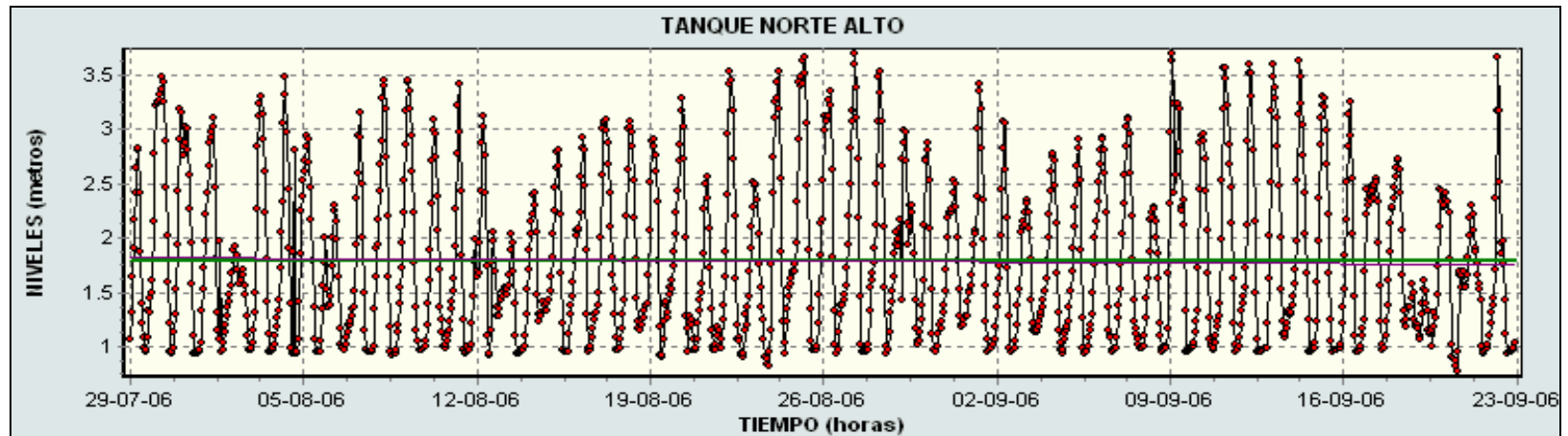


Figura C 3. Gráfica de Niveles del Tanque Norte Bajo

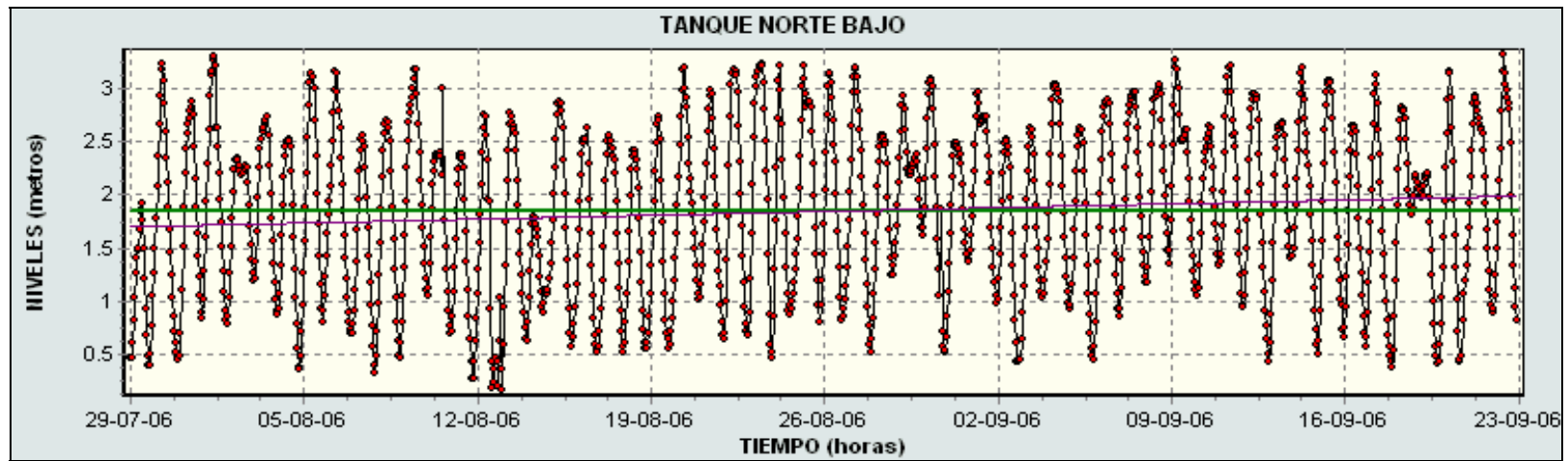


Figura C 4. Gráfica de Niveles del Tanque Morro Alto

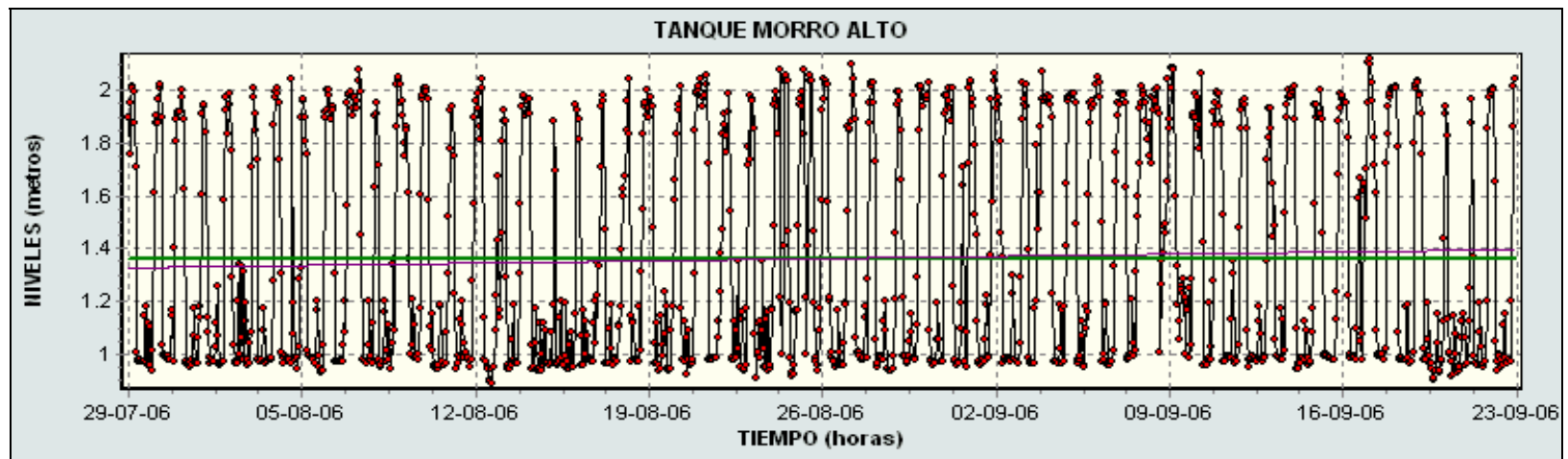


Figura C 5. Gráfica de Niveles del Tanque Morro Bajo

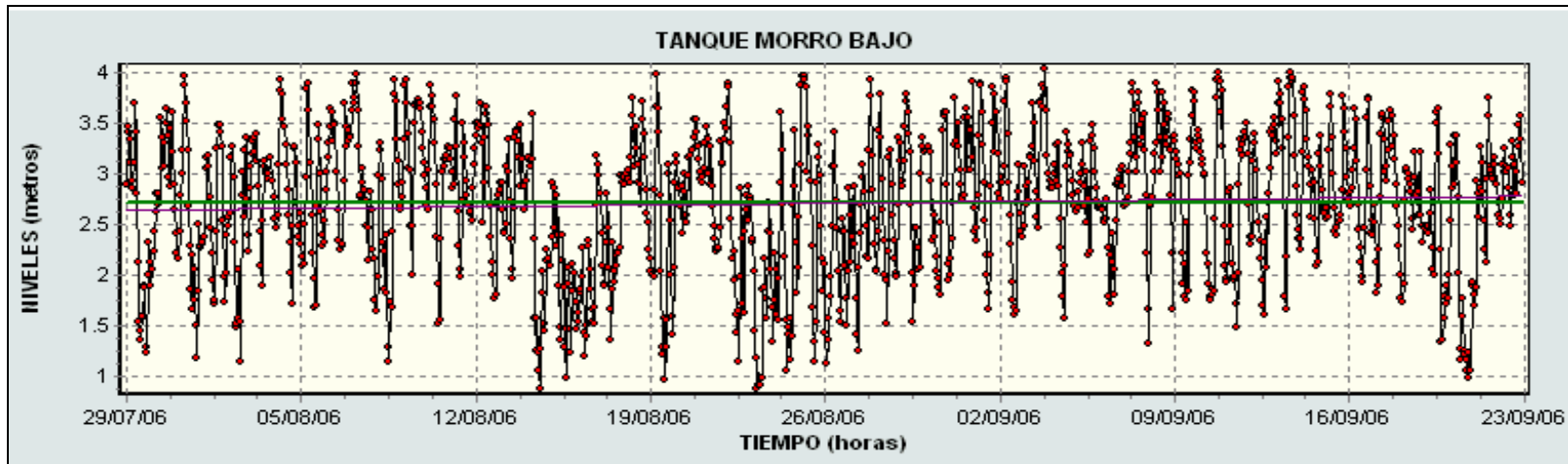


Figura C 6. Gráfica de Niveles del Tanque Puerta del Sol

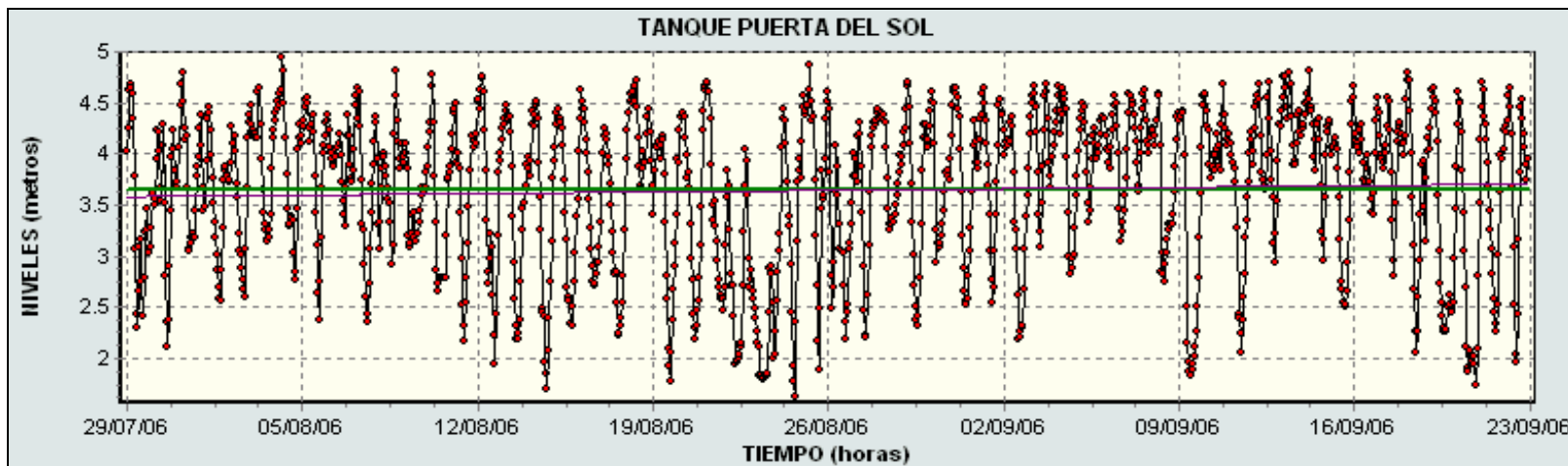


Figura C 7. Gráfica de Niveles del Tanque Malpaso

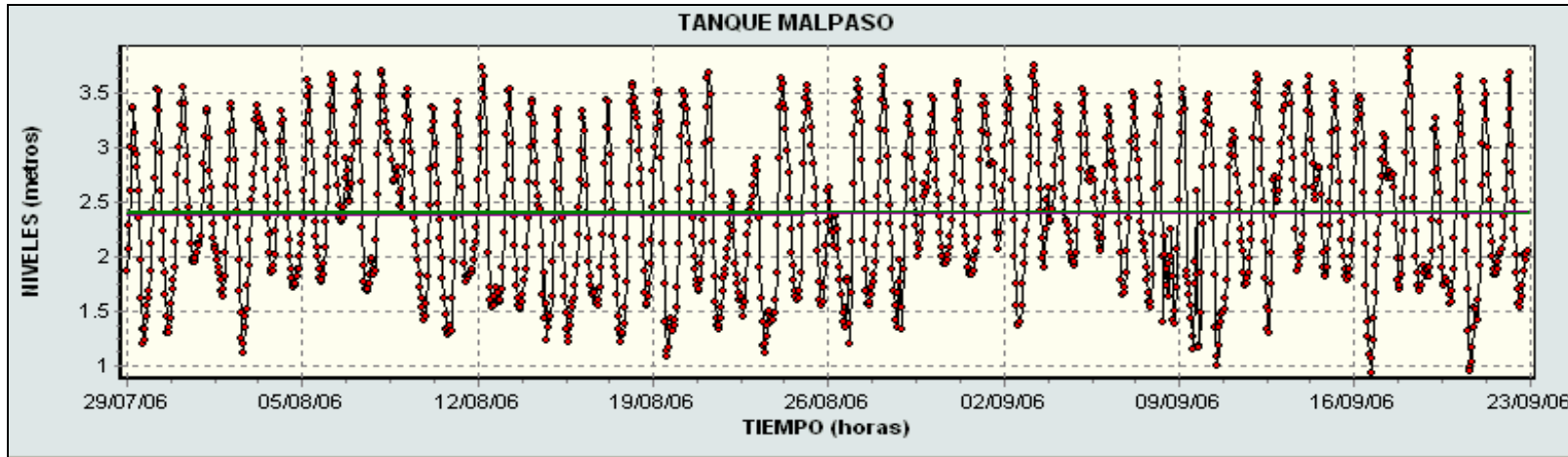


Figura C 8. Gráfica de Niveles del Tanque Pan de Azúcar

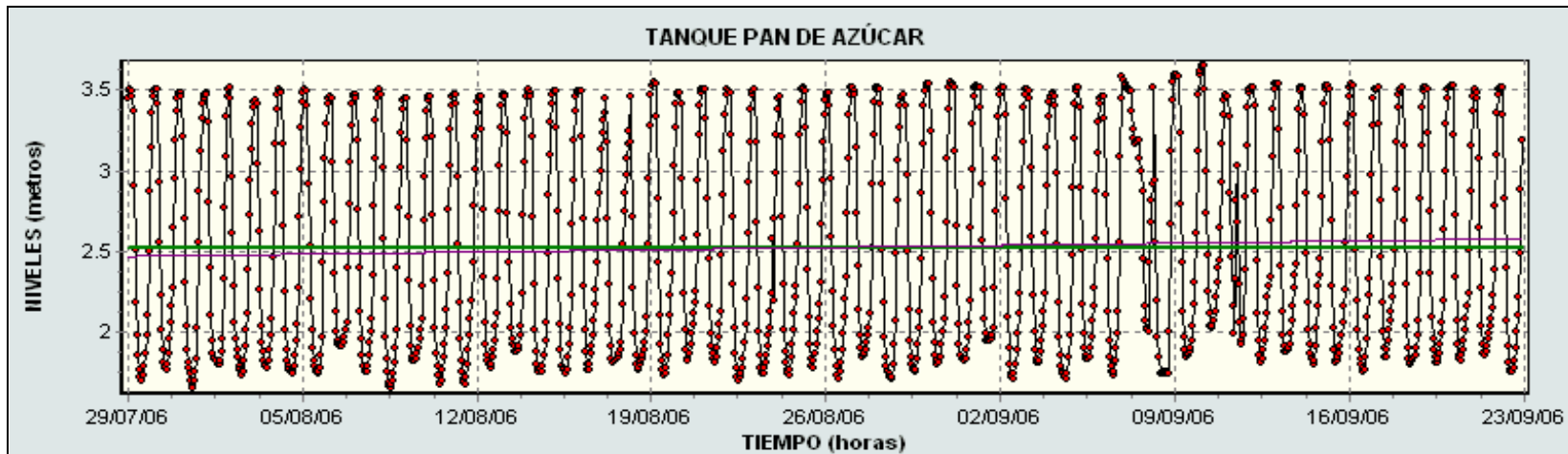


Figura C 9. Gráfica de Niveles del Tanque Tejar

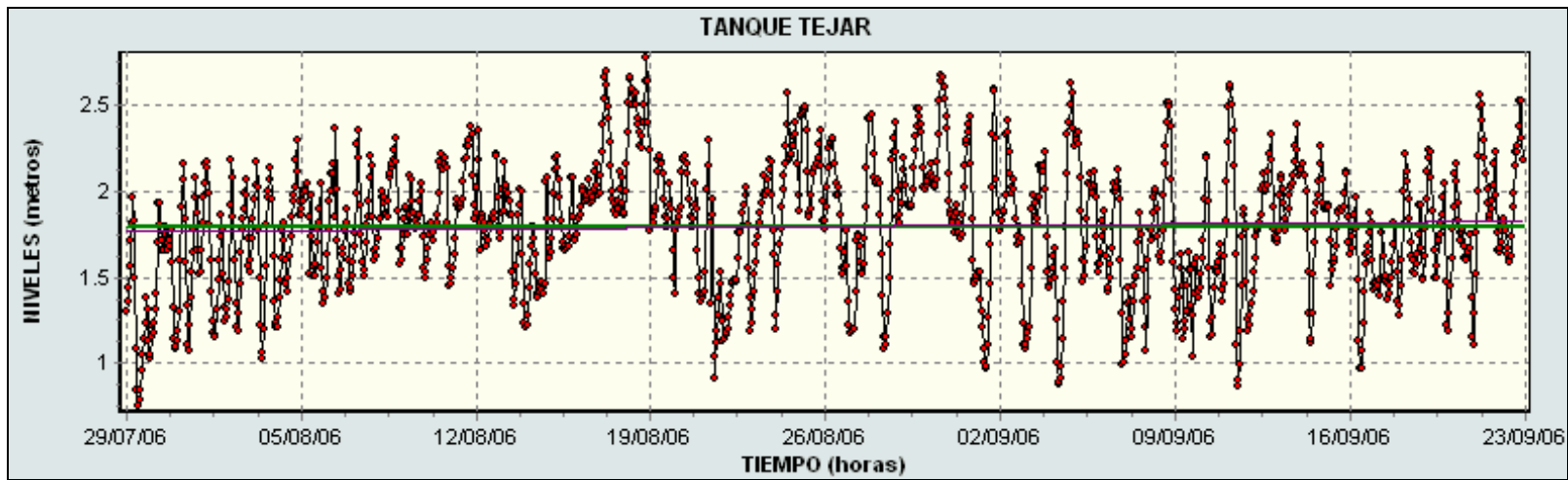


Figura C 10. Gráfica de Caudales de Entrada al Tanque Puerta del Sol

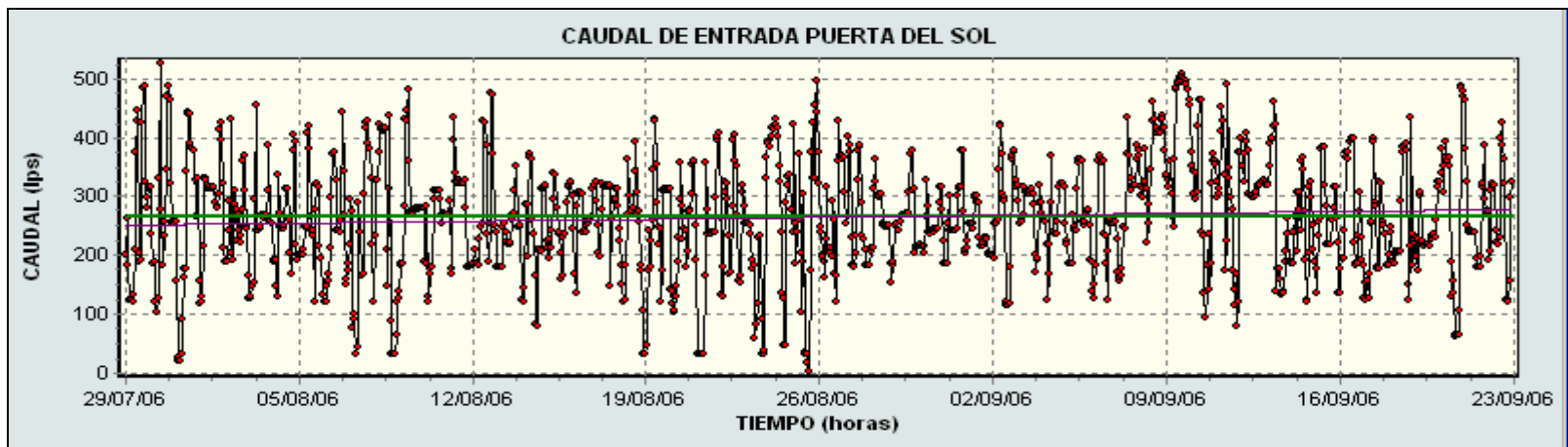


Figura C 11. Gráfica de Caudales de Entrada al Tanque Malpaso

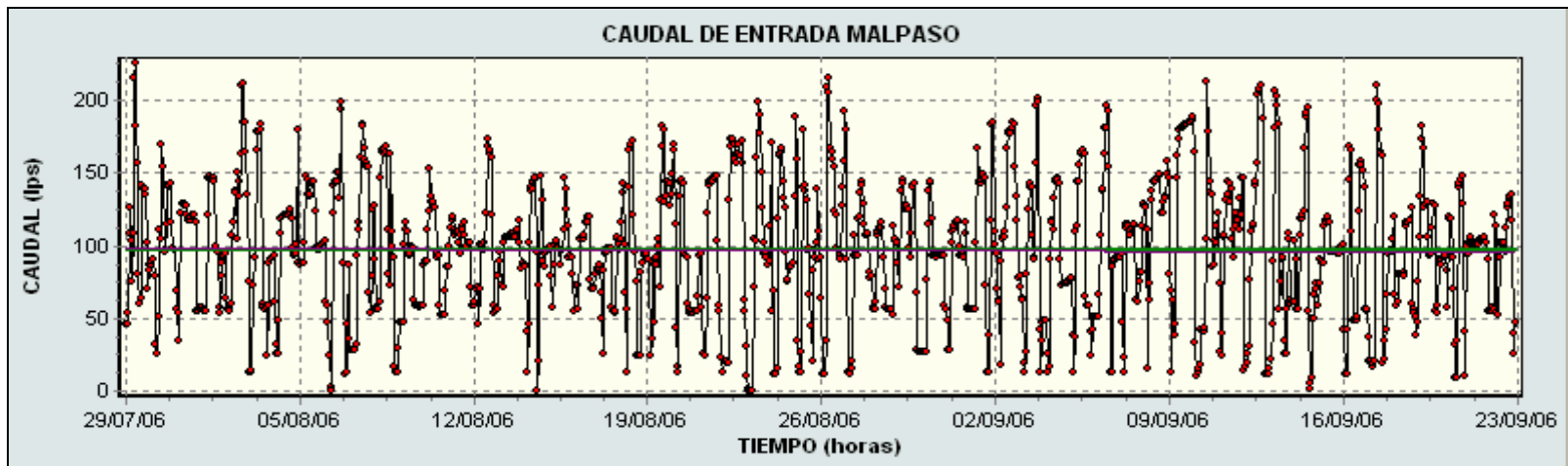
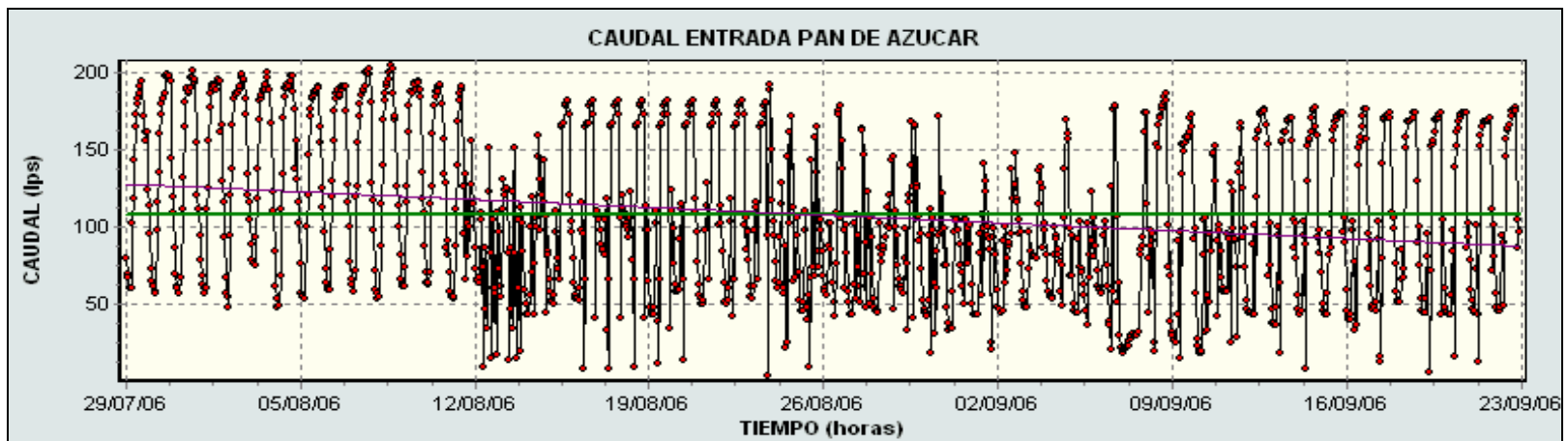


Figura C 12. Gráfica de Caudales de Entrada al Tanque Pan de Azúcar



ANEXOS D

Tabla D 1. Datos de operación de las válvulas instaladas en el sistema a modelar

	CONDUCCION	TIPO DE VALVULA	DIAMETRO	No DE VUELTAS TOTALES	No DE VUELTAS ABIERTA	OBSERVACION	RELACION	K	Válvula modelo
1	Planta La Flora - T. Norte Alto	Compuerta	16 "	68	68	Generalmente esta abierta completamente	1.00	0.21	Regulación
2	Planta La Flora - T. Norte Bajo	Compuerta	24 "	51	26	Solo se manipula en caso de daño.	0.51	4.84	Regulación
3	Derivación B. Los Pinos - T. NorteBajo	Mariposa	14 "	-	-	Se encuentra regulada para permitir el paso el caudal hacia este barrio. Angulo de apertura 55°	Angulo de apertura 55°	58.80	Regulación
4	Planta La Flora - Conducción Oriente	Compuerta	16 "	68	24	Se mantiene el mismo número de vueltas	0.35	13.41	Regulación
5	T. Norte Alto - T. Norte Bajo	Compuerta	10 "	30	15	Generalmente esta abierta con 15 vueltas, que equivalen al 50% de la apertura total	0.50	12.67	Regulación
6	T. Norte Alto - T. Morro Alto	Compuerta	14 "	60	60	Permanece totalmente abierta	1	0.21	Regulación
7		Compuerta	14 "	60	23	Denominada Válvula Azul. Esta válvula se regula desde el Centro de control por el sistema de automatización SCADA.	0.38	11.57	Regulación
8	T. Morro Alto - T. Morro Bajo	Compuerta	30 "	-	-	Es operada desde el Centro de Control SCADA	0.25	25.49	Regulación
9	Salida T. Morro Bajo	Compuerta	24 "	-	-	Es operada desde el Centro de Control SCADA	0.5	5.12	Regulación
10	Entrada T. Puerta del Sol	Compuerta	18 "	-	-	Es operada desde el Centro de Control SCADA	-	-	Rotura de Carga
11	Entrada B. La Victoria	Sostenedora de Presion	20 "	-	-	Limita la presión aguas abajo 40 mca	-	-	Rotura de Carga
12	Derivación T. Cañaveral	Limitadora de Caudal	16 "	-	-	Limita el caudal de paso a través de la válvula a un valor de aprox. 120 lps	-	-	Regulación
13	Entrada T. Malpaso	Compuerta	16 "	-	-	Es operada desde el Centro de Control SCADA	-	-	Rotura de Carga
14	Entrada T. Cabecera	Globo	6 "	28	7	Limita el caudal de paso a través de la válvula a un valor de aprox. 80 lps	0.25	25.49	Regulación
15	Entrada T. Pan de Azucar	Compuerta	12 "	-	-	Es operada desde el Centro de Control SCADA	-	-	Rotura de Carga
16	Entrada T. Tejar	Compuerta	12 "	-	-	Denominada Válvula La Palma. Se opera desde el Centro de Control	-	-	Rotura de Carga
17		Compuerta	12 "	-	-	Denominada Válvula Aromática. Se regula de modo que pueda abastecer a los Barrios Trinidad y Reposo	-	-	Rotura de Carga