

## 4. ANÁLISIS HIDRÁULICO

### 4.1. INTRODUCCION

En este capítulo se desarrolla el producto correspondiente al Análisis Hidráulico, el cual hace parte de la Segunda Fase del presente estudio. El producto contiene el modelo actualizado de la red matriz, incluyendo los manuales de funcionamiento. Además se definen todos los parámetros básicos de la estructura del modelo con el esquema físico codificado, se efectúa la calibración y el análisis hidráulico y se presentan los resultados. En general se obtiene el funcionamiento real del sistema de redes matrices de la ciudad en condiciones normales de operación para las condiciones actuales. Las zonas estudiadas incluidas en el presente informe comprenden la totalidad del área servida por la Empresa.

La implementación del modelo hidráulico se efectuó a partir del modelo físico y codificado elaborado por la firma Salgado Meléndez y Asociados en el Estudio de Actualización del Análisis Operacional del sistema red matriz de distribución de acueducto de Bogotá en el año de 1997.

En el presente estudio el modelo se modificó y actualizó en los siguientes aspectos:

- Revisión y actualización de longitudes
- Inclusión de materiales de fabricación y clasificación de acuerdo a la norma AWWA.
- Codificación de los tramos de acuerdo a la nomenclatura interna de la EAAB.
- Actualización de los coeficientes de acuerdo a la edad de las tuberías

- Actualización de los cambios operacionales: nuevas conexiones y desconexiones, nuevas líneas, tanques y cambios en estructuras reductoras de presión.
- Identificación y clasificación de los nodos de demanda de acuerdo al avance en sectorización
- Creación de los patrones (patterns) de consumo para la sectorización existente
- Asignación de los respectivos patrones de consumo a cada uno de los nodos del modelo (curvas de variación horaria para cada sector)
- Calibración de la variación de niveles de los tanques en la modelación extendida
- Calibración de la variación horaria de caudales en los puntos de la macromedición
- Calibración de la variación horaria de presiones en los puntos de medición
- Calibración de las válvulas reductoras para diferentes hipótesis de alimentación

El sistema estudiado incluye la zona norte, zona sur y surorientales, la zona occidental y el límite norte de la ciudad, sin embargo no contempla el sistema El Dorado, el cual es totalmente independiente, en cuanto a suministros y redes.

#### **4.1.1 ASPECTOS GENERALES**

El dimensionamiento inicial de la red fue efectuado por la firma Salgado Meléndez y Asociados (SMA) para la distribución de la demanda media en los diferentes nodos de consumo del modelo matemático con base en las condiciones de operación de la red existente en el año 1997.

La distribución total de la demanda se realizó utilizando la información proporcionada por la EAAB-ESP a nivel de sector censal (DANE) y áreas de manejo y bordes, mediante el sistema de información de demanda (SID) preparado también por SMA.

El actual análisis contempló para el sistema básico y el sistema Vitelma la hipótesis de demanda máxima horaria y niveles máximos de tanques, con el fin de satisfacer los requerimientos de presión en los nudos de la red. Este proceso se refinó efectuando simulaciones extendidas de 24 horas para definir los caudales de alimentación a los tanques y así obtener una adecuada recuperación de niveles al final del proceso.

De otra parte también se analizó el comportamiento de las líneas expresas de alimentación a los tanques para definir sus condiciones de operación bajo condiciones de demanda media y máxima diaria.

En desarrollo del presente estudio, en la Actividad 5, también se efectúa el análisis hidráulico a las tuberías rehabilitadas o de refuerzo a la red con el fin de verificar las condiciones de presión y caudal después de las obras de rehabilitación.

La calibración hidráulica se realiza a las condiciones operacionales de un periodo representativo del año 2000. Es de anotar que durante ese año se efectuaron cambios operativos importantes como consecuencia de las obras de rehabilitación parcial de la línea Tibitoc – Casablanca, además se presentaron cambios operacionales en la línea Wiesner-Suba y se iniciaron las obras de la nueva línea Vitelma- Jalisco entre otras.

Para las simulaciones hidráulicas se utilizó el programa WATERCAD de Haestad Methods versión 4.1, disponible en la EAAB, el cual permite efectuar análisis de flujo permanente y en simulación extendida a los sistemas de distribución de acueducto, incluyendo tanques, bombas y válvulas de control.

#### **4.1.2 DEMANDA ACTUAL Y PROYECTADA PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

La EAAB-ESP actualizó los estimativos de demanda a finales de 1999, mediante el estudio de actualización de la proyección de la demanda de agua para Bogotá elaborado por la firma TEA LTDA CONSULTORIAS.

El estudio en mención fue elaborado para ampliar hasta el año 2020 las proyecciones de población y demanda para Bogotá y los 13 municipios circunvecinos realizadas en el estudio del año 1997, las cuales únicamente llegaban hasta el año 2015.

Las proyecciones de crecimiento se basaron en el análisis de la dinámica de crecimiento de la ciudad en el periodo 1970-1995. Para tal fin se empleó el método de los componentes que consiste en proyectar por separado el futuro comportamiento de las tasas brutas de natalidad y mortalidad y las tasas netas migratorias.

Se plantearon tres escenarios de crecimiento alto, medio y bajo. En el escenario medio para el año 2000 se tienen 6,500,000 habitantes que proyectados al 2020 ascienden a 9,600,000 habitantes en la ciudad de Bogotá.

La demanda de agua con relación a las proyecciones del estudio de 1997 para el escenario medio resultaron para el año 1998 inferiores en un 15% y para el año 2015 inferiores en un 23%. Esta diferencia las explica TEA por el efecto combinado de la modificación en las dotaciones y reducción en el índice de agua no contabilizada INAC.

Al comparar las proyecciones de demanda con la oferta o producción disponible confiable de 25 M<sup>3</sup>/s, se observa que para atender el escenario alto de demanda existe disponibilidad de agua para el abastecimiento de la ciudad al 100% hasta el periodo 2014-2015. Para el escenario medio de demanda el agua disponible llegaría hasta el periodo 2019-2020.

En el numeral 4.4.1 de este informe se presenta el análisis de los principales aspectos, resultados y proyecciones obtenidos en el estudio de TEA, lo cual explica los cambios

generados por las nuevas políticas urbanísticas y cambios de uso o redensificación presentados en diferentes sectores de la ciudad. Estos cambios urbanísticos se reflejan en los ajustes en la demanda para cada uno de los sectores en que está dividida la red.

Un resumen de la demanda facturada, neta y de producción total, actual y proyectada obtenida en el último estudio de TEA se presenta en la tabla 4.1.1

*Tabla 4.1.1 Síntesis de demanda facturada*

<b>CIFRAS EN METROS CUBICOS / VIGENCIA – ESCENARIO MEDIO DE CONSUMO MEDIO DE AGUA</b>					
<b>AÑO</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
DEMANDA FACTURADA	54.747.383	64.677.028	72.330.280	81.987.679	92.353.268
DEMANDA NETA	72.461.666	85.405.721	95.702.505	108.847.444	122.540.055
DEMANDA PRODUCCIÓN	79.540.797	93.749.419	105.052.146	119.261.739	134.511.586
<b>CIFRAS EN METROS CUBICOS / SEGUNDO – ESCENARIO MEDIO DE CONSUMO PER CÁPITA</b>					
DEMANDA FACTURADA	10.33	12.31	13.76	15.60	17.57
DEMANDA NETA	14.30	16.25	18.21	20.67	23.31
DEMANDA PRODUCCION	15.70	17.84	19.99	20.89	25.59

Fuente: Cuadro 4.14 Estudio de Actualización – TEA Ltda.

Como se puede observar en la tabla 4.1.1 la demanda media neta para el año 2000 es de 14,30 m<sup>3</sup>/s, la cual está de acuerdo con los registros de macromedición tomados por la E.A.A.B. para ese año.

Al comparar la demanda media de producción de 15,7 m<sup>3</sup>/s, indicada en la tabla 4.1.1, con la producción a Diciembre de 2000 de 15.50 m<sup>3</sup>/s presentada en la tabla 4.1.4 se ratifica la equivalencia de las demandas de TEA con las mediciones de la E.A.A.B para el año 2000.

Es de anotar que el modelo de SMA recibido por la Consultoría tenía una demanda media para el año 2000 de 18.5 m<sup>3</sup>/s es decir tenía una sobrestimación del 20% aproximadamente.

El análisis hidráulico para el año 2000 se efectuó distribuyendo y ajustando la demanda por sectores. En la tabla 4.1.2 se presentan la demanda discriminada para cada sector y ajustada con base en las mediciones efectuadas por la E.A.A.B. para ese mismo año.

*Tabla 4.1.2 Demanda por sectores*

SECTORES	NOMBRE	DEMANDA
Sector S-1	Bosa	645,00
Sector S-2	Kennedy	1.189,20
Sector S-3	Fontibón	613,50
Sector S-4	Engativá	1.347,10
Sector S-5	Suba	853,80
Sector S-6	Villa del Prado, Spring	246,00
Sector S-7	Santa Barbara, San Cristobal	712,20
Sector S-8	Country, Chico Norte	340,20
Sector S-9	Pasadena	491,10
Sector S-10	Entrada	379,30
Sector S-11	Zona Industrial	1.351,50
Sector S-12	Terminal	502,20
Sector S-13	Carvajar, Venecia	334,50
Sector S-14	Chico	57,20
Sector S-15	Vitelma	894,30
Sector S-16	Santa Fe, Teusaquillo	627,00
Sector S-17	Campin	659,20
Sector S-18	Chapinero central, Santa Barbara alta	210,00
Sector S-19	Centro	1.161,70
Sector S-20	Columnas	60,00
Sector S-21	Consuelo	65,00
Sector S-22	Alpes	95,00
Sector S-23	Quindio	99,00
Sector S-24	Juan rey	77,80
Sector S-25	San Dionisio	50,00
Sector S-26	La Laguna	379,00
Sector S-27	Jalisco	198,00
Sector S-28	Castillo	125,40
Sector S-29	Volador	113,90
Sector S-30	Soacha	574,10
Sector S-32	Cerro Norte	104,80
Sector S-35	Marantá	81,30
Sector S-36	Sierra Morena	292,90
Sector S-37	La Candelaria	251,00
<b>CAUDAL (l/s)</b>		<b>15.182,20</b>

#### 4.1.3 SISTEMAS Y CAPTACIÓN DE AGUA CRUDA

La captación del agua cruda para la ciudad se efectúa a través de los sistemas Agregado Norte, Agregado Sur y Chingaza. La capacidad y composición de estos sistemas expresado en millones de metros cúbicos (MMC) se observa en la tabla 4.1.3

*Tabla 4.1.3 Capacidad de los sistemas de captación de agua cruda*

AGREGADO NORTE		AGREGADO SUR		SISTEMA CHINGAZA	
EMBALSE	CAPACIDAD (MMC)	EMBALSE	CAPACIDAD (MMC)	EMBALSE	CAPACIDAD (MMC)
NEUSA	102.000	TUNJOS	1500	CHUZA	227.000
SISGA	96.000	CHISACA	6680		
TOMINE	690.000	LA REGADERA	3320		
<b>TOTAL</b>	<b>888.000</b>	<b>TOTAL</b>	<b>11.500</b>	<b>TOTAL</b>	<b>227.000</b>

#### 4.1.4 PRODUCCIÓN TOTAL DEL SISTEMA

De acuerdo con la información suministrada por la EAAB - ESP, la capacidad máxima nominal de producción en plantas de tratamiento son las indicadas en la tabla 4.1.4

*Tabla 4.1.4 Capacidades máximas de producción (m3/s)*

PLANTA	CAPACIDAD TOTAL	SUMINISTRO ACTUAL (Dic.2000)	% DE SUMINISTRO
Wiesner	13.5	10.8	69.7
Tibitoc	10.0	3.5	22.6
Vitelma	1.4	0.8	5.2
La Laguna	0.4	0.3	1.9
San Diego	0.17	0.1	0.6
<b>TOTAL</b>	<b>25.47</b>	<b>15.5</b>	<b>100.0</b>

Debe anotarse que el suministro se modificó en Mayo de 2001 con el cierre de la línea Wiesner-Suba, aumentando el suministro en la planta de Tibitó a 6.0 m<sup>3</sup>/s en promedio y disminuyendo en Wiesner a 8.3 m<sup>3</sup>/s. Aunque la calibración y el análisis hidráulico se efectuó para el año 2000 estos cambios pueden incorporarse fácilmente en el modelo. De otra parte se ha excluido el sistema planta El Dorado el cual posiblemente inicie operación a partir del año 2002. Este sistema incluirá la zona servida por la planta La Laguna.

En la producción de las plantas es importante considerar el esquema definido para la concesión de Tibitoc, el cual se presenta en la tabla 4.1.5

*Tabla 4.1.5 Esquema de producción Planta Tibitoc*

AÑO	CAUDAL MEDIO (m <sup>3</sup> /s)
1.998	4.75
2.000	5.64
2.005	6.55
2.010	4.50
2.015	4.50

Fuente: Licitación de Concesión Planta de Tratamiento Tibitoc - Volumen 2.1 - Anexo 2A -EAAB-ESP.

#### **4.1.5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION – CONDICIONES DE OPERACIÓN A DICIEMBRE DE 2000**

La distribución del agua producida se realiza a través de 6.500 kilómetros de red existente y utilizando 65 puntos de operación, distribuidos así:

31 Estaciones de Bombeo

25 Tanques de Almacenamiento

9 Estructuras de Control

El volumen total de compensación del sistema incluyendo el existente en la distribución y en las plantas de tratamiento alcanza un total de 500.000 m<sup>3</sup>, equivalente a un 30% del consumo medio diario.

En el esquema operativo a Diciembre de 2000 el 70% del abastecimiento de la ciudad se efectuaba a través de la Planta Wiesner.

Las condiciones de operación relacionada con el estado de las válvulas de interconexión, válvulas reductoras y válvulas de separación de servicios se presentan en las tablas 4.1.9, 4.1.10 y 4.1.11 respectivamente .

Del total producido por la planta Wiesner 5.4m<sup>3</sup>/s, se distribuían a través del sistema Usaquéen, con la conducción desde la Planta Wiesner hasta el Tanque Santa Ana, de allí hasta la Estación de reductoras de Usaquéen.

Esta es una estación reductora de presión del agua que se alimenta del Tanque Santa Ana y junto con el caudal que llega de la Planta Tibitoc por las tuberías de 60" y 78", alimentaba tres (3) zonas que aquí son originadas. Son ellas la zona baja norte ZBN (3.1 m<sup>3</sup>/s), zona baja sur ZBS (2m<sup>3</sup>/s) y zona intermedia ZI.(0.3m<sup>3</sup>/s). También es una estación de bombeo en caso de necesidad cuando se trabajaba sólo con caudal de la Planta Tibitoc.

La producción restante de la Planta Wiesner (5.4m<sup>3</sup>/s), se distribuía a la ciudad por el Túnel de Los Rosales a través del Sistema de Líneas Expresas así:

- Tanque El Silencio (estructura de control). Este tanque recibe caudal de la planta Wiesner y alimenta de forma directa a San Diego. A través de la estructura de Control San Diego se distribuye 1.2 m<sup>3</sup>/s
- Tanques Casablanca y Cazucá (estructuras de control) a través de la conducción expresa Silencio-Casablanca 3.30 m<sup>3</sup>/s
- Tanque Planta Vitelma por la línea Silencio-Vitelma 0.8 m<sup>3</sup>/s
- Tanque Chicó 0.1m<sup>3</sup>/s

Actualmente se está trabajando con altas presiones hacia las Estaciones de Control Casablanca y Cazucá, eliminando el paso del agua por el Tanque de El Silencio.

Del nivel del tanque Casablanca dependen los bombeos hacia la Estación de Bombeo Sierra Morena II y el Tanque Sierra Morena III, este bombeo representa un caudal de 0.5 m<sup>3</sup>/s.

Un 22% del abastecimiento de la ciudad lo hacía la Planta de Tibitoc, a través de 2 líneas de 60 y 78 pulgadas de diámetro; la Planta suministraba en promedio 3.5 m<sup>3</sup>/s, a las zonas Norte y Sur de presión. La línea de 60 pulgadas trabajaba a plena capacidad a partir del tanque alto, mientras que la línea de 78 pulgadas estaba regulada desde el tanque bajo, con el fin de suministrar únicamente el caudal demandado para que esta tubería presentará una línea piezométrica menor a la resultante desde el tanque de filtros de Tibitoc, en vista de los problemas estructurales que ha presentado.

El 8% restante lo suministraban las Plantas de San Diego, Vitelma y La Laguna.

La Planta de San Diego, en promedio producía 0.10 m<sup>3</sup>/s, contribuyendo a la alimentación de la zona Centro, sin embargo esta planta se mantiene para atender emergencias.

La Planta de Vitelma trataba caudales provenientes del embalse de La Regadera, 80,000 metros cúbicos día (MCD) y del río San Cristóbal, 38,000 MCD y producía aproximadamente 1.0 m<sup>3</sup>/s.

Como tanque de distribución Vitelma almacenaba el agua producida por la planta más el agua del sistema Chingaza que llegaba por la estructura de control, con la ayuda de la Planta Wiesner, a través de la línea expresa Silencio-Vitelma. El caudal total promedio de entrada sumando la producción propia más control Vitelma era de 1.80 m<sup>3</sup>/s.

Vitelma suministraba el servicio a gran parte de la zona sur de la ciudad, alimentando la cadena sur oriental: Columnas, San Vicente, Alpes, Quindío, Juan Rey; la alcaldía menor de Ciudad Bolívar, Jalisco, Castillo, Volador y a un gran sector de la Zona Sur Central.

Las principales salidas de este tanque eran las siguientes:

- Una línea de 24" que lleva el agua hasta el barrio La Perseverancia.
- Una línea de 20" hacia el barrio Diana Turbay.
- Una Línea de 42" que se divide en dos (2) de 24", hacia la cadena de la Estación de Bombeo Las Columnas y hacia la cadena de la Estación de Bombeo Jalisco. La cadena de la Estación de Bombeo Las Columnas es: Columnas - San Vicente - Alpes - Quindío - Juan Rey. La cadena de la Estación de Bombeo Jalisco: Jalisco - Castillo - Volador
- Una línea de 12" que se distribuye en el sector aledaño al tanque.
- Un sistema de bombeo independiente para San Dionisio y otro para el tanque El Consuelo.

La Planta de La Laguna, trataba agua proveniente del embalse de la Regadera, suministrando como única fuente de abastecimiento agua al sector de la Alcaldía Menor de Usme, 0.25 m<sup>3</sup>/s en promedio.

#### **4.1.6 LINEAS DE LA RED MATRIZ DEL PROGRAMA SANTA FE I**

Dentro del Programa Santa Fe I, se han instalado varias redes matrices y se ha programado la instalación de otras líneas que permiten dar un mayor cubrimiento al sistema de acueducto de la ciudad. Las obras que se han estado ejecutando en los años 2000 y 2001 entre otras son: construcción de la línea Wiesner-Suba, construcción del tanque de Suba, construcción de la línea Vitelma Jalisco, Calle 53 (Engativá), Refuerzo Suba, Calle 170 y paralela Autopista Norte (Concesionario Tibitoc).

## 4.2. ACTUALIZACION DEL MODELO HIDRÁULICO

### 4.2.1 *MODELO FISICO Y CODIFICADO*

#### 4.2.1.1 REVISION DE LONGITUDES DE LOS TRAMOS

Para efectos de la revisión del modelo físico se confrontaron las líneas del producto de caracterización de la Consultoría, con los tramos definidos en el modelo de Salgado Meléndez Asociados.

En los planos 1:5000 se localizaron los diferentes tramos del modelo y se verificó su localización y longitud. En el anexo No. 16 se presentan los cuadros Nos. 4.1, 4.2 y 4.3 correspondientes a las longitudes corregidas de los tramos del modelo para el sistema Básico, Líneas Expresas y Sistema Vitelma. En los planos JR-052-HIM-001E y JR-052-HIM002-E se presenta el modelo básico y codificado para cada uno de los sistemas.

#### 4.2.1.2 ACTUALIZACION DEL TIPO DE MATERIAL DE LAS TUBERÍAS

En el modelo entregado a la Consultoría el material fijado para todos los tramos estaba en tubería de hierro dúctil, en consecuencia se procedió a asignar a cada tramo del modelo, el material real de la tubería instalada con base en la caracterización efectuada por la Consultoría

Se identificaron diferentes tipos de material, los cuales se describen brevemente a continuación:

#### **AWWA C 301 - Tubería con cilindro de acero, refuerzo presforzado y revestimiento en mortero (Prestressed Concrete Cylinder Pipe (PCCP)).**

Se compone de un cilindro de lámina delgada de acero embebido, interior y exteriormente en concreto, con varilla de alto tensionamiento sobre el cilindro de concreto y un revestimiento exterior en mortero lanzado. Su junta es de espigo campana con empaque

de caucho; sus accesorios son piezas independientes fabricados en lámina de acero con revestimiento en concreto con extremos lisos o de brida. Se clasifica como un tubo rígido y se encontró en diámetros de 78".

### **AWWA C 303 - Tubería con cilindro de acero reforzado y revestimiento en mortero (Concrete Cylinder Pipe (CCP)).**

Se compone de un cilindro en lámina de acero con varilla ligeramente tensionada sobre él; un revestimiento interior con mortero centrifugado y otro exterior con mortero lanzado. Su junta es espigo campana con empaque de caucho, sus accesorios son piezas en lámina de acero fabricadas sobre el mismo tubo con extremos de espigo, campana, liso o brida. Se clasifica como un tubo semirígido y se encontró en diámetros de 16" hasta 60".

### **AWWA C 200 - Tubería de acero (Steel Pipe.)**

Se compone de un cilindro en lámina de acero el cual puede tener diversos tipos de revestimiento, interior y exterior, tales como mortero el cual cumple la norma AWWA C 205; esmalte con norma AWWAC203; pintura epóxica con norma AWWA C 210 o una combinación de éstos. Su junta puede ser de tres tipos fundamentales, unión soldada a tope, unión mecánica o unión espigo campana, sus accesorios son fabricados en lámina de acero con los extremos según los requerimientos. Se clasifica como un tubo flexible y se encontró en diámetros hasta de 60".

### **AWWA C 110 o ASTM A-125 - Fundición Gris.**

El tubo es un cilindro de hierro en fundición gris, con revestimientos bituminosos. Su junta es espigo campana calafateadas, sus accesorios son fabricados en el mismo material del tubo. Se clasifica como un tubo rígido y se encontró en diámetros de 16".

### **AWWA C400**

El tubo es fabricado con fibras de asbesto mezcladas con cemento, sus juntas son uniones del mismo material y los accesorios son elementos de fundición. Se clasifica como un tubo rígido y se encontró en diámetro de 16".

En los cuadros Nos. 4.4, 4.5 y 4.6 del anexo No. 16 se presentan el tipo de material para cada uno de los tramos del Sistema Básico, Líneas Expresas y Sistema Vitelma respectivamente.

#### 4.2.1.3 INCORPORACIÓN DE LAS CLASES DE TUBERÍA

Para efectos de verificación de la presión de diseño con la presión de trabajo de las tuberías se incorporó en la base física la clase de la tubería, que corresponde a lo establecido en los diseños y que fue obtenido de los planos de construcción y de las memorias de cálculos.

En los cuadros Nos. 4.4, 4.5 y 4.6 del anexo No. 16 se indica la clase de tubería en psi de los Sistemas Básico, Líneas Expresas y Vitelma.

#### 4.2.1.4 INCORPORACION NORMA AWWA

Con el fin de establecer las características de construcción de las tuberías se incorporó un campo en el modelo con la norma AWWA investigada por la Consultoría, con esta información se definieron con precisión los coeficientes de rugosidad de las tuberías.

En los cuadros Nos. 4.4, 4.5, y 4.6 del anexo No. 16 se presentan todos los tramos con la norma AWWA. para el Sistema Básico, Líneas Expresas y Sistema Vitelma respectivamente.

#### 4.2.1.5 ACTUALIZACION COEFICIENTE DE RUGOSIDAD

En el modelo hidráulico se utiliza la fórmula de Hazen-Williams para calcular las pérdidas de carga por fricción. Teniendo en cuenta los materiales de la tubería, la Consultoría revisó y actualizó los coeficientes de fricción para todos los tramos. Estos coeficientes

se estimaron con base en la edad de las tuberías a partir de las tablas del manual de Hidráulica de Brater & King y de las tablas del manual del usuario del WATERCAD. A fin de establecer aproximadamente la variación de la rugosidad con la edad de las tuberías, se definieron unos rangos de valores que se indican en la tabla 4.2.1

*Tabla 4.2.1 Coeficientes de Rugosidad*

ANOS	AWWA		AWWA		AWWA		
	C200	C203	C205	C303	C301	C110	C400
NUEVA	150	135	135	135	140	130	140
2000 - 1990	135	122	122	122	126	117	126
1989 - 1980	120	108	108	108	112	104	112
1979 - 1960	113	101	101	101	105	98	105
1960 MENOS	105	95	95	95	98	91	98

En los cuadros Nos. 4.7, 4.8 y 4.9 del anexo No. 16 se presenta la rugosidad para cada una de las líneas del Sistema Básico, Líneas Expresas y Sistema Vitelma.

#### 4.2.1.6 ACTUALIZACIÓN DE LAS DIMENSIONES, NIVELES Y COTAS DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO

La Consultoría procedió a modificar la mayor parte de los reservorios encontrados en la modelación de SMA, que en realidad se comportan como tanques en la modelación hidráulica. Para tal fin se investigó en el manual de esquemas e información de la red de acueducto de Bogotá, el plano esquemático de distribución y diferentes informes consultados e indicados en el informe del Producto No. 1 de esta consultoría de donde se obtuvo el cuadro No. 4.10 del anexo No. 16 que actualiza para los tanques la información relativa a niveles, áreas, volúmenes y cotas. Esta información se preparó de acuerdo a lo requerido en el programa Watercad. En el anexo 16 se encuentran los gráficos correspondientes a las curvas de nivel de los diferentes tanques de la red matriz, generadas a partir de los datos obtenidos del control diario de operación de la E.A.A.B. Es de anotar que para las simulaciones se mantienen como reservorios los

almacenamientos disponibles a las salidas de las plantas de tratamiento es decir Tibitoc, Wiesner y Vitelma (en la red básica Santa Ana se toma como reservorio en reemplazo de Wiesner)

Con el fin de obtener los niveles actuales en los diferentes tanques de almacenamiento la consultoría procesó y analizó los registros de niveles para los periodos y frecuencias consignadas en la tabla 4.2.2

*Tabla 4.2.2 Periodos y frecuencias de los registros de los tanques de almacenamiento*

TANQUE	PERIODO		FRECUENCIA
	MES	DIA	
SANTA ANA, PARQUE NACIONAL, CHICO, SILENCIO	ENERO DE 2000	DOMINGO 16 Y LUNES 17	CADA 2 HORAS
PARAISO MEDIO, SUBA MEDIO Y ALTO, SAN VICENTE NUEVO	FEBRERO DE 2000	MARTES 22 Y MIERCOLES 23	CADA 2 HORAS
SAN VICENTE VIEJO, LOS ALPES, QUINDIO, JUAN REY	MARZO DE 2000	JUEVES 30 Y VIERNES 31	CADA 2 HORAS
JALISCO, CASTILLO NUEVO, VOLADOR, SIERRA MORENA 2	ABRIL DE 2000	SABADO 8 Y DOMINGO 9	CADA 2 HORAS
SIERRA MORENA 3, CONTROL CAZUCA, SAN DIEGO VIEJO Y NUEVO	MAYO DE 2000	LUNES 15 Y MARTES 16	CADA 2 HORAS

#### 4.2.1.7 ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LOS RESERVORIOS

Con relación a los reservorios la Consultoría revisó las cotas de los niveles de las estructuras de alimentación a la red matriz. En el cuadro No. 4.11 se indican los niveles de los reservorios. Es de aclarar que para el modelo se consideran reservorios los puntos de alimentación donde existe producción, es decir en los tanques de almacenamiento de las plantas de tratamiento. Aunque la característica de un reservorio en el modelo consiste en su capacidad ilimitada de suministro lo cual no es requerido en la red, si es básico su inclusión porque simula las variaciones de caudal con las diferentes hipótesis

de alimentación, teniendo en cuenta los rangos de producción de las plantas de tratamiento.

#### 4.2.1.8 INCLUSION DE NUEVOS TRAMOS Y TANQUES RECIENTEMENTE CONSTRUIDOS

La consultoría también actualizó el modelo con la inclusión de tramos y tanques que han sido construidos recientemente. En el cuadro No. 4.12 del anexo No. 16 se presenta la relación de los nuevos tramos de los sistemas Básico y Vitelma .

#### 4.2.1.9 ACTUALIZACION DEL MODULO DE DEMANDA DEL MODELO HIDRAULICO

Para efectos de actualizar el módulo de demanda del modelo hidráulico se procedió a determinar los patrones de consumo de los diferentes sectores para así incluirlos en el modelo. Se recurrió a los registros obtenidos en aforos realizados en diferentes puntos de medición de la red de Acueducto.

Se analizaron los registros de los aforos obtenidos de la División Control de la E.A.A.B. para los periodos y frecuencias consignadas en la tabla 4.2.3

*Tabla 4.2.3 Periodos y frecuencias de los registros de aforos*

UBICACION MEDIDOR	φ	PERIODO		FRECUENCIA
		MES	DIAS	
Av. 1 De Mayo - Av. Boyacá	24"	Septiembre de 2000	11 al 17	Cada Media Hora
Av. Américas - Av. Boyacá	16"	Octubre de 2000	9 al 15	Cada Media Hora
Av. Américas - Av. Boyacá	24"	Octubre de 2000	9 al 15	Cada Media Hora
Calle 39 Sur X Av. Boyacá	16"	Octubre de 2000	9 al 15	Cada Media Hora
Calle 126 X Av. Boyacá	36"	Octubre de 2000	9 al 15	Cada Media Hora
Carrera 86A x Calle 56S	24"	Junio de 2000	5 al 11	Cada Media Hora
Carrera 86 x Calle 57FS	24"	Octubre de 2000	9 al 15	Cada Media Hora

UBICACION MEDIDOR	φ	PERIODO		FRECUENCIA
Av. Boyacá X Calle 66	30"	Octubre de 2000	9 al 15	Cada Media Hora
Calle 80 X Av. Boyacá	24"	Septiembre de 2000	11 al 17	Cada Media Hora
Calle 82 X Av. Boyacá	24"	Noviembre de 2000	6 al 12	Cada Media Hora
Calle 26 Carrera 2	42"	Octubre de 2000	6 al 12	Cada Media Hora
Calle 26 Carrera 2	24"	Octubre de 2000	9 al 12	Cada Media Hora
Calle 22 Carrera 24	42"	Octubre de 2000	6 al 12	Cada Media Hora
Zona Baja Norte Usaquén	60"	Noviembre de 2000	11 al 17	Cada Media Hora
Zona Baja Sur Usaquén	60"	Noviembre de 2000	11 al 17	Cada Media Hora
Zona Intermedia Usaquén	42"	Noviembre de 2000	11 al 17	Cada Media Hora

Se procedió a generar las gráficas para cada punto, las cuales se pueden observar en el anexo No. 17 y se identificaron en el modelo hidráulico las líneas, el tramo y el nodo correspondiente a cada punto de macromedición en particular, igualmente se identificaron los nodos por sectores como se puede observar en el cuadro No. 4.13 del anexo 16 y se produjeron las figuras Nos. 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 y 4.2.5 de patrones de consumo para cada sector.

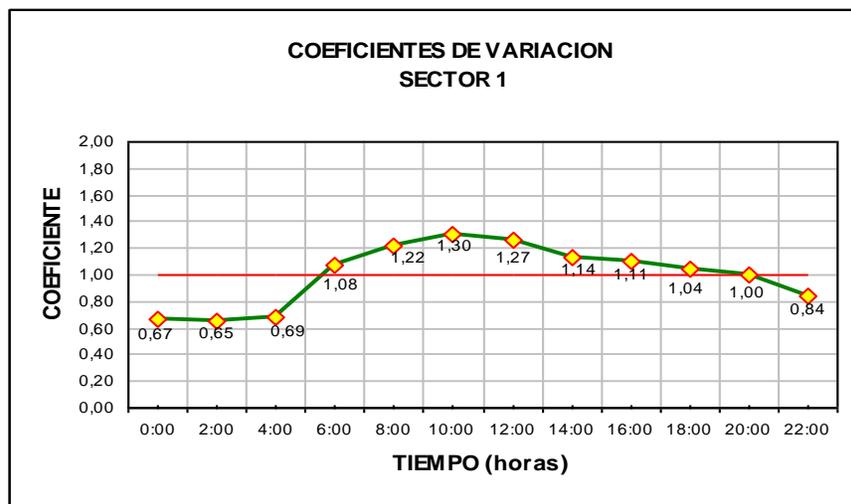


Figura 4.2.1 Coeficiente de variación sector 1

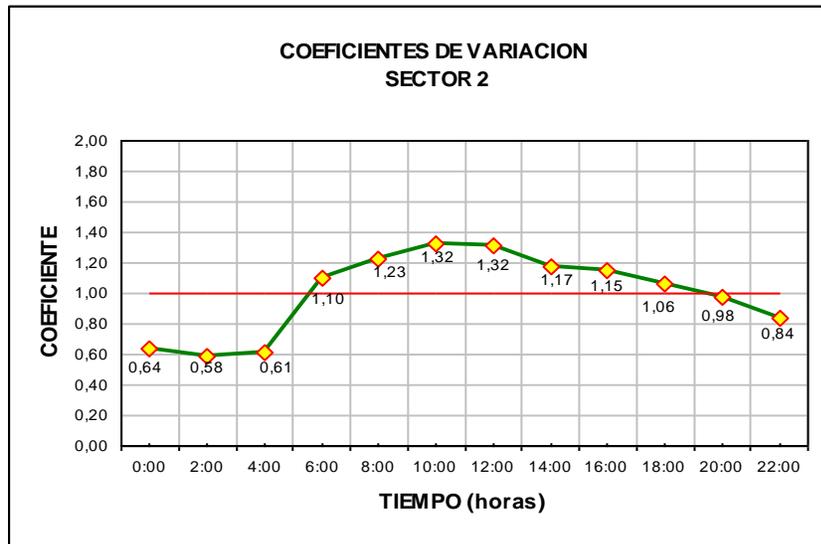


Figura 4.2.2 Coeficiente de variación sector 2

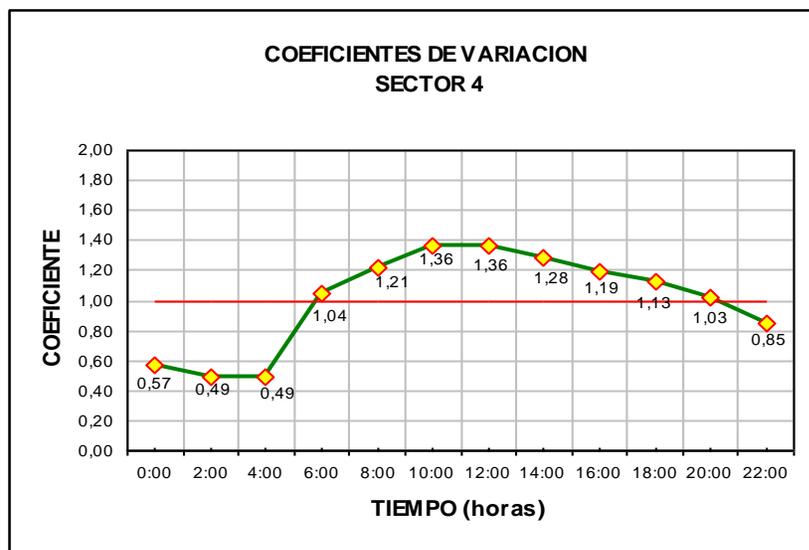


Figura 4.2.3 Coeficiente de variación sector 4

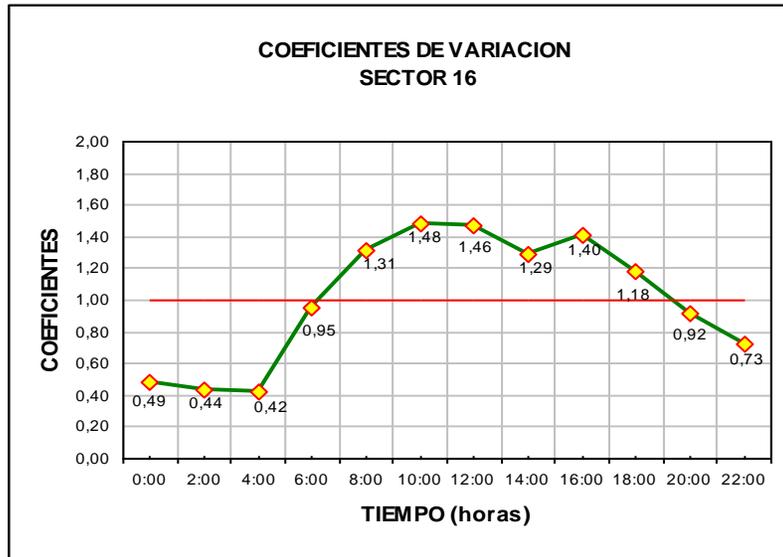


Figura 4.2.4 Coeficiente de variación sector 16

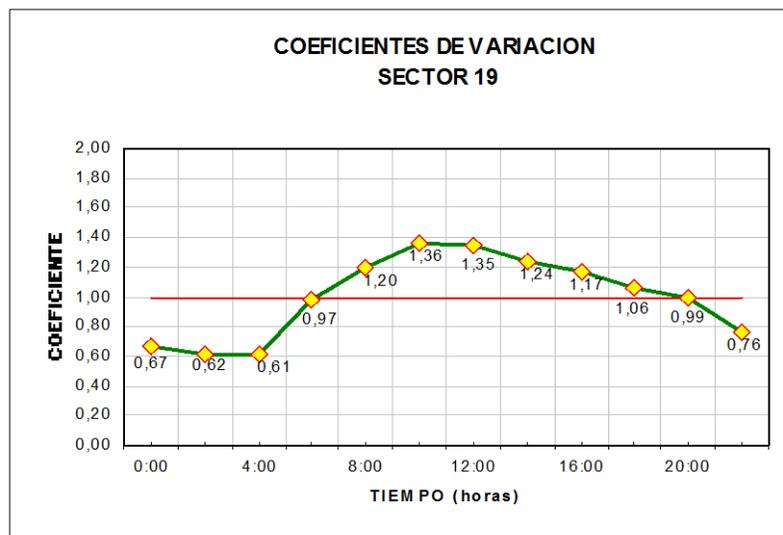
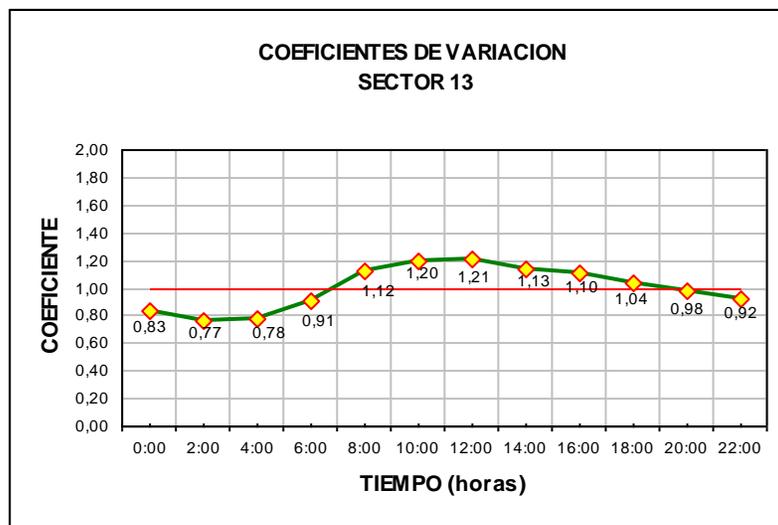


Figura 4.2.5 Coeficiente de variación sector 19

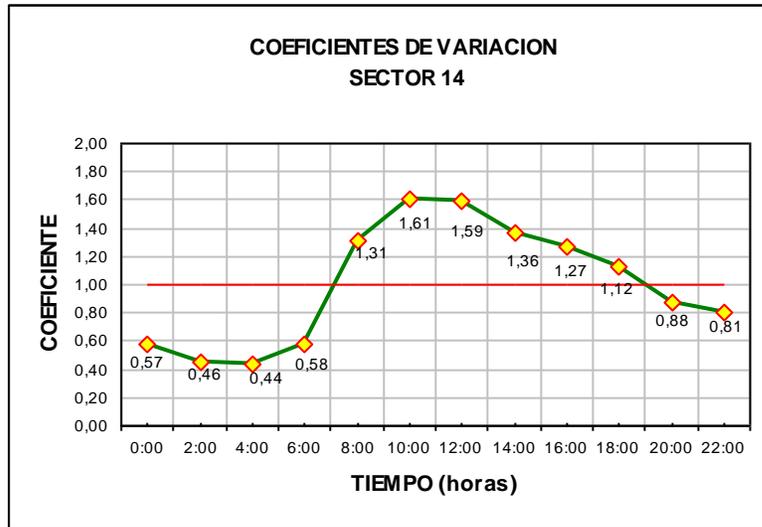
Con los coeficientes de variación se procedió a incluir y modificar los patrones de consumo para los sectores S1, S2, S4, S16 y S19 en el modelo hidráulico.

Para los sectores faltantes se tomaron los datos de consumo establecidos en el estudio de sectorización que viene realizando la Unión Temporal Safege - Hidrotec Ltda. - Sem. Se identificaron los sectores S13, S14, S17, S20, S21, S22, S23, S25, S26, S31 Y S36 y se procesaron sus coeficientes de consumo los cuales se presentan en las figuras 4.2.6, 4.2.7, 4.2.8, 4.2.9, 4.2.10, 4.2.11, 4.2.12, 4.2.13, 4.2.14, 4.2.15 y 4.2.16, con estos patrones de consumo se actualizó el modelo hidráulico.



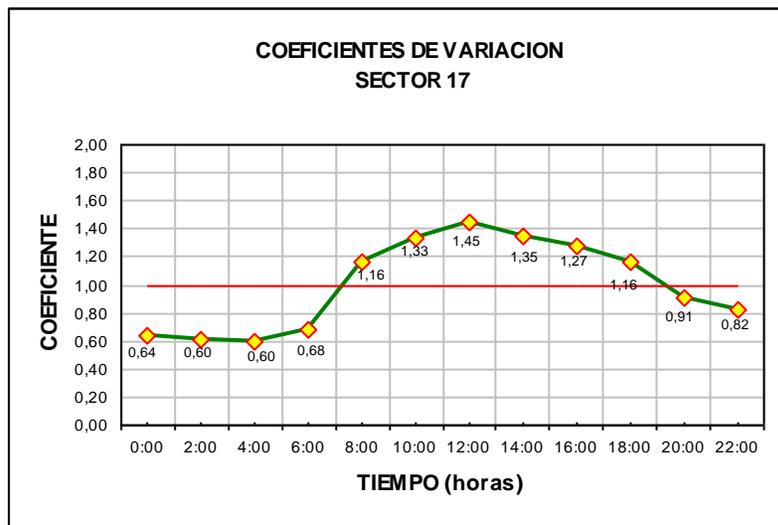
Datos tomados del Estudio de Sectorización realizado por la firma Unión Temporal SAFEGE - HIDROTEC – SEM. informe de Avance No. 20 Diciembre 2000 Anexo Avance actividades mediciones / campaña de medición S13

Figura 4.2.6 Coeficiente de variación sector 13



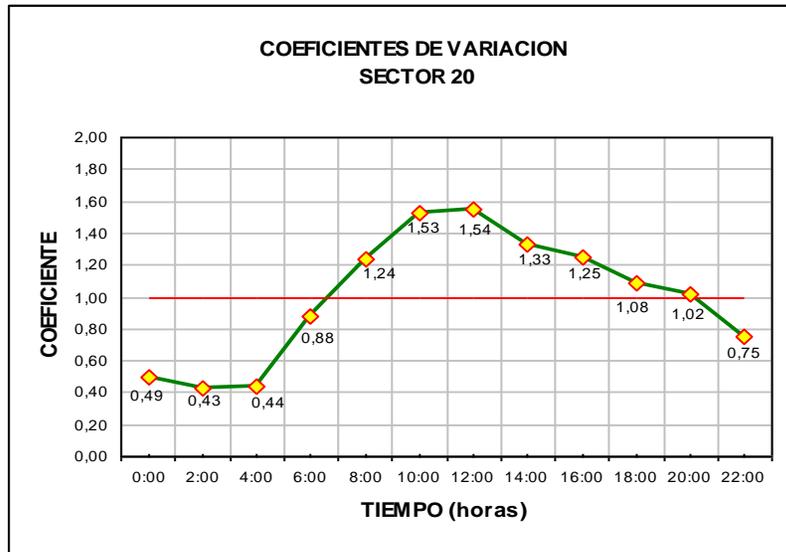
Datos tomados del Estudio de Sectorización realizado por la firma Unión Temporal SAFEGE - HIDROTEC - SEM Informe de Avance No. 8 Enero 2000 Anexo 19

Figura 4.2.7 Coeficiente de variación sector 14



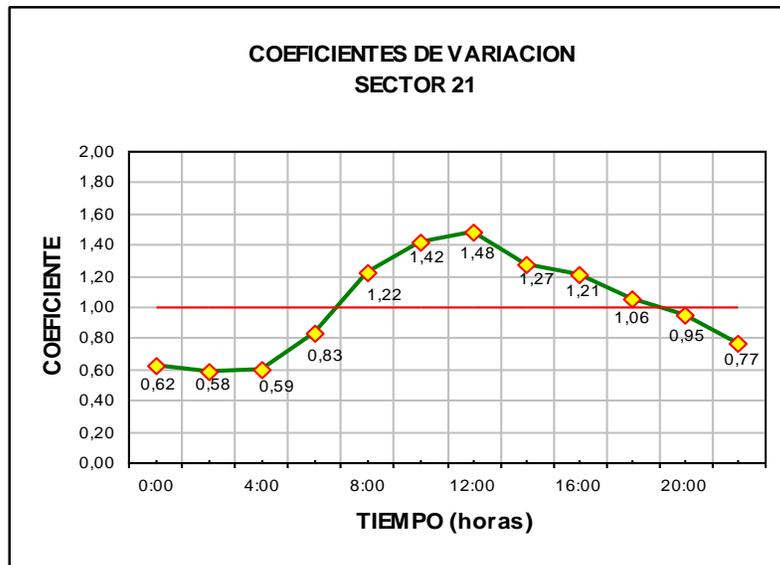
Datos tomados del Estudio de Sectorización realizado por la firma Unión Temporal SAFEGE - HIDROTEC - SEM. Informe de Avance No. 10 Enero 2000 Anexo Resultados de la campaña de medición S17

Figura 4.2.8 Coeficiente de variación sector 17



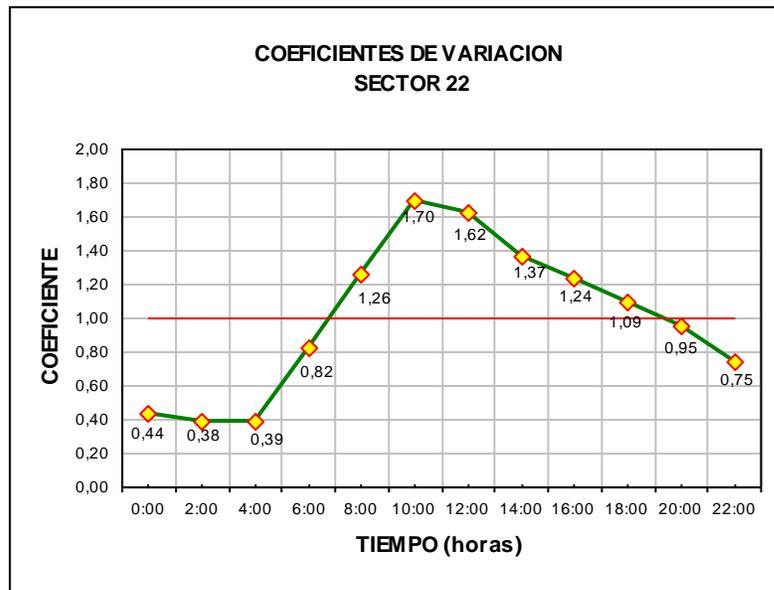
Datos tomados del Estudio de Sectorización realizado por la firma Unión Temporal SAFEGE - HIDROTEC - SEM. Informe de Avance No. 11 Marzo 2000 Anexo Resultados de la campaña de medición S20

Figura 4.2.9 Coeficiente de variación sector 20



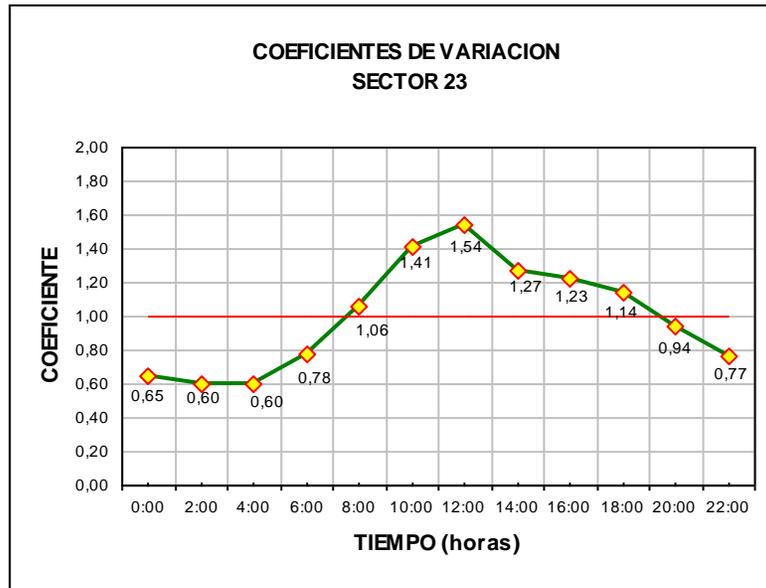
Datos tomados del Estudio de Sectorización realizado por la firma Unión Temporal SAFEGE - HIDROTEC - SEM. Informe de Avance No. 16 Agosto 2000 Anexo Avance actividades mediciones / campaña de medición S21

Figura 4.2.10 Coeficiente de variación sector 21



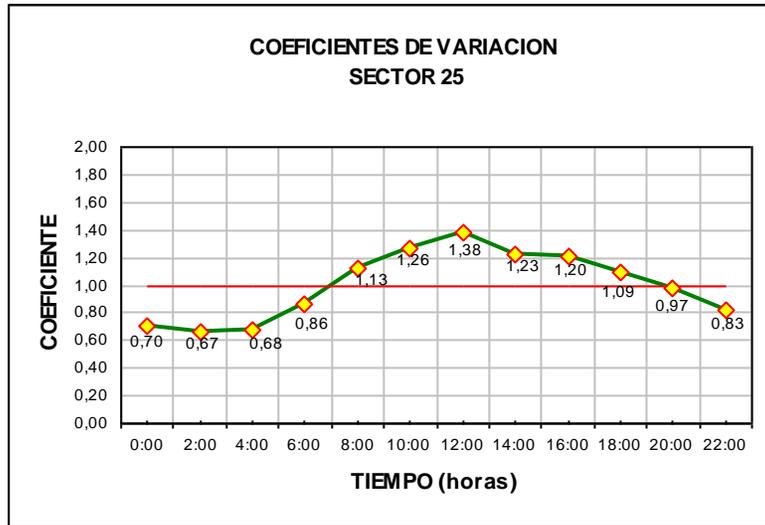
Datos tomados del Estudio de Sectorización realizado por la firma Unión Temporal SAFEGE - HIDROTEC - SEM. Informe de Avance No. 11 Marzo 2000 Anexo resultados de la campaña de medición S22

Figura 4.2.11 Coeficiente de variación sector 22



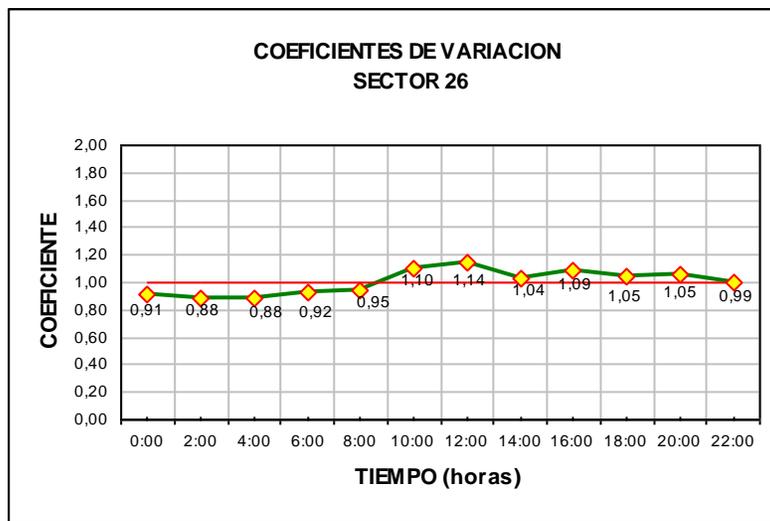
Datos tomados del Estudio de Sectorización realizado por la firma Unión Temporal SAFEGE - HIDROTEC - SEM. Informe de Avance No. 12 Abril 2000 Anexo Volúmenes distribuidos

Figura 4.2.12 Coeficiente de variación sector 23



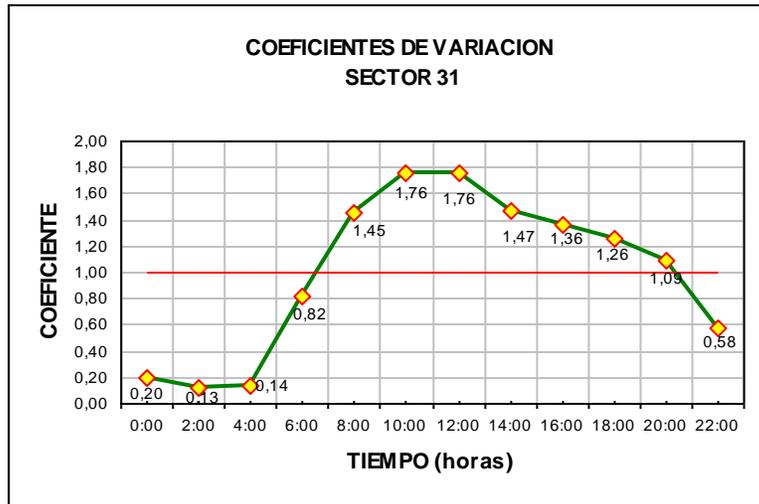
Datos tomados del Estudio de Sectorización realizado por la firma Unión Temporal SAFEGE - HIDROTEC - SEM. Informe de Avance No. 14 Junio 2000 Anexo Avance actividades mediciones / campaña de medición

Figura 4.2.13 Coeficiente de variación sector 25



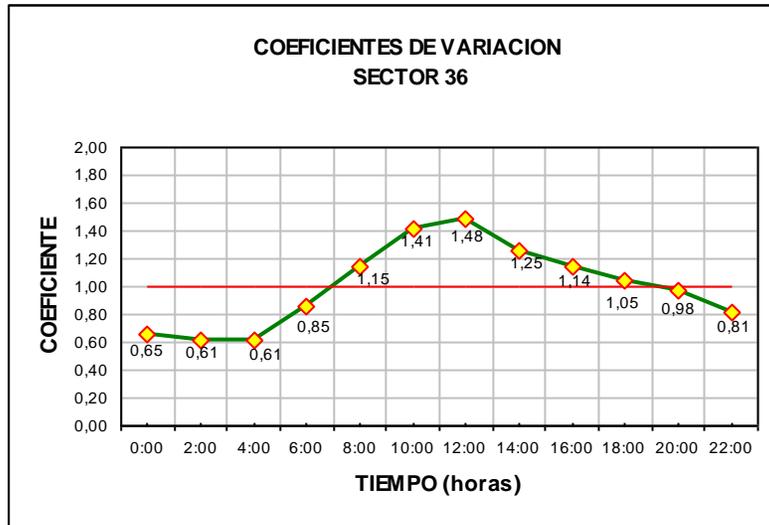
Datos tomados del Estudio de Sectorización realizado por la firma Unión Temporal SAFEGE - HIDROTEC - SEM. Informe de Avance No. 14 Junio 2000 Anexo Avance actividades mediciones / campaña de medición

Figura 4.2.14 Coeficiente de variación sector 26



Datos tomados del Estudio de Sectorización realizado por la firma Unión Temporal SAFEGE - HIDROTEC - SEM. Informe de Avance No. 14 Junio 2000 Anexo Avance actividades mediciones / campaña de medición

Figura 4.2.15 Coeficiente de variación sector 31



Datos tomados del Estudio de Sectorización realizado por la firma Unión Temporal SAFEGE - HIDROTEC - SEM. Informe de Avance No. 16 Agosto 2000 Anexo Avance actividades mediciones / campaña de medición S36

Figura 4.2.16 Coeficiente de variación sector 36

En el cuadro No. 4.14 y 4.15 del anexo No. 16 se presentan los nodos del modelo hidráulico con su correspondiente sector para el sistema Básico y Vitelma.

### 4.3. CALIBRACION DEL MODELO HIDRÁULICO Y ANALISIS OPERACIONAL PARA LAS CONDICIONES OPERATIVAS DEL AÑO 2000.

#### 4.3.1 RED MATRIZ BASICA

##### 4.3.1.1 HIPOTESIS OPERACIONAL

Después de revisar y actualizar el modelo físico y codificado, se ajustaron los caudales con las demandas actuales y sectorizadas al año 2000 con base en los resultados disponibles de macromedición. A continuación se ajustó la red con las hipótesis operacionales para ese mismo año, mediante el cierre de válvulas ( Close pipe) y regulando las presiones en las válvulas reductoras. Las principales interconexiones y conexiones y el estado de apertura de las válvulas se presentan en la tabla 4.3.1

La hipótesis de operación considerada para esta calibración incluye la alimentación de Tibitoc tanque alto a la tubería de 60 plg, con un suministro variable entre 2.700 y 2.900 l/s en un periodo de 24 horas; también se tiene suministro de Tibitoc desde el tanque bajo a la tubería de 78 plg regulada con la válvula V3 para un suministro de 900 a 1.500 l/s.

*Tabla 4.3.1 Válvulas de interconexión del Sistema Básico*

DESCRIPCIÓN	TRAMO MODELO HIDRAULICO	ESTADO
Interconexión Tibitoc Tanque bajo con línea de 78"	PRV 5 P-138	Tubería con válvula cerrada
Interconexión Tibitoc Tanque alto con línea de 60"	PRV 7 P-146	Tubería con válvula abierta
Interconexión Tibitoc Tanque alto con línea de 78"	PRV 8 P-149	Tubería con válvula cerrada
Interconexión Tibitoc línea de 78" con línea de 60"	P-1075 Int. Tibitoc V - 8	Tubería con válvula cerrada
Interconexión Espinal	P-1100 Int. Espinal V - 10	Tubería con válvula cerrada
Interconexión La Caro	P-1135 La Caro V 12	Tubería con válvula cerrada
Interconexión Puente Piedra	P-1155 Int Pte Piedra V - 16	Tubería con válvula cerrada
Interconexión El Verbenal	P-1210	Tubería con válvula cerrada
Interconexión calle 150	P-1295	Tubería con válvula abierta
Interconexión Calle 92 Calle 129	P-2310	Tubería con válvula cerrada
Interconexión zona Intermedia Zona baja	P-2230	Tubería con válvula cerrada

Las válvulas reductoras de presión del modelo básico, en su estado y regulación se presentan en la tabla No. 4.3.2

*Tabla 4.3.2 Válvulas reductoras de presión*

NOMBRE	ESTADO	PRESION (m H2O)	LOCALIZACIÓN
PRV-inter	Activa	50	Reductoras de Usaquen ZI
PRV-NORTE	Activa	52	Reductoras de Usaquen ZBN
PRV-SUR	Activa	54	Reductoras de Usaquen ZBS
PRV-SANTA FE	Activa	26	Tramo P-2185

En el modelo se separaron las zonas de servicio mediante la colocación virtual de válvulas en la red (close pipe). Estas válvulas se indican en la tabla 4.3.3

En el esquema No. 1 se presentan las condiciones operacionales del año 2000.

*Tabla 4.3.3 Válvulas de separación de servicios*

ZONAS	LOCALIZACION VALVULAS LIMITES DE SERVICIO		
	TRAMO	CODIGO	DESCRIPCION
ZBN - VITELMA	P-4415	RM16055	Conducción San Carlos
ZBS - CONTROL SANTA FE	P-2230	BIV36110A	Interconexión zona Intermedia Zona baja
ZBS - CONTROL SANTA FE	P-4270	RM16053	Av. 6 x Cra. 36 a la Av. 1ra x Cra. 14
ZBS – ZBN	P-2695	RM16058	Av. El Dorado x Cra. 47 (66ª Av. Rojas)
ZBS – ZBN	P-2735	RD742005	Línea San Francisco
ZBS – ZBN	P-4510	RD1124028	Av. Boyacá a Escuela Gral Santander
ZBS – ZBN	P-2620	RD524024	Calle 67 x Cra. 50 Av. Boyacá
ZBS – ZBN	P-2770	RM16057	Av. Boyacá - Av. Centenario
ZBS – ZBN	P-4505	RM16063	Carretera del Sur Fatima La Laguna
ZBS – ZBN	P-2310	RM60002	Interconexión Calle 92 Calle 129
ZBS – ZBN	P-4415	RM16055	Conducción San Carlos
ZBS – ZBN	P-4620	BIV24089	Línea de Refuerzo Av. Las Américas
ZI - CONTROL SANTA FE	P-2130	RMZ136016	Zona Intermedia
SOACHA	P-4965	RD2924043	Línea carretera del Sur pro. soacha
ZBN	P-5151	BIV20072	Ruta Alta Sierra Morena Impulsión
ZBN	P-5120	BIV36070	Tubería de Impulsión Ciudad Bolívar
ZBN	P-123	BIV60092	Línea a Suba
ZBN	P-148	BIV60092	Línea a Suba
ZBN	P-1260	CC9001	Interconexión Calle 150
ZBN	P-2795	RM16056	Las Granjas Fontibon
ZBS-ZBN	P-2615	RM16051	Calle 73 x Cra. 53
ZBS-ZBN	P-4575	RD1024027	Calle 8 sur Cra. 27 a transversal 50

*Esquema 1. Condiciones operativas año 2000*



#### 4.3.1.2 CARACTERISTICAS DE OPERACIÓN

Para el sistema básico se presenta la simulación para la demanda media en la ciudad de Bogotá año 2000, sin incluir el sistema Vitelma. Las demandas en los nodos están clasificadas con la sectorización realizada por la E.A.A.B.

En el anexo No. 23 se presentan los listados de resultados de la simulación en formatos del programa WaterCad, versión 4.1. El manual de utilización de este programa se presentan en el anexo 18.

En general se obtuvieron presiones dentro de rangos normales de operación, (ver esquema 2 y 3) sin embargo en los nodos de tramos virtuales o en los tramos correspondientes a las tuberías de succión de las estaciones de bombeo se observaron presiones bajas que no tienen significado práctico o condiciones anormales de operación.

Para algunos tanques donde está definida su área aferente se han fijado demandas puntuales en nodos que simulan la distribución y demanda a través de redes menores. Asimismo para los tanques que tienen alimentación por líneas expresas se asignaron entradas puntuales en nodos, con su correspondiente patrón de suministro.

#### 4.3.1.3 ANALISIS DE LA CALIBRACION

El análisis que se presenta a continuación consiste en la comparación de resultados obtenidos en el modelo hidráulico y los resultados de macromedición, niveles y presiones efectuados por la E.A.A.B, para los periodos en que se obtuvo información, y con los cuales se efectuó la calibración.

*Esquema 2. Análisis de isopresiones 4 am. Sistema Básico*

*Esquema 3. Análisis de isopresiones 10 am. Sistema Básico*



#### 4.3.1.3.1 Calibración Niveles Tanques

##### ➤ Casablanca

El comportamiento del tanque comparando la modelación y los niveles promedios en el año 2000 se ajusta satisfactoriamente como puede observarse en la figura 4.3.1 y en la tabla 4.3.4. El tanque presenta niveles máximos entre las 4:00 y las 8:00 p.m.; hacia la medianoche se empieza a recuperar llegando a un nivel de 7.6 m a las 6 a.m.

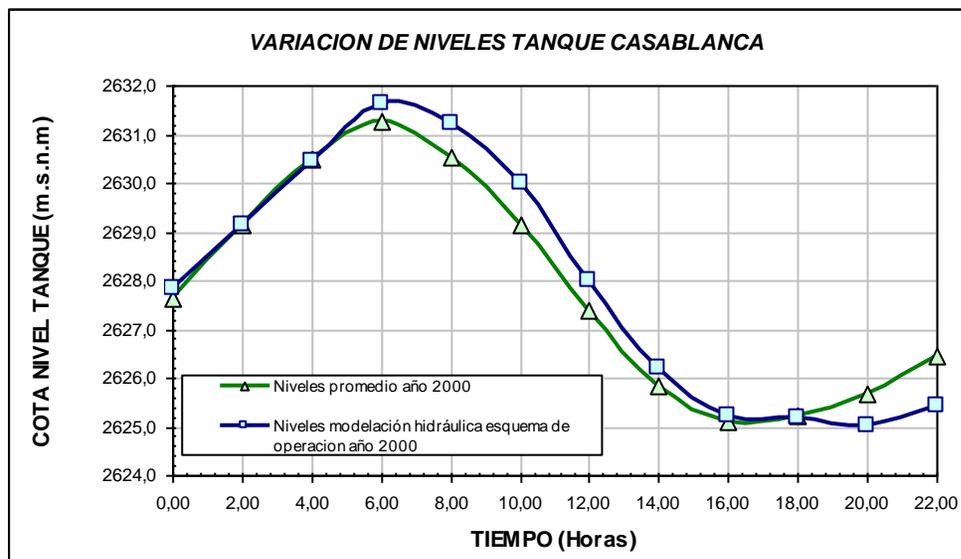


Figura 4.3.1 Variación de niveles tanque Casablanca

Tabla 4.3.4 Calibración Tanque Casablanca

HORA	GRADIENTE HIDRAULICO (msnm)		NIVEL (m)		ESTADO
	MEDIDO	MODELO	MEDIDO	MODELO	
0,00 hr	2627,83	2627,64	3,83	3,64	Llenando
2,00 hr	2629,13	2629,16	5,13	5,15	Llenando
4,00 hr	2630,44	2630,48	6,44	6,47	Llenando
6,00 hr	2631,62	2631,29	7,62	7,29	Desocupando
8,00 hr	2631,23	2630,54	7,23	6,54	Desocupando
10,00 hr	2630,02	2629,15	6,02	5,15	Desocupando
12,00 hr	2627,99	2627,38	3,99	3,37	Desocupando
14,00 hr	2626,21	2625,85	2,21	1,85	Desocupando
16,00 hr	2625,24	2625,10	1,24	1,10	Desocupando
18,00 hr	2625,20	2625,22	1,20	1,22	Desocupando
20,00 hr	2625,02	2625,69	1,02	1,69	Desocupando
22,00 hr	2625,41	2626,44	1,41	2,44	Llenando

### ➤ Parque Nacional

El tanque del Parque Nacional presenta en forma permanente niveles muy bajos entre 1 y 2 m, con una utilización de su volumen inferior al 30%, tanto en la modelación como en las lecturas de nivel efectuadas por la E.A.A.B.

Este tanque básicamente está indicando las variaciones de presión que presenta la línea de 42 plg instalada entre la Av. 39 x Universidad nacional y el Parque nacional.

En la figura 4.3.2 y en la tabla 4.3.5 se presentan los resultados obtenidos.

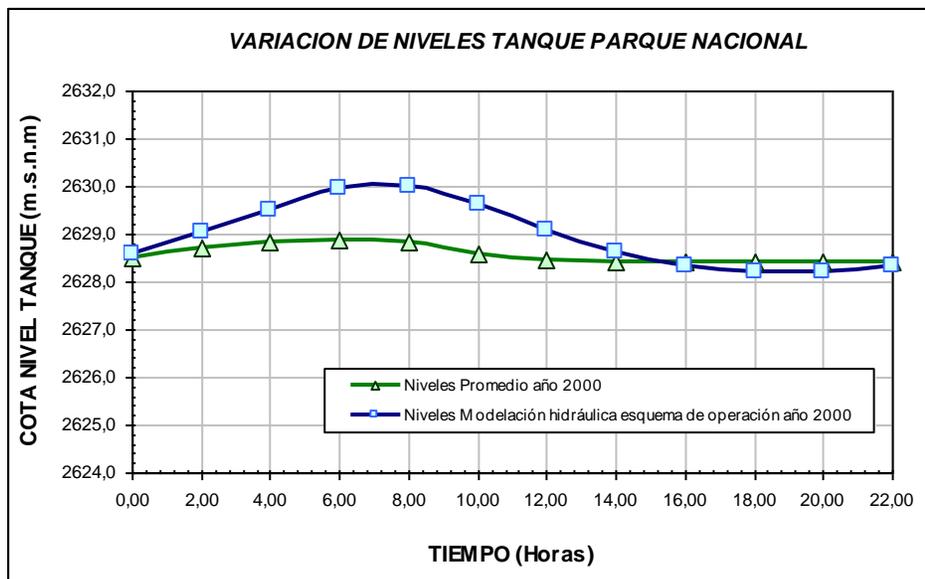


Figura 4.3.2 Variación de niveles tanque Parque Nacional

Tabla 4.3.5 Calibración tanque Parque Nacional

HORA	GRADIENTE HIDRAULICO (msnm)		NIVEL (m)		ESTADO
	MEDIDO	MODELO	MEDIDO	MODELO	
0,00 hr	2628,51	2.628,58	0,81	0,88	Llenando
2,00 hr	2628,70	2.629,03	1,00	1,33	Llenando
4,00 hr	2628,83	2.629,49	1,13	1,79	Llenando
6,00 hr	2628,86	2.629,95	1,16	2,25	Llenando
8,00 hr	2628,85	2.629,99	1,15	2,29	Desocupando
10,00 hr	2628,56	2.629,61	0,86	1,91	Desocupando
12,00 hr	2628,48	2.629,09	0,78	1,39	Desocupando
14,00 hr	2628,43	2.628,64	0,73	0,94	Desocupando
16,00 hr	2628,42	2.628,34	0,72	0,64	Desocupando
18,00 hr	2628,43	2.628,22	0,73	0,52	Desocupando
20,00 hr	2628,42	2.628,20	0,72	0,50	Llenando
22,00 hr	2628,42	2.628,35	0,72	0,65	Llenando

➤ **Cazuca**

En la calibración se obtiene el gradiente hidráulico para el tanque de Cazucá, para una simulación extendida de 24 horas, muy similar al reportado en las mediciones, como puede observarse en la figura 4.3.3 y tabla 4.3.6

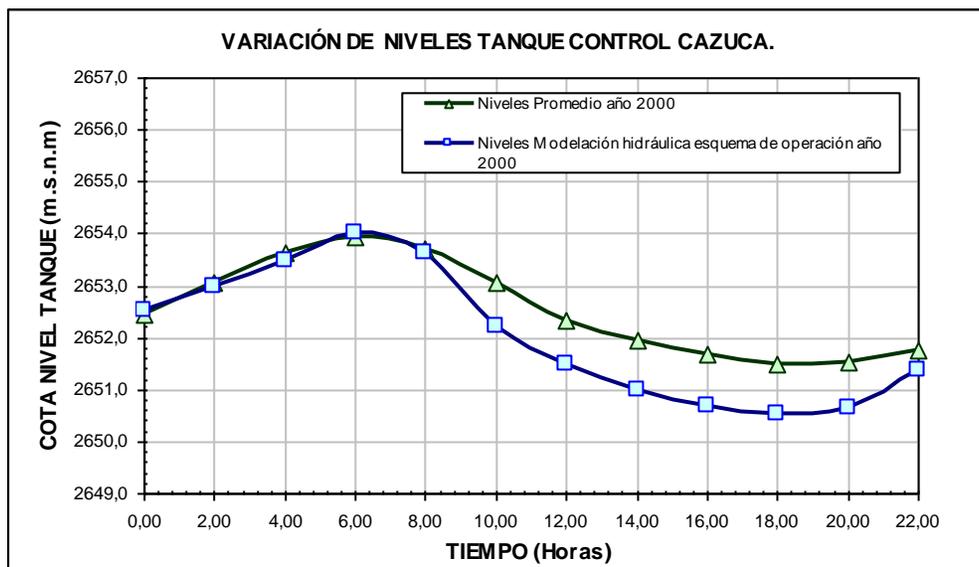


Figura 4.3.3 Variación de niveles tanque Control Cazucá

*Tabla 4.3.6 Calibración tanque Cazuca*

HORA	GRADIENTE HIDRAULICO (msnm)		NIVEL (m)		ESTADO
	MEDIDO	MODELO	MEDIDO	MODELO	
0,00 hr	2652,44	2652,54	4,44	4,54	Llenando
2,00 hr	2653,05	2652,98	5,05	4,98	Llenando
4,00 hr	2653,63	2653,47	5,63	5,47	Llenando
6,00 hr	2653,95	2654,01	5,95	6,01	Llenando
8,00 hr	2653,70	2653,63	5,70	5,63	Desocupando
10,00 hr	2653,06	2652,21	5,06	4,21	Desocupando
12,00 hr	2652,32	2651,50	4,32	3,50	Desocupando
14,00 hr	2651,95	2651,00	3,95	3,00	Desocupando
16,00 hr	2651,67	2650,70	3,67	2,70	Desocupando
18,00 hr	2651,49	2650,54	3,49	2,54	Desocupando
20,00 hr	2651,51	2650,65	3,51	2,65	Llenando
22,00 hr	2651,75	2651,39	3,75	3,39	Llenando

#### 4.3.1.3.2 Caudales a la salida de los reservorios

##### ➤ Tibitoc

Los caudales suministrados por Tibitoc corresponden al suministro que se efectúa a través de las líneas de 78 plg y 60 plg.

Para el periodo analizado del año 2000 se presenta un suministro total entre 3,5 m<sup>3</sup>/s y 4,5 m<sup>3</sup>/s, como se puede observar en la figura 4.3.4 y en la tabla 4.3.7

Es de anotar que para Tibitoc no se analiza la variación de niveles, teniendo en cuenta que por tratarse de una fuente de alimentación básica para el sistema se simula como un reservorio.

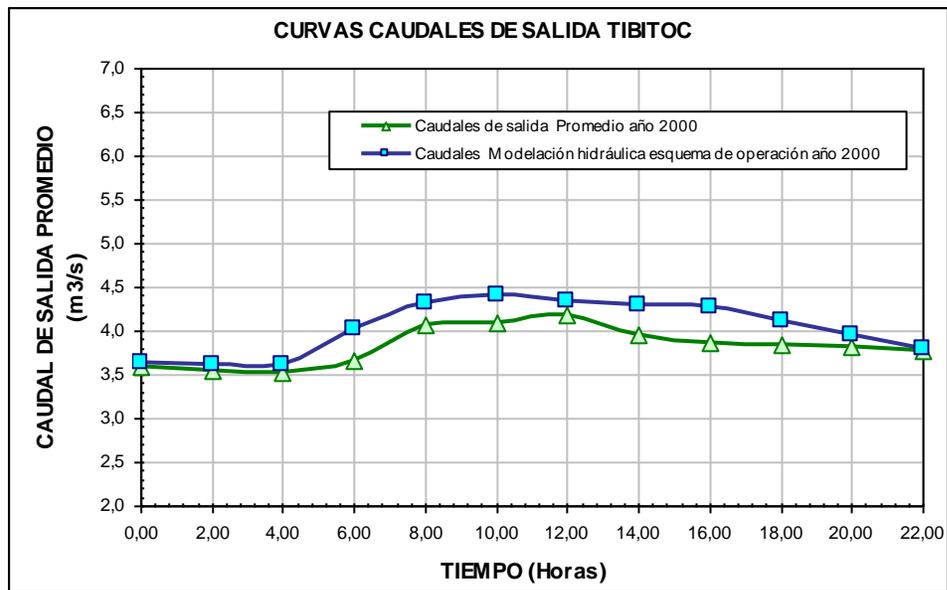


Figura 4.3.4 Caudales de salida Tibitoc

Tabla 4.3.7 Calibración Reservoirio Tibitoc

HORA	CAUDAL (m3/s)	
	MEDIDO	MODELO
0,00 hr	3,59	3,64
2,00 hr	3,54	3,60
4,00 hr	3,53	3,62
6,00 hr	3,66	4,01
8,00 hr	4,07	4,32
10,00 hr	4,10	4,41
12,00 hr	4,19	4,33
14,00 hr	3,96	4,29
16,00 hr	3,87	4,28
18,00 hr	3,83	4,11
20,00 hr	3,83	3,97
22,00 hr	3,78	3,81

➤ **Santa Ana**

Santa Ana al igual que Tibitoc se simula como un reservorio, teniendo en cuenta su suministro directo de la planta de tratamiento de Wiesner. En la figura 4.3.5 y la tabla 4.3.8 se presenta la variación de caudales a la salida del reservorio.

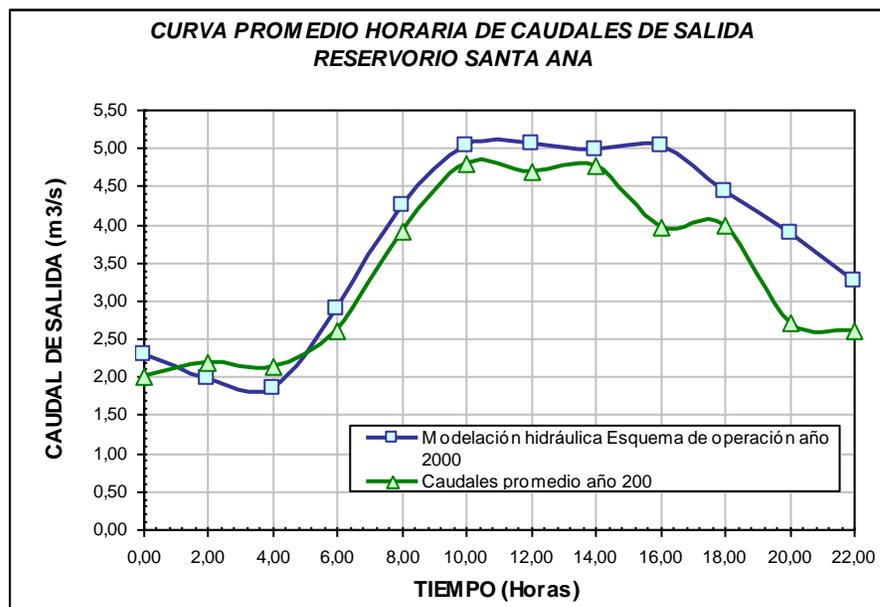


Figura 4.3.5 Caudales de salida reservorio Santa Ana

Tabla 4.3.8 Calibración Reservorio Santa Ana

HORA	CAUDAL (m3/s)	
	MEDIDO	MODELO
0,00 hr	2,00	2,29
2,00 hr	2,18	1,99
4,00 hr	2,15	1,84
6,00 hr	2,60	2,89
8,00 hr	3,90	4,25
10,00 hr	4,80	5,04
12,00 hr	4,70	5,06
14,00 hr	4,78	4,97
16,00 hr	3,96	5,03
18,00 hr	4,00	4,42
20,00 hr	2,70	3,87
22,00 hr	2,60	3,25

#### 4.3.1.3.3 Calibración de caudales y presiones en la red Sistema Básico

Con el objeto de efectuar la calibración de caudales del modelo hidráulico se tomaron registros de aforos medidos por la E.A.A.B. en los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre de 2000, con los periodos y frecuencias indicadas en la tabla 4.3.4, la localización de estos puntos de medición con referencia a los tramos (pipes) del modelo hidráulico se presentan en la tabla 4.3.9.

Como puede observarse la calibración se efectúa para los sitios que tiene habilitados la EAAB con medición de caudales, e incluye tuberías de 16", 24" 36", 42" y 60" en diferentes sitios de Bogotá.

La calibración se efectuó partiendo de los patrones de consumo obtenidos para cada uno de los 37 sectores en que está dividido el sistema de distribución de la ciudad, así mismo se tuvieron en cuenta los aforos totales de cada sector. Como resultado del proceso de calibración se obtuvieron curvas de caudal para periodos de 2 horas, con simulaciones extendidas de 24 horas, ajustadas a las curvas de caudales promedio obtenidas en los aforos.

En la tabla 4.3.9 se indica la localización geográfica y su referenciación con el modelo hidráulico de cada uno de los puntos adoptados para la calibración.

En la figuras 4.3.6, 4.3.7, 4.3.8, 4.3.9, 4.3.10, 4.3.11, 4.3.12, 4.3.13, 4.3.14, 4.3.15, 4.3.16, 4.3.17, 4.3.18, 4.3.19, 4.3.20, 4.3.21 y 4.3.22 se presentan las respectivas curvas.

En general puede observarse que el modelo se calibró satisfactoriamente en todos los sitios seleccionados. Así mismo se obtuvo una calibración muy aceptable para los tanques y reservorios.

Con relación a las presiones se analizaron las curvas de isopresiones con periodos de 2 horas para la simulación extendida a 24 horas (ver esquemas 2 y 3). En general la distribución de presiones se encuentra dentro de los rangos de operación normales y medidos por la EAAB, lo cual se ratifica con la calibración obtenida para los niveles de los tanques del sistema de distribución.

En consecuencia se puede afirmar que el modelo básico se encuentra perfectamente calibrado para las condiciones de operación del año 2000. Es de anotar que esta labor de calibración se debe ajustar cada vez que surjan cambios importantes en la operación del sistema.

*Tabla 4.3.9 Puntos de calibración y medición de caudales*

UBICACION	DIÁMETRO (Pig)	TRAMO EN EL MODELO	FIGURAS
Av. 1 de Mayo – Av. Boyacá	24"	P-4680	4.3.6
Av. Américas – Av. Boyacá.	16"	P-4695	4.3.7
Av. Américas – Av. Boyacá	24"	P-4685	4.3.8
Calle 126 – Av. Boyacá	36"	P-1470	4.3.9
Calle 56 S - Cra. 86 A	24"	P-4977	4.3.10
Calle 66 – Av. Boyacá	30"	P-2965	4.3.11
Call 80 – Av. Boyacá	24"	P-3045	4.3.12
Calle 82 – Av. Boyacá	24"	P-128	4.3.13
San Diego Calle 26 Cra. 2	42"	P-2070	4.3.14
Calle 26 - Cra. 2	24"	P-2065	4.3.15
Calle 22 - Cra. 24	42"	P-4165	4.3.16
Calle 39 Sur Av. Boyacá	16"	P-4565	4.3.17
Calle 68 – Av. Boyacá	16"	P-2585	4.3.18
Calle 57 F Sur Cra.86	24"	P-4980	4.3.19
Zona Baja Norte	60"	P-1900	4.3.20
Zona Baja Sur	60"	P-1885	4.3.21
Zona Intermedia	42"	P-1750	4.3.22

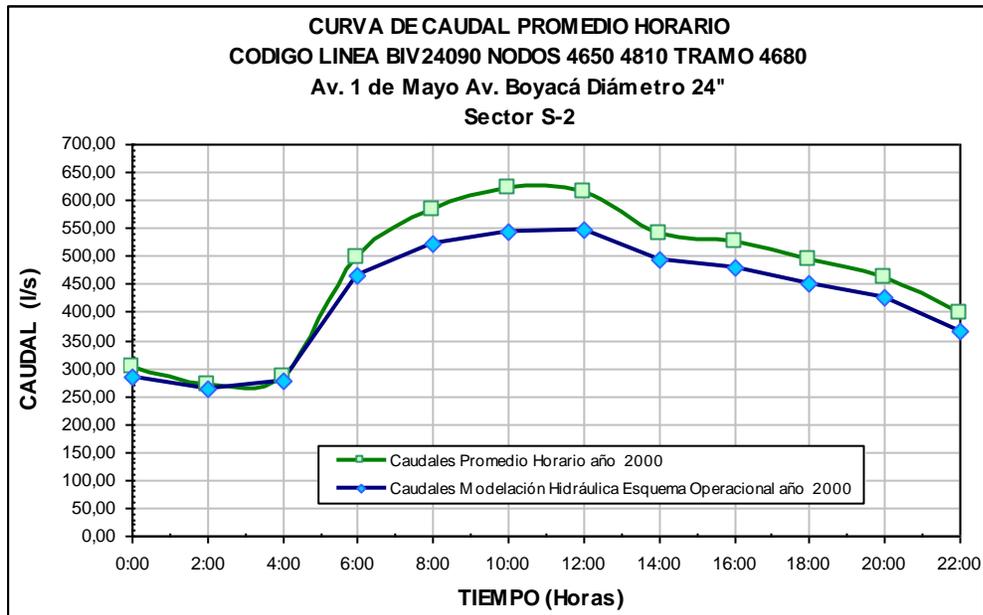


Figura 4.3.6 Curva Caudal Linea BIV24090

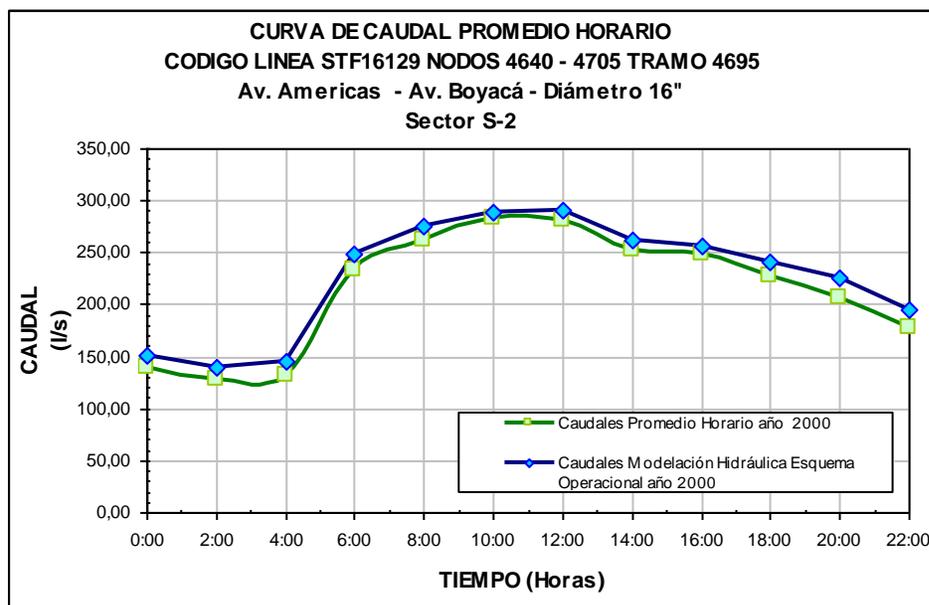


Figura 4.3.7 Curva de caudal Línea STF16129

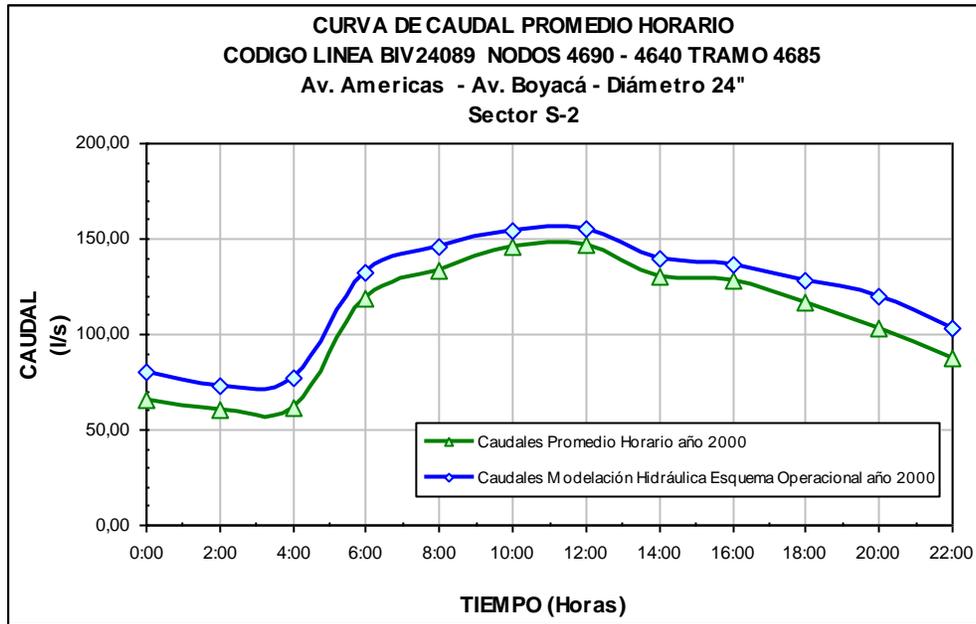


Figura 4.3.8 Curva Caudal Línea BIV24089

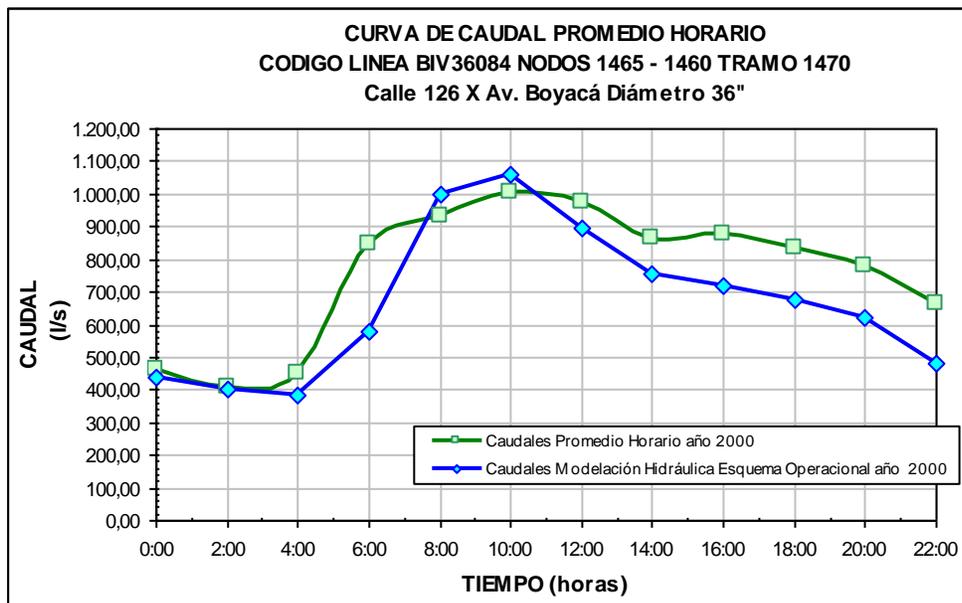


Figura 4.3.9 Curva caudal Línea BIV36084

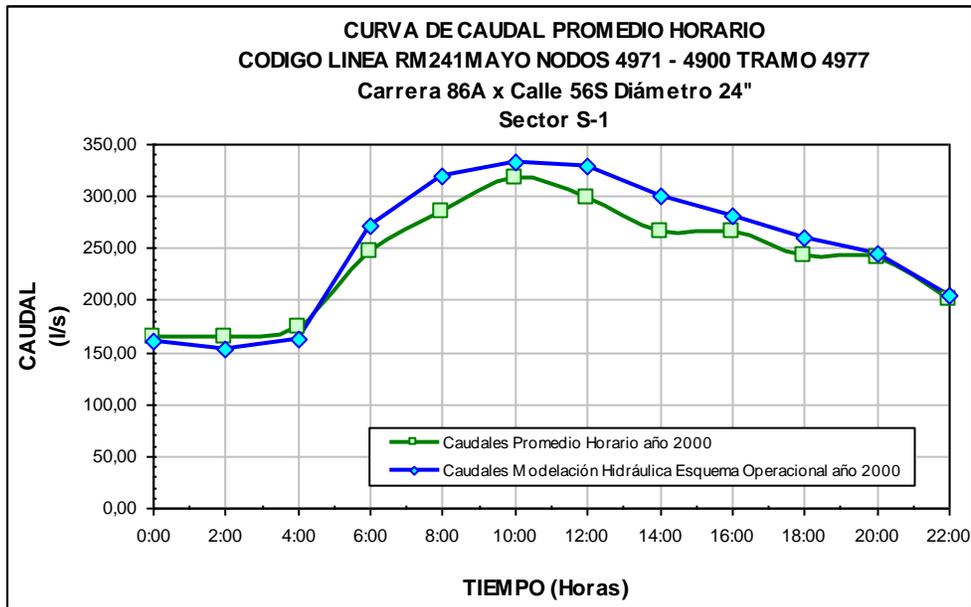


Figura 4.3.10 Curva Caudal Línea RM241MAYO

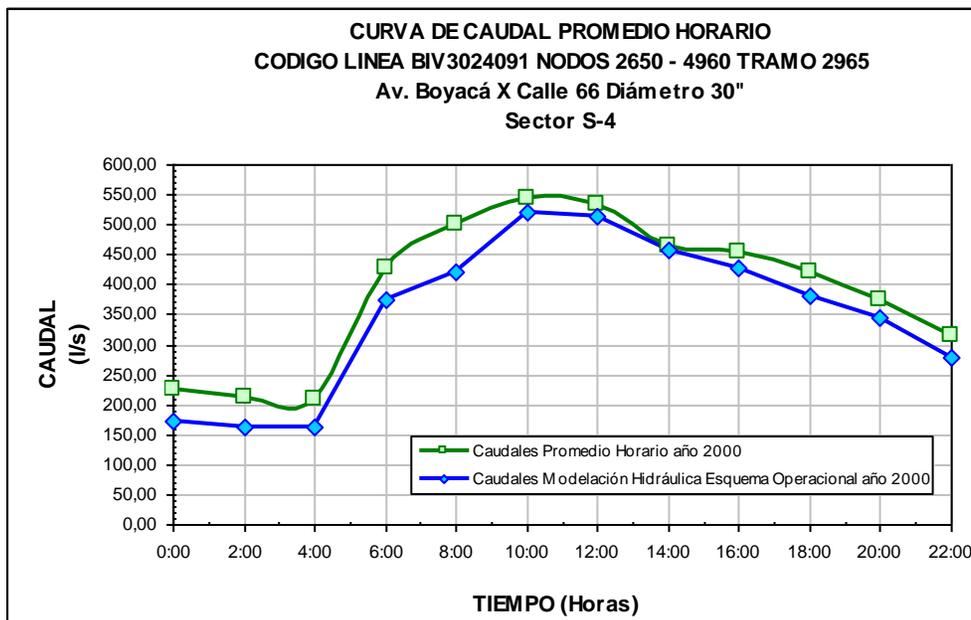


Figura 4.3.11 Curva Caudal Línea BIV3024091

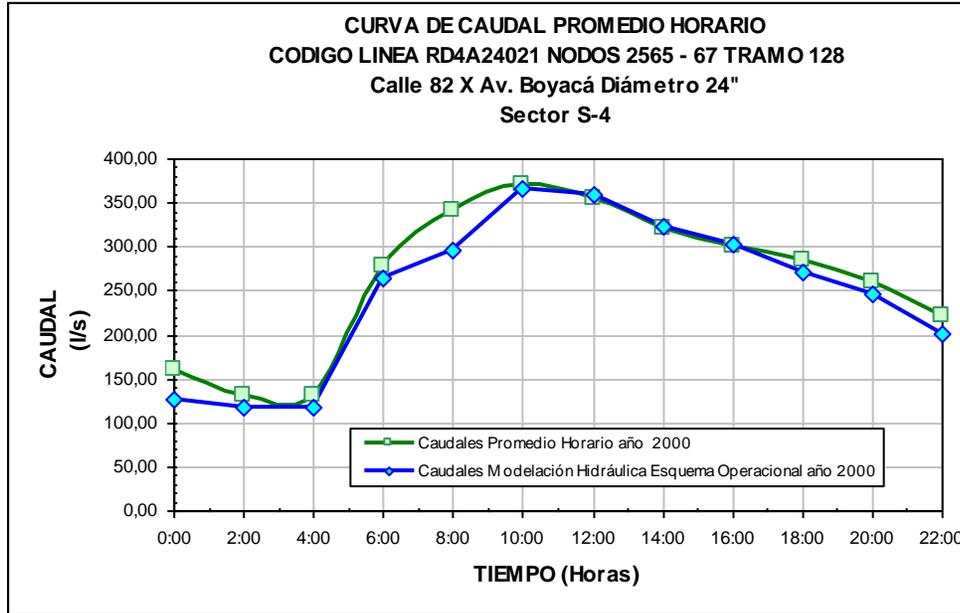


Figura 4.3.12 Curva Caudal Línea RD4A24021

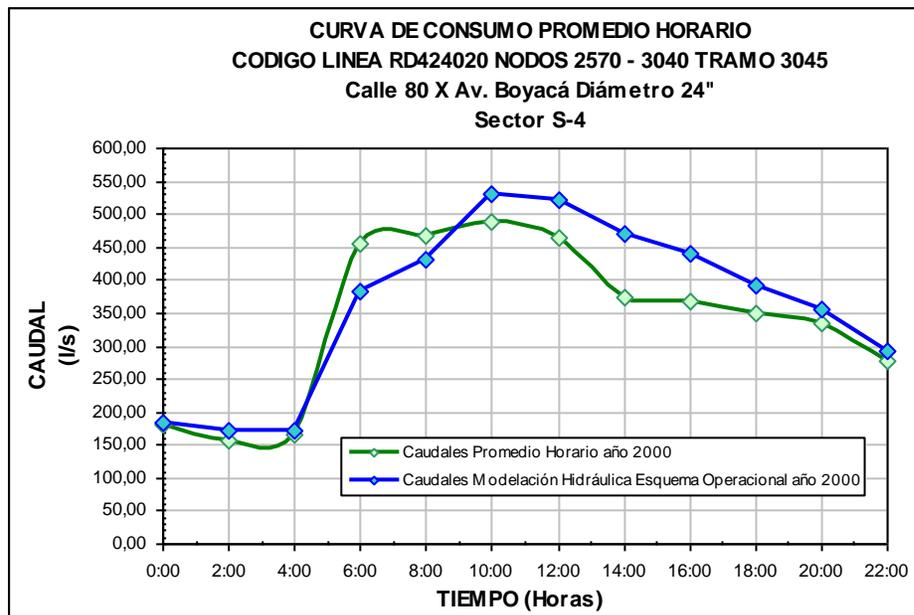


Figura 4.3.13 Curva Caudal Línea RD424020

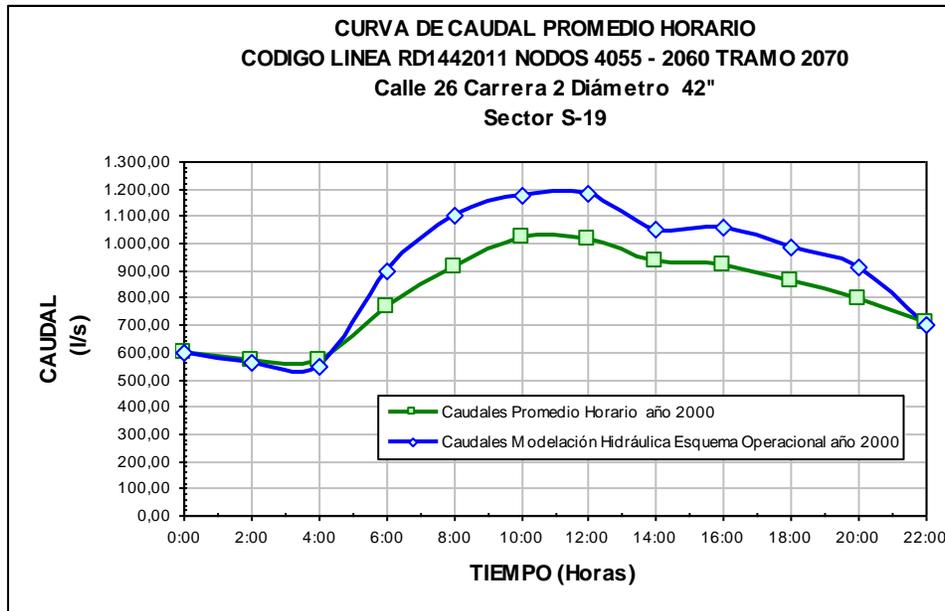


Figura 4.3.14 Curva Caudal Línea RD1442011

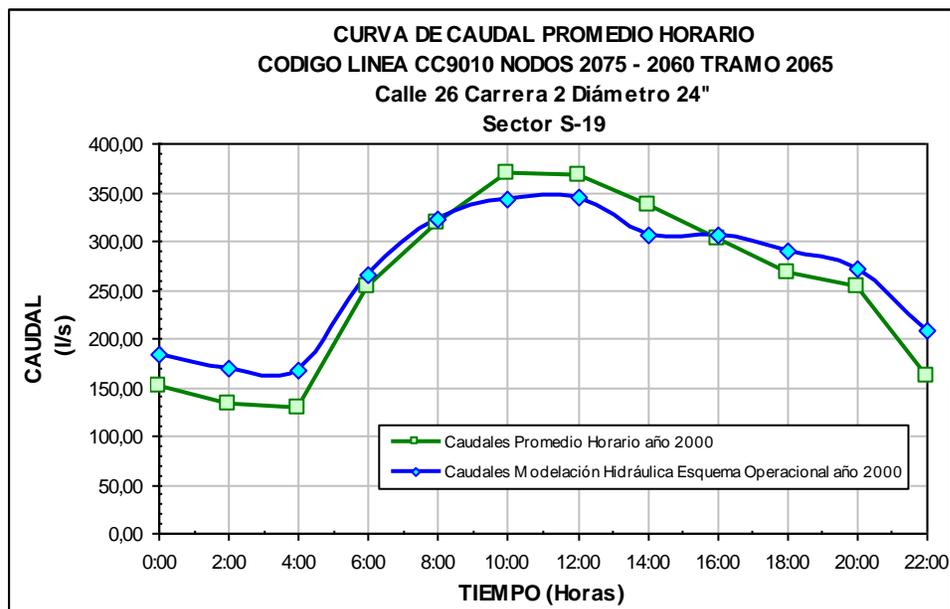


Figura 4.3.15 Curva Caudal Línea CC9010

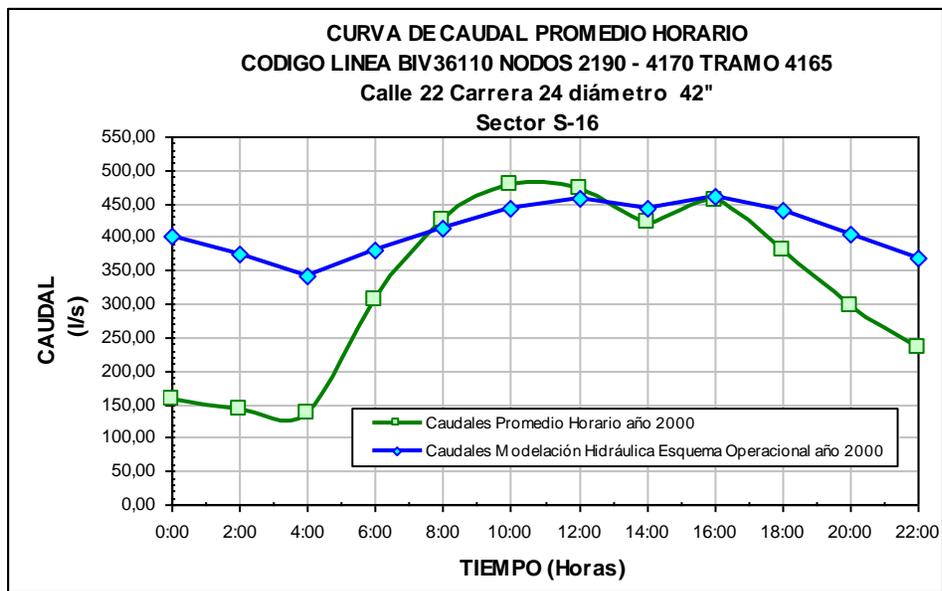


Figura 4.3.16 Curva Caudal Línea BIV36110

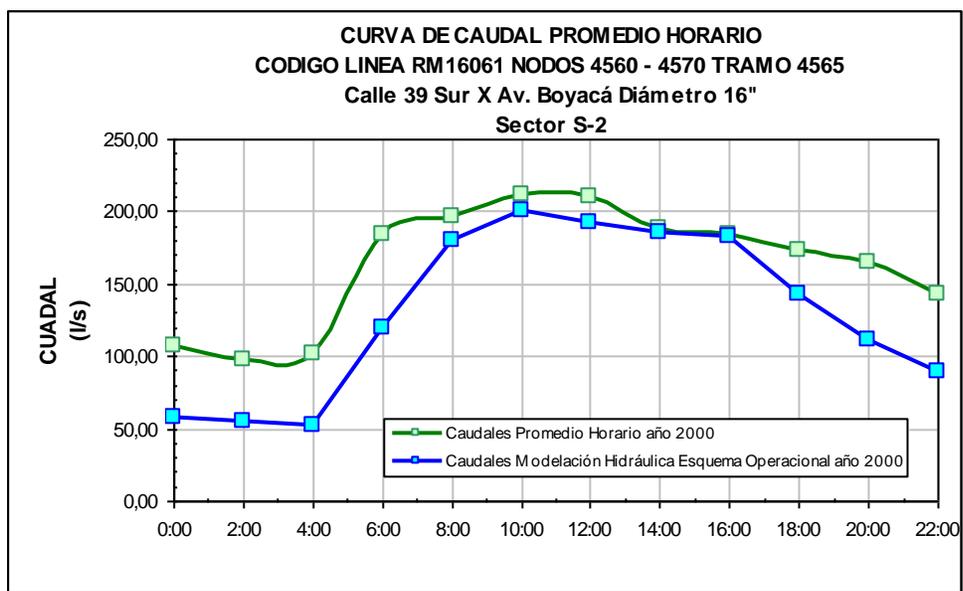


Figura 4.3.17 Curva Caudal Línea RM16061

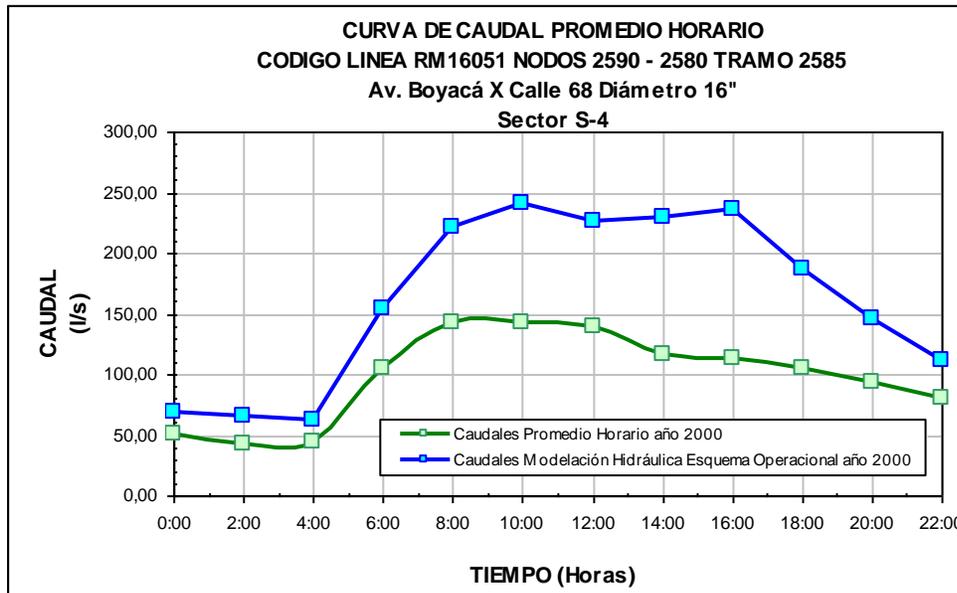


Figura 4.3.18 Curva Caudal Línea RM16051

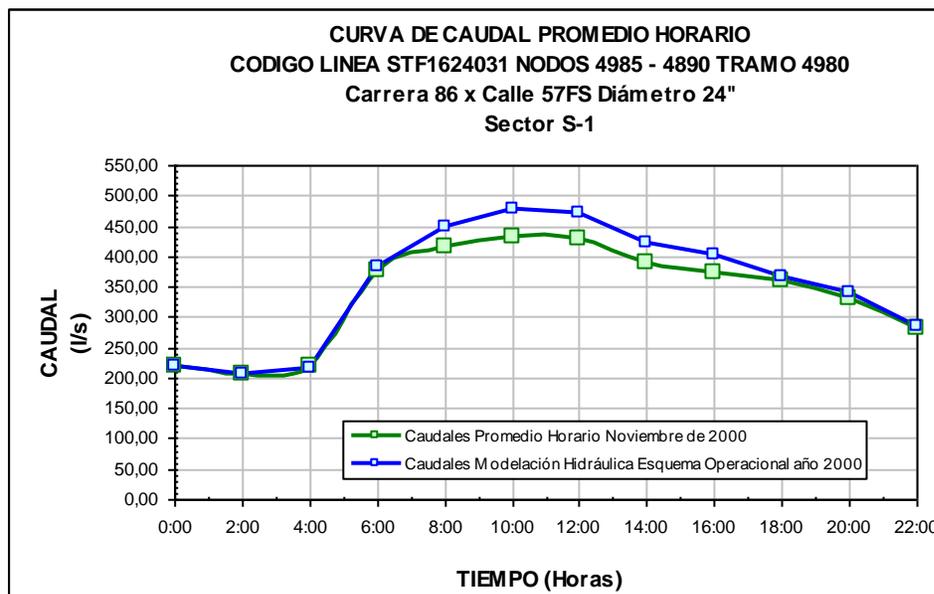


Figura 4.3.19 Curva Caudal Línea STF1624131

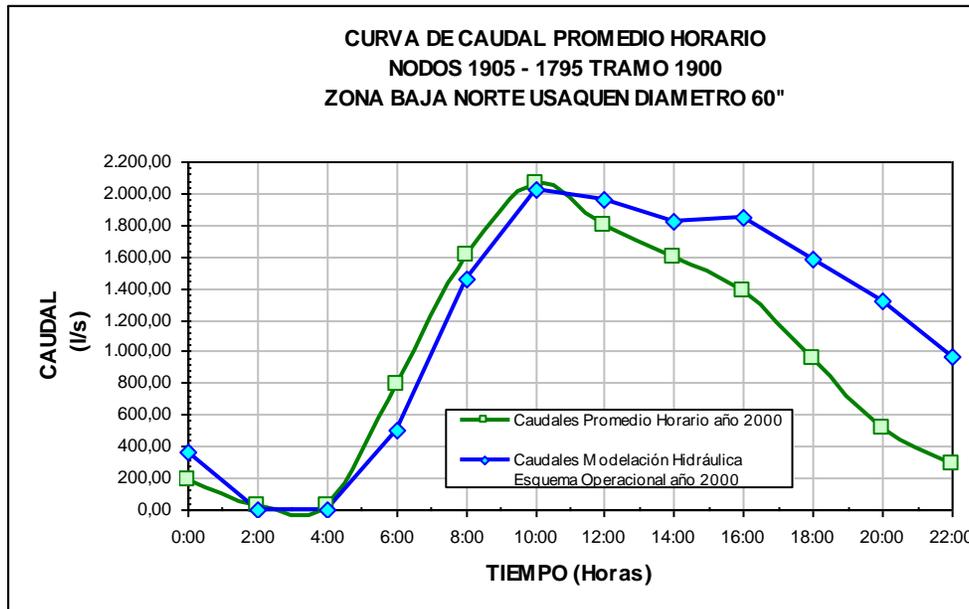


Figura 4.3.20 Curva Caudal Zona Baja Norte

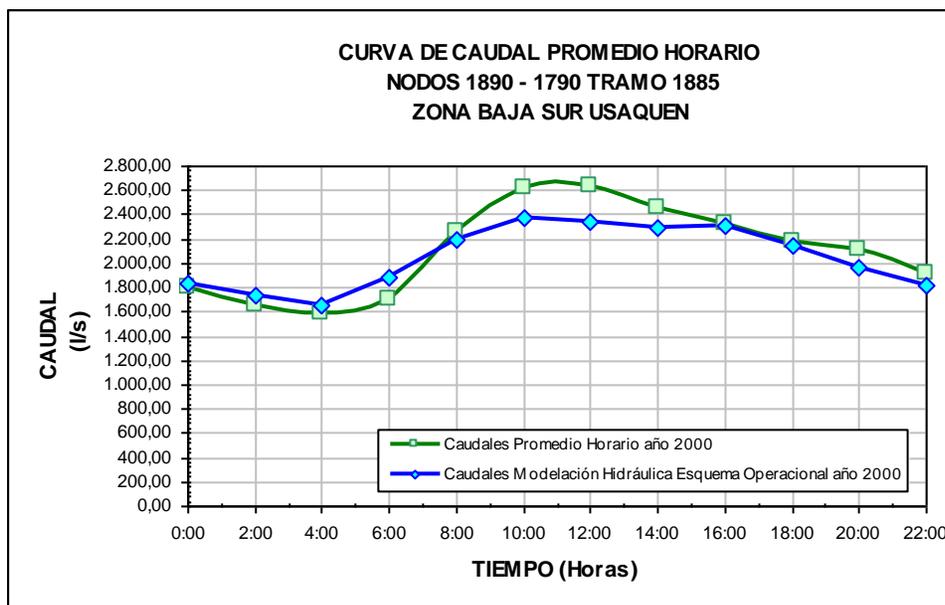


Figura 4.3.21 Curva Caudal Zona Baja Sur

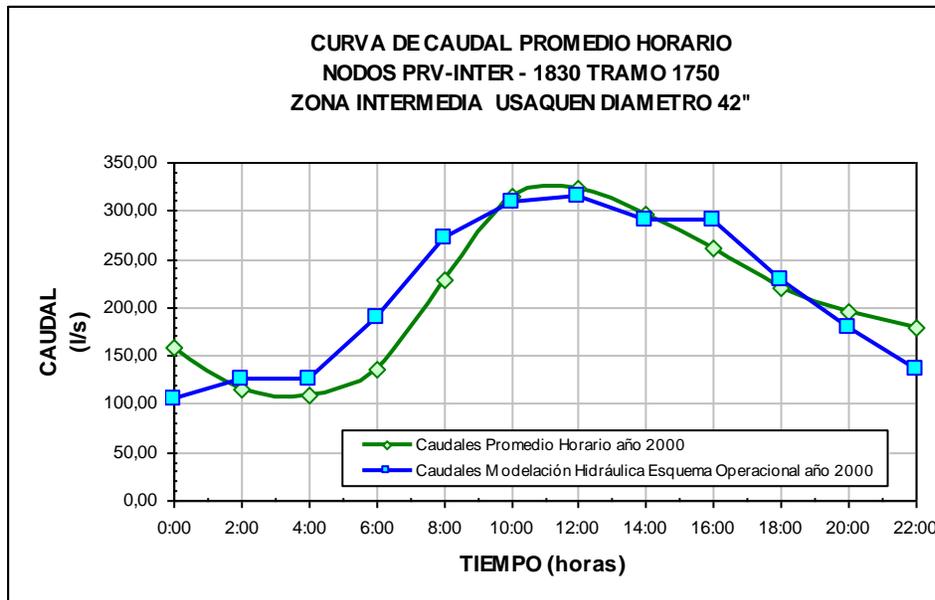


Figura 4.3.22 Curva Caudal Zona Intermedia

## 4.3.2 SISTEMA VITELMA

### 4.3.2.1 HIPÓTESIS OPERACIONAL

El sistema Vitelma se modeló incluyendo válvulas de control de flujo (FCV) con el objeto de simular las variaciones del caudal que se presentan en la producción de la planta, lo cual se hace generalmente sacando de servicio uno o más filtros. El suministro desde Vitelma se simula con un reservorio con nivel fijo, por tratarse de la alimentación del sistema.

Las demandas asignadas a la salida de cada tanque corresponden con el consumo de su área de influencia de acuerdo con los caudales obtenidos de la macromedición de sectores y subsectores.

En las tablas 4.3.10 y 4.3.11 se presenta la posición de las válvulas que controlan la operación del sistema.

*Tabla 4.3.10 Válvulas de separación de servicios*

DESCRIPCION	LINEA	TRAMO	ESTADO
San Carlos Altos de Jalisco	RD26A24041	P-6555	Cerrada (close pipe)
Interconexión Vitelma Monteblanco		P-21	Cerrada (close pipe)
Vitelma Diana Turbay Monteblanco	CC9011	P-6385	Cerrada (close pipe)
Interconexión Los Pinos Juan Rey		P-29	Cerrada (close pipe)

*Tabla 4.3.11 Válvulas Controladoras de Flujo*

TIEMPO	CAUDAL (l/s)	
	FCV-2	FCV-3
00:00	450	280
02:00	450	240
04:00	450	320
06:00	500	330
08:00	500	330
10:00	500	335
12:00	612	330
14:00	560	330
16:00	513	330
18:00	468	330
20:00	418	300
22:00	355	280

➤ **Cadena Sur-oriental**

Conformada por los tanques Columnas, San Vicente, Quindío y Juan Rey. Para esta cadena se dispone de los bombes indicados en la tabla 4.3.12

*Tabla 4.3.12 Bombes Cadena Sur- Oriental*

BOMBEO	MAXIMA CABEZA CON CERO DESCARGA (m)	CAUDAL DE DISEÑO (l/s)	CAUDAL MAXIMO (l/s)	CABEZA DE DISEÑO (m)
B-Columnas	40	270	370	84
B- San Vicente	40	300	380	105
B-Los Alpes	40	200	300	120
B-Quindio	20	70	150	70

- Bombeos

*Tabla 4.3.13 Bombeos cadena Ciudad Bolivar*

BOMBEO	MAXIMA CABEZA CON CERO DESCARGA (m)	CAUDAL DE DISEÑO (l/s)	CAUDAL MAXIMO (l/s)	CABEZA DE DISEÑO (m)
B-Jalisco	20	250	350	50
B-Castillo	10	120	150	94

La antigua línea Vitelma Jalisco de 24" se aísla en su tramo final con válvula cerrada (P-6555) y se utiliza para distribución en su zona de influencia.

*Tabla 4.3.14 Bombeo San Dionisio y Consuelo*

BOMBEO	MAXIMA CABEZA CON CERO DESCARGA (m)	CAUDAL DE DISEÑO (l/s)	CAUDAL MAXIMO (l/s)	CABEZA DE DISEÑO (m)
B-San Dionisio	70	55	80	150
B-El Consuelo	30	120	160	90

- Monteblanco

La interconexión en  $\phi$  24" de la nueva línea Vitelma - Jalisco con Monteblanco se cierra con una válvula en el tramo P-21

La línea Vitelma Monteblanco se cierra en el tramo P-6385. El tanque Monteblanco se alimenta desde la planta la Laguna.

La producción de esta planta se simula con la válvula reguladora de flujo FCV-1 y una válvula reductora de presión PRV-1

#### 4.3.2.2 CALIBRACION Y ANÁLISIS OPERACIONAL

##### 4.3.2.2.1 Calibración de los niveles de los tanques

Con el objeto de calibrar el sistema Vitelma para las condiciones operacionales del año 2000 se evaluaron los niveles en los tanques con disponibilidad de mediciones. Se calibraron los tanques de la cadena Sur-Oriental a partir de San Vicente y los Alpes, y la cadena Ciudad Bolivar a partir de Castillo y Volador. En general su comportamiento en la medición hidráulica es muy similar al obtenido por la E.A.A.B. en las mediciones.

En las figuras 4.3.23, 4.3.24, 4.3.25, 4.3.26, se presenta la variación de niveles de los respectivos tanques.

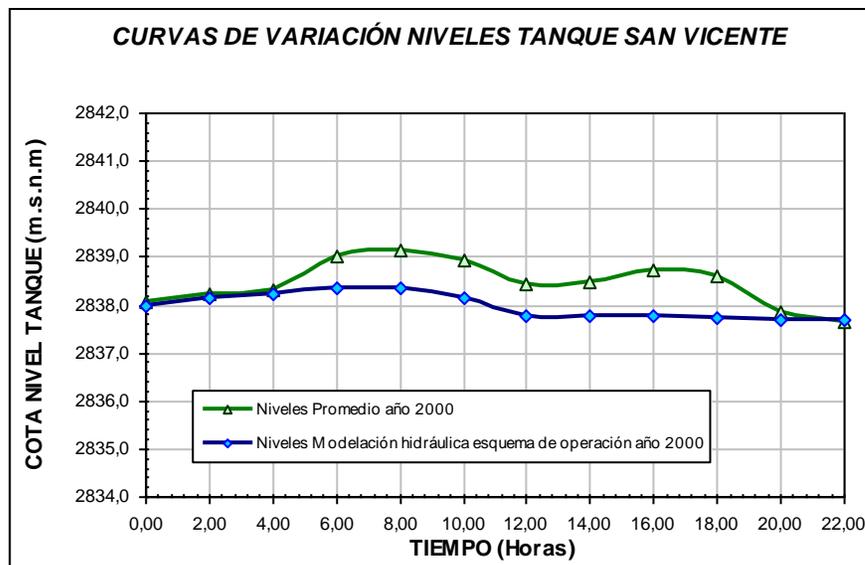


Figura 4.3.23 Curva Niveles tanque San Vicente

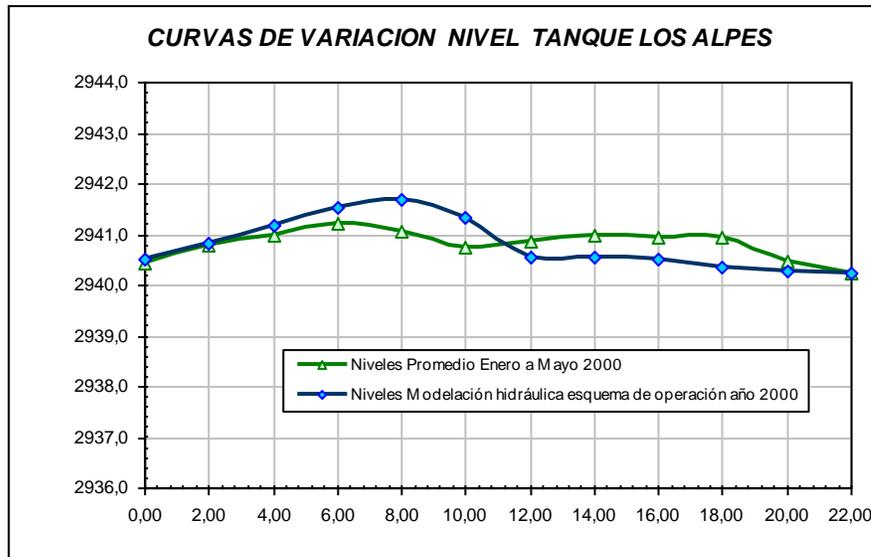


Figura 4.3.24 Curva Niveles tanque Los Alpes

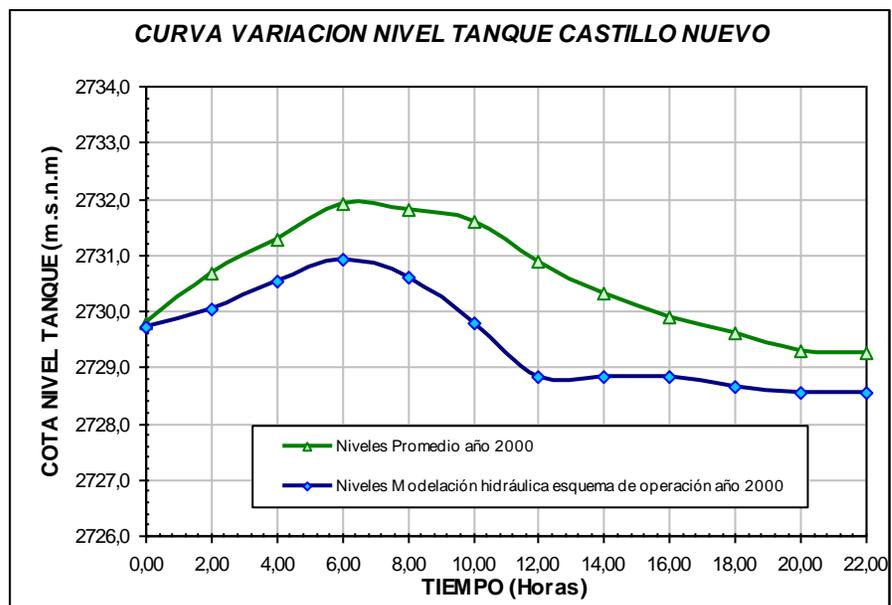


Figura 4.3.25 Curva Niveles tanque El Castillo

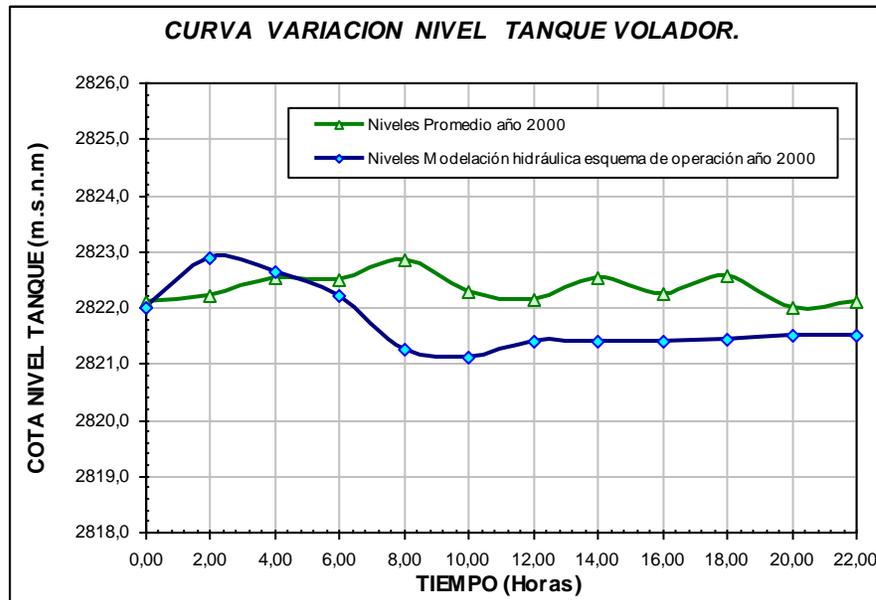


Figura 4.3.26 Curva Niveles tanque Volador

#### 4.3.2.2.2 Caudales y presiones en el sistema

En las figuras 4.3.27, 4.3.28, 4.3.29, 4.3.30, se presentan las curvas de variación de caudal previamente tabuladas, obtenidas en la simulación extendida del Sistema Vitelma.

En la figura 4.3.27 se presenta el tramo P-36 de la línea RM3024154 con tubería de 30 plg de diámetro que corresponde a la nueva conducción Vitelma-Jalisco que alimenta la cadena de bombeo de Ciudad Bolívar, regulada con los controles que se efectúan en el tanque Vitelma ( corresponde indirectamente a la producción en la Planta Vitelma y control Vitelma).

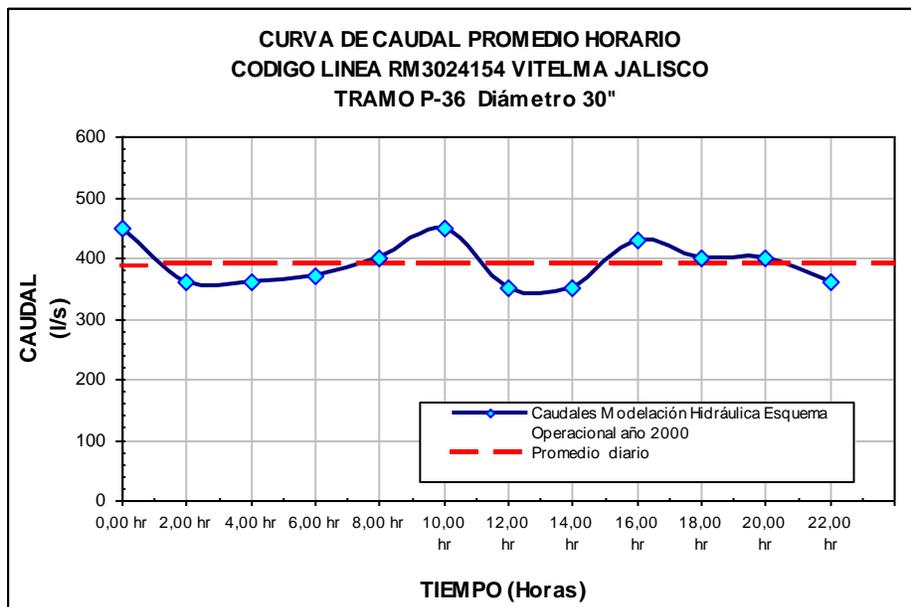


Figura 4.3.27 Curva Caudal línea RM3024154

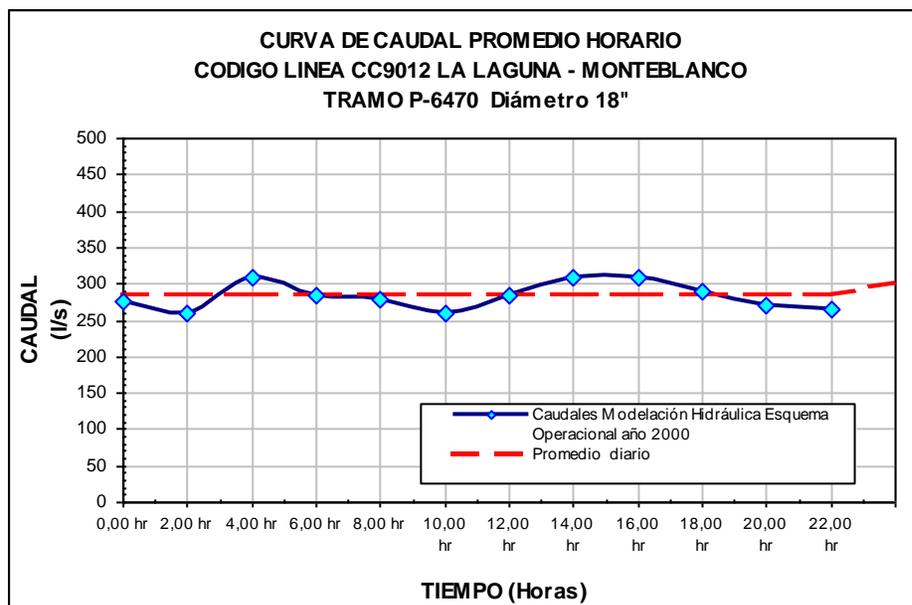


Figura 4.3.28 Curva Caudal línea CC9012

En la figura 4.3.28 se indica el tramo P-6470 con tubería de 18 Plg de la línea CC9012 que conduce el caudal de la Laguna a Monteblanco ( Sector Usme) cuya producción es independiente de Vitelma.

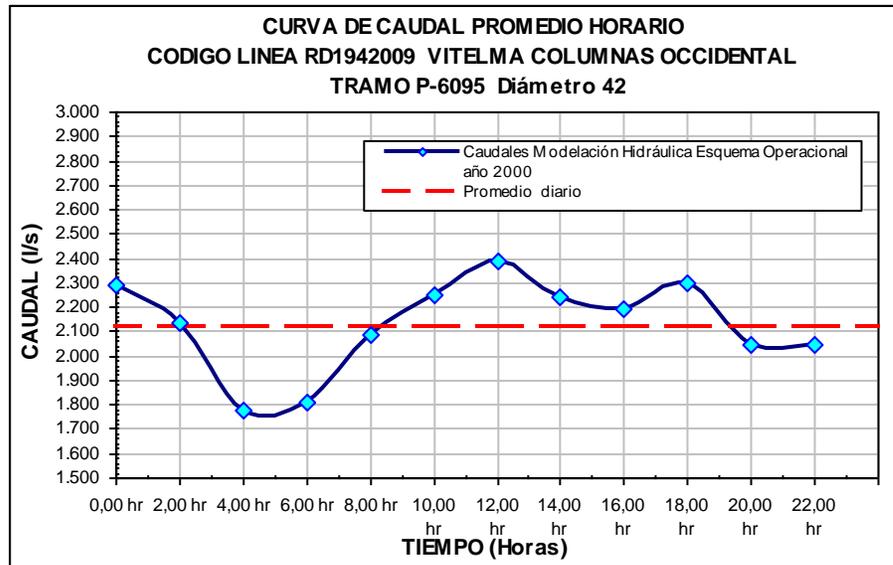


Figura 4.3.29 Curva Caudal línea RD1942009

El tramo P-6095 de la Línea RD1942009 de 42 Plg conduce del tanque de Vitelma a la Cadena Sur Oriental ( Columnas, San Vicente, Quindío y Juan Rey) y a la cadena Ciudad Bolívar ( Jalisco, Castillo y Volador) . La figura 4.3.29 ilustra la variación de caudal horario a través de esta línea y el caudal promedio el cual constituye el 90% del total suministrado al sistema. El caudal restante se conduce a los bombes San Dionisio - Monteblanco 3% y gravedad Vitelma – San Diego 7%.

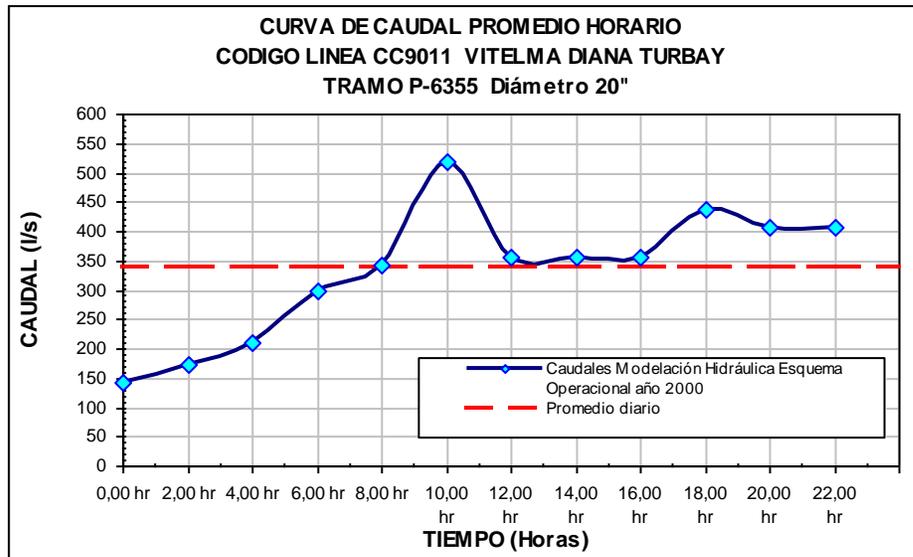


Figura 4.3.30 Curva Caudal Línea CC9011

En la figura 4.3.30 se ilustra línea CC9011 que conduce el caudal correspondiente a la demanda del sector S20 al cual pertenece la zona de Diana Turbay.

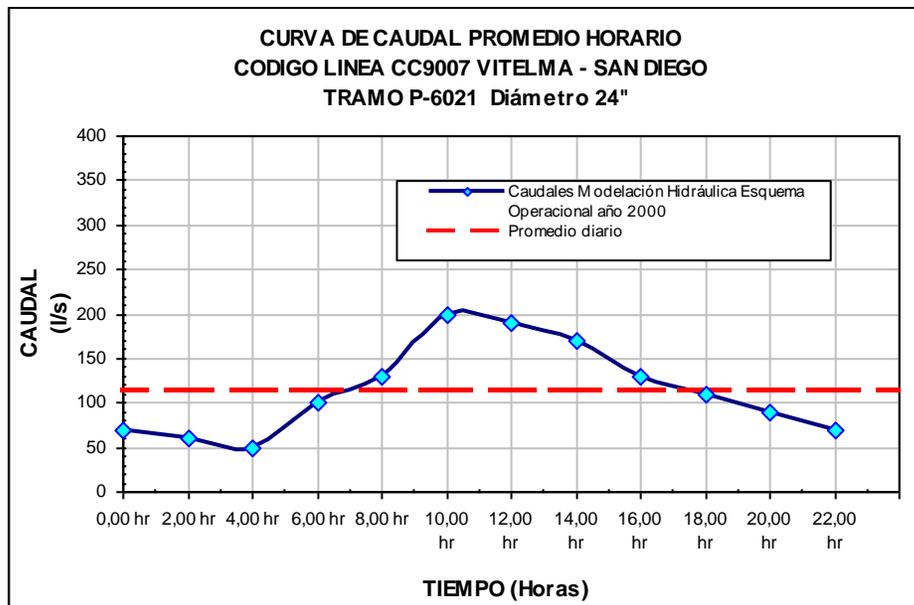


Figura 4.3.31 Curva Caudal Línea CC9011

En la figura 4.3.31 se presenta la variación de caudal en simulación extendida 24 horas para la línea CC9007 en el tramo P-6021 en Tubería de 24 Plg denominada Vitelma – San Diego.

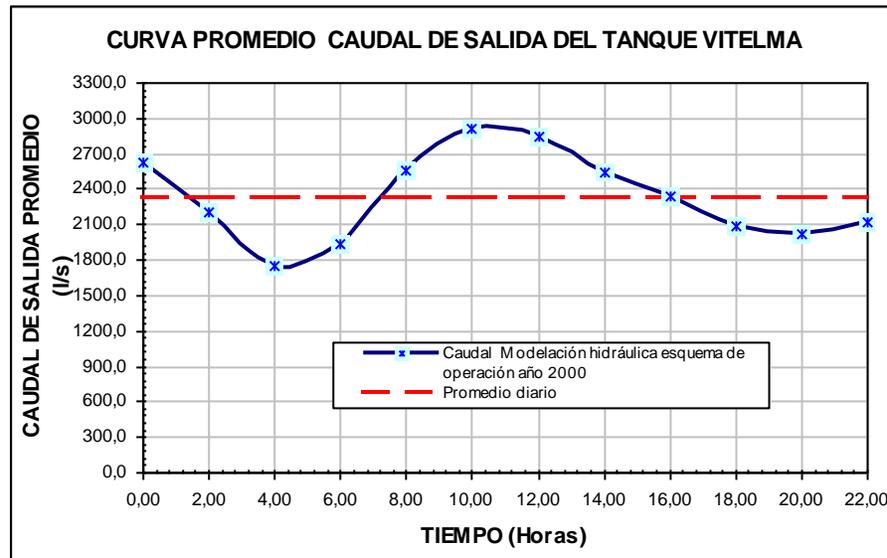


Figura 4.3.32 Curva Caudal de Salida Vitelma

En la figura 4.3.32 se indica el caudal promedio a la salida del Tanque Vitelma.

La distribución de caudales y las curvas de isopresiones (ver esquemas 4 y 5) permiten establecer un comportamiento del modelo ajustado a las condiciones reales de operación. De igual forma la calibración de los niveles de los tanques confirman una adecuada calibración del modelo.

### 4.3.3 SISTEMA LINEAS EXPRESAS

La simulación de las líneas expresas básicamente se efectúa para verificar las características hidráulicas de presiones, velocidades y pérdidas de carga a través de estas líneas. No se simulan los niveles en los tanques teniendo en cuenta que en este modelo básicamente se consideran las estructuras de control.

*Esquema 4. Análisis de isopresiones 4 am. Sistema Vitelma*



*Esquema 5. Análisis de isopresiones 10 am. Sistema Vitelma*



#### 4.3.3.1 HIPOTESIS OPERACIONAL

Las condiciones generales de operación se simulan mediante la inclusión de siete válvulas controladoras de flujo regulando los caudales a través de las líneas con los valores indicados en la tabla 4.3.15

*Tabla 4.3.15 Válvulas Líneas Expresas*

TIEMPO (horas)	CAUDALES (l/s)						
	FCV-1	FCV-2	FCV-3	FCV-5	FCV-6	FCV-7	FCV-8
00:00	10.523,80	4.000,00	1.500,00	600,00	3.350,00	600,00	3.800,00
02:00	10.395,60	4.000,00	1.500,00	600,00	3.350,00	600,00	3.800,00
04:00	10.323,60	4.000,00	1.500,00	600,00	3.350,00	600,00	4.100,00
06:00	10.324,10	4.000,00	1.500,00	600,00	3.350,00	600,00	4.100,00
08:00	10.419,20	4.000,00	1.500,00	600,00	3.350,00	600,00	4.200,00
10:00	11.040,70	4.000,00	1.500,00	600,00	3.350,00	600,00	4.200,00
12:00	10.669,00	4.000,00	1.500,00	600,00	3.350,00	600,00	4.200,00
14:00	11.231,50	4.000,00	1.500,00	600,00	3.350,00	600,00	4.500,00
16:00	11.041,90	4.000,00	1.500,00	600,00	3.350,00	600,00	4.200,00
18:00	11.041,80	4.000,00	1.500,00	600,00	3.350,00	600,00	4.200,00
20:00	10.745,50	4.000,00	1.500,00	600,00	3.350,00	600,00	4.000,00
22:00	10.645,60	4.000,00	1.500,00	600,00	3.350,00	600,00	3.900,00

Actualmente la línea Wiesner – Suba se encuentra cerrada. Adicionalmente el nuevo tanque de Suba no se encuentra en funcionamiento.

#### 4.3.3.2 ANÁLISIS OPERACIONAL

El análisis operacional se efectúa para las líneas de mayor caudal en la simulación extendida. En el anexo No. 18 se presentan los resultados de la simulación extendida para las 10:00 a.m. la cual es la hora representativa de mayor consumo durante el día.

- La válvula FCV-1 se fija inactiva a la salida del tanque de Wiesner. Esta línea se regula aguas abajo.
- Túnel de descarga o conducción de Wiesner (P-8010) diámetro de 157 Plg con un caudal promedio de  $10.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , presenta picos de  $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$  y una velocidad promedio de  $1.10 \text{ m/s}$
- Por el túnel Los Rosales se transportan aproximadamente  $6.1 \text{ m}^3/\text{s}$  por un diámetro de 2.8 m. y una velocidad de  $0.99 \text{ m/s}$ .
- De Silencio a San Diego con la válvula FCV-7 se regulan  $600 \text{ l/s}$ , diámetro de 42 Plg y una velocidad de  $0.67 \text{ m/s}$ .
- De la línea Silencio – Casablanca – Cazucá con la válvula FCV-2 se regulan  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  con un diámetro de 48 Plg y una velocidad  $3.4 \text{ m/s}$
- A la estructura de control de Casablanca con la válvula FCV-6 se regulan  $3.35 \text{ m}^3/\text{s}$  con un diámetro de 42 Plg y una velocidad de  $3.75 \text{ m/s}$ .
- A la estructura de control de Cazucá con un diámetro de 42 Plg se transporta un caudal de  $650 \text{ l/s}$  y una velocidad promedio de  $0.72 \text{ m/s}$
- Para la línea Silencio - Vitelma se regula con la válvula FCV-3 un caudal de  $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$  diámetro de 60 Plg y una velocidad de  $0.82 \text{ m/s}$
- Por la tubería de 60 Plg a Santa Ana procedente del túnel se conduce un caudal de  $4.29 \text{ m}^3/\text{s}$ , con una velocidad de  $1.02 \text{ m/s}$ .
- Nor-orientales con diámetros de 20" y 16" en Hierro Dúctil
- La línea Wiesner – Suba con diámetro de 2.20 mts se encuentra cerrada.
- La línea Silencio – Parque Nacional se encuentra cerrada.
- A través de San Diego con la válvula FCV-5 se regula  $600 \text{ l/s}$

## 4.4. ANÁLISIS Y MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

### 4.4.1 GENERALIDADES

En general los modelos de simulación hidráulica no consideran el análisis de la calidad de agua, debido en parte a la dificultad de analizar sistemas dinámicos que contemplen la interrelación entre el fluido y los componentes químicos. Adicionalmente es necesario llevar a cabo un programa continuo de toma y análisis de muestras en diferentes sitios de la red de distribución.

La Consultoría consideró importante utilizar el programa de simulación hidráulica Watercad para efectuar la modelación de la calidad del agua, especialmente del cloro residual, teniendo en cuenta que la E.A.A.B. realiza diariamente toma de muestras en diferentes sitios de la ciudad.

Los principales parámetros medidos por la Empresa son: Turbiedad, pH, Alcalinidad, Cloro Residual, Cloruros, Dureza, Sólidos Disueltos e índice de Langelier. Para calibrar el modelo de calidad de agua se procesaron 16 puntos de muestreo en diferentes sitios de la ciudad como se indica en la tabla 4.4.1

*Tabla 4.4.1 Sitios de muestreo de calidad del agua*

No.	DENOMINACIÓN DEL PUNTO	DIRECCIÓN.	LOCALIZACION MODELO	PERIODO ANALIZADO
1	VILLA DEL PRADO	CALLE 170 CON AUTOPISTA DEL NORTE. ( CAI 93 )	LINEA CC9017 P-85	ENERO - DICIEMBRE AÑO 2000
2	USAQUÉN	CALLE 110 No. 11 - 20 Usaquén	LINEA CC9003 P-1365	ENERO - DICIEMBRE AÑO 2000
3	LA FLORESTA	CALLE 100 CON AVENIDA SUBA ( Esquina Sur occidental )	LINEA RM16067 P- 2325	ENERO - DICIEMBRE AÑO 2000
4	SERENA	CALLE 90 CARRERA 86 ( CAI )	LINEA RD4A24021 P-3050	ENERO - DICIEMBRE AÑO 2000
5	FONTIBÓN	CARRERA 100 CON LÍNEA DEL FERROCARRIL	LINEA RD842006 P-2840	ENERO - DICIEMBRE AÑO 2000
6	E.A.A.B.	CALLE 22B CARRERA 40	LINEA RD742005 TP-2455	ENERO - DICIEMBRE AÑO 2000
7	KENNEDY	CALLE 41 D Sur No. 81 - 05 Estación 8ª de Policía	LINEA RD2224037 P-4675	ENERO - DICIEMBRE AÑO 2000
8	SOACHA	CALLE 13 No. 8 - 46 Estación de Policía Soacha.	LINEA RD2924043 P-4910	ENERO - DICIEMBRE AÑO 2000
9	PUENTE ARANDA	CARRERA 60 No. 15 - 80 FRENTE AL CAI	LINEA RM36012 P-4590	ENERO - DICIEMBRE AÑO 2000
10	SUBA	CALLE 144 No. 91 - 49 CADE	LINEA STF20126 P-1565	ENERO - DICIEMBRE AÑO 2000
11	LA PERSEVERANCIA	Calle 33 No 6 - 37 Frente a Estación de Policía.	LINEA CC9010 P-2080	ENERO - DICIEMBRE AÑO 2000
12	QUIROGA	AVENIDA CARACAS CALLE 36 SUR CAI	LINEA CC9004 P-4230	ENERO - DICIEMBRE AÑO 2000
13	VERAGUAS	AVENIDA CIUDAD DE QUITO No 5 - C - 34	LINEA RM16053 P-4275	ENERO - DICIEMBRE AÑO 2000
14	EL REFUGIO	CARRERA 3ª NO. 86 - 00	LINEA BIV20121 P-2015	ENERO - DICIEMBRE AÑO 2000
15	BONANZA	DIAG 72 A No. 71 - 30 ( Frente al Puente Av Boyacá * Cl 68 )	LINEA RM16051 P-2585	ENERO - DICIEMBRE AÑO 2000
16	AURES	CALLE 131ª No. 102 B 06	LINEA BIV3024068 P-1490	ENERO - DICIEMBRE AÑO 2000

Como se observa en la tabla 4.4.1 se procesaron los análisis físicos-químicos a muestras de agua potable de la red distribución para diferentes días de todos los meses del año 2000.

#### **4.4.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MODELO**

##### **4.4.2.1 CAPACIDADES DE MODELACIÓN**

El módulo de calidad del agua del modelo permite el análisis de los siguientes aspectos :

- Modelar el comportamiento de un trazador no reactivo
- Modelar el incremento o decaimiento de sustancias reactivas como el cloro residual
- Modelar el tiempo de permanencia del agua a través de la red
- Mostrar la procedencia del agua en los nodos de la red a partir de un sitio de abastecimiento de agua.
- Modelar las reacciones tanto en la masa de agua como en la interfaz agua-pared del tubo
- Modelar el decaimiento en tanques de almacenamiento.

Es de anotar que las reacciones de calidad de agua se modelan, tanto en el volumen del fluido como en la pared del tubo, de forma tal que la simulación depende de la escogencia de un par de constantes de decaimiento a través del tiempo, una para la masa de fluido y otra para la pared del tubo.

##### **4.4.2.2 REACCIÓN VOLUMETRICA DEL FLUIDO**

Se modela con una reacción cinética de orden  $n$ , en donde la tasa instantánea de reacción ( $R$  en masa/volumen/tiempo) se asume que es dependiente del tiempo de acuerdo con:

$$R = K_b C^n$$

$K_b$  = Coeficiente tasa de reacción volumétrica del fluido, negativa para decaimiento.

C = Concentración ( Masa / Volumen )

n = Orden de la reacción

También se consideran reacciones en donde existe un límite de concentración, en este caso la expresión es :

$$R = K_b (C_L - C) C^{(C-1)}; \text{ para } n > 0, K_b > 0$$

$$R = K_b (C - C_L) C^{(C-1)}; \text{ para } n > 0, K_b < 0$$

Donde  $C_L$  es la concentración límite, los tres parámetros anteriores caracterizan cualquier reacción en el volumen del fluido y los más utilizados son :

*Tabla 4.4.2 Parámetros de Modelación*

Modelo	Parámetros	Ejemplo
Decaimiento de primer orden	$C_L = 0, K_b < 0, n = 1$	Cloro
Crecimiento de saturación de primer orden	$C_L > 0, K_b > 0, n = 1$	Trihalometanos
Cinética de orden cero	$C_L = 0, K_b >> 0, n = 1$	Edad del agua
Sin reacción	$C_L = 0, K_b = 1$	Trazador de fluor

La constante de decaimiento  $K_b$  puede ser determinada en laboratorio tomando muestras en el tiempo en un envase no reactivo de vidrio, si la reacción es de primer orden como lo es el cloro, el logaritmo natural de la relación de la concentración en el tiempo a la concentración inicial contra el tiempo debe ser una línea recta.

#### 4.4.2.3 REACCION EN LA PARED DE LA TUBERÍA

Esta reacción también es dependiente de la concentración en el volumen del fluido de la forma :

$$R = (A/V)K_w C^n$$

donde

$K_w$  = Coeficiente tasa de reacción

$(A/V)$ = Area superficial por unidad de volumen ;  $4/D$

$C^n$  = Convierte la masa de reacción por unidad de área en masa por unidad de volumen

Se trabaja con reacciones para la pared  $1 \text{ a } 0$ , así que las unidades de  $K_w$  son masa/area/tiempo ó masa/long/ tiempo. En una reacción de primer orden como el cloro  $K_w$  toma valores de 0 hasta 1.5 m/día.

Existe evidencia de que el incremento de rugosidad incrementa la reacción de la pared especialmente con el cloro, es posible hacer que  $K_w$  dependa de la rugosidad así:

*Tabla 4.4.3 Coeficiente de Reacción pared Rugosidad*

Formula de pérdidas	Fórmula de reacción de pared
Hazen-Williams	$K_w = F / C$
Darcy-Weisbach	$K_w = -F / \log(e / d)$
Chezy-Manning	$K_w = F n$

Sin embargo  $F$  que es el coeficiente de reacción pared-rugosidad del tubo, debe ser determinado con medidas de campo.

#### 4.4.2.4 MEZCLA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Se pueden utilizar cuatro diferentes tipos de mezcla en tanques de almacenamiento:

- **Mezcla Completa**

Se asume que el agua entra al tanque y se mezcla instantáneamente con el agua existente en este.

- **Mezcla en dos compartimentos**

Divide el almacenamiento disponible en dos compartimentos en los cuales se asume que cada uno es de mezcla completa, los tubos de salida y de llegada están el primer compartimiento, por lo cual, el agua que llega en último instante es la primera en salir, a menos que el primer compartimiento este lleno entonces se pasa al segundo compartimiento donde se mezcla completamente.

- **Flujo tipo FIFO**

Se asume que no hay mezcla durante el tiempo de permanencia en el tanque, este tipo es utilizado para simular tanques con tabiques en los que el fluido entra y sale simultáneamente.

#### 4.4.3 CALIBRACIÓN DEL MODELO DE CALIDAD Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para calibrar el modelo de calidad es necesario realizar los siguientes pasos:

- Determinar la constante de reacción volumétrica de Bulk
- Determinar la constante de reacción en las paredes de la tubería
- Definir la constante de difusión del componente o elemento fisico-químico.

Las anteriores constantes deben ser definidas para cada elemento por ejemplo cloro, hierro, etc.

Posteriormente se requieren efectuar las siguientes actividades:

- Asumir concentraciones iniciales del componente en los reservorios y tanques.
- Evaluar el comportamiento y concentración del componente a través del tiempo para diferentes cargas base en los reservorios (cloro en las plantas de tratamiento), y para los diferentes nodos en los cuales se dispone de muestras de agua.

En el anexo 24 se presenta el procesamiento de los análisis físico-químicos en los sitios de muestreo utilizados en la calibración.

En las figuras 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3, 4.4.4, 4.4.5, 4.4.6, 4.4.7, 4.4.8, 4.4.9, 4.4.10, 4.4.11, 4.4.12, 4.4.13, 4.4.14, 4.4.15, 4.4.16, se presentan las curvas de variación del cloro residual obtenidas en una simulación extendida de 24 horas y se comparan con los valores promedio diarios de concentración del mismo componente medidos para los periodos anteriormente indicados. Igualmente en los esquemas 6, 7 y 8 se presentan las curvas de igual concentración de cloro residual para el Sistema Básico.

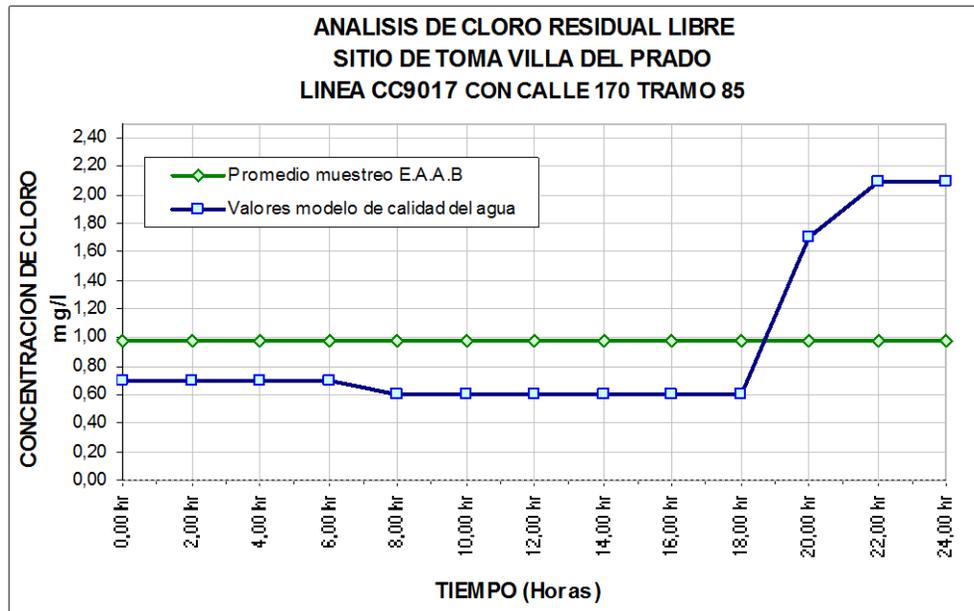


Figura 4.4.1 Curva variación cloro residual Villa del Prado

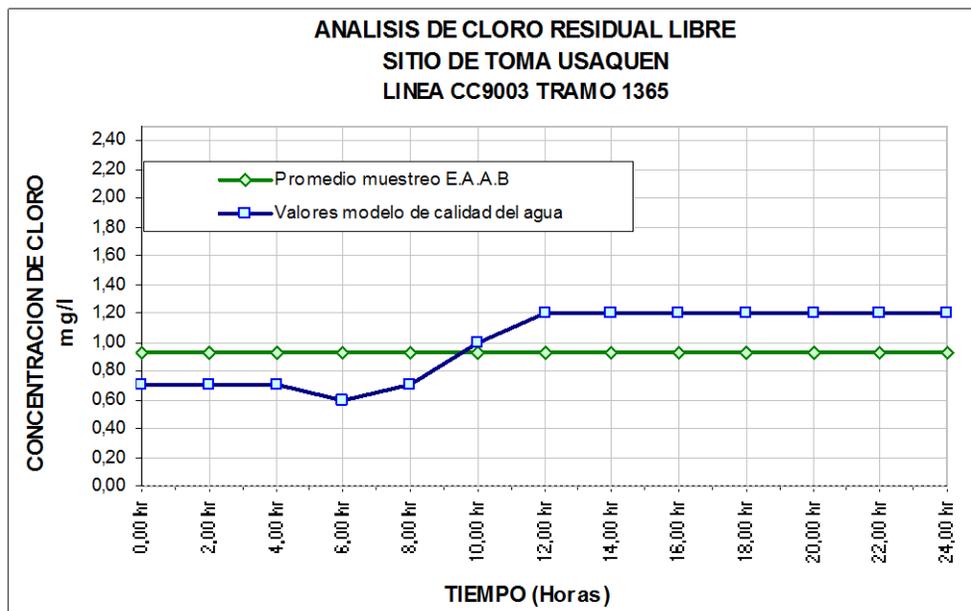


Figura 4.4.2 Curva variación cloro residual Usaquen

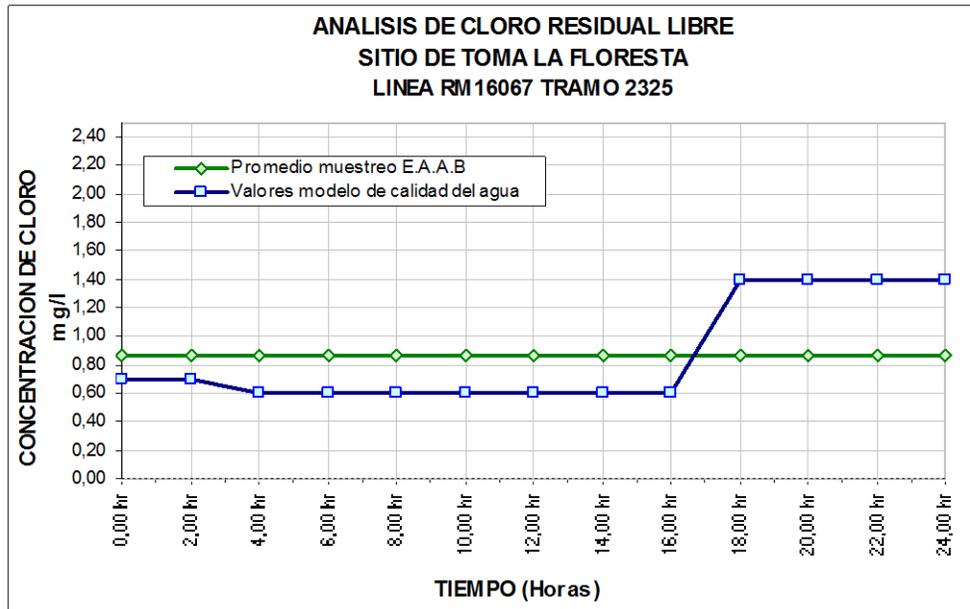


Figura 4.4.3 Curva variación cloro residual La Floresta

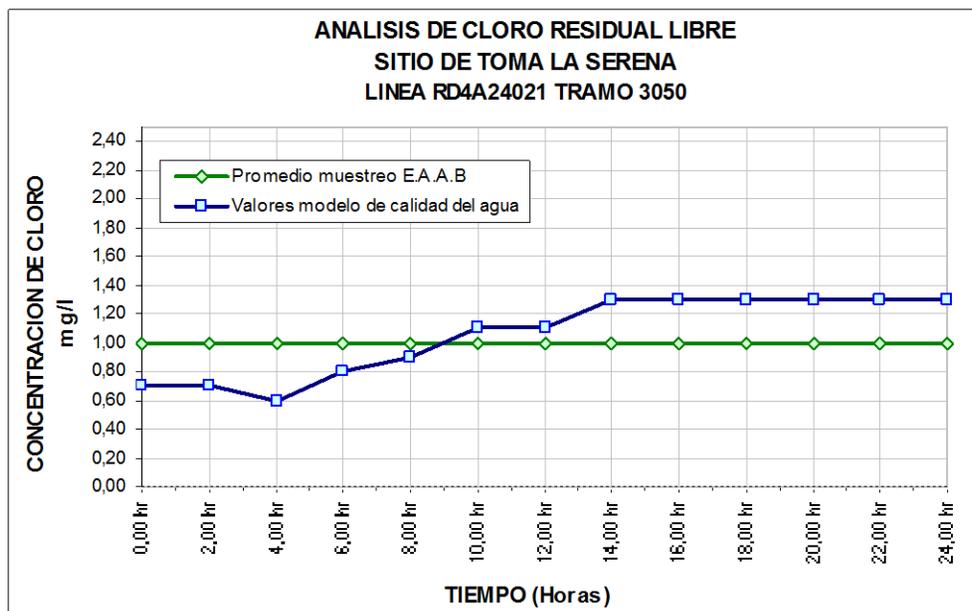


Figura 4.4.4 Curva variación cloro residual La Serena

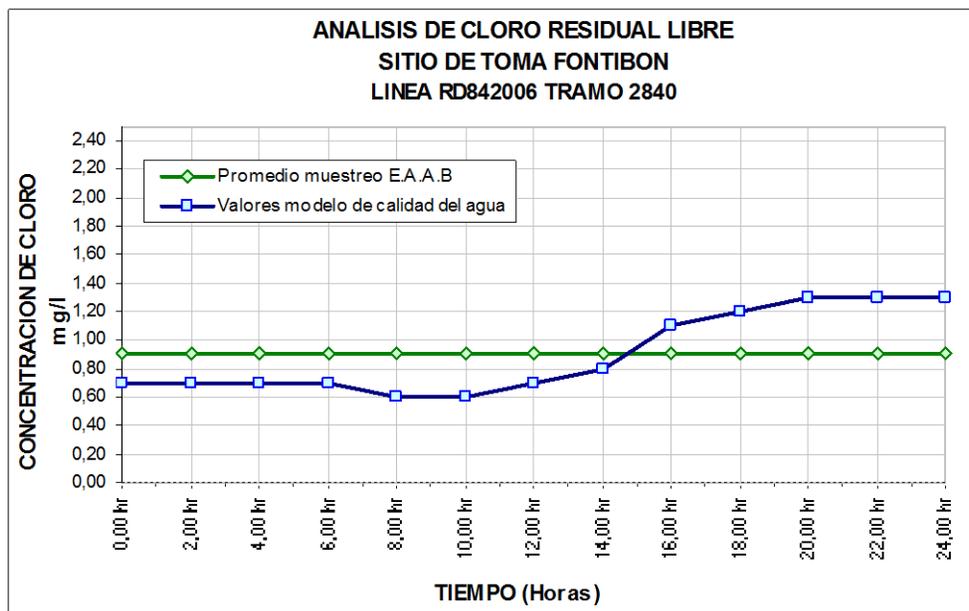


Figura 4.4.5 Curva variación cloro residual Fontibon

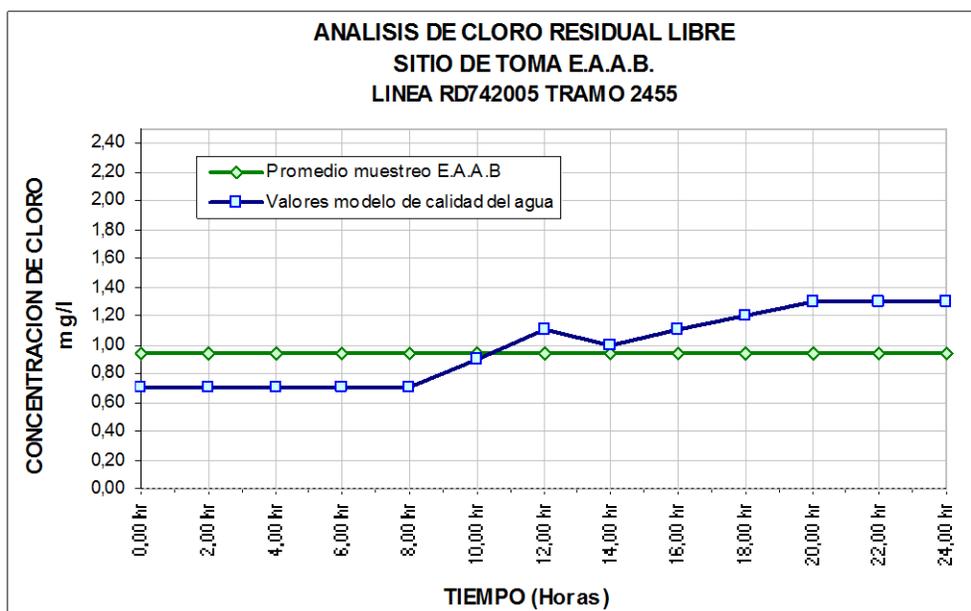


Figura 4.4.6 Curva variación cloro residual E.A.A.B.

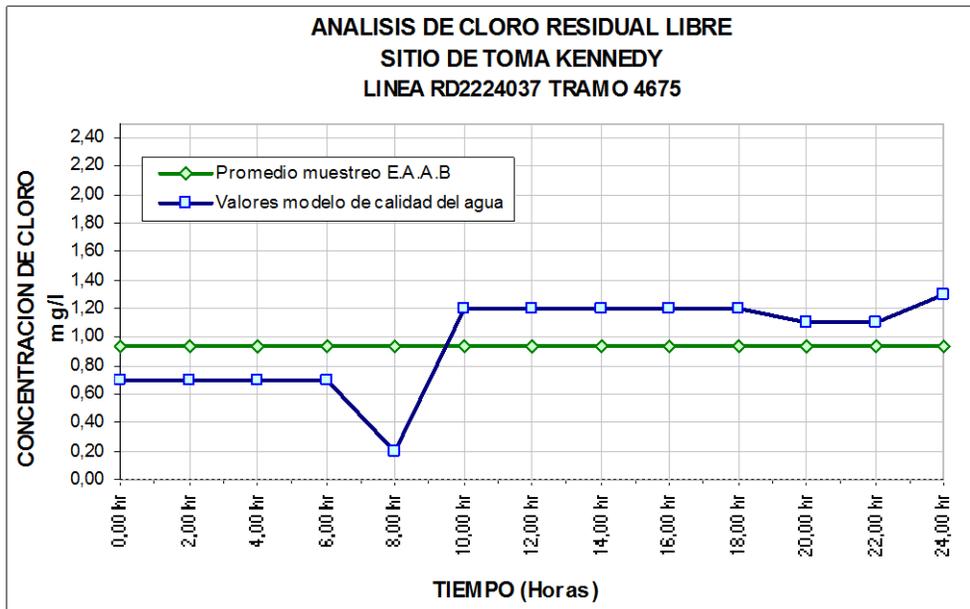


Figura 4.4.7 Curva variación cloro residual Kennedy

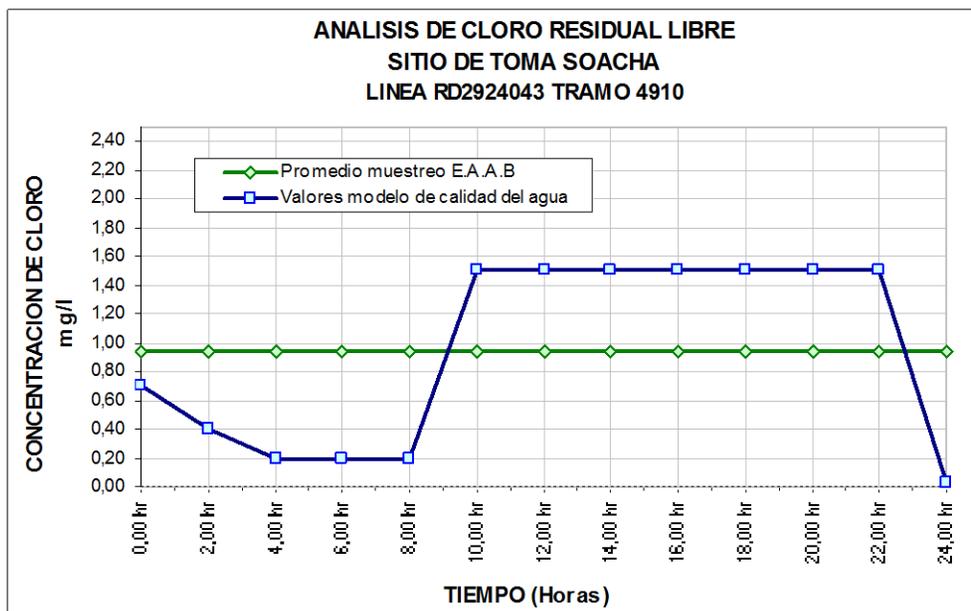


Figura 4.4.8 Curva variación cloro residual Soacha

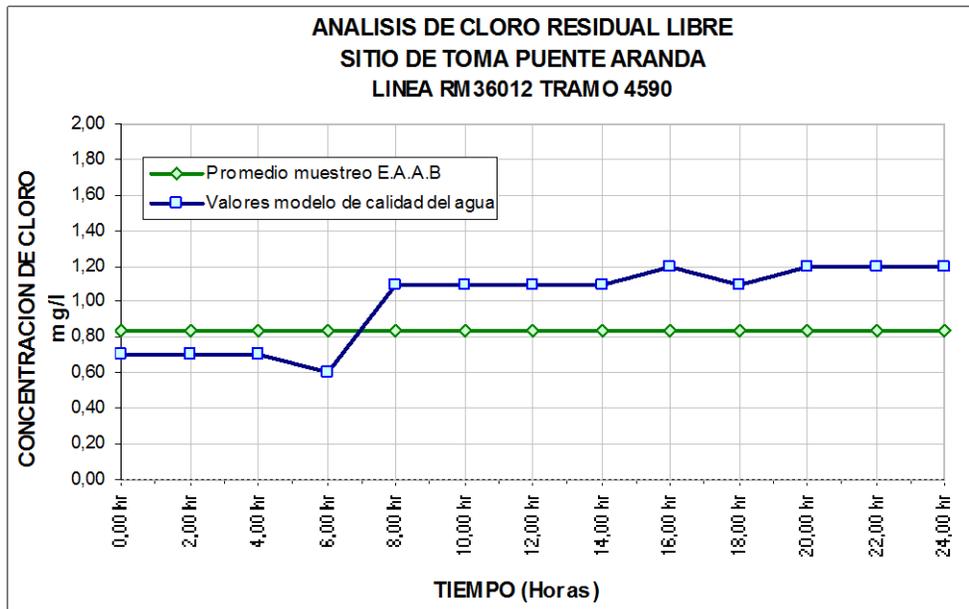


Figura 4.4.9 Curva variación cloro residual Puente Aranda

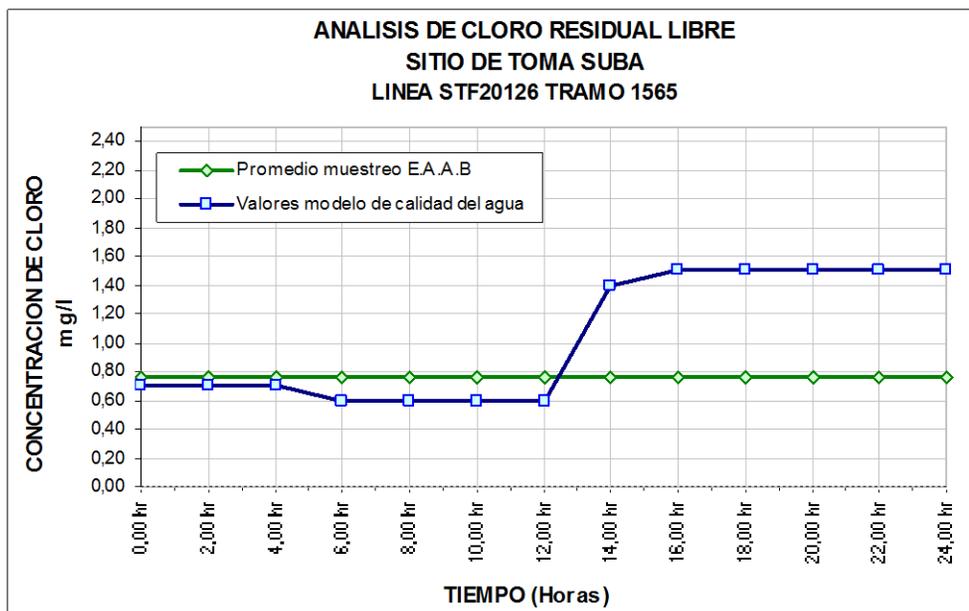


Figura 4.4.10 Curva variación cloro residual Suba

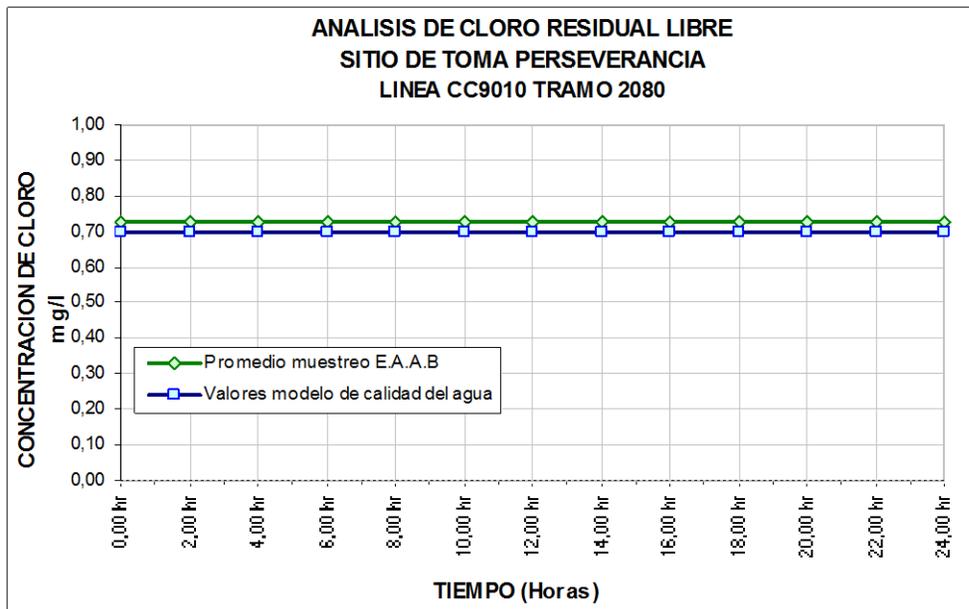


Figura 4.4.11 Curva variación cloro residual Perseverancia

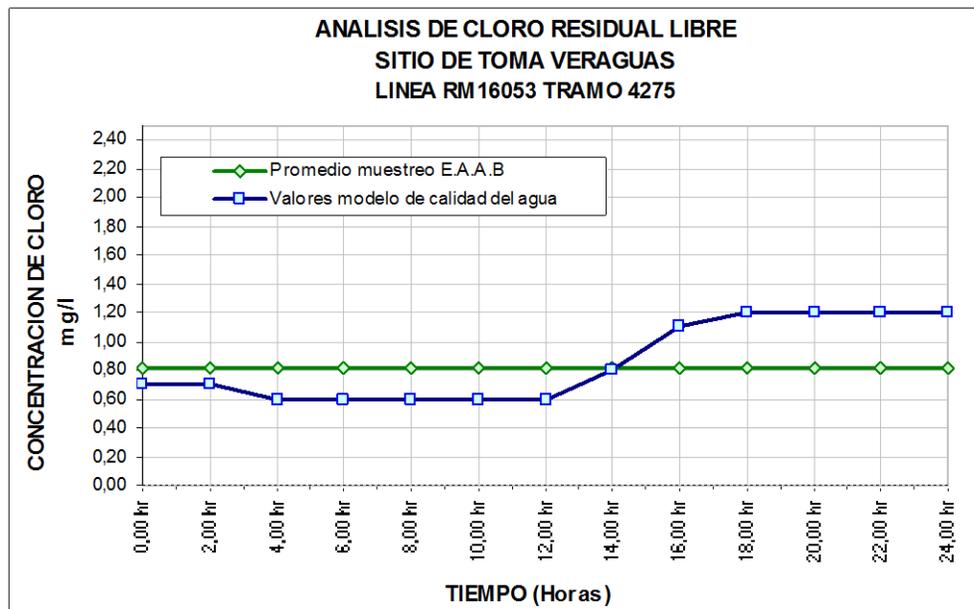


Figura 4.4.12 Curva variación cloro residual Veraguas

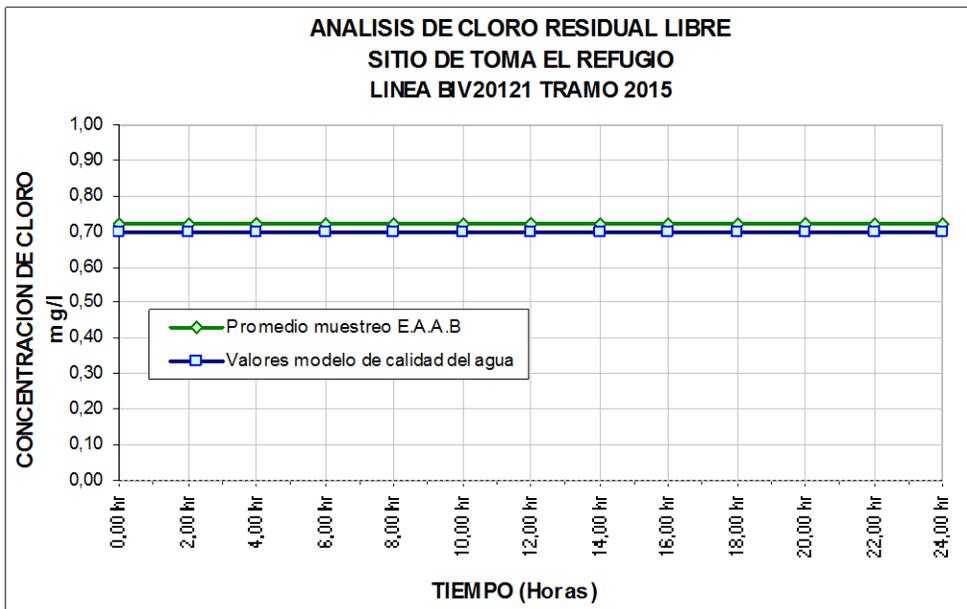


Figura 4.4.13 Curva variación cloro residual El Refugio

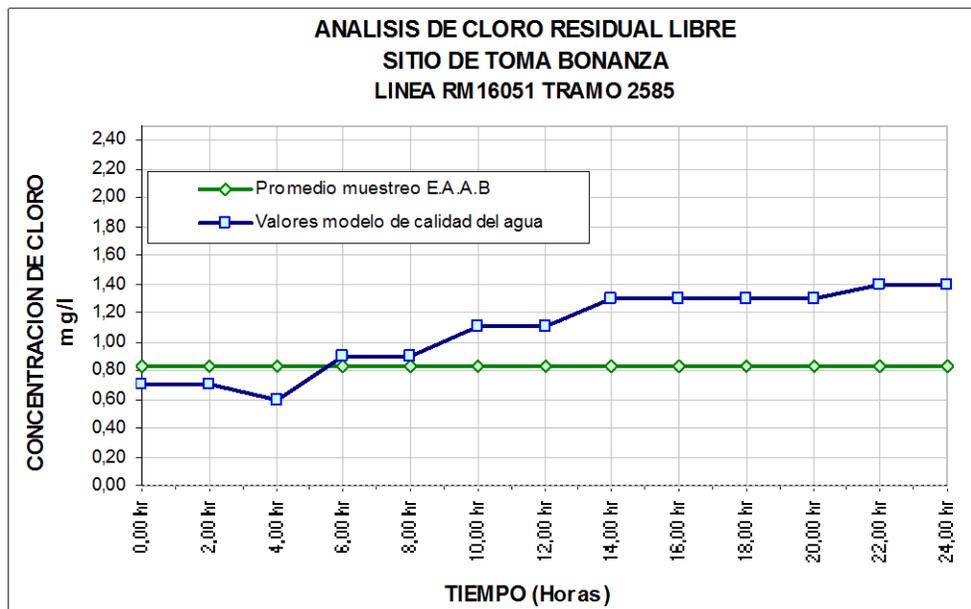


Figura 4.4.14 Curva variación cloro residual Bonanza

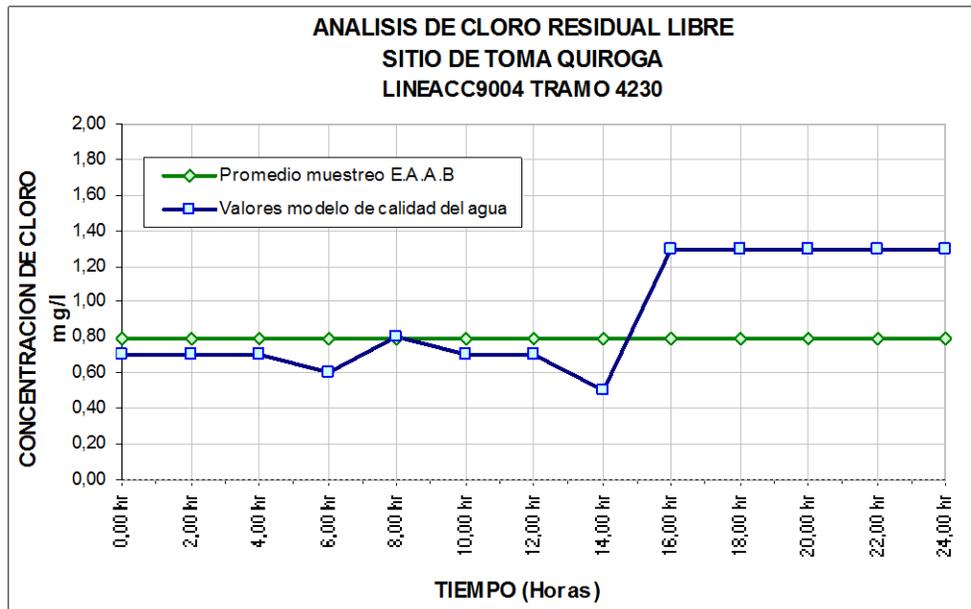


Figura 4.4.15 Curva variación cloro residual Quiroga

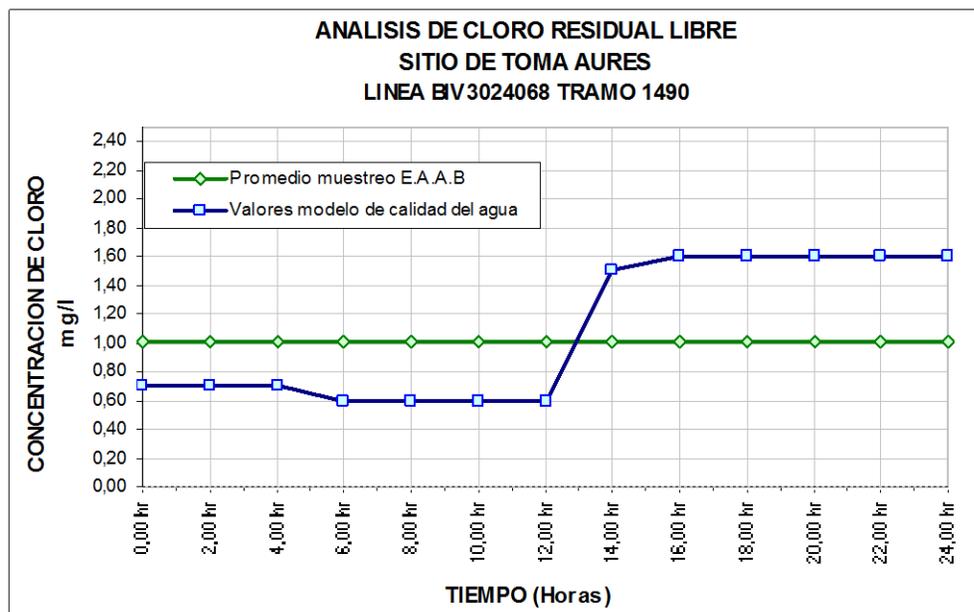


Figura 4.4.16 Curva variación cloro residual Aures

*Esquema 6. Análisis de concentración de cloro residual 4 am. Sistema Básico.*

*Esquema 7. Análisis de concentración de cloro residual 10 am. Sistema Básico.*

*Esquema 8. Análisis de concentración de cloro residual 4 pm. Sistema Básico.*

Como puede observarse en los cuadros del anexo 24 las concentraciones diarias de cloro varían a través del año, no obstante el valor promedio obtenido es un valor de referencia que permite ser comparado con las simulaciones de calidad.

En general se obtienen oscilaciones horarias en las concentraciones de cloro residual muy cercanas a los promedio medidos por la Empresa. Por lo tanto se considera que el modelo de calidad del agua presenta una calibración satisfactoria para las condiciones medias del año 2000.

Al analizar las concentraciones de cloro residual tomadas en campo y obtenidas en el modelo de calidad se observa que en general se encuentra con valores entre 0,6 mg/l y 1,2 mg/l.

En la simulación los menores valores se presentan en las horas de mayor consumo y las mayores en las horas de menor consumo. Esto se debe a que en el modelo se aplica una carga base constante en los reservorios que simulan las dosificaciones de cloro en las plantas de Tibitoc y Wiesner, por lo tanto se deben considerar en general los valores promedios.

De acuerdo a lo establecido en el reglamento técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) de 1998 y el Decreto 475 de 1998 Normas técnicas de Calidad del Agua Potable, expedido por el Ministerio de Salud, las concentraciones mínimas de cloro residual libre en cualquier punto de una red de distribución para disponer de un agua segura no debe ser inferior a 0,3 mg/l, y los valores máximos están limitados a 1,3 mg/l.

Analizando los resultados obtenidos se observa que la red de distribución de Bogotá presenta en general concentraciones de cloro residual superiores a 0.6 mg/l.

En la zona baja sur los valores son superiores a 0.8 mg/l lo mismo que en la zona de Suba y en las derivaciones de la distribución a los municipios situados al norte de la ciudad.

Hacia los extremos sur y occidente se presenta decaimiento de las concentraciones, sin embargo no son inferiores a 0.5 mg/l; mientras que en un lapso importante de tiempo durante el día para el norte de la ciudad se está superando el límite de 1.0 mg/l.

En síntesis se concluye que las concentraciones de cloro en la mayor parte de la ciudad se encuentran en niveles admisibles pero relativamente altos, por lo cual se debe evaluar la posibilidad de disminuir la dosificación de cloro en las plantas de tratamiento e instalar estaciones dosificadoras de cloro en puntos alejados de las plantas.

#### **4.4.4 DETERMINACIÓN DE LA CORROSIVIDAD DEL AGUA**

Con el fin de establecer las características de corrosión del agua en el sistema de distribución de Bogotá, la Consultoría procesó los índices "C", "D" y "B" para obtener los índices de Langelier en la red de distribución.

El índice de Langelier es una medida que indica la tendencia del agua a causar problemas de corrosión en las tuberías, basado en el pH y la alcalinidad del agua. La corrosividad del agua no solo tiene efecto sobre las estructuras mismas, sino que por el mismo fenómeno incorporan materiales a la solución incrementando la concentración iónica y alterando en alguna medida la calidad del agua.

En las figuras 4.4.17, 4.4.18, 4.4.19, 4.4.20, 4.4.21, 4.4.22, 4.4.23, 4.4.24, 4.4.25, 4.4.26, 4.4.27, 4.4.28, 4.4.29, 4.4.30, 4.4.31, 4.4.32 se presentan los resultados obtenidos y en el anexo 24 se adjuntan las tablas del procesamiento de esta información.

Los resultados obtenidos establecen que el agua del acueducto de Bogotá tiene una tendencia corrosiva sobre las tuberías.

Para mejorar los índices de Langelier y reducir los potenciales problemas de corrosión es recomendable evaluar la posible adición a las plantas de tratamiento de compuestos estabilizantes como dióxido de carbono para controlar el pH durante la coagulación.

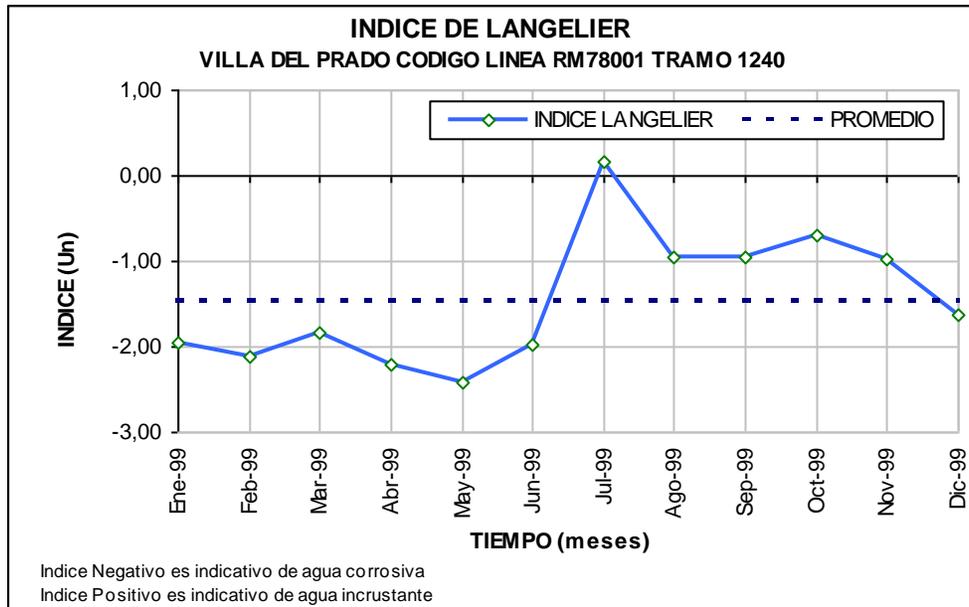


Figura 4.4.17 Indice de Langelier Villa del Prado

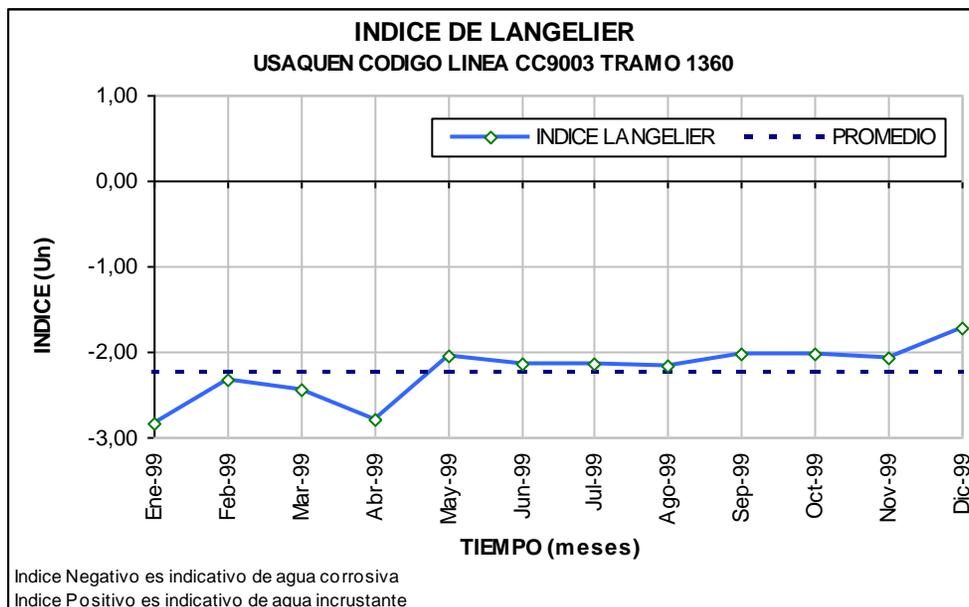


Figura 4.4.18 Indice de Langelier Usaquen

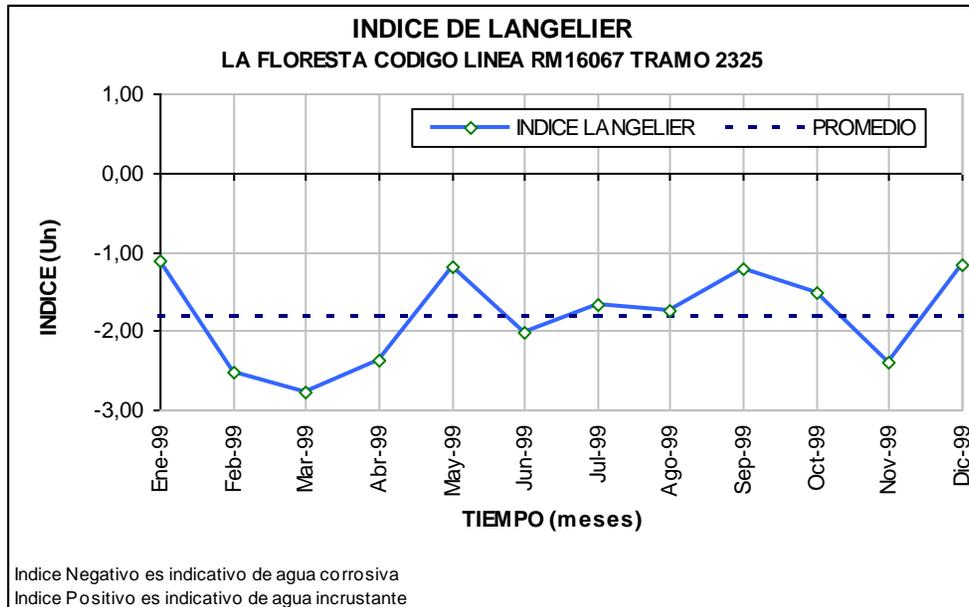


Figura 4.4.19 Índice de Langelier La Floresta

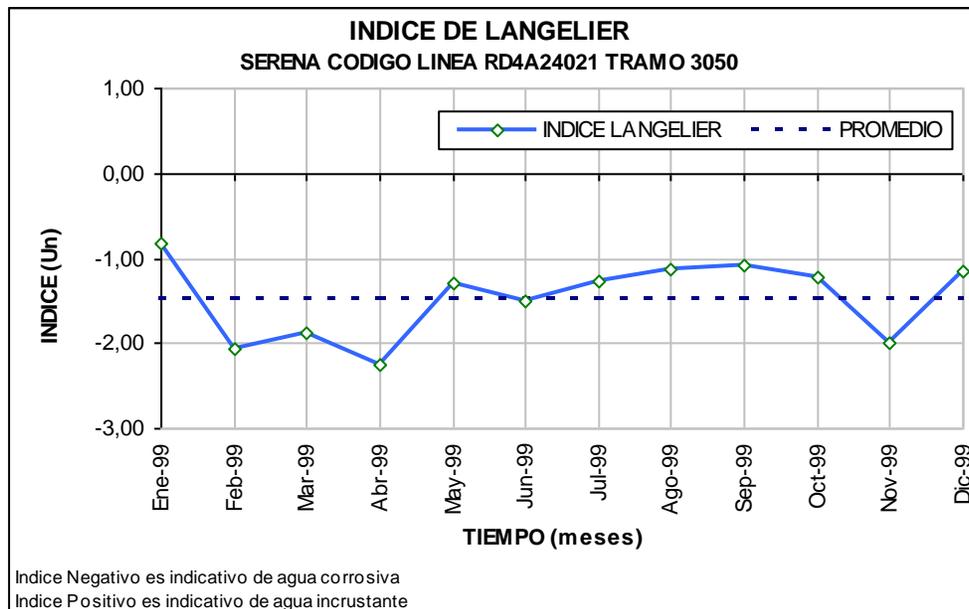


Figura 4.4.20 Índice de Langelier Serena

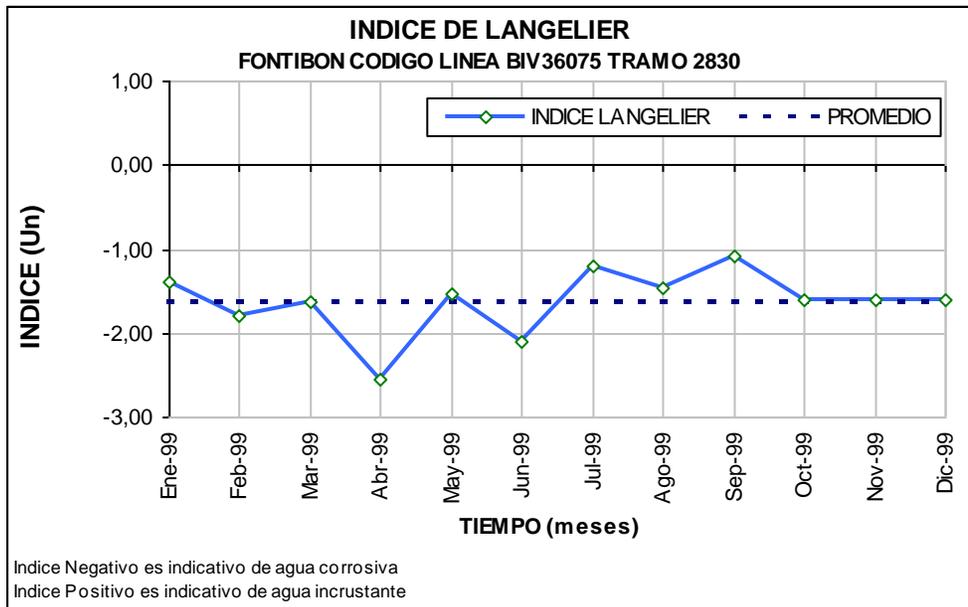


Figura 4.4.21 Indice de Langelier Fontibón

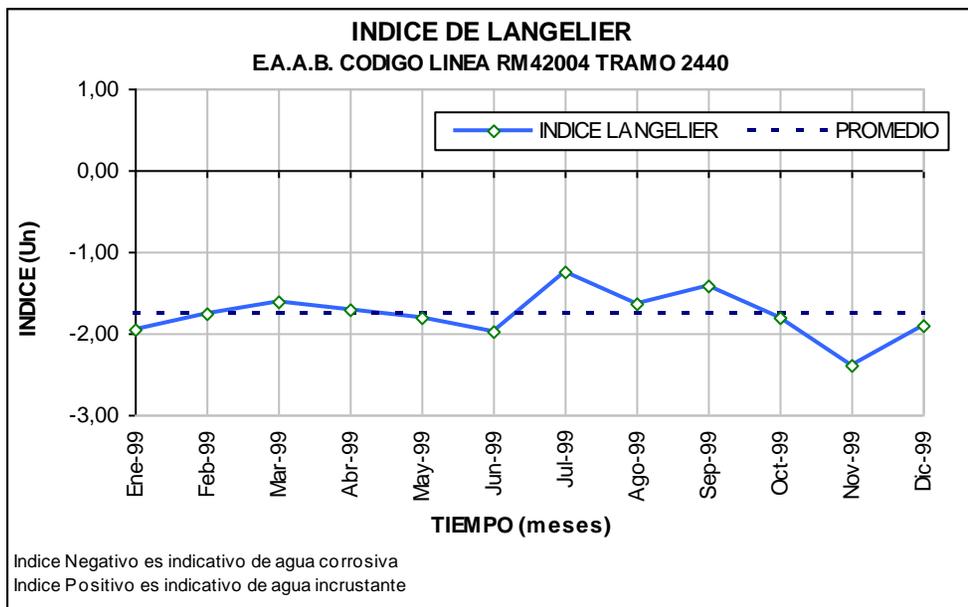


Figura 4.4.22 Indice de Langelier E.A.A.B

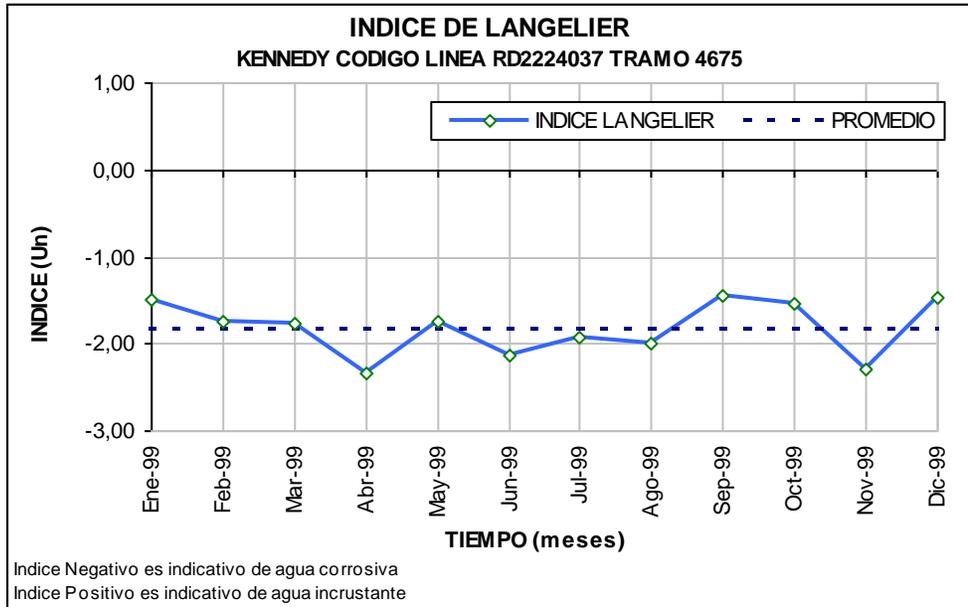


Figura 4.4.23 Índice de Langelier Kennedy

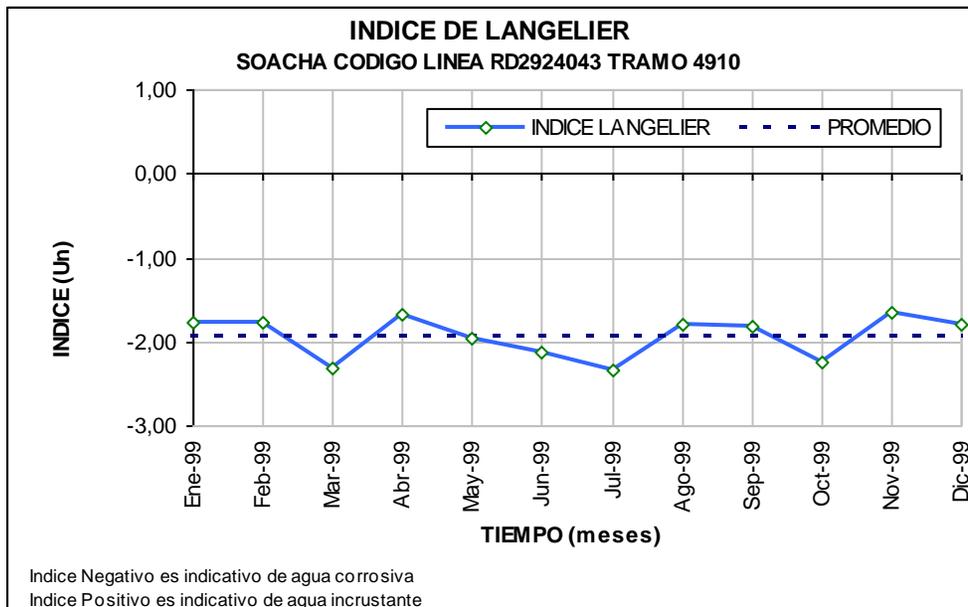


Figura 4.4.24 Índice de Langelier Soacha

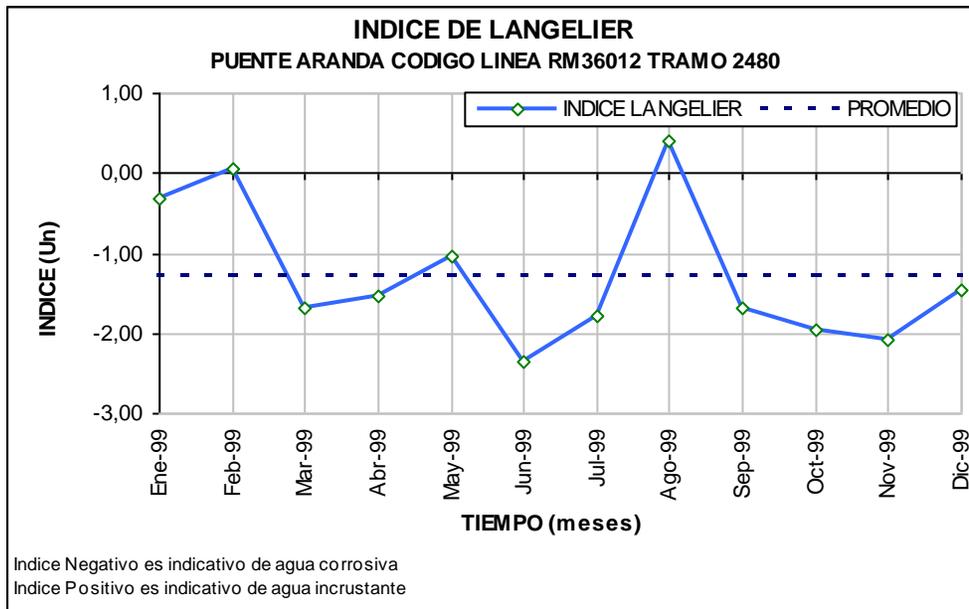


Figura 4.4.25 Indice de Langelier Pueblo Aranda

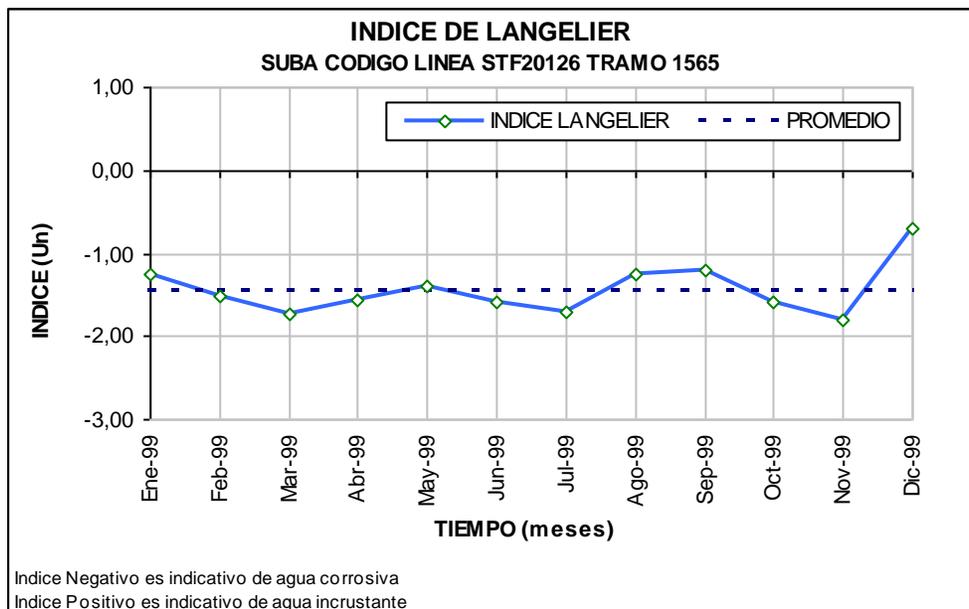


Figura 4.4.26 Indice de Langelier Suba

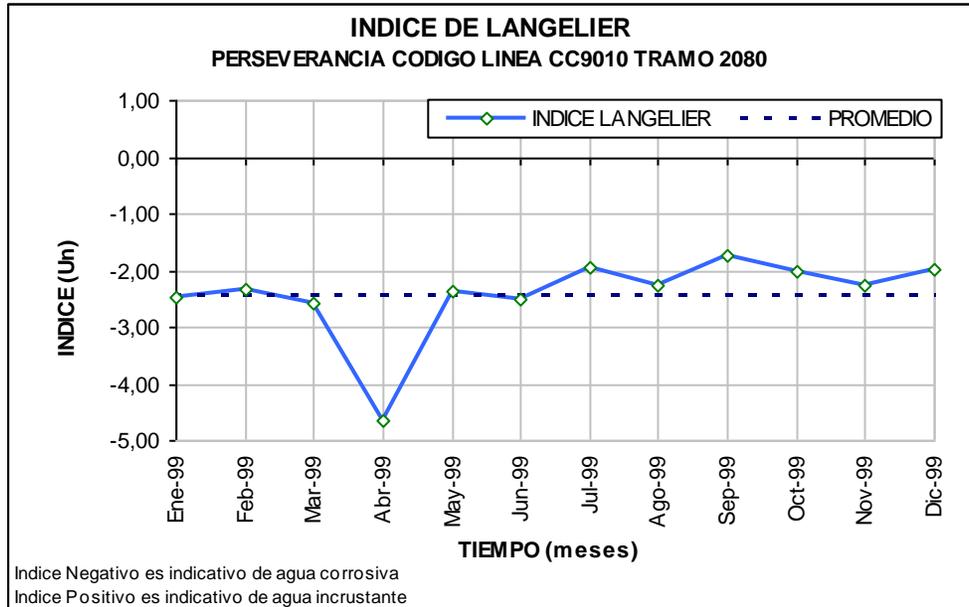


Figura 4.4.27 Índice de Langelier Perseverancia

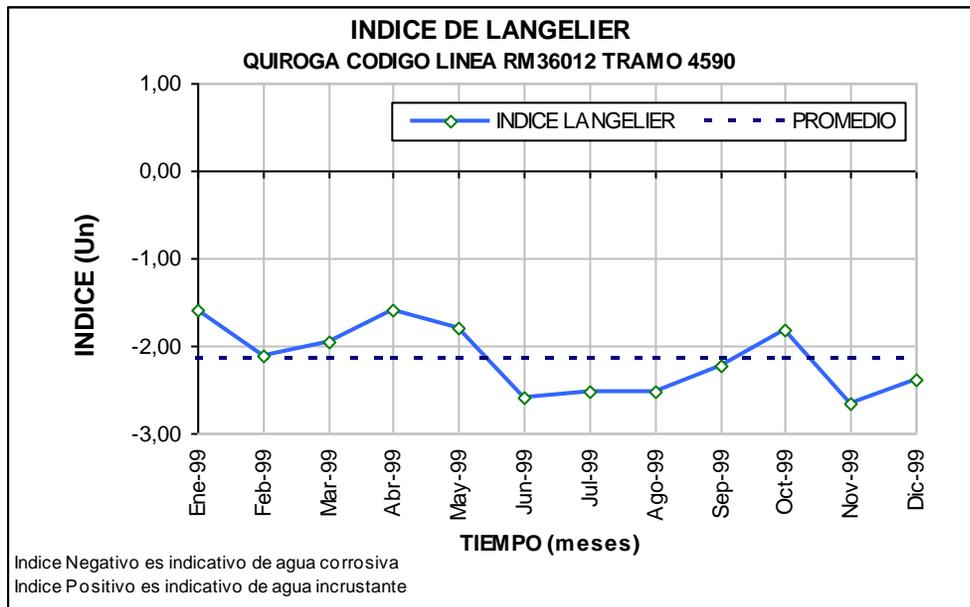


Figura 4.4.28 Índice de Langelier Quiroga

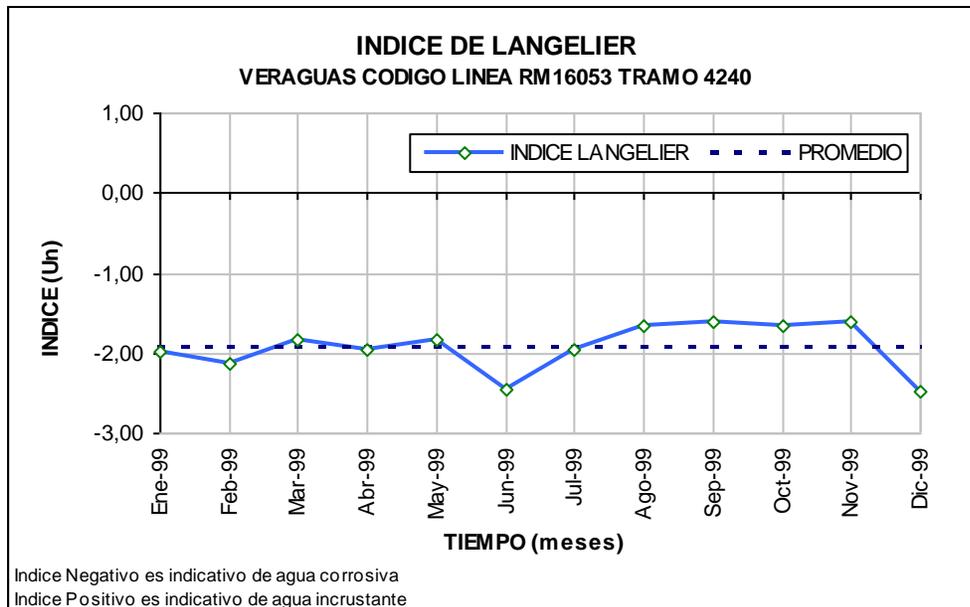


Figura 4.4.29 Indice de Langelier Veraguas

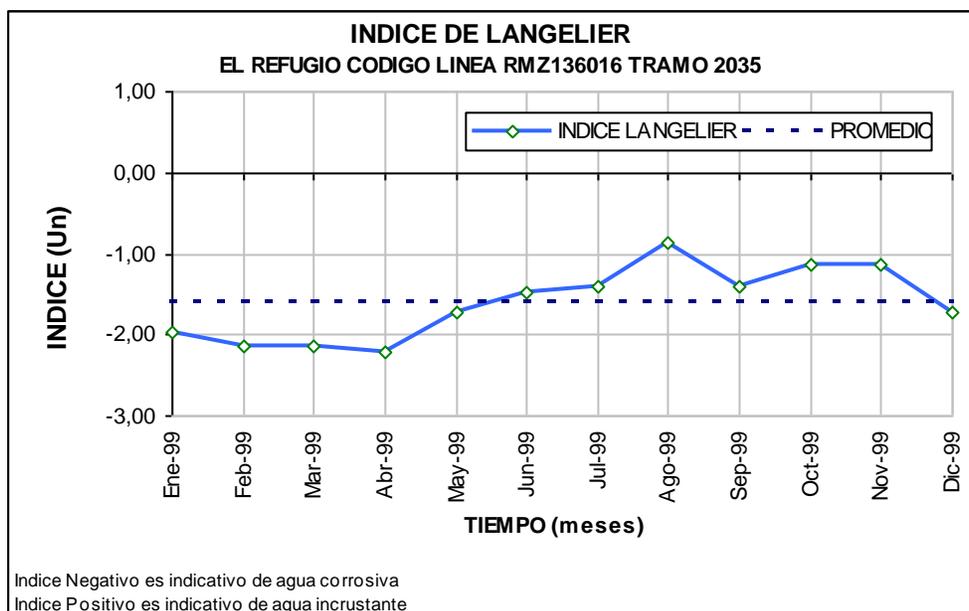


Figura 4.4.30 Indice de Langelier El Refugio

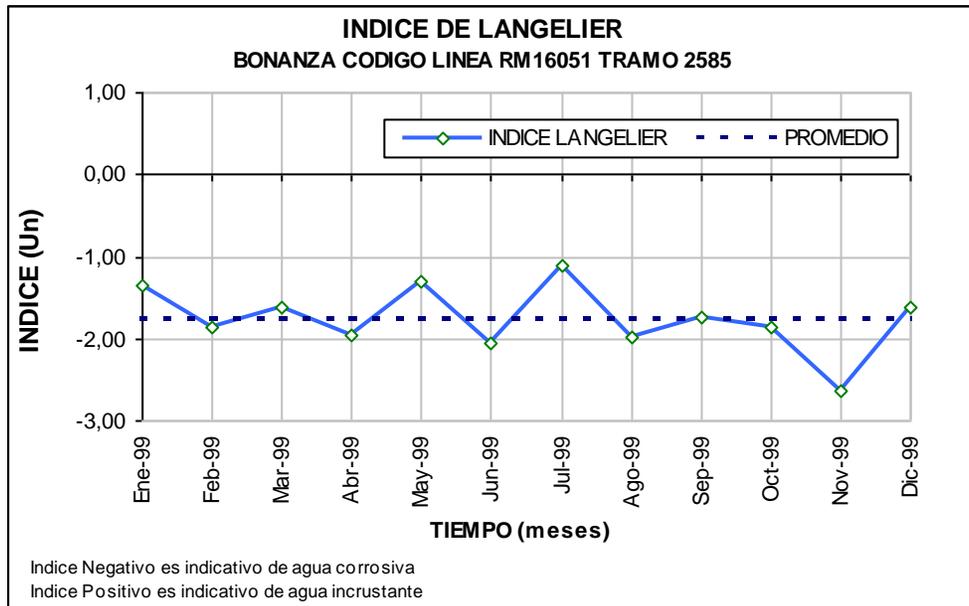


Figura 4.4.31 Indice de Langelier Bonanza

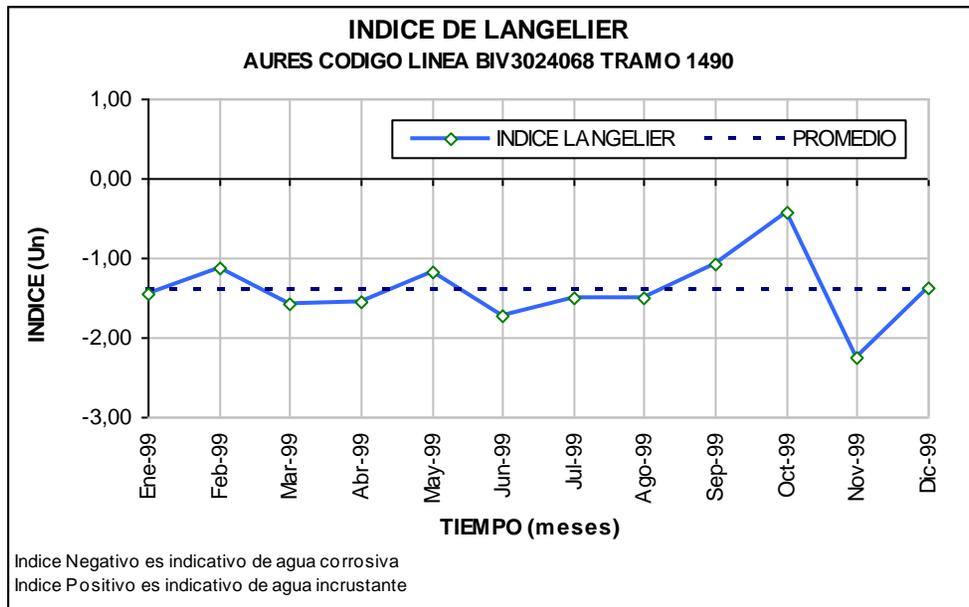


Figura 4.4.32 Indice de Langelier Aures

## **4.5. ACTUALIZACION DE LA PROYECCION DE LA DEMANDA DE AGUA, USOS DEL SUELO Y TENDENCIAS URBANISTICAS**

### **4.5.1 ANTECEDENTES**

En este numeral se mencionan los aspectos más relevantes del Estudio de Actualización de la Proyección de la Demanda de Agua, elaborado por TEA LTDA. Consultorías en el mes de Diciembre de 1.999.

El mencionado estudio amplía hasta el año 2020 las proyecciones de población y vivienda para Bogotá D.C. y los 13 municipios circunvecinos: Cajicá, Cota, Chía, Facatativá, Funza, Gachancipá, La Calera, Madrid, Mosquera, Soacha, Sopó, Tocancipá y Zipaquirá, actualizando los realizados por la misma firma en el año de 1.997, que tenía como horizonte el año 2015.

De otra parte, el estudio incluye en las proyecciones los cambios globales de la evolución demográfica de Bogotá y los municipios de su área de influencia que ha determinado una nueva dinámica en la distribución de la población.

Igualmente en este numeral se presentan los criterios generales que consideró TEA Ltda. Para efectuar las proyecciones de población y demanda, asimismo se indican los usos actuales del suelo respecto a las áreas desarrolladas y las recientes tendencias urbanísticas, considerando la densificación y saturación de zonas residenciales, comerciales, industriales e institucionales.

Es de anotar que la Consultoría del estudio de evaluación y análisis del estado actual de la red matriz de distribución del sistema de acueducto y la formulación de un programa estructurado de rehabilitación, no incluye dentro de su alcance el planeamiento ni el

replanteamiento de las nuevas redes matrices o líneas expresas que se requieran para atender las necesidades futuras, por expansión urbanística o de demanda de la ciudad, teniendo en cuenta que la EAAB, a través de la Gerencia de Planeamiento, mediante el Contrato No. 2-02-4100-063-2000 de Asesoría en Hidráulica, está adelantando el estudio de planeamiento de nuevas redes matrices, con base en las proyecciones de población y demanda anteriormente mencionados.

#### **4.5.2 PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN**

##### **4.5.2.1 PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN DE BOGOTÁ D.C.**

De acuerdo al estudio citado, la dinámica del crecimiento de Bogotá en los últimos 30 años refleja una decidida tendencia a la desaceleración en sus tasas de crecimiento demográfico y de población.

La tasa neta de crecimiento desciende de 36.42 a 16.54 por mil entre el quinquenio 1.970 - 1.975 y el quinquenio 2015 - 2020.

La población de Bogotá que a mediados del año 2000 alcanzó 6.5 millones, se aproximará a los 8.9 millones en el año 2015 y a 9.6 millones en el 2020.

En la proyección efectuada para el año 2020, con relación a un escenario medio, con la hipótesis alta de la ciudad tendría 900.000 habitantes más y 680.000 habitantes menos en la hipótesis baja.

En la tabla 4.5.1 se puede observar las proyecciones de población por quinquenio en el período 1.970 - 2020.

*Tabla 4.5.1 Proyecciones de Población*

<b>AÑOS</b>	<b>POBLACIÓN (miles)</b>
1970	2.541
1975	3.049
1980	3.626
1985	4.273
1990	4.976
1995	5.713
2000	6.485
2005	7.283
2010	8.087
2015	8.879
2020	9.643

Las cifras para el período 2015 - 2020 fueron proyectadas en el estudio de Diciembre de 1.999.

Según el estudio las variaciones del crecimiento de la población dependen en mayor grado del comportamiento de las tasas netas migratorias y en menor medida de la fecundidad y la mortalidad, siendo esta última la variable de menor importancia.

#### 4.5.2.2 PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DEL ÁREA DEL ESTUDIO

Al igual que Bogotá, D.C., y el resto de Colombia, los trece (13) municipios circunvecinos a Bogotá mantienen en su tasa de crecimiento una tendencia hacia la desaceleración, pasando de 1.990 al año 2020 de 45.39 por mil a 30.44 por mil, sin embargo a pesar de

la tendencia decreciente, la tasa de crecimiento de los municipios circunvecinos continua siendo superior a la de Bogotá en 1.8 veces aproximadamente.

En la tabla 4.5.2 se muestran las proyecciones de la población de los municipios por quinquenios.

*Tabla 4.5.2 Proyecciones de población de Municipios*

AÑOS	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
<b>TOTAL</b>	<b>449.271</b>	<b>594.558</b>	<b>759.448</b>	<b>943.728</b>	<b>1.146.419</b>	<b>1.366.227</b>	<b>1.605.775</b>
CAJICÁ	14.104	18.739	24.870	31.848	39.378	47.214	55.284
COTA	4.472	5.845	7.609	9.532	11.512	13.478	15.426
CHÍA	39.001	47.732	54.812	62.060	70.032	78.968	89.231
FACATATIVA	59.078	67.896	77.295	87.180	97.677	108923	121.361
FUNZA	33.531	40.100	47.123	54.257	61.317	68.131	74.744
GACHANCIPÁ	1.841	2.627	3.510	4.474	5.484	6.499	7.495
LA CALERA	5.523	7.200	10.013	13.404	17.187	21.266	25.664
MADRID	31.301	38.172	46.246	55.175	64.850	75.185	86.335
MOSQUERA	16.005	22.140	28.627	35.512	42.883	50.786	59.376
SOACHA	178.626	268.328	372.136	489.883	620.532	762.854	917.742
SOPÓ	4.382	6.530	8.740	10.922	12.963	14.840	16.586
TOCANCIPA	3.091	4.798	6.885	9.283	12.031	15.178	18.821
ZIPAQUIRA	58.316	64.451	71.568	80.198	90.573	102.905	117.710

Fuente: Cuadro 1.7. Estudio de Actualización – TEA Ltda.

### **4.5.3 PROYECCIÓN DE VIVIENDAS DE BOGOTÁ Y MUNICIPIOS DEL ESTUDIO**

Para la proyección global de viviendas de Bogotá y los municipios del estudio se efectuó, en el estudio, a partir de las proyecciones de población y las densidades de población por vivienda. La densidad, para el caso de Bogotá se formuló con base en la tendencia de la Encuesta de Hogares.

*Tabla 4.5.3 Proyecciones de Viviendas en Santa Fe De Bogotá D.C. 1.985 - 2020*

<b>AÑO</b>	<b>No. VIVIENDAS</b>
1985	818.671
1990	916.421
1995	1.109.366
2000	1.355.875
2005	1.536.647
2010	1.717.670
2015	1.895.879
2020	2.068.333

Fuente: Cuadro 1.10. Estudio de Actualización – TEA Ltda.

*Tabla 4.5.4 Proyecciones de Las Viviendas De Los Municipios del Área de Influencia de Bogotá D.C. 1.990 –2020*

<b>AÑO</b>	<b>No. VIVIENDAS</b>
1990	105.224
1995	132.740
2000	164.245
2005	199.691
2010	238.930
2015	281.725
2020	328.616

Fuente: Cuadro 1.11. Estudio de Actualización – TEA Ltda.

#### **4.5.4 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN Y LAS VIVIENDAS**

La distribución de la población y las viviendas, se formuló en el estudio con la metodología del DANE, identificando en primer lugar el uso del suelo por grupos de actividad: residencial exclusivo, residencial predominante, mixto, comercial, institucional e industrial.

En segundo lugar se establecieron las áreas disponibles para crecimiento en vivienda en diferentes polígonos censales, de acuerdo con su tipo de crecimiento y su tendencia relacionada con la intensidad del uso del suelo. Tomando en cuenta estas tendencias se agruparon los sectores y se estimaron las densidades de población y viviendas por estratos socio-económicos, que se utilizaron para las proyecciones de la distribución espacial de estas dos variables hasta el año 2000.

Adicionalmente, tomando en consideración las estrategias consideradas en el Plan de Ordenamiento Territorial POT, se simuló también el crecimiento dentro de las áreas de expresión previstas para el Norte, Occidente y Sur del Distrito Capital.

#### **4.5.5 USO ACTUAL DEL SUELO**

- Áreas desarrolladas y suelos urbanizados

De acuerdo con el POT y los inventarios que ha realizado el Departamento Administrativo de Planeación Distrital - DAPD, se tendrá una disponibilidad aproximada de 9.452 hectáreas brutas urbanizables, de las cuales 2.618 están dentro del perímetro vigente y 6.834 en los suelos de expansión. Restando las afectaciones viales, el suelo edificable libre se reduce a 8.051 hectáreas.

Según la más reciente actualización del plano digital del DAPD, realizada en Mayo de 1.999 el área libre es de aproximadamente 11.273 hectáreas, a la cual se restaría un 20% que es la proporción que el DAPD considera que serán afectadas en promedio por las reservas para la construcción de la red vial primaria, por consiguiente el área efectivamente urbanizable y edificable sólo ascendería finalmente a 9.684 hectáreas.

- Uso actual del suelo

El uso actual del suelo de toda el área históricamente desarrollada por la ciudad hasta 1.998 se distribuye como se observa en la tabla 4.5.5

*Tabla 4.5.5 Uso actual del suelo en el área históricamente desarrollada*

USO DEL SUELO	No. SECTORES	AREA BRUTA	AREA DES. 1996	AREA LIBRE
Res. Exclusivo	173	10.753	7.831	2.660
Res. Predominante	206	13.681	10.464	2.850
Mixto	92	5.761	5.010	710
Comercial Múltiple	79	3.934	3.596	129
Industrial	17	1.114	669	241
Institucional	27	1.669	1.420	210
Lotes y Z. Verdes	7	633	502	131
Sin Información	3	219	77	95
<b>TOTAL</b>	<b>604</b>	<b>37.764</b>	<b>29.568</b>	<b>7.025</b>

Fuente: Cuadro 2.8. Estudio de Actualización – TEA Ltda.

- Uso potencial del suelo

En el estudio, se discrimina la tendencia de crecimiento en sectores de desarrollo y densificación residencial, como se puede observar en la tabla 4.5.6:

*Tabla 4.5.6 Tendencia de Crecimiento en sectores de desarrollo*

USO DEL SUELO	No. SECTORES	AREA BRUTA	AREA DES. 1996	AREA LIBRE
Desarrollo Residencial	168	16.548,77	11.125,34	4.872,18
Desarrollo en otros usos	19	966,92	896,61	67,38
Cambio de uso y compactados	107	4.494,36	4.186,59	288,51
Densificación Residencial	77	4.131,15	3.782,36	308,25
Saturados estables	100	4.033,54	3.314,11	683,51
Otros usos consolidados	130	7.350,01	6.186,58	710,72
Sin Información	3	219,46	76,63	94,50
<b>TOTAL</b>	<b>604</b>	<b>37.764</b>	<b>29.568</b>	<b>7.025</b>

Fuente: Cuadro 2.9. Estudio de Actualización – TEA Ltda.

#### 4.5.6 RESULTADOS DE LA PROYECCION DE POBLACION 1998 – 2020

- Población según tipo de crecimiento

A continuación en la tabla 4.5.7 se puede verificar la distribución de la población entre 1999 y 2020 según el tipo de crecimiento de los sectores.

*Tabla 4.5.7 Distribución de Población años 1999 y 2020*

	1999	2005	2010	2015	2020
<b>URBANO</b>	6.322.658	6.935.394	7.129.383	7.563.855	8.216.847
Desarrollo	3.251.484	3.593.218	3.639.586	3.711.106	3.775.704
Densificación	1.189.160	1.515.716	1.668.469	2.034.654	2.624.533
Estáticos	1.882.014	1.826.460	1.821.328	1.818.095	1.816.610
<b>ZONA DE EXPANSION</b>	-	347.344	957.083	1.314.584	1.426.951
Norte	-	201.796	589.640	859.801	972.168
Sur	-	97.557	156.418	172.524	172.524
Occidente	-	47.991	211.025	282.259	282.259
<b>TOTAL</b>	6.322.658	7.282.738	8.086.466	8.878.439	9.643.798

Fuente: Cuadro 2.12. Estudio de Actualización – TEA Ltda.

Porcentualmente la distribución de la población según tipo de crecimiento se puede fraccionar según la tabla 4.5.8

*Tabla 4.5.8 Distribución de la Población según tipo de Crecimiento*

<b>AÑOS</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>URBANO</b>	100,0	95,0	88,0	85,0	85,0
Desarrollo	51,0	49,0	45,0	42,0	39,0
Densificación	19,0	21,0	21,0	23,0	27,0
Estáticos	30,0	25,0	23,0	20,0	19,0
<b>ZONA DE EXPANSION</b>	<b>0,0</b>	<b>5,0</b>	<b>12,0</b>	<b>15,0</b>	<b>15,0</b>
Norte	0,0	3,0	7,0	10,0	10,0
Sur	0,0	1,0	2,0	2,0	2,0
Occidente	0,0	1,0	3,0	3,0	3,0
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

- Distribución de la población según estratos.

La distribución de la población por estratos muestra un descenso del estrato bajo que del 84% pasa al 77%, mientras que el estrato medio del 11% aumenta al 14%.

*Tabla 4.5.9 Distribución de población por estratos*

<b>AÑOS</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>TOTAL</b>	6.322.658	7.282.738	8.086.466	8.878.439	9.643.798
Estrato Bajo	5.334.978	6.089.557	6.502.461	6.900.550	7.389.894
Estrato Medio	691.525	859.024	1.107.836	1.215.904	1.326.049
Estrato Alto	296.155	334.157	476.169	761.985	927.855

Fuente: Cuadro 2.13. Estudio de Actualización – TEA Ltda.

- Porcentaje de la distribución de la población por estratos

*Tabla 4.5.10 Porcentaje de distribución de población por estratos*

<b>AÑOS</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>TOTAL</b>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Estrato Bajo	84,0	84,0	80,0	78,0	77,0
Estrato Medio	11,0	11,0	14,0	14,0	14,0
Estrato Alto	5,0	5,0	6,0	8,0	9,0

- Índice de saturación por área desarrolladas según tipo de crecimiento

El índice de saturación por área desarrolladas según el tipo de crecimiento, refleja la proporcionalidad del área desarrollada para todos los usos, más las nuevas áreas de crecimiento de viviendas anuales a partir de 1996, dividida por el área bruta desarrollable. Como se puede verificar en la tabla 4.5.11, la población de los sectores incluidos dentro del perímetro urbano muestran índices de saturación que pasarían del 0.93 al 0.95, mientras que las zonas en expansión estaría plenamente saturada en el año 2020.

*Tabla 4.5.11 Índices de saturación por áreas desarrolladas*

<b>AÑOS</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>URBANO</b>	0.93	0.94	0.94	0.94	0.95
Desarrollo	0.91	0.94	0.95	0.96	0.97
Densificación	0.95	0.96	0.96	0.96	0.96
Estáticos	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
<b>ZONA DE EXPANSION</b>	-	0.33	0.76	0.98	1.00
Norte	-	0.19	0.60	0.91	1.00
Sur	-	0.55	0.88	1.00	1.00
Occidente	-	0.28	0.79	1.00	1.00
<b>TOTAL</b>	<b>0.89</b>	<b>0.91</b>	<b>0.93</b>	<b>0.94</b>	<b>0.95</b>

Fuente: Cuadro 2.14. Estudio de Actualización – TEA Ltda.

El comportamiento de los índices de saturación por área desarrolladas según estratos es el indicado en la tabla 4.5.12 :

*Tabla 4.5.12 Índices de saturación por Estratos*

<b>AÑOS</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>TOTAL</b>	<b>0.89</b>	<b>0.91</b>	<b>0.93</b>	<b>0.94</b>	<b>0.95</b>
Estrato Bajo	0.88	0.91	0.93	0.94	0.95
Estrato Medio	0.92	0.93	0.95	0.95	0.96
Estrato Alto	0.88	0.88	0.91	0.95	0.96

- Area acumulada desarrollada en vivienda según tipo de crecimiento

En la tabla 4.5.13 se puede constatar la variación del área acumulada desarrollada en vivienda según tipo de crecimiento, que en su totalidad se incrementaría en 7.146 hectáreas, de las cuales 2.065 corresponden a suelos del perímetro urbano en desarrollo y 5.081 hectáreas a zonas de expansión.

*Tabla 4.5.13 Variación del área acumulada según el tipo de crecimiento*

<b>AÑOS</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>URBANO</b>	31.662	33.125	33.303	33.525	33.727
Desarrollo	13.788	15.223	15.396	15.610	15.804
Densificación	4.118	4.146	4.152	4.159	4.167
Estáticos	13.756	13.756	13.756	13.756	13.756
<b>ZONA DE EXPANSION</b>	-	1.325	3.589	4.765	5.081
Norte	-	800	2.258	3.104	3.420
Sur	-	353	570	643	643
Occidente	-	173	761	1.018	1.018
<b>TOTAL</b>	<b>31.662</b>	<b>34.450</b>	<b>36.892</b>	<b>38.290</b>	<b>38.808</b>

Fuente: Cuadro 2.15. Estudio de Actualización – TEA Ltda.

Porcentualmente, el área acumulada desarrollada en vivienda según tipo de crecimiento presenta en la tabla 4.5.14 :

*Tabla 4.5.14 Porcentaje de área acumulada desarrollada según tipo de crecimiento*

<b>AÑOS</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>URBANO</b>	100.0	96.0	90.0	87.0	87.0
Desarrollo	44.0	44.0	42.0	41.0	41.0
Densificación	13.0	12.0	11.0	11.0	11.0
Estáticos	43.0	40.0	37.0	36.0	35.0
<b>ZONA DE EXPANSION</b>	0.0	4.0	10.0	13.0	13.0
Norte	0.0	2.0	6.0	8.0	9.0
Sur	0.0	1.0	2.0	2.0	2.0
Occidente	0.0	1.0	2.0	3.0	2.0
<b>TOTAL</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

- Area desarrollada en viviendas según estratos

El área desarrollada en viviendas según estratos, presenta al igual que la variación del área acumulada desarrollada en vivienda según tipo de crecimiento, una demanda de suelos, de acuerdo a lo afirmado en el estudio, asimétrica con respecto a las distribuciones de población y viviendas, debido a que en los resultados anuales y al final del período, se incorporan un mayor número de variables, como el tipo de crecimiento, la clase de uso y el estrato socio-económico de los habitantes.

*Tabla 4.5.15 Area desarrollada en viviendas según estratos*

<b>AÑOS</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>TOTAL</b>	<b>31.662</b>	<b>34.450</b>	<b>36.892</b>	<b>38.290</b>	<b>38.808</b>
Estrato Bajo	23.931	26.111	27.217	27.650	27.765
Estrato Medio	4.768	5.320	6.286	6.531	6.615
Estrato Alto	2.963	3.019	3.389	4.108	4.428

Fuente: Cuadro 2.16. Estudio de Actualización – TEA Ltda.

Porcentajes:

*Tabla 4.5.16 Porcentaje de área desarrollada en viviendas según estratos*

<b>AÑOS</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
Estrato Bajo	76,0	76,0	74,0	72,0	71,0
Estrato Medio	15,0	15,0	17,0	17,0	17,0
Estrato Alto	9,0	9,0	9,0	11,0	11,0

- Densidad de la población en área desarrollada según tipo de crecimiento

Con relación a la densidad de la población en área desarrollada según tipo de crecimiento (Habitantes / Ha.), las zonas en expansión que hacia el final del período se habrían saturado en un ciento por ciento, muestran, tal como se releva en la tabla 4.5.17, una densidad promedio de 281 hab/ha, que es superior al promedio que el modelo del estudio pronostica para todo el conjunto de la ciudad y también más alta que la densidad media estimada para el año de 1999 que es de 200 hab/ha.

*Tabla 4.5.17 Densidad de la población en área desarrollada según tipo de crecimiento*

<b>AÑOS</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>URBANO</b>	200	209	214	226	244
Desarrollo	236	236	236	238	239
Densificación	289	366	402	489	630
Estáticos	137	133	132	132	132
<b>ZONA DE EXPANSION</b>		262	267	276	281
Norte		252	261	277	284
Sur		276	274	269	269
Occidente		278	277	277	277
<b>TOTAL</b>	<b>200</b>	<b>211</b>	<b>219</b>	<b>232</b>	<b>249</b>

Fuente: Cuadro 2.17. Estudio de Actualización – TEA Ltda.

- Densidad de la población por estratos

Por estratos la densidad poblacional muestra un elevado crecimiento en el estrato alto que de 100 hab/ha alcanzaría al final del período 210 hab/ha, lo cual representa un incremento del 110%, mientras que en el estrato bajo, el crecimiento apenas sería del 19%.

*Tabla 4.5.18 Densidad de la población por estratos*

<b>Urbano y Expansión</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
Estrato Bajo	223	233	239	250	266
Estrato Medio	141	161	175	186	200
Estrato Alto	100	111	140	185	210

- Distribución de las viviendas según tipo de crecimiento

El incremento de viviendas según tipo de crecimiento, sería cercano al 62%. Más del 40% de este incremento se produciría en áreas altamente o por lo menos moderadamente saturadas que tienden a densificarse o redensificarse.

*Tabla 4.5.19 Distribución de viviendas según tipo de crecimiento*

<b>AÑOS</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>URBANO</b>	1.247.634	1.374.748	1.417.876	1.514.849	1.659.731
Desarrollo	652.358	720.738	731.901	749.451	764.891
Densificación	232.235	302.663	335.897	416.124	545.971
Estáticos	363.041	351.347	350.078	349.274	348.869
<b>ZONA DE EXPANSION</b>	-	76.684	227.005	329.577	365.837
Norte		48.177	154.824	240.157	276.417
Sur		19.108	30.680	33.862	33.862
Occidente		9.399	41.501	55.558	55.558
<b>TOTAL</b>	<b>1.247.634</b>	<b>1.451.432</b>	<b>1.644.881</b>	<b>1.844.426</b>	<b>2.025.568</b>

Fuente: Cuadro 2.18. Estudio de Actualización – TEA Ltda.

*Tabla 4.5.20 Porcentajes de la distribución de viviendas según tipo de crecimiento:*

<b>AÑOS</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>URBANO</b>	100,0	95,0	86,0	82,0	82,0
Desarrollo	52,0	50,0	44,0	41,0	38,0
Densificación	19,0	21,0	20,0	23,0	27,0
Estáticos	29,0	24,0	21,0	19,0	17,0
<b>ZONA DE EXPANSION</b>	0,0	5,0	14,0	18,0	18,0
Norte	0,0	3,0	9,0	13,0	14,0
Sur	0,0	1,0	2,0	2,0	2,0
Occidente	0,0	1,0	3,0	3,0	2,0
<b>TOTAL</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

- Distribución de las viviendas según estrato.

De acuerdo a las cifras de la tabla 4.5.21, se infiere que el estrato bajo contribuiría con más de 400.000 viviendas, mientras que el medio y alto con aproximadamente 374.000 viviendas. Porcentualmente, se nota un decrecimiento en la participación del estrato bajo y un incremento importante de los estratos medio y alto. Esta situación, según el estudio, conduciría a prever un redimensionamiento substancial de las redes de servicios en los sectores donde tiende a concentrarse la redensificación de los estratos alto y medio.

*Tabla 4.5.22 Distribución de Viviendas según estrato*

<b>AÑOS</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1.247.634</b>	<b>1.451.432</b>	<b>1.644.881</b>	<b>1.844.426</b>	<b>2.025.568</b>
Estrato Bajo	975.637	1.123.207	1.204.423	1.283.048	1.379.953
Estrato Medio	177.155	221.572	288.975	318.680	349.382
Estrato Alto	94.842	106.653	151.483	242.698	296.233

Fuente: Cuadro 2.19. Estudio de Actualización – TEA Ltda.

Porcentualmente la distribución de las viviendas según estrato muestra la tendencia que se puede observar en la tabla 4.5.23

*Tabla 4.5.24 Porcentaje de la distribución de viviendas según estrato*

<b>AÑOS</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
Estrato Bajo	78,0	77,0	73,0	70,0	68,0
Estrato Medio	14,0	15,0	18,0	17,0	17,0
Estrato Alto	8,0	7,0	9,0	13,0	15,0

#### **4.5.7 PROYECCION DEL CONSUMO PERCAPITA DE AGUA**

##### **4.5.7.1 EVENTOS QUE AFECTAN EL CONSUMO DE AGUA**

Existen una serie de eventos que pueden tener influencia sobre el comportamiento futuro del consumo de agua, a saber:

- **Emergencia de Chingaza**

De acuerdo a los registros del consumo residencial por vigencia facturado por la Empresa, durante el año de 1997, la emergencia de Chingaza ocasionó una reducción en la demanda estimada del 5% con ahorro voluntario y del 19% incluyendo el racionamiento. Durante los años de 1998 y 1999, esta tendencia de bajos consumos se mantuvo, lo cual significa que los usuarios adoptaron nuevos hábitos en forma permanente.

- **Programa de uso racional del agua**

Este programa se basa en tres componentes esenciales: El uso de aparatos de bajo consumo ABC'S; el cambio de hábitos en el consumo de agua de la población; y el reuso de agua en el sector industrial.

- **Mejoramientos en la operación del sistema**

La EAAB en concordancia con los programas de mejoramiento en la operación del sistema, tendientes a disminuir las fugas o incrementar la calidad del servicio ha inducido cambios en la presión que podrían afectar el consumo.

**4.5.8 PROYECCION DEL CONSUMO POR CUENTA**

La estimación del comportamiento futuro se formuló bajo la hipótesis que los habitantes pertenecientes a los estratos 1, 2 y 3, que representan el 83% de la población de Bogotá, tienen un consumo inferior al promedio por persona de 122.23 LHD. Al incluir este valor en los consumos de los respectivos estratos, resulta un promedio ponderado para todo el sector residencial de 113.2 LHD, cifra que se adoptó en el estudio como nivel inferior de consumo, hacia el cual tiende el consumo residencial promedio.

*Tabla 4.5.25 Proyección del consumo per cápita residencial y mixto en un escenario medio.*

AÑOS	POBLACION	PERSONAS / VIVIENDA	VIVIENDAS	CONSUMO/ CUENTA M3/ BIMESTRE	CONSUMO / PERSONA LHD
1990	4.976.165	5.43	916.317	52.25	158.15
1995	5.713.236	5.15	1.108.936	47.22	150.67
2000	6.484.968	4.78	1.355.875	35.13	120.73
2005	7.282.781	4.74	1.536.647	33.72	116.96
2010	8.086.532	4.71	1.717.670	32.42	113.20
2015	8.878.537	4.68	1.895.879	32.25	113.20
2020	9.643.947	4.66	2.068.333	32.11	113.20
<b>CRECIMIENTO PROMEDIO %</b>					
1990-1998	2.71	-1.50	4.31	-4.55	-3.10
1998-2010	2.31	-0.20	2.51	-1.43	-1.24
2010-2020	1.81	-0.10	1.91	-0.16	-0.06

Fuente: Cuadro 3.4 Estudio de Actualización – TEA Ltda.

De las proyecciones del consumo per cápita en un escenario medio, se concluye lo siguiente:

- El número de personas por vivienda es altamente decreciente en el período 1990 – 1994.
- El consumo por persona es decreciente hacia asíntota de 113.2 LHD en el 2010.

#### **4.5.9 PROYECCION Y DISTRIBUCION DE LA DEMANDA DE AGUA Y PROYECCION DE LA FACTURACION**

##### 4.5.9.1 ESTIMACION DE LA DEMANDA DE AGUA.

La estimación de la demanda comprende los sectores a nivel de Bogotá, residencial (70%) y no residencial (20%); a nivel de los municipios (8%) y una aproximación a la demanda residual (2%).

El modelo presentado en el estudio se desarrolla a partir de la “Demanda Base”, que incluye: la demanda residencial calculada a partir de la población; la demanda no residencial que agrupa la demanda comercial, industrial, especial y oficial; la demanda de los trece (13) municipios atendida por la Empresa y la demanda residual.

Con base en la Demanda Base se presentan tres medidas de la demanda según los componentes de agua no contabilizada, así: la demanda de agua facturada; la demanda de agua neta, la cual incluye las pérdidas por clandestinos y por micromedición; la demanda de producción, la cual adiciona las pérdidas por fugas y macromedición.

#### **- Demanda Base**

La Demanda Base comprende el consumo para un todo de la población o para un todo de un segmento de la demanda, esta compuesta por:

### Demanda Base Residencial

La demanda base residencial se estima al aplicar una dotación media por usuario al total de las viviendas estimadas para Bogotá.

### Demanda Base No Residencial

La demanda no residencial esta compuesta por consumo industrial y comercial (75%), consumo oficial (18%) y consumo especial (7%).

### Demanda Base Municipios

Es el agua que compran en bloque al sistema de Bogotá, los municipios anteriormente mencionados y equivale a su demanda de agua facturada por la EAAB.

#### - **Demanda Base Total**

La demanda base total esta compuesta por la demanda base residencial, la demanda base no residencial, la demanda base de los municipios y la demanda base residual.

#### - **Demanda Base Total por Componentes**

*Tabla 4.5.26 Demanda base total por Componentes M3 / Vigencia – Escenario Medio*

<b>AÑOS</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
Residencial	45.618.146	49.827.087	53.788.825	59.034.132	64.123.407
No Residencial	10.594.479	13.707.810	16.396.843	19.784.507	23.905.998
Municipios	5.006.528	7.545.339	9.366.459	11.354.780	13.530.902
Otras	1.309.774	1.784.297	2.162.953	2.614.282	3.142.995
<b>Demanda Base Total</b>	<b>62.528.927</b>	<b>72.884.514</b>	<b>81.894.380</b>	<b>92.787.702</b>	<b>104.703.302</b>

Fuente: Cuadro 4.9 Estudio de Actualización – TEA Ltda.

#### **4.5.10 AJUSTE POR PERDIDAS Y ESTIMACION DE LA PRODUCCION**

Se han definido tres niveles de la demanda de agua según los componentes de agua no contabilizada que involucre cada nivel, así: demanda facturada, demanda neta y demanda de producción.

- Demanda Facturada

Corresponde al supuesto que la demanda base incluya toda la población facturada y no facturada, legales e ilegales, ajustada hacia abajo por un factor que teóricamente incluye la falta de cobertura de la Empresa y las pérdidas comerciales, elementos que no son facturados.. En este punto la demanda base se toma como un solo agregado de las demandas residencial, no residencial, municipios y residual; a este agregado se le aplica el factor de ajuste mencionado

La demanda resultante corresponde a la demanda facturada, a la cual se debe adicionar la demanda de usuarios que la Empresa espera incorporar a la facturación, por expansión de la cobertura del servicio y por la inclusión de algunas zonas sin servicio del Programa de Desmarginalización.

- Demanda Neta

La demanda neta agrega a la demanda facturada las pérdidas por clandestinos y por micromedición.

- Demanda de Producción

La demanda de producción es el nivel requerido para atender las necesidades de demanda de consumo, considerando todas las pérdidas.

En la tabla 4.5.27 se muestra los tres agregados de demanda: facturada, neta y de producción tanto en metros cúbicos por vigencia, como en metros cúbicos por segundo, para el escenario medio de consumo.

*Tabla 4.5.27 Agregados de demanda facturada, neta y de producción*

CIFRAS EN METROS CUBICOS / VIGENCIA – ESCENARIO MEDIO DE CONSUMO MEDIO DE AGUA					
	2000	2005	2010	2015	2020
DEMANDA FACTURADA	54.747.383	64.677.028	72.330.280	81.987.679	92.353.268
DEMANDA NETA	72.461.666	85.405.721	95.702.505	108.847.444	122.540.055
DEMANDA PRODUCCION	79.540.797	93.749.419	105.052.146	119.261.739	134.511.586
CIFRAS EN METROS CUBICOS / SEGUNDO – ESCENARIO MEDIO DE CONSUMO PER CÁPITA					
DEMANDA FACTURADA	10.33	12.31	13.76	15.60	17.57
DEMANDA NETA	14.30	16.25	18.21	20.67	23.31
DEMANDA PRODUCCION	15.70	17.84	19.99	20.89	25.59

Fuente: Cuadro 4.14 Estudio de Actualización – TEA Ltda.

#### **4.5.11 DISTRIBUCION DE LA DEMANDA DE AGUA**

Para la distribución de la demanda de agua calculada en forma agregada en cada uno de sus escenarios (alto, medio y bajo), se tomó como base la distribución de la población. En los siguientes cuadros se relacionan los resultados, que el estudio presenta, de la demanda por uso y estrato, como también la demanda de facturación total y demanda de producción total para el período 1999 – 2020, agregados por tipo de crecimiento urbano y por estrato.

*Tabla 4.5.28 Demanda facturada por uso y estrato. M3 / Vigencia. Escenario Medio de consumo medio de agua.*

<b>AÑOS</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
Residencial 1	1.999.517	2.260.329	2.430.750	2.657.079	2.900.745
Residencial 2	12.268.337	13.551.579	14.547.430	15.876.979	17.308.830
Residencial 3	14.733.006	16.499.048	17.730.303	19.368.917	21.133.280
Residencial 4	4.979.772	6.047.480	6.784.294	7.503.772	8.185.374
Residencial 5	1.793.936	2.221.409	2.569.950	3.068.399	3.347.116
Residencial 6	1.601.056	1.982.588	2.293.635	2.738.492	2.987.242
<b>SUBTOTAL</b>	<b>37.375.623</b>	<b>42.562.413</b>	<b>46.356.363</b>	<b>51.213.828</b>	<b>55.862.587</b>
Mixto	2.812.749	2.621.533	2.447.369	2.354.285	2.266.802
<b>NO RESIDENCIAL</b>	<b>10.594.479</b>	<b>13.707.810</b>	<b>16.396.943</b>	<b>19.784.507</b>	<b>23.905.998</b>
Comercial	4.374.203	5.659.622	6.769.899	8.168.542	9.870.206
Industrial	3.538.231	4.577.988	5.476.076	6.607.419	7.983.870
Especial	221.675	286.287	343.083	413.963	500.200
Oficial	2.480.370	3.183.383	3.807.884	4.594.583	5.551.722
<b>TOTAL</b>	<b>50.782.852</b>	<b>58.891.758</b>	<b>65.200.675</b>	<b>73.352.420</b>	<b>82.035.387</b>
Municipios	2.654.758	4.000.986	4.966.652	6.020.978	7.174.887
TPO. Otras	1.309.774	1.784.296	2.162.952	2.614.281	3.142.994
<b>TOTAL FACTURADA</b>	<b>54.747.383</b>	<b>64.677.038</b>	<b>72.330.280</b>	<b>81.987.679</b>	<b>92.353.268</b>

Fuente: Cuadro 4.18 Estudio de Actualización – TEA Ltda.

*Tabla 4.5.29 Distribución del agua facturada total según estratos. M3 por vigencia*

<b>AÑOS</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>
<b>TOTAL</b>	<b>49.987.012</b>	<b>47.719.511</b>	<b>57.131.712</b>	<b>62.963.826</b>	<b>78.822.365</b>
Estrato Bajo	36.630.112	35.140.625	42.204.762	44.909.168	53.995.266
Estrato Medio	8.494.197	7.924.397	9.946.484	11.909.973	14.451.408
Estrato Alto	4.862.703	4.654.489	4.980.466	6.144.685	10.375.691

Fuente: Cuadro 4.23. Estudio de Actualización – TEA Ltda.

*Tabla 4.5.30 Porcentajes de la distribución del agua facturada total según estratos. M3 por vigencia*

<b>AÑOS</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
Estrato Bajo	73,0	74,0	74,0	71,0	69,0
Estrato Medio	17,0	17,0	17,0	19,0	18,0
Estrato Alto	10,0	10,0	9,0	10,0	13,0

*Tabla 4.5.31 Distribución de la demanda de agua de producción total según estratos*

<b>AÑOS</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>
<b>TOTAL</b>	<b>75.968.100</b>	<b>69.918.864</b>	<b>82.818.446</b>	<b>91.448.364</b>	<b>114.803.972</b>
Estrato Bajo	55.668.867	51.448.223	61.175.823	65.225.858	78.643.559
Estrato Medio	12.909.112	11.610.858	14.417.436	17.297.993	21.048.323
Estrato Alto	7.390.121	6.819.783	7.219.189	8.924.513	15.112.090

Fuente: Cuadro 4.25. Estudio de Actualización – TEA Ltda.

*Tabla 4.5.32 Porcentajes de la distribución de la demanda de agua de producción total según estratos*

<b>AÑOS</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
Estrato Bajo	73,0	74,0	74,0	71,0	69,0
Estrato Medio	17,0	17,0	17,0	19,0	18,0
Estrato Alto	10,0	10,0	9,0	10,0	13,0

#### **4.5.12 DISTRIBUCION DE LA POBLACION Y LAS VIVIENDAS EN EL ESCENARIO P. O. T.**

Es de anotar que los resultados del Plan de Ordenamiento Territorial enunciados en el Estudio de Actualización, sobre los cuales se hacen algunos comentarios y se presentan las diferencias con respecto a los resultados del modelo tendencial, son anteriores a las modificaciones ordenadas por el Ministerio del Medio Ambiente.

#### **4.5.13 RESULTADOS AGREGADOS POR TIPOS DE CRECIMIENTO Y ESTRATO**

- **Población según Tipo de Crecimiento**

De acuerdo al estudio, con respecto al escenario tendencial (Estudio de Actualización), se pueden destacar tres diferencias que se presentan en el escenario P.O.T.

a. Area Consumida

El modelo tendencial pronosticó la urbanización a través de desarrollo y expansión de 7.142 hectáreas y el escenario P.O.T. pronostica un número notoriamente inferior: 4.391 hectáreas, lo cual se explica por que la norma volumétrica permite un uso más intensivo del suelo urbanizable, particularmente en las áreas de desarrollo.

b. Densidad de Población.

Como resultado del uso más intensivo del suelo en construcción, las densidades resultantes a escala de toda la ciudad son más altas en el escenario P.O.T. que en el tendencial, especialmente las densidades de expansión (462 hab/ha en el P.O.T. contra 281 hab/ha en el tendencial) y las del desarrollo (368 hab/ha en el P.O.T. contra 239 en el tendencial).

Por el contrario, en los sectores que densifican resultan más moderadas en el escenario P.O.T. (334 hab/ha) que en el tendencial (630 hab/ha). en el estudio se anota que este hecho conllevaría a aplicar efectivamente las normas contempladas en el P.O.T., lo cual originaría una utilización más intensiva del suelo disponible en su conjunto (menor consumo de área residencial adicional por habitante) y, a la vez, permitiría contener las densificaciones exageradas e indeseables que se han producido en otros sectores de la ciudad.

c. Disponibilidad futura de suelos urbanizables.

En este aspecto se presentan diferencias muy marcadas entre los pronósticos tendenciales y el del P.O.T. En el caso de los sectores urbanos dentro del perímetro proyectado para el año 2020, para el tendencial, la saturación alcanzaría el 95% mientras que en el P.O.T. sería del 93%. En las áreas de expansión, el tendencial indica que la saturación llegaría al 100%, mientras que el P.O.T. solo muestra una cifra cercana al 80%. Esta situación traería como consecuencia que en el año 2020, solamente se habrían utilizado 1.775 hectáreas de suelo de expansión por fuera de los polígonos DANE y que aún quedarían disponibles 1.182 hectáreas brutas urbanizables.

- **Viviendas y Areas Desarrolladas**

Comparados los dos escenarios por tipo de crecimiento, el incremento de viviendas en valores absolutos se discrimina en la tabla 4.5.33

*Tabla 4.5.33 Incremento de viviendas en valores absolutos*

	TENDENCIAL		P. O. T.	
	NUMERO VIVIENDAS	%	NUMERO VIVIENDAS	%
Desarrollo	112.533	14,0	459.169	64,0
Densificación	313.736	40,0	45.401	6,0
Estáticos	(14.172)	-2,0	2.929	0,0
Expansión	365.837	47,0	210.716	29,0
<b>TOTAL</b>	<b>777.934</b>	<b>100,0</b>	<b>718.215</b>	<b>100,0</b>

Como se puede observar existe una marcada diferencia de los escenarios respecto a la contribución en el incremento de las viviendas en las áreas de expansión y especialmente en los sectores de desarrollo: Esta última se explica por los índices de construcción muy elevados que se han asignado. En el estudio se afirma que esto podrá ocurrir en casos muy puntuales, pero no se puede generalizar, por lo que es necesario, en este aspecto, reconsiderar con datos más ajustados el escenario P.O.T.

## TABLA DE CONTENIDO

4.	ANÁLISIS HIDRÁULICO .....	4-1
4.1.	INTRODUCCION.....	4-1
4.1.1	ASPECTOS GENERALES.....	4-2
4.1.2	DEMANDA ACTUAL Y PROYECTADA PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ .....	4-4
4.1.3	SISTEMAS Y CAPTACIÓN DE AGUA CRUDA .....	4-7
4.1.4	PRODUCCIÓN TOTAL DEL SISTEMA .....	4-7
4.1.5	SISTEMA DE DISTRIBUCION – CONDICIONES DE OPERACIÓN A DICIEMBRE DE 2000.....	4-8
4.1.6	LINEAS DE LA RED MATRIZ DEL PROGRAMA SANTAFE I .....	4-11
4.2.	ACTUALIZACION MODELO HIDRÁULICO .....	4-12
4.2.1	MODELO FISICO Y CODIFICADO.....	4-12
4.2.1.1	Revisión de longitudes de los tramos .....	4-12
4.2.1.2	Actualización del tipo de material de las tuberías.....	4-12
4.2.1.3	Incorporación de las clases de tubería .....	4-14
4.2.1.4	Incorporación norma awwa .....	4-14
4.2.1.5	Actualización coeficiente de rugosidad .....	4-14
4.2.1.6	Actualización de las dimensiones, niveles y cotas de los tanques de almacenamiento ..	4-15
4.2.1.7	Actualización de la información de los reservorios .....	4-16
4.2.1.8	Inclusión de nuevos tramos y tanques recientemente construidos .....	4-17
4.2.1.9	Actualización del modulo de demanda del modelo hidraulico .....	4-17
4.3.	CALIBRACION DEL MODELO HIDRÁULICO Y ANALISIS OPERACIONAL PARA LAS CONDICIONES OPERATIVAS DEL AÑO 2000. ....	4-27
4.3.1	RED MATRIZ BASICA .....	4-27
4.3.1.1	Hipotesis operacional .....	4-27
4.3.1.2	Características de operación .....	4-30
4.3.1.3	Análisis de la calibración .....	4-30
4.3.1.3.1	Calibración niveles tanques .....	4-33
4.3.1.3.2	Caudales a la salida de los reservorios .....	4-36
4.3.1.3.3	Calibración de caudales y presiones en la red sistema básico .....	4-39
4.3.2	SISTEMA VITELMA .....	4-49
4.3.2.1	Hipótesis operacional .....	4-49
4.3.2.2	Calibración y análisis operacional .....	4-52
4.3.2.2.1	Calibración de los niveles de los tanques .....	4-52
4.3.2.2.2	Caudales y presiones en el sistema .....	4-54
4.3.3	SISTEMA LINEAS EXPRESAS .....	4-58



4.3.3.1	Hipotesis operacional .....	4-61
4.3.3.2	Análisis operacional .....	4-61
4.4.	ANÁLISIS Y MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	4-63
4.4.1	GENERALIDADES.....	4-63
4.4.2	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MODELO .....	4-64
4.4.2.1	Capacidades de modelación .....	4-64
4.4.2.2	Reacción volumétrica del fluido.....	4-64
4.4.2.3	Reacción en la pared de la tubería.....	4-66
4.4.2.4	Mezcla en tanques de almacenamiento .....	4-67
4.4.3	CALIBRACIÓN DEL MODELO DE CALIDAD Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	4-67
4.4.4	DETERMINACIÓN DE LA CORROSIVIDAD DEL AGUA .....	4-81
4.5.	ACTUALIZACIÓN DE LA PROYECCION DE LA DEMANDA DE AGUA, USOS DEL SUELO Y TENDENCIAS URBANISTICAS.....	4-90
4.5.1	ANTECEDENTES.....	4-90
4.5.2	PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN .....	4-91
4.5.2.1	Proyecciones de la población de Bogota D.C. ....	4-91
4.5.2.2	Proyección de la población de los municipios del área del estudio.....	4-92
4.5.3	PROYECCIÓN DE VIVIENDAS DE BOGOTÁ Y MUNICIPIOS DEL ESTUDIO .....	4-93
4.5.4	DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN Y LAS VIVIENDAS .....	4-94
4.5.5	USO ACTUAL DEL SUELO .....	4-95
4.5.6	RESULTADOS DE LA PROYECCION DE POBLACION 1998 – 2020.....	4-97
4.5.7	PROYECCION DEL CONSUMO PERCAPITA DE AGUA .....	4-105
4.5.7.1	Eventos que afectan el consumo de agua .....	4-105
4.5.8	PROYECCION DEL CONSUMO POR CUENTA .....	4-106
4.5.9	PROYECCION Y DISTRIBUCION DE LA DEMANDA DE AGUA Y PROYECCION DE LA FACTURACION .....	4-107
4.5.9.1	Estimacion de la demanda de agua. ....	4-107
4.5.10	AJUSTE POR PERDIDAS Y ESTIMACION DE LA PRODUCCION.....	4-109
4.5.11	DISTRIBUCION DE LA DEMANDA DE AGUA .....	4-110
4.5.12	DISTRIBUCION DE LA POBLACION Y LAS VIVIENDAS EN EL ESCENARIO P. O. T. ....	4-113
4.5.13	RESULTADOS AGREGADOS POR TIPOS DE CRECIMIENTO Y ESTRATO .....	4-113
<b>ANEXO 16.</b> CUADROS ACTUALIZACIÓN MODELO HIDRÁULICO		
<b>ANEXO 17.</b> GRÁFICAS DE CAUDALES, PRESIONES Y NIVELES DE TANQUES		
<b>ANEXO 23.</b> SIMULACIÓN DEMANDA MEDIA. SISTEMA BÁSICO, SISTEMA VITELMA Y LÍNEAS EXPRESAS		
<b>ANEXO 24.</b> CALIBRACIÓN MODELO CALIDAD DE AGUA. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE MUESTRAS DE AGUA POTABLE.		



## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 4.1.1 Síntesis de demanda facturada</i>	4-5
<i>Tabla 4.1.2 Demanda por sectores</i>	4-6
<i>Tabla 4.1.3 Capacidad de los sistemas de captación de agua cruda</i>	4-7
<i>Tabla 4.1.4 Capacidades máximas de producción (m3/s)</i>	4-7
<i>Tabla 4.1.5 Esquema de producción Planta Tibitoc</i>	4-8
<i>Tabla 4.2.1 Coeficientes de Rugosidad</i>	4-15
<i>Tabla 4.2.2 Periodos y frecuencias de los registros de los tanques de almacenamiento</i>	4-16
<i>Tabla 4.2.3 Periodos y frecuencias de los registros de aforos</i>	4-17
<i>Tabla 4.3.1 Válvulas de interconexión del Sistema Básico</i>	4-27
<i>Tabla 4.3.2 Válvulas reductoras de presión</i>	4-28
<i>Tabla 4.3.3 Válvulas de separación de servicios</i>	4-28
<i>Tabla 4.3.4 Calibración Tanque Casablanca</i>	4-33
<i>Tabla 4.3.5 Calibración tanque Parque Nacional</i>	4-35
<i>Tabla 4.3.6 Calibración tanque Cazuca</i>	4-36
<i>Tabla 4.3.7 Calibración Reservorio Tibitoc</i>	4-37
<i>Tabla 4.3.8 Calibración Reservorio Santa Ana</i>	4-38
<i>Tabla 4.3.9 Puntos de calibración y medición de caudales</i>	4-40
<i>Tabla 4.3.10 Válvulas de separación de servicios</i>	4-50
<i>Tabla 4.3.11 Válvulas Controladoras de Flujo</i>	4-50
<i>Tabla 4.3.12 Bombeos Cadena Sur- Oriental</i>	4-50
<i>Tabla 4.3.13 Bombeos cadena Ciudad Bolívar</i>	4-51
<i>Tabla 4.3.14 Bombeo San Dionisio y Consuelo</i>	4-51
<i>Tabla 4.3.15 Válvulas Líneas Expresas</i>	4-61
<i>Tabla 4.4.1 Sitios de muestreo de calidad del agua</i>	4-63
<i>Tabla 4.4.2 Parámetros de Modelación</i>	4-65
<i>Tabla 4.4.3 Coeficiente de Reacción pared Rugosidad</i>	4-66
<i>Tabla 4.5.1 Proyecciones de Población</i>	4-92
<i>Tabla 4.5.2 Proyecciones de población de Municipios</i>	4-93
<i>Tabla 4.5.3 Proyecciones de Viviendas en Santa Fe De Bogotá D.C. 1.985 - 2020</i>	4-94
<i>Tabla 4.5.4 Proyecciones de Las Viviendas De Los Municipios del Área de Influencia de Bogotá D.C. 1.990 – 2020</i>	4-94
<i>Tabla 4.5.5 Uso actual del suelo en el área históricamente desarrollada</i>	4-96
<i>Tabla 4.5.6 Tendencia de Crecimiento en sectores de desarrollo</i>	4-96
<i>Tabla 4.5.7 Distribución de Población años 1999 y 2020</i>	4-97
<i>Tabla 4.5.8 Distribución de la Población según tipo de Crecimiento</i>	4-98



<i>Tabla 4.5.9 Distribución de población por estratos .....</i>	<i>4-98</i>
<i>Tabla 4.5.10 Porcentaje de distribución de población por estratos .....</i>	<i>4-99</i>
<i>Tabla 4.5.11 Índices de saturación por áreas desarrolladas .....</i>	<i>4-99</i>
<i>Tabla 4.5.12 Índices de saturación por Estratos .....</i>	<i>4-100</i>
<i>Tabla 4.5.13 Variación del área acumulada según el tipo de crecimiento .....</i>	<i>4-100</i>
<i>Tabla 4.5.14 Porcentaje de área acumulada desarrollada según tipo de crecimiento .....</i>	<i>4-101</i>
<i>Tabla 4.5.15 Área desarrollada en viviendas según estratos .....</i>	<i>4-101</i>
<i>Tabla 4.5.16 Porcentaje de área desarrollada en viviendas según estratos .....</i>	<i>4-102</i>
<i>Tabla 4.5.17 Densidad de la población en área desarrollada según tipo de crecimiento .....</i>	<i>4-102</i>
<i>Tabla 4.5.18 Densidad de la población por estratos .....</i>	<i>4-103</i>
<i>Tabla 4.5.19 Distribución de viviendas según tipo de crecimiento .....</i>	<i>4-103</i>
<i>Tabla 4.5.20 Porcentajes de la distribución de viviendas según tipo de crecimiento: .....</i>	<i>4-104</i>
<i>Tabla 4.5.22 Distribución de Viviendas según estrato .....</i>	<i>4-104</i>
<i>Tabla 4.5.24 Porcentaje de la distribución de viviendas según estrato .....</i>	<i>4-105</i>
<i>Tabla 4.5.25 Proyección del consumo per cápita residencial y mixto en un escenario medio. ....</i>	<i>4-106</i>
<i>Tabla 4.5.26 Demanda base total por Componentes M3 / Vigencia – Escenario Medio .....</i>	<i>4-108</i>
<i>Tabla 4.5.27 Agregados de demanda facturada, neta y de producción .....</i>	<i>4-110</i>
<i>Tabla 4.5.28 Demanda facturada por uso y estrato. M3 / Vigencia. Escenario Medio de consumo medio de agua. ....</i>	<i>4-111</i>
<i>Tabla 4.5.29 Distribución del agua facturada total según estratos. M3 por vigencia .....</i>	<i>4-111</i>
<i>Tabla 4.5.30 Porcentajes de la distribución del agua facturada total según estratos. M3 por vigencia .....</i>	<i>4-112</i>
<i>Tabla 4.5.31 Distribución de la demanda de agua de producción total según estratos .....</i>	<i>4-112</i>
<i>Tabla 4.5.32 Porcentajes de la distribución de la demanda de agua de producción total según estratos ..</i>	<i>4-112</i>
<i>Tabla 4.5.33 Incremento de viviendas en valores absolutos .....</i>	<i>4-114</i>



## INDICE DE FIGURAS

Figura 4.2.1 Coeficiente de variación sector 1 .....	4-18
Figura 4.2.2 Coeficiente de variación sector 2 .....	4-19
Figura 4.2.3 Coeficiente de variación sector 4 .....	4-19
Figura 4.2.4 Coeficiente de variación sector 16 .....	4-20
Figura 4.2.5 Coeficiente de variación sector 19 .....	4-20
Figura 4.2.6 Coeficiente de variación sector 13 .....	4-21
Figura 4.2.7 Coeficiente de variación sector 14 .....	4-22
Figura 4.2.8 Coeficiente de variación sector 17 .....	4-22
Figura 4.2.9 Coeficiente de variación sector 20 .....	4-23
Figura 4.2.10 Coeficiente de variación sector 21 .....	4-23
Figura 4.2.11 Coeficiente de variación sector 22 .....	4-24
Figura 4.2.12 Coeficiente de variación sector 23 .....	4-24
Figura 4.2.13 Coeficiente de variación sector 25 .....	4-25
Figura 4.2.14 Coeficiente de variación sector 26 .....	4-25
Figura 4.2.15 Coeficiente de variación sector 31 .....	4-26
Figura 4.2.16 Coeficiente de variación sector 36 .....	4-26
Esquema 1. Condiciones operativas año 2000 .....	4-29
Esquema 2. Análisis de isopresiones 4 am. Sistema Básico	
Esquema 3. Análisis de isopresiones 10 am. Sistema Básico .....	4-31
Figura 4.3.1 Variación de niveles tanque Casablanca .....	4-33
Figura 4.3.2 Variación de niveles tanque Parque Nacional .....	4-34
Figura 4.3.3 Variación de niveles tanque Control Cazucá .....	4-35
Figura 4.3.4 Caudales de salida Tibitoc .....	4-37
Figura 4.3.5 Caudales de salida reservorio Santa Ana .....	4-38
Figura 4.3.6 Curva Caudal Línea BIV24090 .....	4-41
Figura 4.3.7 Curva de caudal Línea STF16129 .....	4-41
Figura 4.3.8 Curva Caudal Línea BIV24089 .....	4-42
Figura 4.3.9 Curva caudal Línea BIV36084 .....	4-42
Figura 4.3.10 Curva Caudal Línea RM241MAYO .....	4-43
Figura 4.3.11 Curva Caudal Línea BIV3024091 .....	4-43
Figura 4.3.12 Curva Caudal Línea RD4A24021 .....	4-44
Figura 4.3.13 Curva Caudal Línea RD424020 .....	4-44
Figura 4.3.14 Curva Caudal Línea RD1442011 .....	4-45
Figura 4.3.15 Curva Caudal Línea CC9010 .....	4-45
Figura 4.3.16 Curva Caudal Línea BIV36110 .....	4-46



<i>Figura 4.3.17 Curva Caudal Línea RM16061</i>	4-46
<i>Figura 4.3.18 Curva Caudal Línea RM16051</i>	4-47
<i>Figura 4.3.19 Curva Caudal Línea STF1624131</i>	4-47
<i>Figura 4.3.20 Curva Caudal Zona Baja Norte</i>	4-48
<i>Figura 4.3.21 Curva Caudal Zona Baja Sur</i>	4-48
<i>Figura 4.3.22 Curva Caudal Zona Intermedia</i>	4-49
<i>Figura 4.3.23 Curva Niveles tanque San Vicente</i>	4-52
<i>Figura 4.3.24 Curva Niveles tanque Los Alpes</i>	4-53
<i>Figura 4.3.25 Curva Niveles tanque El Castillo</i>	4-53
<i>Figura 4.3.26 Curva Niveles tanque Volador</i>	4-54
<i>Figura 4.3.27 Curva Caudal línea RM3024154</i>	4-55
<i>Figura 4.3.28 Curva Caudal línea CC9012</i>	4-55
<i>Figura 4.3.29 Curva Caudal línea RD1942009</i>	4-56
<i>Figura 4.3.30 Curva Caudal Línea CC9011</i>	4-57
<i>Figura 4.3.31 Curva Caudal Línea CC9011</i>	4-57
<i>Figura 4.3.32 Curva Caudal de Salida Vitelma</i>	4-58
<i>Esquema 4. Análisis de isopresiones 4 am. Sistema Vitelma</i>	4-59
<i>Esquema 5. Análisis de isopresiones 10 am. Sistema Vitelma</i>	4-60
<i>Figura 4.4.1 Curva variación cloro residual Villa del Prado</i>	4-69
<i>Figura 4.4.2 Curva variación cloro residual Usaquen</i>	4-69
<i>Figura 4.4.3 Curva variación cloro residual La Floresta</i>	4-70
<i>Figura 4.4.4 Curva variación cloro residual La Serena</i>	4-70
<i>Figura 4.4.5 Curva variación cloro residual Fontibon</i>	4-71
<i>Figura 4.4.6 Curva variación cloro residual E.A.A.B.</i>	4-71
<i>Figura 4.4.7 Curva variación cloro residual Kennedy</i>	4-72
<i>Figura 4.4.8 Curva variación cloro residual Soacha</i>	4-72
<i>Figura 4.4.9 Curva variación cloro residual Puente Aranda</i>	4-73
<i>Figura 4.4.10 Curva variación cloro residual Suba</i>	4-73
<i>Figura 4.4.11 Curva variación cloro residual Perseverancia</i>	4-74
<i>Figura 4.4.12 Curva variación cloro residual Veraguas</i>	4-74
<i>Figura 4.4.13 Curva variación cloro residual El Refugio</i>	4-75
<i>Figura 4.4.14 Curva variación cloro residual Bonanza</i>	4-75
<i>Figura 4.4.15 Curva variación cloro residual Quiroga</i>	4-76
<i>Figura 4.4.16 Curva variación cloro residual Aures</i>	4-76
<i>Esquema 6. Análisis de concentración de cloro residual 4 am. Sistema Básico.</i>	4-77
<i>Esquema 7. Análisis de concentración de cloro residual 10 am. Sistema Básico.</i>	4-78
<i>Esquema 8. Análisis de concentración de cloro residual 4 pm. Sistema Básico.</i>	4-79
<i>Figura 4.4.17 Índice de Langelier Villa del Prado</i>	4-82
<i>Figura 4.4.18 Índice de Langelier Usaquen</i>	4-82

<i>Figura 4.4.19 Índice de Langelier La Floresta .....</i>	<i>4-83</i>
<i>Figura 4.4.20 Índice de Langelier Serena .....</i>	<i>4-83</i>
<i>Figura 4.4.21 Índice de Langelier Fontibón .....</i>	<i>4-84</i>
<i>Figura 4.4.22 Índice de Langelier E.A.A.B .....</i>	<i>4-84</i>
<i>Figura 4.4.23 Índice de Langelier Kennedy .....</i>	<i>4-85</i>
<i>Figura 4.4.24 Índice de Langelier Soacha .....</i>	<i>4-85</i>
<i>Figura 4.4.25 Índice de Langelier Puente Aranda .....</i>	<i>4-86</i>
<i>Figura 4.4.26 Índice de Langelier Suba .....</i>	<i>4-86</i>
<i>Figura 4.4.27 Índice de Langelier Perseverancia .....</i>	<i>4-87</i>
<i>Figura 4.4.28 Índice de Langelier Quiroga .....</i>	<i>4-87</i>
<i>Figura 4.4.29 Índice de Langelier Veraguas .....</i>	<i>4-88</i>
<i>Figura 4.4.30 Índice de Langelier El Refugio .....</i>	<i>4-88</i>
<i>Figura 4.4.31 Índice de Langelier Bonanza .....</i>	<i>4-89</i>
<i>Figura 4.4.32 Índice de Langelier Aures .....</i>	<i>4-89</i>

