

## TABLA DE CONTENIDO

<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE SITIOS CRÍTICOS.....</b>	<b>4-1</b>
4.1.	GEOLOGÍA Y GEOTECNIA.....	4-1
4.1.1	ALCANCE DE LAS ACTIVIDADES.....	4-3
4.1.2	DESARROLLO DE LA ACTIVIDADES.....	4-4
4.1.3	GEOLOGÍA REGIONAL.....	4-5
4.1.4	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	4-8
4.1.5	GEOTECNIA.....	4-11
4.1.5.1	Zona plana.....	4-11
4.1.5.2	Zona montañosa (dpae, 1998):.....	4-12
4.1.6	DESCRIPCIÓN DE SITIOS CRITICOS.....	4-13
4.1.6.1	Línea Tibitoc-Usaquén (CC9003), $\phi=60''$ .....	4-14
4.1.6.1.1	Humedal bajo Teusacá.....	4-14
4.1.6.1.2	Sector Sopó - La Caro.....	4-14
4.1.6.1.3	Área peaje autopista.....	4-15
4.1.6.1.4	Torca.....	4-15
4.1.6.1.5	Tanque Santa Ana - Usaquén (BIV60076), $\phi=60''$ .....	4-15
4.1.6.2	Línea Tibitoc-Cantarrana (Casablanca) (RM78001), $\phi=78''$ .....	4-16
4.1.6.2.1	Humedal bajo Teusacá.....	4-16
4.1.6.2.2	Sector Sopó - La Caro.....	4-16
4.1.6.2.3	Sector la Caro-calle 170 (rehabilitado).....	4-16
4.1.6.2.4	Tanque Casablanca.....	4-17
4.1.6.3	Línea Chicó-Rosales (20'').....	4-17
4.1.6.3.1	Salida Tanque Chicó.....	4-17
4.1.6.3.2	Calle 85 con avenida circunvalar.....	4-17
4.1.6.4	Línea el Silencio-Casablanca (BIV4842099), $\phi=48$ y $42''$ .....	4-18
4.1.6.4.1	Parque Nacional.....	4-18
4.1.6.5	Línea San Diego-Parque Nacional (RD2842045), $\phi=42''$ .....	4-18
4.1.6.5.1	Costado Norte Universidad Distrital.....	4-18
4.1.6.6	Línea San Diego-Vitelma (CC9007), $\phi=24''$ .....	4-18
4.1.6.6.1	Área sureste de la planta de San Diego.....	4-18
4.1.6.6.2	Barrio Girardot (Quebrada las Lajitas).....	4-19
4.1.6.6.3	Zanjón San Martín.....	4-19

4.1.6.6.4	La Concordia .....	4-19
4.1.6.6.5	Camino a Vitelma entre carrera 1 y carrera 5e .....	4-20
4.1.6.6.6	Margen derecha quebrada el canal (llegada a tanque Vitelma) .....	4-20
4.1.6.6.7	Zona inestable en la margen izquierda de la quebrada el canal. ....	4-20
4.1.6.7	El Silencio-Vitelma (BIV60086), $\phi=60''$ .....	4-21
4.1.6.7.1	Área oriental del tanque .....	4-21
4.1.6.7.2	Parte alta Barrio Perseverancia .....	4-21
4.1.6.7.3	Parte alta San Diego .....	4-21
4.1.6.7.4	Entre avenida circunvalar y paseo bolívar .....	4-22
4.1.6.7.5	Las aguas .....	4-22
4.1.6.7.6	Barrio Egipto.....	4-22
4.1.6.7.7	Lourdes.....	4-22
4.1.6.7.8	Tanque San Dionisio .....	4-23
4.1.6.7.9	Quebrada las Lajitas .....	4-23
4.1.6.8	Línea Vitelma las Lomas (Vitelma - Jalisco) .....	4-24
4.1.6.8.1	Villa de los Alpes .....	4-24
4.1.6.8.2	Barrios Montebello y San Luis.....	4-24
4.1.6.9	Línea San Vicente - Los Alpes (refuerzo tanque los alpes) (BIV24124), $\phi=24''$ .....	4-25
4.1.6.9.1	Llegada tanque los Alpes .....	4-25
4.1.6.10	Línea los Alpes-Quindio (RM24107), $\phi=24''$ .....	4-25
4.1.6.10.1	Sector entre tanque los Alpes y la Urbanización los Alpes del Zipa .....	4-25
4.1.6.10.2	zanjón del quindío .....	4-25
4.1.6.11	Línea Quindio Juan Rey (RM24108), $\phi=24''$ .....	4-26
4.1.6.11.1	Tramo Quindío-Gaviotas .....	4-26
4.1.6.11.2	Tramo Gaviotas-Juan Rey .....	4-26
4.1.6.12	Línea Vitelma-Columnas (refuerzo oriental) (BIV42087), $\phi=42''$ .....	4-27
4.1.6.12.1	Tramo Vitelma - calle 11 sur .....	4-27
4.1.6.13	Línea la Laguna - El Uval – Monteblanco – Vitelma (CC9012) .....	4-27
4.1.6.13.1	Tramo la Laguna - El Uval.....	4-27
4.1.6.13.2	Tramo el Uval - Lorenzo Alcantuz.....	4-27
4.1.6.13.3	Cruce de la Quebrada Yomasa.....	4-27
4.1.6.14	Lineas de distribucion 20"-30"-36" ciudad bolivar .....	4-28
4.1.6.14.1	Tanque Sierra Morena .....	4-28
4.1.6.14.2	Tanque Alto .....	4-28
4.1.6.14.3	Tanque Casablanca .....	4-28

4.1.7	PROBLEMAS GEOTÉCNICOS DE RELLENOS SOBRE SUELOS BLANDOS: .....	4-29
4.1.8	REPORTE DE CASOS DE CRUCES SOBRE QUEBRADAS:.....	4-32
4.1.9	CONCLUSIONES.....	4-33
4.2.	ESTRUCTURAS.....	4-35
4.2.1	ASPECTO A CONSIDERAR 1 ( CARACTERÍSTICA DE LA TUBERÍA – DIÁMETRO). .....	4-37
4.2.2	ASPECTO A CONSIDERAR 2 ( CARACTERÍSTICA DE LA TUBERÍA – EDAD). ....	4-38
4.2.3	ASPECTO A CONSIDERAR 3 ( CARACTERÍSTICA DE LA TUBERÍA – TIPO). .....	4-39
4.2.4	ASPECTO A CONSIDERAR 4 ( CARGAS EXTERNAS). .....	4-41
4.2.5	ASPECTO A CONSIDERAR 5 ( EFECTO HIDRÁULICO). .....	4-44
4.2.6	ASPECTO A CONSIDERAR 6 ( EXPERIENCIA EN COMPORTAMIENTO Y DAÑO). .....	4-45
4.2.7	ASPECTO A CONSIDERAR 7 ( CAJAS – INSPECCIONES DE CAMPO). .....	4-47
4.3.	HIDRÁULICA.....	4-48
4.3.1	NORMAS DE DISEÑO CONSIDERADAS.....	4-48
4.3.1.1	Redes Matrices.....	4-49
4.3.1.1.1	Coefficientes de Fricción .....	4-49
4.3.1.1.2	Límites de Velocidad.....	4-49
4.3.1.1.3	Límites de Presión.....	4-49
4.3.1.2	Líneas Expresas.....	4-50
4.3.1.2.1	Coefficientes de Fricción .....	4-50
4.3.1.2.2	Velocidades.....	4-50
4.3.1.2.3	Presiones.....	4-50
4.3.2	ANÁLISIS HIDRÁULICO .....	4-51
4.3.2.1	Generalidades .....	4-51
4.3.2.2	Sistema Básico.....	4-52
4.3.2.3	Sistema Vitelma.....	4-53
4.3.2.4	Líneas Expresas.....	4-53
4.3.3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	4-55

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 4.1.1. Descripción de unidades litológicas, según estudios de Microzonificación Sísmica y Zonificación Geotécnica (INGEOMINAS 1997, 1988) .....</i>	<i>4-6</i>
<i>Tabla 4.1.2. Descripción de rasgos estructurales según estudio de Zonificación Geotécnica de Santa Fe de Bogotá (INGEOMINAS, 1988).....</i>	<i>4-10</i>

## 4. ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE SITIOS CRÍTICOS

### 4.1. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

Las actividades de las áreas de Geología y Geotecnia fueron desarrolladas conjuntamente. Dichas actividades comprendieron:

- 1) Consulta de la información existente en la División de Suelos y Geotecnia de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.
- 2) Programa de inspección para el reconocimiento preliminar del terreno a lo largo de los corredores de la Red Matriz.
- 3) Reconocimiento del terreno a lo largo de los corredores de las líneas de conducción en las zonas que fueron determinadas durante la recopilación y análisis de la información.
- 4) Localización e identificación de sitios críticos con la descripción geológica y geotécnica del problema en el terreno que amenaza la estabilidad de la tubería.
- 5) Descripción geológica y geotécnica del terreno a lo largo de las tuberías.
- 6) Labores de oficina.
  - a. En el área de Geología se efectuó la valoración de las distintas unidades litológicas que afloran en el área de estudio, que aparecen en el Mapa Geológico en escala 1:25.000 como anexo en el estudio de Zonificación Geotécnica de Bogotá (INGEOMINAS, 1988). Como resultado de dicha

valoración, se obtuvieron los límites cartográficos de gran parte de las unidades litológicas que afloran en el área de los corredores de la red matriz de acueducto; de dicho documento se extractó la descripción para las unidades litológicas aflorantes, con excepción de las siguientes: Llanura de inundación (Qlla), Complejo de conos, Formación Subachoque, Formación Tilatá, y formaciones Subachoque más Tilatá sin diferenciar, estas se complementaron o correlacionaron utilizando las descripciones litológicas y delimitación cartográfica existente en el estudio de Zonificación Geotécnica (INGEOMINAS, 1996).

- b. En el área de Geotecnia se tomó como referencia para la zona montañosa, los planos de zonificación geotécnica a escala 1:10.000 del DPAE, los cuales clasifican los materiales presentes en función de su origen, grado de consistencia y densidad; en algunos sitios se complementó esta información con cartografía existente de otros estudios detallados a escalas 1:2.000, 1:5.000 y 1:10.000. Para la zona plana se consultó el Mapa Geotécnico del INGEOMINAS, 1988, donde subdivide la llanura de inundación del Río Bogotá en cinco sectores, asociados a la naturaleza y origen de los materiales, su grado de consistencia o densidad y condiciones de permeabilidad.

La actividad 2 de inspección para reconocimientos preliminares del terreno tuvo como enfoque principal verificar e identificar las unidades litológicas que conforman el terreno a lo largo de los corredores de las diferentes líneas de conducción de la red matriz características de composición y estado físico que determinan el comportamiento del mismo terreno ante la acción de agentes de erosión y la resistencia a los esfuerzos que originan los fenómenos de remoción en masa; desde el punto de vista geotécnico se

evaluaron el estado y clase de materiales, su comportamiento geotécnico, las condiciones topográficas, las condiciones de drenaje y las condiciones de estabilidad, en función de los problemas geotécnicos que fueron encontrados a lo largo de la red matriz. Paralelamente a lo anterior, hacer la comprobación de los sitios críticos y evaluar y calificar la amenaza geológica y geotécnica que constituyen dichos sitios para las tuberías.

Toda la actividad se desarrolló dentro de la metodología propuesta en el documento JR-052-PCC-02-00, "Descripción preliminar de la metodología para el desarrollo parcial de las fases I y II".

#### **4.1.1 ALCANCE DE LAS ACTIVIDADES**

Las actividades de Geología y Geotecnia tuvieron como alcance básico:

- a) Hacer la identificación específica de los aspectos geológicos y geotécnicos y determinar los sitios críticos, mediante el reconocimiento visual a lo largo de los corredores de las diferentes líneas que constituyen la red.
- b) Efectuar la evaluación y calificación desde el punto de vista geológico y geotécnico, de los sitios críticos y establecer el grado de la amenaza en cada uno de ellos para llevar la información a la especialidad de vulnerabilidad para el análisis de vulnerabilidad física.

La actividad se efectuó, tomando como base la información geológica y geotécnica contenida en los informes siguientes:

- Estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá, que fue presentado en agosto de 1997, por Ingeominas y la Universidad de los Andes.
- Zonificación geotécnica del Distrito Especial de Bogotá, elaborado por Ingeominas en 1988 para el Departamento de Planeación Distrital.

- Estudio Neotectónico para la Microzonificación de Santa Fe de Bogotá. 1996. VI Congreso Colombiano de Geología
- “Consultoría para el análisis de vulnerabilidad del sistema de distribución de la red matriz del Sistema de Acueducto de Santa Fe de Bogotá, D. C. Y el municipio de Soacha”, presentado por la empresa Consultoría Colombiana.

#### **4.1.2 DESARROLLO DE LA ACTIVIDADES**

Para las actividades de geología y geotecnia se desarrollaron labores de campo en el mes de diciembre, realizando reconocimientos detallados a lo largo de los corredores de las líneas que conforman las redes matrices, con el fin de obtener la información sobre el entorno geológico y geotécnico requerida, como complemento a la información contenida en la recopilación básica ya mencionada, información que fue revisada, analizada y complementada para los sitios críticos.

Dicha información sobre la ciudad de Bogotá, está relacionada con los siguientes aspectos:

- a) litología                      b) geomorfología y                      c) geotecnia,

Se identificaron los sitios con inestabilidad activa, los tipos de materiales, condiciones de drenaje y se llegó a un diagnóstico preliminar de las causas. Por otra parte, se localizaron sitios de inestabilidad potencial.

En lo que se refiere a la actividad de oficina, tuvo prioridad la evaluación de las zonas planas, dado que en ellas, la inspección visual de campo no genera un aporte importante de información.



### **4.1.3 GEOLOGÍA REGIONAL**

Geomorfológicamente en el área de estudio se encuentran dos zonas:

- La plana, ubicada hacia la parte central del área en estudio, donde se concentra la mayor parte de la población.
- La de relieve montañoso, con una parte habitada en construcciones entre formales e informales, una parte de canteras, gravilleras y chircales y otra aún no intervenida por el hombre, localizada en los sectores oriental alto y suroccidental de la ciudad.

Geológicamente la ciudad se localiza sobre un extenso relleno de sedimentos que conforma la Sabana de Bogotá, y está rodeada por cerros constituidos por rocas granulares (areniscas), y de grano muy fino ( arcillolitas) del Cretáceo y Terciario que en las partes bajas y aún medias de las laderas se encuentran cubiertas por suelos residuales con espesores variables y depósitos de coluvión o conos de deyección. Los depósitos sueltos presentan consolidación variable.

La descripción de unidades litológicas se presenta en la Tabla No. 4.1.1, la cual, es un resumen de las unidades descritas en el estudio de Microzonificación Sísmica y Zonificación Geotécnica de la Ciudad de Bogotá (INGEOMINAS 1.988) y presentada en el plano JR-052-GEO-001-E del anexo 16.

*Tabla 4.1.1. Descripción de unidades litológicas, según estudios de Microzonificación Sísmica y Zonificación Geotécnica (INGEOMINAS 1997, 1988)*

<b>Unidad litológica</b>		<b>Descripción</b>
Qal	Aluviones pequeños	Comprende los depósitos aluviales de los ríos Bogotá y Tunjuelo y de tributarios menores.
Qrb	Rellenos de Basura	Están conformados por los desechos sólidos que produce la ciudad que se han concentrado sobre los lechos relativamente impermeables, previamente excavados y acondicionados. Se destacan los rellenos sanitarios de El Cortijo, Gibraltar, Santa Cecilia y Doña Juana.
Qr	Rellenos de Excavación	Son los depósitos que han resultado de acciones antrópicas para la adecuación de terrenos en el desarrollo urbanístico, principalmente en zonas pantanosas y deprimidas, donde el material utilizado es el sobrante sacado de las excavaciones. Estos depósitos abundan principalmente en los alrededores de Guaymaral, Aeropuerto El Dorado, Autopista Norte y Norte de Bosa.
Qrs	Suelo Residual	Es el material producto del intemperismo de las rocas y tienen importancia por su espesor, de hasta 10 m, en la parte del suroeste. Por tratarse de suelos predominantemente arcillosos, su permeabilidad es baja y su comportamiento geotécnico es pobre.
Qlla	Llanura de Inundación	Ocupa la parte más baja, caracterizada por ser completamente llana, formada por los ríos Bogotá y Tunjuelito y los valles aluviales de las corrientes tributarias.
Qdp	Coluvión	Son los depósitos de la fracturación, meteorización y erosión de las rocas preexistentes, que han tenido transporte por acción del agua y de la gravedad y se han depositado cubriendo las partes media e inferior de las laderas. Sus mejores afloramientos se presentan en los piedemontes oriental, suroriental y suroccidental del área.
Qtb	Depósitos Fluvio-Lacustres	<u>Terraza Baja:</u> Los afloramientos son escasos y su delimitación se realizó exclusivamente con base geomorfológica. Algunos de los afloramientos están constituidos por limos y arenas.
Qta	Depósitos Fluvio-Lacustres	Terraza Alta (Qta), o Formación Subachoque o Formación Sabana (Qs): Constituye la mayor parte de la superficie plana del área de estudio; geomorfológicamente corresponde al nivel de terraza alta descrita en el mapa. Consta de arcillas plásticas de color gris oscuro en estratos de 0.4 a 1.0 m de espesor con interestratificaciones de lentes de arena y grava e intercalaciones de ceniza volcánica de color gris blancuzco, las cuales son más abundantes hacia la parte media del depósito. ..
Qcc	Complejos de Conos	Se agrupan en este término el cono fluvio-glaciar de Tunjuelo, el cono aluvial de Soacha, cono de derrubios de Terreros y los conos aluviales del piedemonte oriental de Bogotá. Su composición, textura y espesor son variables según la fuente de aporte, dirección y distancia de transporte. En el caso del cono del río Tunjuelo sobre el material más grueso, se presenta una secuencia de sedimentos finos, tipo limos rojos con esporádicos bloques embebidos que algunos autores han diferenciado como pertenecientes a la Formación Tilatá.

<b>Unidad litológica</b>		<b>Descripción</b>
Tsu	Fm Usme	La parte inferior aflora a lo largo del eje sinclinal de Usme – Tunjuelito. La parte que aflora está constituida por limolitas y arcillolitas de colores gris oscuro y amarillo por meteorización. Se presenta en bancos de 4 a 20 m con intercalaciones esporádicas de areniscas cuarzosas de grano muy fino a medio. La parte que aflora tiene un espesor de 150 m.
Tpr	Fm Regadera	Aflora hacia la parte media en las laderas del valle del río Tunjuelito, siendo parte del sinclinal Usme – Tunjuelito. Esta constituida por areniscas de cuarzo y fragmentos líticos, de color gris claro, con abundante matriz arcillosa e intercalaciones de arcillolitas de color gris claro a oscuro, blandas y plásticas, las cuales predominan hacia el tope de la unidad.
Tpb	Fm Bogotá	Aflora en los flancos del sinclinal de Usme – Tunjuelito. Consta de dos conjuntos: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El Inferior constituido por alternancia de arcillolitas y areniscas cuarzosas – feldespáticas, gris verdosas, de grano fino hacia la base y grueso hacia el tope, con un espesor de 620 m.</li> <li>2. El Superior constituido por arcillolitas gris oscuro, gris verdoso y marrón, por meteorización.</li> </ol>
Tpc	Fm Cacho	Aflora a lo largo del piedemonte oriental de Santa Fe de Bogotá, siendo parte del flanco occidental del anticlinal de Bogotá. Litológicamente está constituida por areniscas de color amarillo rojizo, de grano grueso, con estratificación cruzada, en estratos de 0.1 a 2.0 m y con un espesor de 50 m.
Ktg	Fm Guaduas	Aflora en los cerros de Suba, en el piedemonte de los cerros orientales y en los sectores del sur y suroeste del área de estudio. Consta de tres niveles: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Parte Inferior: Conformada por arcillolitas y areniscas de grano fino de espesor.</li> <li>➤ Parte Intermedia: Constituida por areniscas cuarzosas de color gris claro, de grano fino a grueso con intercalaciones de arcillolitas y un manto de carbón de 0.4 m.</li> <li>➤ Parte Superior: Conformada por arcillolitas de color gris oscuro, con intercalaciones de areniscas cuarzosas, de grano medio a grueso y mantos de carbón.</li> </ul>
Ksglt	Fm Labor y Tierna	Esta unidad aflora en el flanco occidental del anticlinal de Bogotá y en el flanco oriental del anticlinal de Cheba. Consta de 3 conjuntos: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Parte Inferior: Predomina arenisca cuarzosa de color gris claro, de grano fino a medio, ligeramente friable, con un espesor que varía entre 135 y 165 m.</li> <li>➤ Parte Intermedia: Donde predominan arcillolitas silíceas, con un espesor de 10 a 15 m.</li> <li>➤ Parte Superior: Donde predominan areniscas cuarzosas y feldespáticas, gris clara de grano medio a grueso, con estratificación cruzada, en estratos de 0.2 a 3.0 m.</li> </ul>

<b>Unidad litológica</b>		<b>Descripción</b>
Ksgp	Fm Plaeners	Esta unidad aflora en el flanco occidental del anticlinal de Bogotá y en el flanco oriental del anticlinal de Cheba. Consta de 3 conjuntos: <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Parte Inferior: Predomina arcillolitas silíceas con un espesor de unos 40 m.</li><li>➤ Parte Intermedia: Donde se alternan arcillolitas silíceas y areniscas de grano fino, con un espesor entre 70 y 117 m.</li><li>➤ Parte Superior: Donde predominan las arcillolitas silíceas.</li></ul>
	Fm Arenisca Dura	Esta unidad aflora en los ejes y flancos de los anticlinales de Bogotá y de Cheba y conforma los cerros más importantes del área, tales como Guadalupe, Monserrate, El Alto del Cable, La Cruz, La Viga y Cheba. Esta constituida por areniscas cuarzosas, duras, de grano fino y color gris claro, bien cementadas, con intercalaciones esporádicas de capas de arcillolitas silíceas.
Ksch	Fm Chipaque	Esta unidad está constituida por lutitas limo-arcillosas de color negro, carbonosas, piritosas y laminadas, en bancos hasta 10 m de espesor con intercalaciones cuarzosas de grano muy fino, en estratos de 0.2 a 1.0 m que se acentúan hacia el tope. En los anticlinales de Bogotá la parte que aflora tiene 130 m de espesor y en Cheba 205 m.

#### **4.1.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

Estructuralmente el área de la Sabana de Bogotá se encuentra enmarcada por los cerros con formas rectas como resultado de tectonismo que está representado por la presencia de sistemas de fallas inversas de dirección nor-noroeste y fallas de desplazamiento lateral de dirección noroeste-sureste.

Los sistemas de fallamiento considerados en el estudio fueron tomados del mapa Geológico en escala 1:25.000 anexo 16 en el Estudio de Zonificación Geotécnica de Santa Fe de Bogotá (INGEOMINAS, 1996).

Se observan tres bloques importantes:

- Un bloque oriental levantado, correspondiente al anticlinal de Bogotá, delimitado al oriente por la falla de Teusacá y al occidente por la falla de cabalgamiento de Bogotá.

- Un bloque central hundido, correspondiente al sinclinal de Usme - Tunjuelito, delimitado al oriente por la falla de Bogotá y al occidente por la falla inversa de Mochuelo.
  
- Un bloque occidental correspondiente al anticlinal del Cheba delimitado al oriente por la falla de Mochuelo y al occidente por la falla del río Soacha, localizada por fuera del área de estudio.

Las estructuras anteriores han sido afectadas también por fallas transversales, las cuales presentan un desplazamiento lateral importante, especialmente las de Torca, Usaquén y Santa Bárbara dentro del bloque oriental. En el extremo suroeste y dentro del flanco occidental del sinclinal de Usme - Tunjuelito o flanco oriental del anticlinal de Cheba algunas fallas de orientación NE-SW presentan claros indicios de movimiento dentro del Cuaternario.

La falla de Bogotá es el límite estructural más sobresaliente que bordea la Sabana por el costado este. Su dirección promedio es N10°E, con plano buzando al oriente, catalogada de actividad incierta, porque los indicios neotéctónicos que muestra la falla no han sido claramente establecidos.

Evidencias de fallamiento reciente que están afectando a los depósitos Cuaternarios se han observado al sureste del área de estudio y corresponden a las fallas de Yerbabuena, la Primavera y otras de menor longitud, ubicadas entre la Primavera y Yerbabuena y paralelas a estas.

En la Tabla No. 4.1.2, se presentan las descripciones de los rasgos estructurales según los estudios de Zonificación Geotécnica de Santa Fe de Bogotá elaborados por INGEOMINAS y presentados en 1.988).

*Tabla 4.1.2. Descripción de rasgos estructurales según estudio de Zonificación Geotécnica de Santa Fe de Bogotá (INGEOMINAS, 1988)*

<b>Fallas inactivas y/o de actividad neotectónica incierta</b>		
<b>Falla</b>	<b>Dirección</b>	<b>Descripción</b>
Falla de Bogotá	N25°E/SE	Falla de Cabalgamiento. Bloque oriental levantado. Al sur pone en contacto las formaciones Arenisca Dura y Bogotá; hacia el norte disminuye el desplazamiento vertical; al norte de Monserrate pone en contacto al conjunto medio de la formación Plaeners con el conjunto superior de la formación Guaduas. Más al norte continúa bajo sedimentos cuaternarios. Es falla de bajo ángulo, con zona de influencia mayor de 100 m.
Falla Alto El Cabo	NS a NE/SW	Es una falla inversa que fractura el anticlinal de Bogotá – Usaquén en su núcleo, su trazo se confunde con el eje de la estructura. y afecta a las lutitas de la formación Chipaque. No fue posible determinar su desplazamiento. Presenta abundancia de suelos residuales y coluviones a lo largo de su trazo por intenso fracturamiento de la roca.
Falla de Teusacá	N30E°/W	Falla de cabalgamiento. Al oeste pone en contacto la formación Labor y Tierna con la formación Guaduas. Zona de influencia mayor de 100 m.
Falla de Santa Bárbara	E-W a NE-SW	Falla de rumbo con desplazamiento lateral sinistral. Zona de influencia entre 50 y 100m
Falla de Usaquén		Falla de rumbo con desplazamiento lateral sinistral desplazando el sistema NE-SW. Zona de influencia entre 50 y 100m.
Falla de Mochuelo	N40°E en la parte sur N40°W en el sector norte	Falla inversa con el bloque occidental levantado. Al sur pone en contacto al Grupo Guadalupe con el conjunto inferior de la Formación Bogotá. Al norte (Meissen, Lucero Alto) pone en contacto al conjunto inferior de la formación Guaduas con el conjunto superior de la formación Bogotá. En excavaciones se ha encontrado fuerte fracturación en la roca a lo largo de su trazo, por eso no es una discordancia como decía Julivert M. Afecta el flanco occidental del Sinclinal de Usme – Tunjuelito.
Falla de Sucre	N25°W/80°SW	Falla inversa con el bloque occidental levantado. Pone en contacto la Arenisca Dura con el conjunto superior de los Plaeners. Afecta el flanco Oriental del anticlinal de Cheba-
Falla Calderón	N20°W	Falla con movimiento principal vertical., con desplazamiento de algunos metros donde el bloque oriental baja con respecto al bloque occidental. Zona de influencia de 10m.
Falla del Río Tunjuelo	NNE/W	Delimita el Sinclinal de Usme – Tunjuelito.

<b>Fallas inactivas y/o de actividad neotectónica incierta</b>		
<b>Falla</b>	<b>Dirección</b>	<b>Descripción</b>
Falla de Limas	N50°E a NS	Plano de falla vertical, con poco desplazamiento de la secuencia estratigráfica. Existe importante brechamiento y fracturación de la roca que se aprovecha para fácil explotación de materiales de construcción, por ello en su zona de influencia se concentran varias canteras. Zona de influencia de 50 m.
Falla de San Cristobal		Marca la frontera sur de la cuenca de la Sabana de Bogotá.
<b>Fallas de actividad neotectónica expresada por afectación de depósitos Cuaternarios</b>		
<b>Falla</b>	<b>Dirección</b>	<b>Descripción</b>
Falla de Yerbabuena	N30°E/80°SE	Se observa en un afloramiento cerca del cruce del río Tunjuelo con la Avenida al llano. Allí pone en contacto capas arcillosas con un banco de bloques, guijos y gravas. Además los depósitos del cono El Tunjuelo cortados por la vía al Llano, están basculados y diaclasados como confirmación de eventos tectónicos recientes.
Falla la Primavera	N50°E/70°SE	Falla inversa que desplaza suelos negros (horizonte A) de suelos residuales, como evidencia de evento tectónico reciente.

#### **4.1.5 GEOTECNIA**

Desde el punto de vista geotécnico, se diferencian los materiales en función de las zonas morfológicas ya descritas , como zona plana y montañosa ver plano JR-052-GEO-001-E del anexo 16.

##### **4.1.5.1 ZONA PLANA**

Basados en el mapa de zonificación geotécnica presentado por el INGEOMINAS, 1.988 se distinguen las siguientes unidades geotécnicas:

- ZONA IP: Zona de inundación baja constituida por arcillas y limos poco permeables.
- ZONA I AP: Zonas de arcillas y limos medianamente densos.
- ZONA I BP. Zonas de arcillas y limos con una capa superior de arcilla expansiva

“neme”. En esta zona se encuentran también suelos potencialmente licuables.

- ❑ ZONA IIP: Superficialmente arcilla y limo orgánico seguido por arcillas amarillas preconsolidadas y agrietadas.
- ❑ ZONA IIIP: Zona de arcillas y limos muy blandos y compresibles
- ❑ ZONA IVP: zona de depósitos coluviales y conos de deyección.
- ❑ ZONA VP: Zonas de borde de terrazas

#### 4.1.5.2 ZONA MONTAÑOSA (DPAE, 1998):

- ❑ ROCAS DURAS: Corresponden a areniscas duras de la Formación Guadalupe, areniscas del Cacho y de La Regadera, con una resistencia a la compresión mayor a 560 kg/cm<sup>2</sup>.
- ❑ ROCAS BLANDAS: Corresponden a areniscas friables, arcillolitas y limolitas del Cretáceo Superior y Terciario con una resistencia a la compresión menor a 560 kg/cm<sup>2</sup> Estos materiales los constituyen las areniscas de Labor y Tierna de la formación Guadalupe, limolitas y arcillolitas de las formaciones Guadalupe, Guaduas y Bogotá.
- ❑ MATERIAL INTERMEDIO: Consiste en depósitos granulares y fluvio-glaciares donde predominan clastos en mas del 70%. Se encuentran en conos de deyección, terrazas altas, depósitos de talus y coluviones de densidad alta. Corresponden a materiales de origen fluvial en zonas de alta pendiente, talus entre otros
- ❑ SUELOS RESIDUALES GRANULARES: Producidos por la meteorización de areniscas.
- ❑ SUELOS RESIDUALES FINOS: Suelos arcillosos y limosos de consistencia media a blanda, originados por la meteorización de arcillolitas y limolitas.
- ❑ SUELOS TRANSPORTADOS GRANULARES: Corresponde a depósitos fluvio-glaciares y coluviales matriz soportados y de matriz granular de densidad suelta a media. Partes bajas de conos de deyección, formados por las corrientes de agua que provienen de los cerros orientales, constituidos por arcillas y limos arenosos con ocasionales lentes orgánicos.



- SUELOS TRANSPORTADOS FINOS: De origen fluvial y lacustre, compresibles y susceptibles a erosión. Corresponde a los depósitos de Sabana, sedimentos de la Formación Tilatá, flujos de tierras, coluviones de matriz arcillosa y de consistencia blanda a media. Entre los suelos transportados se encuentran:
  - a. Las terrazas altas que son de origen aluvial y lacustre. Son depósitos de arcillas duras, potencialmente expansivas con intercalaciones de arenas y gravas, susceptibles a la erosión.
  - b. Las terrazas bajas localizadas a lo largo de las llanuras de inundación de los ríos Bogotá y Tunjuelito y están predominantemente constituidas por arenas limosas con lentes de arcillas blandas y limos orgánicos. Son de baja capacidad portante y susceptibles a la erosión.

#### **4.1.6 DESCRIPCIÓN DE SITIOS CRITICOS**

El sistema de distribución de la red matriz de acueducto cubre en general toda la zona urbana de la ciudad de Bogotá. La red se encuentra ubicada en su mayor parte por las vías urbanas. Las plantas de suministro de agua se encuentran hacia el noreste y sur-este de la ciudad. La mayor densidad de redes matrices se encuentra en la zona centro y sur de la ciudad.

Durante los reconocimientos de campo a lo largo de los corredores de las líneas de la red matriz se identificaron los sitios críticos que, desde el punto de vista geológico y geotécnico constituyen amenaza para dicha red matriz de distribución.

Para la definición de cada uno de los sitios críticos, se adoptaron los siguientes parámetros:

- A) Fenómenos de remoción en masa. Considerando como tales, a todo cambio de posición de una porción de terreno, en sentido lateral, horizontal u oblicuo, originado principalmente por la gravedad, la presencia de agua como causas naturales.

- B) Clase y estado del material que conforma el terreno y se desplaza, el cual, puede ser cualquier tipo de suelo como material suelto o cualquier tipo de roca como material compacto.

De los reconocimientos, se concluye que los sitios o sectores críticos son los que se describen a continuación, descripción que se complementa con las fichas del Anexo 7.

#### 4.1.6.1 LÍNEA TIBITOC-USAQUÉN (CC9003), $\phi=60''$

##### 4.1.6.1.1 Humedal Bajo Teusacá

El terreno en el humedal se halla en zona plana está conformado por suelos orgánicos y limos con baja capacidad portante enmarcada por laderas onduladas al norte y sur conformadas por arcillas compactas con señales de expansividad. Los materiales del humedal están afectados por consolidación, lo cual se manifiesta en desplazamiento de apoyos y abertura en las uniones, situación que se pudo observar con fuga de agua por una unión en el extremo del sector elevado del lado del cerro de Tibitoc. (Ficha No. 4, Anexo 7).

##### 4.1.6.1.2 Sector Sopó - La Caro

A lo largo de este sector la tubería atraviesa terreno plano, conformado superficialmente por suelos limosos orgánicos con espesor promedio variable entre 0.20m y 0.50m que suprayacen arenas, arcillas o gravas (información tomada de perforaciones efectuadas en estudios para la construcción). En algunos tramos está emplazada por rellenos para la conformación de la banca de la carretera. El drenaje es moderado a deficiente. Se considera potencialmente crítico, aunque no hay señales visibles de inestabilidad. (Ficha No. 3, Anexo 7)

#### 4.1.6.1.3 Área Peaje Autopista

En el costado oriental la tubería esta emplazada en un terreno inclinado hacia el occidente, conformado por suelos residuales arenosos con señales visibles de reptamiento muy lento. El drenaje es deficiente. (Ficha No. 5, Anexo 7).

#### 4.1.6.1.4 Torca

En este sitio, la tubería presenta deformación en el alineamiento originada por desplazamiento del terreno en forma de creep. El terreno ondulado está conformado superficialmente por un depósito aluvial arcilloso. El drenaje es moderado a deficiente. En algunos tramos comprendidos entre las calles 183 y 200, la línea atraviesa por terrenos en los cuales han sido colocado rellenos de espesor variable entre 3 y 6 m; estos rellenos han sido configurados sin compactación adecuada lo cual, ha dado lugar a la ocurrencia de asentamientos por consolidación tanto del suelo de fundación como del relleno. Dicha situación a generado problemas locales en las tuberías (Ficha No. 6, Anexo 7).

#### 4.1.6.1.5 Tanque Santa Ana - Usaquén (BIV60076), $\phi=60''$

La tubería de la línea Wiesner (60") a la salida se encuentra localizada a unos 40 metros de la corona cicatrizada de un deslizamiento antiguo de roca y suelo. Superficialmente el terreno está conformado por suelo residual arenoso derivado de la meteorización de areniscas. Hay acción de erosión laminar por agua de escorrentía y precipitación favorecida por la baja resistencia del suelo y limitada por la vegetación. Las condiciones descritas no implican amenaza próxima para la tubería, porque está fundada sobre roca. El terreno tiene inclinación moderada. (Ficha No.8, Anexo 7)

#### 4.1.6.2 LÍNEA TIBITO-CANTARRANA (CASABLANCA) (RM78001), $\phi=78"$

##### 4.1.6.2.1 Humedal Bajo Teusacá

El terreno en el humedal que está conformado por suelos orgánicos limo arenosos con baja capacidad portante, se encuentra en una zona plana enmarcada por laderas onduladas al norte y sur, dichas laderas están constituidas por arcillas compactas con señales de expansividad. El emplazamiento de la tubería de esta línea que se halla sumergida es en forma transversal al humedal. Dependiendo de las condiciones de cimentación, se considerar que pueden ocurrir asentamientos que generarían deformaciones en la tubería (Ficha No. 4, Anexo 7).

##### 4.1.6.2.2 Sector Sopó - La Caro

A lo largo del sector, la tubería se encuentra atravesando por un terreno plano conformado superficialmente por suelos limosos orgánicos con espesor promedio entre 0.20 y 0.50 metros que suprayacen arenas, arcillas o gravas (información tomada de perforaciones ejecutadas en estudios para la construcción). A lo largo del sector recientemente fue construida la ampliación de la carretera para lo cual, en varios tramos fue colocado relleno de espesor mayor de 5 metros sobre suelos blandos. La tubería de la línea Tibitoc – Casablanca (rehabilitada) atraviesa estos rellenos, los cuales pueden presentar asentamientos y generar deformaciones en la tubería. (Ficha No. 3, Anexo 7).

##### 4.1.6.2.3 Sector La Caro-Calle 170 (Rehabilitado)

En la zona de Marantá, la tubería está localizada en un relleno que fue colocado en un humedal antiguo en el separador central de la Autopista Norte. En el terreno se pueden observar deformaciones originadas por consolidación de los materiales blandos naturales. Puede ser un sitio con problemas aún después de la rehabilitación (Ficha No.1, Anexo 7).

#### 4.1.6.2.4 Tanque Casablanca

En la parte baja del Tanque Casablanca, se presenta inestabilidad del terreno en suelo residual, originada por la presencia de agua de infiltración. Este fenómeno afecta la vía de acceso y la casa de valvulas. la existencia de este problema establece una condición potencial de afectación sobre la tubería.

#### 4.1.6.3 LÍNEA CHICÓ-ROSALES (20")

##### 4.1.6.3.1 Salida Tanque Chicó

El terreno en esta zona está conformado por un depósito fluvioglacial bien consolidado, constituido por bloques subredondeados de tamaño heterogéneo entre 0.20 m y 0.90m dentro de una matriz areno-limosa. El tanque está fundado en la margen derecha de la quebrada Chicó, la cual discurre por zona de falla del Alto El Cabo. En la vía localizada al occidente del tanque se pueden observar señales de movimiento del terreno. El terreno tiene inclinación moderada. Potencialmente se pueden presentar deslizamientos hacia la quebrada El Chicó en condiciones de saturación y ante el evento de sismo. (Ficha No.9, Anexo 7).

##### 4.1.6.3.2 Calle 85 con Avenida Circunvalar

El terreno está conformado por suelo residual excavado para la vía. La tubería está localizada en la parte interior de la calzada en condición potencial de ser afectada por un deslizamiento del talud el cual tiene diseño vertical con altura de más o menos 5 metros.

#### 4.1.6.4 LÍNEA EL SILENCIO-CASABLANCA (BIV4842099), $\phi=48$ Y 42"

##### 4.1.6.4.1 Parque Nacional

Las líneas Parque Nacional-San Diego (RD2842045) y Silencio-Casablanca atraviesan por el terreno conformado por el cuerpo de un deslizamiento antiguo, que afecta el área de la margen izquierda del río Arzobispo, y que es conocido como deslizamiento del Parque Nacional. La línea El Silencio Casablanca (BIV4842099) de 48", está localizada en la parte alta del cuerpo del deslizamiento por una zona en la cual, hay escarpes cicatrizados con abundante vegetación. En el momento no se observan señales visibles de movimiento, sin embargo, se debe considerar que potencialmente es un sitio o área crítica en condiciones de saturación y sismo. (Ficha No.15, Anexo 7).

#### 4.1.6.5 LÍNEA SAN DIEGO-PARQUE NACIONAL (RD2842045), $\phi=42$ "

##### 4.1.6.5.1 Costado Norte Universidad Distrital

En el talud exterior con pendiente moderada, de la Avenida Circunvalar sentido Sur-Norte, hay un deslizamiento reciente que afecta también predios de la Universidad Distrital y que llega al borde interior de la calzada de la Avenida Circunvalar (sentido sur-norte); el cuerpo de falla esta conformado por suelo residual arcilloso. Por debajo de la base del deslizamiento se encuentra la tubería de 24". Bajo las condiciones actuales no se percibe una afectación directa del deslizamiento sobre la tubería. (Ficha No. 23, Anexo 7)

#### 4.1.6.6 LÍNEA SAN DIEGO-VITELMA (CC9007), $\phi=24$ "

##### 4.1.6.6.1 Área sureste de la planta de San Diego

El talud natural presenta un deslizamiento antiguo en suelo residual arcilloso y rocas arcillosas muy fracturadas. Parte del cuerpo del deslizamiento se deslizó recientemente y el material invadió parcialmente el patio de la Planta. En el momento actual existe una

cuña marcada por una grieta detrás de la corona del último deslizamiento. La referida cuña genera una amenaza sino a la tubería sí a la planta, por lo tanto se considera que se deben acometer medidas correctivas. (Ficha No. 9, Anexo 7).

#### 4.1.6.6.2 Barrio Girardot (Quebrada Las Lajitas)

La tubería de 24" San Diego – Vitelma (CC9007) está localizada en la vía antigua a Villavicencio parte superior de la quebrada Las Lajitas. El terreno está conformado por rocas arcillosas de la formación Bogotá, muy fracturadas por tectonismo y moderadamente meteorizadas. El terreno se encuentra afectado por un deslizamiento retrogresivo que es atravesado transversalmente por las tuberías de 24" por el sitio ya mencionado y la línea Silencio-Vitelma (BIV60086) de 60" por la carrera 1A. La pendiente es moderada a fuerte. El drenaje es eficiente. (Ficha No.29, Anexo 7).

#### 4.1.6.6.3 Zanjón San Martín

A lo largo de este zanjón existe un deslizamiento retrogresivo desde la calzada norte-sur de la avenida circunvalar hasta unos 5 metros arriba de la calzada sur-norte de la misma avenida. El material deslizado está constituido por suelo residual arenoso con alto grado de humedad. La tubería está localizada en la cuneta interior de la vía, protegida por un cajón de concreto. (Ficha No. 24, Anexo 7)

#### 4.1.6.6.4 La Concordia

Este deslizamiento se encuentra estabilizado con una estructura de contención y pernos de anclaje, subdrenajes y vegetalización. La tubería está localizada en la cuneta interior. Para protección de la tubería fue construido un cajón en concreto La corona se halla en el talud exterior de la calzada sur-norte de la avenida circunvalar. En la misma calzada se presenta deformación como señal visible de inestabilidad, igualmente las obras de

estabilización tienen señales visibles de deterioro principalmente los pernos de anclaje, lo cual implica que sea necesario la programación de un mantenimiento, puesto que las obras tienen más de 20 años.. (Ficha No. 25, Anexo 7).

#### 4.1.6.6.5 Camino a Vitelma Entre Carrera 1 y Carrera 5E

Se trata de un terreno que estuvo en explotación de una ladrillera (San Martín) que hoy se halla abandonada y presenta señales de reptamiento. En la parte alta de la ladrillera se encuentra el deslizamiento antiguo El Dorado que está asociado a una falla transversal norte-sur que afectó las formaciones Bogotá y arenisca del Cacho. El material es suelo arcilloso y arcillolitas altamente meteorizadas. La tubería está emplazada entre las carreras 1 y 5 Este, tramo en el cual se pueden observar señales de reptamiento. Las líneas San Diego-Vitelma (CC9007) de 24" y Silencio-Vitelma (BIV60086) de 60" están a corta distancia de la zona abandonada ya descrita, pero en una zona sin señales de inestabilidad. (Ficha No. 30, Anexo 7).

#### 4.1.6.6.6 Margen derecha Quebrada El Canal (llegada a Tanque Vitelma)

En la margen derecha de la quebrada El Canal existe un deslizamiento antiguo que afecta suelo residual arenoso. La línea pasa en forma longitudinal por la parte baja de la masa deslizada y aparentemente se halla emplazada sobre roca.

#### 4.1.6.6.7 Zona inestable en la margen izquierda de la quebrada El Canal.

En zona adyacente al tanque de Vitelma, entre la línea CC9013 de 20" y la estructura de rebose, existe una zona inestable que afectó una capa superficial de suelo arcilloso y es anterior a la construcción de las obras para el acueducto. La inestabilidad no tiene incidencia para las obras en condiciones normales. (Ficha 32 Anexo 7).



#### 4.1.6.7 EL SILENCIO-VITELMA (BIV60086), $\phi=60''$

##### 4.1.6.7.1 Área oriental del Tanque

En esta área el terreno superficialmente está conformado por suelo residual, roca completamente meteorizada, roca altamente meteorizada con inestabilidad activa en forma de creep reflejada en deformación de un carretable paralelo a la tubería. En esta área existe un tramo con obras de estabilización que consisten en un muro en gaviones y barreras vivas, las cuales presentan señales visibles de movimiento reciente. (Ficha 16 Anexo 7)

##### 4.1.6.7.2 Parte alta barrio Perseverancia

Terreno de pendiente moderada, conformado por suelo residual areno-limoso. Se presenta inestabilidad en forma de creep estacionario con mayor afectación en un carretable entre el Silencio y Monserrate. La tubería está localizada en la parte baja de la zona deslizada. Hay numerosas mangueras con fugas que se constituyen como una de las causas de la inestabilidad. Otra causa es el drenaje natural deficiente. (Ficha No. 18, Anexo 7).

##### 4.1.6.7.3 Parte alta San Diego

En esta zona el terreno presenta un deslizamiento relativamente superficial en arcillolitas con grado de meteorización entre roca completamente meteorizada y altamente meteorizada originado por aguas servidas en forma difusa. El deslizamiento afecta la banca del carretable La tubería está localizada por la corona de la masa deslizada. (Ficha No. 19, Anexo 7)

#### 4.1.6.7.4 Entre Avenida Circunvalar y Paseo Bolívar

La tubería está localizada por la parte superior de un terreno conformado por areniscas bien cementadas que forman una colina en cuya ladera occidental hay un deslizamiento antiguo estabilizado. Por la ladera oriental circula la quebrada Santo Domingo, y en la margen derecha existe un deslizamiento antiguo estabilizado en suelo arenoso de la formación Arenisca del Cacho. (Ficha No. 21, Anexo 7).

#### 4.1.6.7.5 Las Aguas

En el terreno localizado entre el sector de la Concordia y la Media Torta y conformado por suelos arcillosos, ocurrió un deslizamiento que en la actualidad tiene señales de inestabilidad en la ladera de la margen derecha de la quebrada San Martín. La línea atraviesa por la ladera opuesta a la cual se halla la masa deslizada sobre la quebrada San Martín entre la carrera 1 y la Avenida Circunvalar. Dicha posición en condiciones normales no presenta problemas de estabilidad para la tubería. (Ficha No. 25, Anexo 7)

#### 4.1.6.7.6 Barrio Egipto

En la calzada de la carrera 3E, costado occidental, hay un hundimiento, aparentemente generado por la saturación temporal del terreno cuando se presentó la rotura de una tubería de 12" de empate con la tubería de 60"; Silencio – Vitelma (BIV60086). Bajo la condición actual no hay situación de amenaza geotécnica para la tubería (Ficha 26, Anexo 7)

#### 4.1.6.7.7 Lourdes

En la Calle 4 con Carrera 1, en el pasado ocurrió un deslizamiento de la ladera sur (izquierda) sobre el zanjón denominado Lourdes. La tubería está localizada

bajo un relleno colocado sobre el zanjón, el cual fue canalizado. Se observa un pequeño hundimiento en la calzada de la carrera 1, debido a la consolidación del relleno; sin embargo, desde el punto de vista geotécnico no existen evidencias claras de afectación para la tubería. (Ficha No. 27, Anexo 7).

#### 4.1.6.7.8 Tanque San Dionisio

El terreno en el cual está construido el tanque, está conformado por arcillolitas y se halla afectado por un deslizamiento antiguo cuya corona se encuentra en la cabecera de la quebrada las Lajitas al noroeste del tanque. Al noreste del tanque hay otro deslizamiento hacia la quebrada San Dionisio y barrio Rocío Alto, que originó la obstrucción de un canal revestido que funciona como obra complementaria del tanque. El tanque se encuentra fisurado razón por la cual está revestido con geomembranas, mal instaladas, lo cual origina filtraciones que mantienen los materiales perimetrales al tanque con un alto grado de humedad, contribuyendo a la inestabilidad. En la zona al sur del canal está la quebrada el Canal cuyo cauce circula por un alineamiento de falla. Las condiciones descritas permiten establecer que esta zona en una de las más críticas de las halladas en los reconocimientos efectuados, por las implicaciones que tiene en el caso de la ocurrencia de cualquier detonante. (Ficha No. 28, Anexo 7).

#### 4.1.6.7.9 Quebrada Las Lajitas

La tubería de la línea Silencio – Vitelma (BIV60086), está localizada pasando en forma transversal por una zona inestable activa a lo largo de la carrera 1A. El terreno está conformado por rocas con alto grado de fracturamiento. La inestabilidad es muy manifiesta en la parte oriental y occidental. Conviene anotar que por cota superior de esta zona está localizada la línea de 24" de la línea San Diego - Vitelma. (Ficha No. 28, Anexo 7)

#### 4.1.6.8 LÍNEA VITELMA LAS LOMAS (VITELMA - JALISCO)

##### 4.1.6.8.1 Villa de Los Alpes

En el área el terreno está conformado por arcillas de la formación Bogotá y sobre él fue construida la urbanización Villa de los Alpes, muy próxima a una cantera antigua, en donde actualmente se hallan las instalaciones de Tubos Moore. La topografía es ondulada con pendiente moderada. Existen señales muy visibles de movimiento lento del terreno en sentido sureste-noroeste en la carrera 5A entre diagonal 34B sur y carrera 8, las viviendas presentan agrietamiento y hay un reporte de una falla reciente de la tubería variante barrio Las Lomas (STF24134) de 24", la cual, está localizada a lo largo del tramo ya mencionado. (Ficha 41, Anexo 7)

##### 4.1.6.8.2 Barrios Montebello y San Luis

En los barrios Montebello y San Luis emplazados en terreno conformado por arcillolitas muy meteorizadas de la formación Bogotá, ocurrió un deslizamiento en la transversal 2A con calle 26S, cuya corona en la transversal 2A por la cual está localizada la tubería de 24", se encuentra a unos 10 metros de la tubería. La inestabilidad afectó la transversal 2ª y varias edificaciones de vivienda en la Urbanización Montebello en la parte alta y en la parte baja a viviendas de la Urbanización San Luis. Hay obras de estabilización que consisten en una estructura de contención en gaviones en la base del deslizamiento y canales revestidos para manejo de aguas superficiales. Sin embargo, en la parte posterior a la mencionada corona se ven señales de movimiento que en el futuro pueden llegar a generar afectación en la tubería, igualmente, hay señales muy visibles en los flancos del deslizamiento. (Ficha No. 40, Anexo 7).

#### 4.1.6.9 LÍNEA SAN VICENTE - LOS ALPES (REFUERZO TANQUE LOS ALPES) (BIV24124), $\phi=24"$

##### 4.1.6.9.1 Llegada Tanque Los Alpes

El tanque se encuentra fundado en areniscas, y las líneas Surorientales (RM16064) de 16" y la Regadera-Vitelma (agua cruda) de 34", llegan por la parte baja del tanque, en forma transversal por un deslizamiento antiguo en suelos residuales de areniscas; el deslizamiento actualmente se encuentra estabilizado y con vegetación densa constituida por árboles y arbustos. El tanque presenta fugas que pueden reactivar el deslizamiento. (Ficha No. 33, Anexo 7)

#### 4.1.6.10 LÍNEA LOS ALPES-QUINDIO (RM24107), $\phi=24"$

##### 4.1.6.10.1 Sector entre Tanque los Alpes y la urbanización los Alpes del Zipa

En este tramo la tubería atraviesa por un terreno conformado por suelos residuales arenosos derivados de meteorización en areniscas, y arcillosos de arcillolitas con señales visibles de movimiento. Adicionalmente el terreno es afectado por proceso de erosión favorecido éste, por la pendiente del terreno y la clase de material. La ocurrencia de movimiento en el terreno ha afectado la tubería, según referencias, en varias ocasiones, las cuales, han sido reparadas. El movimiento tiene dirección hacia el caño denominado del Zipa, el cual tiene el tramo de aguas arriba de la tubería (desde carrera 17E), una canalización en gaviones. Y desde allí hacia abajo está canalizado en concreto. La tubería atraviesa el deslizamiento en sentido longitudinal y el zanjón en forma transversal. (Ficha No. 34, Anexo 7).

##### 4.1.6.10.2 Zanjón del Quindío

A lo largo del zanjón se presenta un deslizamiento múltiple en suelos residuales

arcillosos, la tubería atraviesa la masa en movimiento en forma transversal desde una cota superior a una cota inferior. (Ficha No. 35, Anexo 7)

#### 4.1.6.11 LÍNEA QUINDIO JUAN REY (RM24108), $\phi=24"$

##### 4.1.6.11.1 Tramo Quindío-Gaviotas

El terreno a lo largo de este tramo está conformado por areniscas y suelos residuales en la parte norte y depósito fluvioglacial en la parte sur. La tubería en la parte norte atraviesa por un deslizamiento antiguo estabilizado y por la parte sur por un deslizamiento en el depósito fluvioglacial constituido por bloques subredondeados de roca dentro de una matriz arcillosa. El área permanece con humedad en alto grado por drenaje natural deficiente y fugas de conexiones de contrabando desde la tubería. La situación anterior genera reptamiento del terreno. (Ficha No.36 y 37 del Anexo 7).

En el costado sur del Tanque El Quindío, la tubería atraviesa por un zanjón de pendiente longitudinal alta; este zanjón en épocas de creciente transporta material sólido con tamaños entre 10 cm y 40cm, los cuales impactan la tubería afectando el revestimiento. Así mismo, aguas debajo de la tubería, la erosión lineal ha originado un salto que afectó la protección en concreto de la tubería. Dicha protección generó el desvío del cauce hacia la margen derecha en la cual, la erosión lateral dejó descubierta la tubería en un tramo del orden de 2 m.

##### 4.1.6.11.2 Tramo Gaviotas-Juan Rey

En este tramo a lo largo del corredor de la tubería el terreno atravesado por ésta, presenta inestabilidad en la mayor parte originada por humedad en alto grado por drenaje natural deficiente y fugas de conexiones de contrabando. La conformación del terreno está constituida por depósito fluvioglacial compuesto por bloques de roca con tamaño heterogéneo englobados en una matriz arcillo limosa. (Ficha No. 36, Anexo 7).

#### 4.1.6.12 LÍNEA VITELMA-COLUMNAS (REFUERZO ORIENTAL) (BIV42087), $\phi=42''$

##### 4.1.6.12.1 Tramo Vitelma - Calle 11 Sur

Al costado sur del tanque de Vitelma, La tubería de 42" atraviesa por el flanco derecho de un deslizamiento antiguo de una fracción de un depósito coluvial. El área presenta un alto grado de humedad (Ficha No. 38, Anexo 7).

#### 4.1.6.13 LÍNEA LA LAGUNA - EL UVAL – MONTEBLANCO – VITELMA (CC9012)

##### 4.1.6.13.1 Tramo la Laguna - El Uval

El terreno que atraviesa la tubería desde el tanque la Laguna hacia el Uval, está conformado por arcillolitas altamente meteorizadas que presenta condiciones de estabilidad hasta la calle 4 de Usme, de este punto hasta el Uval el terreno está conformado por un depósito fluvioglacial con señales muy visibles de movimiento, reflejadas en hundimientos asociados con la presencia de aguas superficiales servidas y de precipitación. (Ficha No. 42, Anexo 7)

##### 4.1.6.13.2 Tramo El Uval - Lorenzo Alcantuz

El terreno está conformado por un depósito fluvioglacial que suprayace arcillolitas. La tubería atraviesa por la parte interna de una vía del barrio, en la parte superior de una zona de deslizamiento antiguo, en la calle 111S cuyo escarpe afectó la banca en el borde externo. (Ficha No. 43, Anexo 7)

##### 4.1.6.13.3 Cruce de la quebrada Yomasa

En este cruce, la tubería de la línea pasa por debajo del pontón de la vía a Usme, y se encuentra expuesta a posibles impactos por crecientes de la quebrada. En el estribo de la

margen derecha aguas arriba hay actualmente socavación.

#### 4.1.6.14 LINEAS DE DISTRIBUCION 20-30-36 CIUDAD BOLIVAR

##### 4.1.6.14.1 Tanque Sierra Morena

Este tanque está localizado al suroeste de la Ciudad, en el área denominada Ciudad Bolívar. De dicho tanque sale una tubería de 30" hacia el tanque Alto, la tubería pasa por una zona de deslizamiento de suelos arenosos, entre la Calle 76ª Sur y Carreras 56 a 60. El terreno está conformado por areniscas muy fracturadas. La zona tiene procesos de erosión y meteorización. (Ficha 44, Anexo 7)

##### 4.1.6.14.2 Tanque Alto

La tubería de la ruta alta Jerusalén (BIV30071) de 30", atraviesa por el costado sur-oriental por un terreno conformado por suelos arenosos, con señales de inestabilidad de la parte superficial. En el costado sur, hay numerosas mangueras con conducción de agua de contrabando que presentan fugas, lo cual, origina saturación de los suelos. La tubería se extiende por la cima del cerro, el cual, por las condiciones ya descritas queda con susceptibilidad al movimiento. (Ficha 46, Anexo 7)

##### 4.1.6.14.3 Tanque Casablanca

Localizado el suroccidente de la ciudad, en un terreno conformado por arcillolitas muy meteorizadas. A la salida del tanque hay inestabilidad manifestada por deformación en la vía de acceso al tanque. (Ficha No. 46, Anexo 7).



#### **4.1.7 PROBLEMAS GEOTÉCNICOS DE RELLENOS SOBRE SUELOS BLANDOS:**

Se presentan varios sectores de la red en zonas de rellenos antiguos y recientes colocados sobre depósitos de suelos muy blandos y compresibles, susceptibles a presentar asentamientos por consolidación. Este fenómeno de deformación es lento y progresivo, y puede afectar la tubería principalmente en las juntas, produciendo desplazamientos relativos y esfuerzos internos en la tubería. Dentro de los sectores de mayor afectación se destacan las zonas bajas de inundación del Río Bogotá y afluentes, donde se encuentran rellenos antrópicos antiguos y recientes. Además del problema de deformación, algunos de estos rellenos se encuentran en zonas inundables y con predominio de basuras que dejan susceptible la tubería a fenómenos de corrosión.

Dentro de los sectores identificados durante el recorrido de campo que presentan esta situación se destacan los siguientes:

- 1) Los problemas ya reportados en las líneas Tibitoc-Cantarrana (RM78001) y Tibitoc-Usaquen (CC9003) en el numeral 4.1.6.2 y 4.1.6.1 del informe.
- 2) El sector del Lago Gaitán conocido como “EL LAGO”, comprende una zona de rellenos sobre suelos muy blandos: se conocen registros de asentamientos progresivos de esta zona por fenómenos de consolidación. Debido a la presencia de suelos orgánicos y a la proximidad del nivel freático, los suelos de esta zona son potencialmente corrosivos.
- 3) Relleno de EL CORTIJO (Ficha 10 del Anexo 7): Se localiza en la confluencia de los ríos Juan Amarillo y Bogotá. En este sector se encuentra un relleno antiguo de Basuras y escombros de construcción que cubre la margen izquierda de estos dos ríos. En algunos sectores el relleno puede alcanzar del orden de 6 m. A lo largo de este corredor se encuentran las líneas Av. Boyacá-Tibabuyes (RD4A24021) y Av. Moriscos (STF24135) de 24 pulgadas, y la línea Ciudadela Colsubsidio sector IV (STF16125) de 16 pulgadas. Debido a la antigüedad del relleno, más de 30 años, se espera una mínima afectación en la tubería por

consolidación del suelo sin embargo, debido a la presencia de basura en el relleno, existe la probabilidad de encontrar problemas de corrosión en el tubo.

- 4) Conformación de la calle 90 (margen izquierda del Río Juan Amarillo- Ficha 10 del Anexo 7): A la altura de la calle 96, se esta conformando el nuevo terraplén para esta vía que puede tener unos 2 m de espesor; a lo largo de esta se encuentra la línea STF24135 de 24 pulgadas la cual puede quedar afectada por el relleno.
- 5) Conformación de la calle 90 en el sector del Minuto de Dios (Ficha 11 del Anexo 7): En este sector se canalizó un antiguo zanjón de aguas negras por medio de un box-culvert y se colocó sobre este un relleno para la conformación de la vía de conexión con la calle 90. La línea RD4A24021 de 24 pulgadas se encuentra por debajo del cajón y se pueden presentar asentamientos por consolidación en el tiempo debido al peso del relleno-cajón que puede afectar la tubería.
- 6) Calle 153 con Canal de Córdoba (Ficha 12 del Anexo 7): En este sector se presentan problemas de inestabilidad del relleno en el estribo de la margen derecha, donde se han reportado en varias ocasiones, rotura de la Conexión Estación de Bombeo Suba (RD3A24019) de 24 pulgadas. Este estribo presenta evidencias de desplazamiento y la banca presenta un hundimiento por efecto de la saturación del relleno, posiblemente asociados con los daños de fecha 11/08/99, 3/06/98 y 6/11/97. El movimiento del estribo sobrecarga la superestructura generando una deflexión por pandeo en las vigas del puente.
- 7) Calle 129 con Canal de Córdoba (Ficha 13 del Anexo 7): Este cruce de la línea Tibitó-Usaquén (RM78001) de 78" de diámetro, consiste en un cajón enterrado con un relleno de considerable espesor sobre este. Al parecer el tubo pasa a lo largo de la calzada norte, embebido dentro del relleno de la vía. En la zona sur se encuentra un hundimiento leve en el relleno el cual es soportado por un muro de gaviones; aunque este problema no ha tenido incidencia sobre el tubo, el hundimiento del terraplén puede generar en el futuro alguna afectación.

- 8) Calle 127 con canal de Córdoba (Ficha 14 del Anexo 7): La línea a Suba (BIV60092) de 60" de diámetro, pasa por debajo del canal revestido en concreto por el costado sur del puente y luego por el estribo de la margen derecha. En este sector se conformó un relleno de considerable magnitud, el cual presenta evidencias de asentamientos y que puede afectar el tubo.
- 9) Una amenaza potencial sobre las tuberías en la zona plana comprende las zonas bajas que normalmente están cubierta por una capa superficial de relleno. Se destacan como sitios potencialmente críticos las zonas de transición entre suelos duros y blandos presentes a lo largo de las líneas que se extiende en las zonas terminales de la Avenida de las Américas, Avenida Primero de Mayo, Avenida Villavicencio y en puntos intermedios sobre la Carrera 86 y la Autopista sur, cerca del Cementerio del Apogeo. (coincide con los reporte de daños de fechas 26/08/99, 25/02/98, 11/12/97 y 5/04/97 ).
- 10) Nivel freático muy cerca de la superficie en la salida del Municipio de Madrid. En este sector la tubería de 36 pulgadas se encuentra a lo largo de la Vía (costado norte) donde se encontró el nivel freático alto muy cerca de la superficie del terreno, donde se presume pueden haber problemas de corrosión. En la salida de Madrid el río Subachoque presenta meandrificaciones que se acercan al borde de la vía; en estas zonas se presentan hundimientos muy leves de la banca de la vía; aunque la tubería se extiende por el costado norte de la vía puede tener alguna afectación menor.
- 11) Al costado norte de la vía a Mosquera en la margen izquierda del río Bogotá se conformo un relleno reciente de 4 m de espesor que cubre el corredor del tubo (Ficha 48, Anexo 7); este sector es susceptible a presentar grandes asentamientos debido al peso del relleno y a la presencia de suelos blandos. El cruce sobre el río Bogotá es un paso elevado que requiere de una revisión estructural.
- 12) Entre los barrios de Fontibón y Modelia, el corredor del tubo atraviesa zonas de relleno sobre el humedal de Capellanía, donde se perciben ondulaciones en la

superficie por los asentamientos generados en el relleno (Ficha 49, Anexo 7); esta zona puede presentar alguna afectación por estos rellenos y por corrosión.

#### **4.1.8 REPORTE DE CASOS DE CRUCES SOBRE QUEBRADAS:**

Los casos reportados como sectores críticos de cruces de quebradas y ríos se destacan los siguientes:

- 1) **CRUCES EN RÍOS Y QUEBRADAS:** Se destaca el paso elevado de la línea Av. Primero de Mayo (CC9003) de 20", sobre la quebrada EL CANAL (Ficha 32, Anexo 7), la cual se encuentra apoyada en columnas de ladrillo de unos 20 m de altura; esta estructura puede presentar problemas de inestabilidad ante el evento de un sismo.
- 2) Se presentan algunos sitios de la tubería expuesta a impactos por crecientes de ríos y quebradas, como el caso del zanjón localizado al sur del Tanque Quindío (Línea Quindío-Juan Rey – RM24108, 24") (Ficha 36, Anexo 7) y los cruces de tuberías del río San Cristóbal en las líneas CC9013 de 20", CC9007 de 24" y BIV42087 de 42" de diámetro y los cruces de la línea Vitelma-La Regadera, por la quebrada la Pichosa, a la altura del barrio diana Turbay, donde se han reportado daños (reporte de daño del 11/11/98).
- 3) **CRUCE DE LA QUEBRADA YOMASA:** En este sector la línea Vitelma-Diana Turbay de 20 pulgadas pasa por debajo del pontón de la Vía a Usme, y esta expuesta a posibles impactos por crecientes de esta. El estribo de la margen derecha, sector aguas arriba, presenta problemas de socavación.

#### **4.1.9 CONCLUSIONES**

Analizando la información física de los corredores de la red matriz obtenida por medio de los reconocimientos y toda la información evaluada, se pueden mencionar las siguientes conclusiones:

- Desde el punto de vista geotécnico, los problemas de estabilidad de laderas, genera el mayor potencial de afectación sobre la red matriz de distribución, en condiciones normales de operación.
- Existen algunos tramos ubicados en zonas inestables, especialmente en la zona sur de la ciudad.
- Se detectó susceptibilidad al deslizamiento en la zona montañosa y en la zona de transición (montaña/plana).
- Como segundo nivel de prioridad se destacan problemas geotécnicos en las zonas planas inherente a la presencia de rellenos recientes sobre suelos blandos los cuales generan deformaciones sobre el tubo. Se destacan entre estos, la conformación de rellenos en las rondas de inundación de los Ríos Bogotá, Juan Amarillo y Tunjuelito.
- Otro factor que es importante y que será objeto de una evaluación mas detallada, es lo referente a problemas de corrosión; aunque este problema no clasifica como un problema geotécnico, esta relacionado indirectamente con la presencia de suelos ácidos y con alto contenido de humedad.
- Se presentan algunos sectores de cruces de quebradas y ríos donde la tubería esta descubierta y expuesta a impactos por avalanchas; en otros casos las estructuras de paso son precarias y viulnerables a inestabilizarse.
- Como producto dos (2) del área de geología conjuntamente con el área de

geotecnia se obtuvo el listado de los sitios críticos cuya descripción se presenta en el numeral 4.1.6.

- Se presentan riesgos por causas antrópicas generados por las conexiones clandestinas, en las cuales las fugas constituyen dichos riesgos.
- Para análisis de vulnerabilidad el componente de inundación se considera de menor importancia en la ponderación. Lo anterior, ya que el mayor porcentaje de las tuberías de la red matriz se encuentra bajo superficie con una cobertura que le da protección. En el Anexo 8 se presenta la matriz con la calificación de las diferentes variables consideradas para la vulnerabilidad del área geológica y geotécnica.
- A partir de las verificaciones de campo, es posible observar que existe concordancia con las zonas analizadas en otros estudios. A partir de la información geológica y geotécnica obtenida, es posible la determinación del grado de amenaza para la tubería de cada uno de los sitios críticos desde el punto de vista físico, a partir de los componentes identificados, como son: las unidades litológicas que afloran en el área a lo largo de los corredores de la red matriz, sus características composicionales y texturales; estas son indicadoras de la susceptibilidad y resistencia que el terreno natural tiene, en cuanto a la posibilidad de que se generen y/o activen procesos erosivos y fenómenos de remoción en masa, cuya probabilidad de ocurrencia, amenaza la estabilidad de la tubería de la red matriz del sistema de acueducto.
- Los sitios críticos mencionados, presentan problemas de estabilidad en los corredores de las tuberías, constituyéndose en una amenaza directa. Considerando el punto de vista geológico y geotécnico, el primer componente o parámetro de evaluación lo constituyen los materiales (unidades litológicas), lo anterior ya que las rocas y areniscas tienen mayor resistencia geomecánica que las arcillas y éstas mayor que los depósitos sueltos recientes con bajo grado de consolidación.

- En la zona norte las fallas en las tuberías de la red matriz por factores geológicos, son muy pocas. La mayoría tienen causas de origen antrópico. Solamente se tiene reporte de la línea Tibitó-Usaquén (CC9003) de 60", en la calle 190, por desplazamientos debido a condiciones del terreno.
- En la línea Autop. Medellín por Av. Boyacá a la Cra. 116 (RD424020) de 24" solamente se ha presentado un desplazamiento en un tramo de la Avenida Boyacá con la Autopista Medellín, por encontrarse en una zona de relleno.
- Algunas tuberías fallan por corrosión externa, debido a contacto con aguas negras, en especial en la zona sur, cuyos vertimientos son superficiales.
- En la zona centro y sur, los corredores de la tubería son angostos, en algunos casos con las viviendas casi encima de la tubería (ver reporte de corredores invadidos).
- En la zona sur, las principales tuberías con problemas de estabilidad son la línea la Laguna-Vitelma, Tubería de bombeo Alpes-Quindío (RM24107) de 24", Quindio-Juan Rey (RM24108) de 24", Línea Vitelma-Jalisco y Línea Sierra Morena.

## 4.2. ESTRUCTURAS

Para la determinación de las Zonas Críticas, se consideraron dos escenarios básicos como son: Condiciones Normales de Operación y Condiciones Hipotéticas de Operación, por lo que en una primera instancia, se establecieron las zonas críticas para la primera condición; entendiendo que los elementos que conforman la Red Matriz, fueron básicamente las tuberías con diámetro mayor o igual a 16" y las estructuras o cajas que albergan válvulas, ventosas, purgas, pitómetros, derivaciones, by-pass, elementos de macro medición y bocas de acceso.

Bajo condiciones normales de operación, para el caso de las tuberías, en las zonas planteadas como críticas se consideraron los efectos o agentes detonantes (Características de la Tubería, Cargas Externas, Corrosión, Efecto Hidráulico y Efecto Geológico y Geotécnico), en combinación con la experiencia en comportamiento y daño, las inspecciones de campo y las características propias de la red ver plano JR-052-EST-001-E del anexo 16.

Así mismo, para las estructuras asociadas a la Red Matriz (Cajas, viaductos, etc.), se definieron las zonas críticas respectivas, que en algunos casos correspondían con la zona de la de las tubería y en otros, zonas diferentes, teniendo en cuenta los efectos propios o agentes detonantes tales como: Característica de la Estructura (Importancia, Material), Efectos Externos (Sobrecargas), Estanqueidad, Ventilación, Drenaje, Acceso y Operabilidad y Geotécnica.

De la misma manera, considerando las Condiciones Hipotéticas de Operación, se establecieron unas zonas críticas comunes tanto para la tubería como para las cajas y otras estructuras, teniendo en cuenta los respectivos agentes detonantes. (Efecto Sísmico, Efecto Geológico y Geotécnico, Efecto Hidráulico y Efecto Antrópico).

Con todo lo anterior, se establecieron las necesidades propias de la Red Matriz y en consecuencia, se identificaron los puntos estratégicos o prioritarios a rehabilitar, los cuales están dentro de las zonas críticas definidas anteriormente. Adicionalmente, se complementaron los puntos o sitios a rehabilitar, teniendo en cuenta los criterios de operatividad, optimización, eficiencia y calidad del servicio, sobre necesidades y priorizaciones a través del tiempo.

Con base en lo anterior, se definieron *preliminarmente* algunas zonas críticas, teniendo en cuenta únicamente las Condiciones Normales de Operación, y algunos de los efectos o agentes detonantes que intervienen en éste caso.

Teniendo en cuenta las Características de la Tubería, en donde se consideran variables



tales como: Diámetro, Edad y Tipo; se establecieron los aspectos que definen las Zonas Críticas para cada caso en particular.

#### **4.2.1 ASPECTO A CONSIDERAR 1 ( CARACTERÍSTICA DE LA TUBERÍA – DIÁMETRO).**

Para este caso, se estableció dentro de la Red Matriz una clasificación entre los diferentes tramos de tubería en función de su importancia, la cual está íntimamente correlacionada con el caudal que transporta y esto a la vez, con su diámetro (ver plano JR-052-GEN-002-E del anexo 16); en consecuencia, entre mayor sea el diámetro más importante se considera la tubería. Por lo que la calificación correspondiente a éste aspecto, es de la siguiente forma:

DIAMETRO	IMPORTANCIA	CALIFICACION
78"	Muy Alta	(5)
60"	Muy Alta	(5)
48"	Alta	(4)
42"	Alta	(4)
36"	Moderada	(3)
30"	Moderada	(3)
24"	Baja	(2)
20"	Baja	(2)
16"	Muy Baja	(1)

#### **4.2.2 ASPECTO A CONSIDERAR 2 ( CARACTERÍSTICA DE LA TUBERÍA – EDAD).**

Respecto a la Edad, de acuerdo con el inventario realizado se tiene lo siguiente:

<b>EDAD</b>	<b>LONGITUD FINAL (M)</b>	<b>%</b>
Menos de 10 años	55,252.49	12.50
Entre 10 y 20 años	92,648.35	20.90
Entre 20 y 30 años	112,270.62	25.40
Entre 30 y 35 años	72,965.41	16.50
Entre 35 y 40 años	12,121.34	2.70
Entre 40 y 45 años	51,873.24	11.70
Entre 45 y 50 años	29,010.64	6.60
Mayor de 50 años	16,136.53	3.60
<b>TOTAL</b>	<b>442,278.62</b>	<b>100.00</b>

De acuerdo con la historia de tuberías instaladas de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, se sabe, que a medida que presentan mas tiempo de operación, tienen mayor probabilidad de falla; asociada al deterioro tanto de las juntas, sellos o empaques como de los propios materiales de la tubería. De tal forma, se propone que para este caso las zonas críticas estén conformadas por las tuberías que tengan mas de 45 años de operación; esto implica, que del total de tubería de la Red Matriz, el 10.2 % estaría dentro de éste rango.

Así mismo, de acuerdo con los rangos de edad de operación de la tubería, la calificación por este concepto es la siguiente:

## CALIFICACION

- Tubería Muy Nueva, entre 0 – 15 años de operación. (1)
- Tubería Nueva, entre 15 – 25 años de operación. (2)
- Tubería Moderada, entre 25 – 35 años de operación. (3)
- Tubería Vieja, entre 35 – 45 años de operación. (4)
- Tubería Muy Vieja, mayor de 45 años de operación. (5)

En consecuencia, las tuberías mas críticas según la edad de operación están localizadas en las siguientes zonas, correspondiendo a tuberías catalogadas como Muy Viejas, (con edad mayor de 45 años de operación):

- Avenida 39 por Universidad Nacional al Parque Nacional. (1954).
- CC 9004. Avenida Quito – Santa Lucía. (Av 78 a la Diagonal 44 sur, zona B Sur) (1955).
- CC 9005. Conducción la Regadera – Vitelma (Agua Cruda, 1936).
- CC 9011. Vitelma – Diana Turbay (Monteblanco) (1950).
- CC 9012. La Laguna – Monteblanco. (1950).

### **4.2.3 ASPECTO A CONSIDERAR 3 ( CARACTERÍSTICA DE LA TUBERÍA – TIPO).**

La Red Matriz de Bogotá está conformada por los siguientes tipos de Tubería ver plano JR-052-GEN-003-E del anexo 16, y su respectiva calificación de Desempeño Estructural, teniendo en cuenta las estadísticas de comportamiento y daño, es la siguiente:

<b>TIPO TUBERIA</b>	<b>DESEMPEÑO</b>	<b>CALIFICACION</b>
AWWA C 303 – CCP.	BUENA.	(1)
AWWA C 200, C 203, C 205 – WSP.	BUENA.	(1)
AWWA C 110.	ACEPTABLE.	(3)
AWWA C 301 – PCCP.	NO - ACEPTABLE.	(5)
AWWA C 400 – Asbesto / Cemento.	NO - ACEPTABLE.	(5)
ASTM A – 125 Fundición Gris.	NO - ACEPTABLE.	(5)

La tubería AWWA C 400 – Asbesto / Cemento, dadas sus características de resistencia, calidad y sobretodo por su composición, tiene implicaciones o efectos cancerígenos, por lo que no se debe utilizar más y por ende se deberán cambiar; adicionalmente, a lo largo de la vida útil se va presentando un estado de acartonamiento que conlleva finalmente a una pérdida o deterioro de las propiedades de resistencia de la tubería.

Por otra parte, los tramos conformados por la tubería AWWA C 301 – PCCP, debido a que presentan daños estructurales explosivos al momento de fallar el acero de refuerzo tensionado, según los reportes de experiencia y daño de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá; fenómeno éste asociado a la corrosión local en la tubería, inducido por las condiciones externas a que está siendo expuesta, por la incidencia de la acidez del suelo circundante y la presencia y variación del nivel freático, generando corrosión en el concreto exterior de recubrimiento y posteriormente la corrosión y falla total en el acero de tensionamiento. Este fenómeno, no sólo se ha presentado a nivel local, sino que también se han presentado reportes a nivel internacional, haciendo que éste tipo de tubería se esté descontinuando. De todas maneras, bajo condiciones favorables de suelo circundante, en donde no exista una acidez natural, lo mismo que no haya fluctuaciones del nivel freático, ésta tubería no tendría problema por efecto de corrosión y su funcionamiento sería aceptable.

En el caso de los tramos de tubería ASTM A – 125 Fundición Gris, dado que sus juntas son plomadas y calafateadas, tienen tendencias a presentar fugas o escapes con

bastante frecuencia, pues el control de calidad de la hechura de la junta y posibles movimientos de la tubería hacen que se deteriore la unión.

De tal forma, los tramos a rehabilitar por este concepto o sus zonas críticas serían las siguientes:

- RM 78001. Tibitoc – Cantarrana (Casablanca). AWWA C 301.  
(Parte de esta conducción ya se encuentra en rehabilitación; sin embargo, el contrato no abarca por ahora la recuperación de toda la línea).
- RM 16063. Carretera del Sur (Fátima la Laguna). AWWA C 400.
- Línea Calle 76 al sur por carrera 20. ASTM A- 125 Fundición Gris.

#### **4.2.4 ASPECTO A CONSIDERAR 4 ( CARGAS EXTERNAS).**

Para este caso en particular, se considerarán dos estados críticos de localización de la tubería, en cuanto a profundidad; la primera, cuando la tubería se encuentra muy superficial y en consecuencia el efecto de la carga viva e impacto es directo sobre la tubería, y el segundo, cuando, la profundidad de la tubería es tal que el efecto de la carga viva es despreciable, pero la sobrecarga por relleno es crítica ver plano JR-052-EST-001-E del anexo 16.

De la información recopilada, para las líneas de tubería en consideración, se definieron las profundidades promedio respecto al tramo respectivo. Analizando esta información y teniendo en cuenta las Normas respectivas y los Parámetros de Diseño, estipulados por la EAAB, se llega a la conclusión que tramos de tubería que tengan un recubrimiento de relleno menor que 1.50m y estén sobre calzada, son tramos críticos, si no tienen la protección necesaria. De otra parte, tramos de tubería que tengan una profundidad mayor de los 8.00 m, en principio serían tramos críticos, debido a que en los manuales

suministrados por los fabricantes, se considera esta altura de relleno como un valor alto, que tiene que ser resistida por una mejor clase de tubería. Para el caso de una tubería tipo CCP, se estaría especificando una tubería de clase tipo IV o tipo V, para esta altura de relleno, dependiendo de la calidad de la cimentación.

Para la calificación de éste efecto de cargas externas, se tendrá en cuenta la altura del relleno sobre la tubería y por lo tanto la tabla de calificación sería la siguiente:

- BAJO. Para tuberías con altura de relleno entre 2.50m – 4.00m. (Calificación=1)
- MODERADO. Para tuberías con altura de relleno entre 1.50m – 2.50m y entre 4.00m – 8.00m. (Calificación=3).
- ALTO. Para tuberías con altura de relleno entre 0.00m – 1.50m y mayor 8.00m. (Calificación=5)

De tal forma, las zonas críticas preliminares por éste efecto serían las siguientes: (que están dentro del rango Alto)

- RM 42103. Puente Aranda – Escuela Militar. (H= 0.99m, 0.06m, 0.35m).
- BIV 36110<sup>a</sup>. Conducción Interconexión Zona Intermedia – Zona Baja. (H= 1.24m, 1.34m).
- RM 42004. Centro Nariño – Cama Vieja. (H= 0.20m, 0.11m, 0.64m, 1.14m).
- RM 24107. Conducción Alpes – Quindío. (H= 1.09m, 1.32m, 1.17m).
- RD 21105. Línea By – Pass Santa Lucía. (H= 0.78m, 0.87m)
- BIV 24115. Interconexión Carrera 4 – Lourdes. (H= 0.89m, 1.17m).
- BIV 24108. Conducción Quindío – Juan Rey. (H= 1.29m, 1.09m, 1.29m)

- BIV 16113. Conducción Interconexión Verbenal (H= 1.49m, 1.11m).
- BIV 1624114. Conducción Gran Britalia. (H= 1.46m, 1.20m).
- BIV 20069. Ciudad Bolivar – Ruta Alta Sierra Morena. (H= 1.16m, 0.98m, 1.46m).
- BIV 3024068. Suba Zona Baja. (H= 1.08m).
- RM 16060. Calle 68 – Avenida Boyacá a Carrera 60. (H= 0.97m, 1.14m, 1.24m, 1.27m).
- CC 9015. Avenida 6 a Avenida 1. Cra. 36 Cra. 30. (H= 1.32m, 1.39m, 1.33m).
- BIV 12118. Nuevo Bombeo San Dionisio – Tubería de Conexión a la Red. (H= 0.99m, 1.06m, 1.18m, 1.15m).
- STF 16125. Ciudadela Colsubsidio Sector IV. (H= 1.44m, 1.32m, 0.98m).
- STF 20126. Línea Avenida Ciudad de Cali (H= 1.25m).
- STF 24140. Conducción Calle 63 – Engativá. (H= 1.03m).
- S 36098. Refuerzo Autopista del Sur. (H= 1.39m, 1.34m).
- S 1612095. Línea de Refuerzo San Carlos – Soacha. (H= 0.99m, 1.17m, 1.15m).
- STF 16136. Línea Avenida a Villavicencio. (H= 1.35m).

Cabe anotar que para los tramos de tubería, que tienen una altura de relleno inferior a 1.50m, para que se consideren como tramos críticos definitivos, debe chequearse el tipo de corredor (si es por calzada o por andén) y si se tiene algún tipo de protección. Lo

anterior se realizará en el desarrollo de la Fase II.

#### **4.2.5 ASPECTO A CONSIDERAR 5 ( EFECTO HIDRÁULICO).**

Para tener en cuenta el efecto Hidráulico, por ahora sólo se consideraron las presiones internas producidas en condiciones normales de operación ver plano JR-052-HIM-002-E del anexo 16, (sin analizar las presiones producidas bajo condiciones de transientes, ni combinaciones de alternativas de operación).

Como la presión interna máxima estipulada por el Acueducto es de 80 m.c.a., inicialmente se identificaron los tramos de toda la Red Matriz en donde esta presión es excedida (presión media del tramo). Así mismo, para cada tramo encontrado se estableció de acuerdo al tipo de tubería, la respectiva resistencia de diseño, considerando el efecto de la presión interna que se genera en la Tubería, respecto a la resistencia intrínseca de la misma, teniendo en cuenta, las Normas y los Factores de seguridad asociados a éste tipo de diseños, según las especificaciones dadas por la AWWA C-301 y C-303 y en el Manual de Diseño de la AWW- M11.

Por tales razones, se comparó el esfuerzo producido por la presión del agua (en condiciones normales de operación), contra el esfuerzo resistente de la respectiva tubería en consideración; definiendo que si la proporción entre el esfuerzo de diseño de la tubería contra el esfuerzo actuante era mayor o igual a 1.0, la tubería se encontraba en correcto funcionamiento por este concepto. Ahora bien, si el valor estaba entre 0.80 y < de 1.0, la tubería se encontraba en condición crítica. Y si el valor era < de 0.80, la tubería estaba en condiciones supercríticas.

Para llegar a los valores anteriores, se tuvo en cuenta que el esfuerzo de trabajo admisible, bajo condiciones normales de operación para las tuberías CCP, PCCP y de Acero, es de 0.50 fy; y para condiciones de transientes este valor se incrementa a .075fy. Si entonces se asume un valor promedio entre estos dos valores (0.63fy), como un valor de resistencia aceptable, en donde la tubería sigue aguantando pero con un menor grado



de seguridad, sin llegar al máximo permisible, se concluye que la proporción entre el valor inicial de resistencia (0.50 fy), respecto al promedio (0.63fy), corresponde a un valor de 0.80.

De tal forma, se evaluaron todos los tramos de tubería bajo este concepto, calificando la red bajo los siguientes parámetros:

CONDICION	CALIFICACION
Super Crítica	5.0
Crítica	3.0
Correcta	0.0

A partir de la información Hidráulica se definen las siguientes zonas como críticas y super críticas, teniendo en cuenta la proporción de esfuerzos de presión:

- Tramo P - 1380. (J-1375 a J-1385) Tanque Santa Ana – Usaqué. (F=0.98).
- Tramo P – 1715. (J-1385 a J-1720) Santa Ana – Usaqué. (F=0.88).
- Tramo P – 1785. (J-1720 a J-1790) Santa Ana – Usaqué. (F=0.88).
- Tramo P – 1795. (J-1790 a PRV- Norte) Santa Ana – Usaqué. (F=0.88).
- Tramo P – 1725. (J-1720 a PRV-Inter) Zona Intermedia. (F=0.88).
- Tramo P – 1770. (J-1790 a PRV-Sur) Santa Ana – Usaqué. (F=0.88).

#### **4.2.6 ASPECTO A CONSIDERAR 6 ( EXPERIENCIA EN COMPORTAMIENTO Y**

## **DAÑO).**

El concepto de la Experiencia en Comportamiento y Daño ver plano JR-052-GEN-006-E del anexo 16, se requiere para establecer las zonas que comúnmente han tenido algún tipo de daño o falla. De la información de reparaciones y control de mantenimiento de la Empresa para la red matriz, récord desde el año 1990 hasta 1999, se realizó un cuadro resumen de daños, el cual luego se cruzó con el del inventario de la red matriz, detectando en consecuencia tramos de tubería en donde se han presentado las fallas. Como resultado, se observó que existen una serie de tramos o zonas en donde persisten o son reincidentes los daños. Así mismo, se consultó con los Inspectores que trabajaron en la Empresa, cuál había sido su respectiva experiencia en cuanto a los daños presentados en la red matriz; información ésta que fue incluida en el reporte de problemas en el listado general de la red.

Con estas dos fuentes de información de daños (el récord estadístico y la experiencia de los Inspectores), se detectaron finalmente tanto la ubicación o zonas en donde se presentan con más frecuencia los daños, como el tipo de daño que más comúnmente ocurre en la red.

Los sitios de mayor problemática a través del tiempo (desde 1990 – 1999), de mayor a menor son los siguientes:

- Vitelma – Diana Turbay. (16 daños).
- Vitelma – Jalisco(RD 2624040) (14 daños).
- La Laguna – Monte Blanco. (CC 9012) (11 daños).
- San Diego – Vitelma (CC 9007) ( 8 daños).
- Calle 100 – Avenida Suba. (CC 9016) ( 8 daños)

- Zona Baja Sur Brazo Oriental (CC 9008) (6 daños).
- Tanque Egipto a Carrera Novena por Calle 12 (CC 9014) (6 daños).
- Alpes – Quindío. (RM 24107) (5 daños).
- Conducción de Estación de Bombeo Suba. (RD3A 24019) (4 daños).

#### **4.2.7 ASPECTO A CONSIDERAR 7 ( CAJAS – INSPECCIONES DE CAMPO).**

Las visitas de campo realizadas hasta el momento, básicamente incluyeron la investigación visual de los diferentes tipos de cajas, en donde se albergan equipos tales como: válvulas, pitómetros, ventosas, purgas, salidas, by - pass, macromedidores, bocas de acceso, etc., para tuberías de diámetro mayor o igual a 16”.

Se realizaron jornadas inspección de campo, entre otros de los siguientes sitios críticos:

- a) Zona de Vitelma y alrededores (La Regañona)
- b) Zona La Caro, sobre la Línea de 60”, Planta de Usaquén y Tanque de Santa Ana
- c) Tramo Línea de 78” Autopista Norte entre calles 129 y 153
- d) Tramo Autopista Norte con calle 153 y la línea de 42 “ Tramo RM 36012, Tramo de 24” por Avenida de las Américas.

De la Inspección visual, se puede concluir que en casi todos los casos, los elementos estructurales que componen las cajas (placa de fondo, muros y placas superiores), se encuentran en buen estado; no presentan ni grietas ni fisuras evidentes.

Los problemas asociados a estas cajas son mas bien de carácter funcional, pues se evidencian los siguientes aspectos:

Problemas de operatividad en el acceso a la caja.

Problemas de humedad y de encharcamiento.

Problemas de aireación.

De tal forma, la mayoría de las cajas presentan algunos (o todos) de estos problemas; es decir están en estado crítico, evidenciándose una falta total de mantenimiento en las cajas y por ende en sus respectivos accesorios.

Únicamente, las cajas que se están rehabilitando en la línea de 78", están cumpliendo con las características mínimas para una correcta operación.

En consecuencia, se recomienda rehabilitar las cajas que sean mas importantes. Esto va directamente asociado con la importancia que tenga el accesorio que contenga.

### **4.3. HIDRÁULICA**

La determinación de sitios críticos desde el punto de vista hidráulico, básicamente considera la incidencia en el sistema de distribución de parámetros básicos tales como presión interna, velocidad, pérdidas por fricción, relacionado con el material de las tuberías, el diámetro y el caudal de acuerdo a su importancia relativa dentro de la red.

Es importante tener en cuenta que los parámetros mencionados no establecen la priorización de zonas críticas por si solos. Cada uno de ellos debe ser asociado con otros parámetros geotécnicos, estructurales y operativos para definir líneas o sectores críticos.

#### **4.3.1 NORMAS DE DISEÑO CONSIDERADAS**

Con el fin de fijar límites permisibles a los parámetros hidráulicos se consultaron las normas de diseño de la EAAB, específicamente las relacionadas con Redes Matrices y

Líneas Expresas.

#### 4.3.1.1 REDES MATRICES

En concordancia con los términos de referencia se consideraron como redes matrices las tuberías de 16 pulgadas de diámetro y mayores.

##### 4.3.1.1.1 Coeficientes de fricción

Se adoptaron coeficientes de fricción de la fórmula de Hazen – Williams teniendo en cuenta las normas, los cuales son mas conservadores que los indicados por Haestad Methods en el manual de WaterCAD y considerando factores de corrección tales como alineamientos largos y edad de las tuberías con base en datos empíricos dados por Brater and King.

##### 4.3.1.1.2 Límites de Velocidad

Las normas recomiendan con base en criterios económicos y operativos que las velocidades no sean menores de 0.5 m/s ni mayores de 2.5 m/s.

##### 4.3.1.1.3 Límites de Presión

Se recomienda como presión dinámica mínima aceptable 30 m.c.a. y presión estática máxima de 80 m.c.a.

#### 4.3.1.2 LÍNEAS EXPRESAS

Las líneas expresas son a su vez como las redes matrices tuberías mayores de 16 plg., con la diferencia que se utilizan dentro del sistema en forma expresa conectando tanques es decir sin derivaciones o conexiones en toda su longitud. En general son tramos largos que alimentan tanques en puntos extremos y se diseñan con velocidades y presiones más altas que las redes matrices.

##### 4.3.1.2.1 Coeficientes de fricción

Los coeficientes de fricción se adoptaron con los mismos criterios de las redes matrices y asimismo la variación de la rugosidad con la edad se efectuó con base en datos experimentales y con las tablas del manual del programa WaterCAD

##### 4.3.1.2.2 Velocidades

La norma califica las líneas expresas como tuberías no conectadas en sus tramos intermedios a la red de distribución. La velocidad máxima la condiciona a la óptima utilización de la diferencia de cotas piezométricas en sus extremos, y la fija en 4.0 m/s, mientras que la mínima también la fija en 0.5 m/s.

##### 4.3.1.2.3 Presiones

Se fija como máxima presión la requerida por condiciones topográficas pero teniendo en cuenta el tipo y la clase de material. La presión mínima se establece en 4.0 m.c.a sobre la clave de la tubería en los puntos más elevados del perfil y para la condición de operación más crítica de operación

### **4.3.2 ANÁLISIS HIDRÁULICO**

#### **4.3.2.1 GENERALIDADES**

Se evalúa el sistema matriz considerando la demanda actual establecida en el último estudio de TEA, el cual establece para un escenario medio una demanda de producción de 15.1 m<sup>3</sup>/s para el año 2000. Esta demanda media es aproximadamente similar a la demanda máxima fijada por Salgado Meléndez Asociados para el año 1997.

El análisis operacional consideró la producción de Tibitóc, del orden de 6 m<sup>3</sup>/s según lo pactado en el contrato de concesión. Las bases operacionales adoptadas fueron las siguientes:

Planta Tibitóc      A partir del tanque Tibitóc Bajo - línea Ø 60"  
                            A partir del tanque Tibitóc Bajo - línea Ø 78"

Interconexiones    Tibitóc y Espinal - cerradas  
                            La Caro y Puente Piedra - abiertas.

Interconexión      calle 150 - abierta  
                            calle 92 - cerrada

Zona nor - oriental calles 198 a 129 - servida por línea Ø 60".

Zona baja norte y zona baja sur - aisladas.

Usaquén            VRP Norte - presión = 49 m.c.a  
                            VRP Sur - presión = 49 m.c.a  
                            Válvula intermedia = 59m.c.a

Control Santa Fe VRP presión = 38 m.

#### 4.3.2.2 SISTEMA BÁSICO

Se encontraron presiones mayores de 80 m.c.a aguas abajo del tanque Santa Ana, y del tanque Chicó, en la línea Santa Ana – Usaquén. También se tienen presiones altas en la zona sur de San Diego y en las tuberías del bombeo a Sierra Morena 2 y 3, y ruta alta Jerusalén. Las líneas relacionadas se presentan en el Cuadro No. 14 del Anexo 9.

Se observaron presiones inferiores a 30 m.c.a, en la zona de Suba, en la zona extrema de Bosa y en el área de Candelaria y San Francisco al sur-occidente de la ciudad, y en la zona donde se aísla totalmente la zona baja norte de la zona baja sur en cercanías del tanque Santa Lucía. También se presentan presiones bajas en sectores adyacentes a los tanques Cazucá, y Casablanca. En general las líneas con bajas presiones atienden las zonas de servicio norte y sur. En el Anexo 10 se presentan las gráficas de isopresiones para visualizar el comportamiento de las presiones en la red. En el Cuadro No. 15 del Anexo 9 se presentan en detalle las líneas.

Las velocidades superiores a 2.5m (Ver Cuadro No. 16 del Anexo 9) se observaron en las tuberías adyacentes a Santa Ana, línea Santa Ana - Usaquén y en algunos sectores en los alrededores de Casablanca. Mientras que las velocidades bajas del orden de 0.5 m/s (Ver Cuadro No. 17 del Anexo 9) se presentan en el 60% de la red, especialmente en las líneas que atienden las zonas bajas norte y sur y la zona San Diego Sur. Es de anotar que estas velocidades corresponden a condiciones de demanda media.

Los tanques Parque Nacional y Santa Lucía bajan considerablemente su nivel durante la simulación extendida, a consecuencia de la posición fijada para las válvulas reductoras de Usaquén por la EAAB - ESP.

En el Cuadro No. 18 del Anexo 9, se relacionan los caudales mayores a 1000 l/s en el sistema, los cuales se consideran de importancia por su magnitud relativa.



#### 4.3.2.3 SISTEMA VITELMA

El sistema Vitelma presenta presiones mayores de 80 m.c.a en las conducciones de 24" de Vitelma-Jalisco, especialmente en sectores en que el perfil topográfico presenta una depresión de casi 150 m. Las zonas de servicio atendidas por este sistema son Vitelma gravedad central y sur-oriental y Laguna gravedad. En el perfil topográfico e hidráulico se pueden observar las presiones a las cuales se encuentran sometidas estas líneas. En el Cuadro No. 19 del Anexo 9 se describen detalladamente las líneas mencionadas.

De otra parte también se encuentran algunos sectores donde las presiones son inferiores a los 30 m.c.a. Estos tramos se indican en el Cuadro No. 20 del Anexo 9 y básicamente pertenecen a las zonas de servicio de Vitelma gravedad.

El análisis hidráulico también detectó tramos con velocidades altas, especialmente en las líneas de servicio atendidas por Vitelma gravedad sur-oriente, por ejemplo la línea Alpes - Quindío presenta velocidades mayores de 2.5 m/s. En el Cuadro No. 21 del Anexo 9 se presentan los resultados.

De otra parte las líneas Quindío-Juan Rey y Vitelma-Santa Lucía presentan velocidades menores de 0.5 m/s. Ver Cuadro No. 22 del Anexo 9.

En el Cuadro No. 23 del Anexo 9, se relacionan los caudales mayores a 1000 l/s

#### 4.3.2.4 LÍNEAS EXPRESAS

El análisis de líneas expresas se efectuó básicamente a las conducciones principales del sistema Wiesner.

En general se encontraron algunos tramos con presiones altas (mayores de 80 m.c.a), en el túnel los Rosales y en la línea Silencio-Casablanca, sin embargo para el modelo hidráulico de líneas expresas se requiere que se termine su calibración y de esta forma

obtener resultados más concluyentes. Para tal fin se están procesando los resultados de las mediciones efectuadas por la Dirección de Operación y Control Acueducto, así mismo, se están analizando las válvulas de reducción de presión PRV's localizadas antes de las estructuras de control, con el fin de simular su comportamiento. En el Cuadro No. 24 del Anexo 9 se presentan los resultados.

Presiones menores de 30 m.c.a se encontraron en las líneas Wiesner-Los Rosales y Silencio-Vitelma. Los resultados se indican en el Cuadro No. 25 del Anexo 9.

Con relación a las velocidades en el Cuadro No. 26 del Anexo 9 se observan algunos tramos del túnel los Rosales y de la línea Silencio-Casablanca con velocidades mayores de 2.5 m/s, aunque en general están alrededor de 3.0 m/s por lo cual no se consideran críticas. En el Cuadro No. 27 del Anexo 9 se presentan los caudales mayores a 1000 l/s.

En el Anexo 10 se adjunta la siguiente información, la cual se seleccionó para tener una muestra representativa del análisis hidráulico efectuado.

- Red matriz – Sistema Básico – Inventario del Sistema
- Red matriz – Sistema Básico – Curvas de contorno de presiones para demanda media
- Línea Tibitó-Casablanca 78 plg. : Perfil topográfico y curva de presiones.
- Red matriz – Sistema Vitelma – Inventario del Sistema.
- Red matriz – Sistema Vitelma – Curvas de contorno de presiones para demanda media
- Línea Vitelma – Jalisco : Perfil topográfico, gradiente hidráulico, curva de presiones.

- Líneas Expresas – Inventario del Sistema

#### **4.3.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Del análisis anterior se establecen las siguientes conclusiones y recomendaciones para tener en cuenta en desarrollo del estudio:

- En el sistema básico son muy frecuentes tramos con velocidades bajas menores de 0.5 m/s, esta situación se explica por efectuarse la simulación para demanda media, en consecuencia para condiciones de caudales máximos horarios el comportamiento de las velocidades posiblemente se encuentra en rangos normales.
- Del análisis del perfil hidráulico de la línea Tibitó-Casablanca de 78" se observa que sus presiones están controladas, teniendo en cuenta que no se presentan presiones mayores de 60 m. Esta condición se debe a que la operación en Tibitócse efectúa a partir del tanque bajo.
- Las líneas que conducen de Vitelma a Jalisco presentan presiones muy altas, alrededor de 150 m.c.a en algunos tramos, debido a las grandes diferencias de nivel que se encuentran en su trazado, no obstante la nueva línea que actualmente se está terminando se especificó para soportar estas presiones.
- El modelo de líneas expresas se terminará de calibrar modificando los reservorios a tanques e incluyendo las reductoras de presión instaladas en las estructuras de control de los tanques El Silencio, Cazucá y Casablanca. Asimismo se aislará la conducción Wiesner-Suba y el tanque de Suba hasta tanto la EAAB defina las condiciones de operación dentro del sistema.