

8. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DETALLADA DE LA RED MATRIZ PARA SU REHABILITACIÓN

La red matriz de acueducto de Bogotá presenta en condiciones normales de operación unas características que dentro del sistema han generado inquietudes por parte de la EAAB; estas inquietudes se han traducido en prioridades para la Consultoría, las cuales son el resultado del Producto No. 2 “Análisis General y Clasificación detallado de la Red Matriz y su Funcionamiento” ; a partir de estas prioridades se inicia una etapa de investigación detallada de los sitios de interés ubicados sobre líneas prioritarias, que involucra la realización de investigaciones de campo y diagnóstico de las prioridades; también se realizaron análisis bajo condiciones hipotéticas como es la ocurrencia de un evento sísmico.

8.1. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA RED MATRIZ

A continuación, se establecen metodologías de análisis para la Red Matriz, sobre tres (3) grupos principales que son:

- Tuberías
- Cajas
- Viaductos

En este numeral, no se mencionan los accesorios, ya que estos fueron analizados en el numeral 2 de este documento.

En general las metodologías se basan en el tipo de falla o amenaza que se esté presentando, esta puede ser visible o potencial.

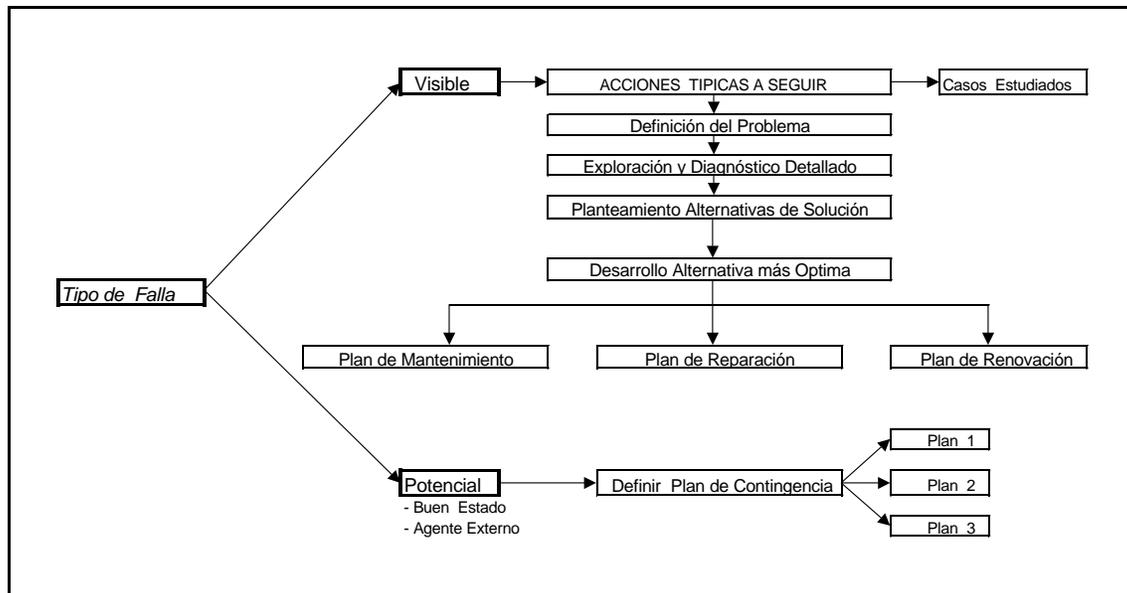
Visible: Como su nombre lo indica, es aquella falla o amenaza que es percibida mediante observación directa. Representa situaciones tangibles en el sitio.

Potencial: Corresponde a aquella falla o amenaza no observable, pero que esta latente y por tanto puede ser influenciada por agentes externos, los cuales la pueden detonar.

8.1.1 METODOLOGIA PARA LA REHABILITACIÓN DE TUBERÍAS.

En la figura 8.1 se presenta el esquema de la metodología para rehabilitación de tuberías.

Figura 8.1. Esquema de la metodología para rehabilitación de tuberías.



8.1.1.1 SITIOS CRITICOS CON FALLA POTENCIAL.

A continuación se planteará la metodología que se deberá seguir para cuando se presente una falla en alguna línea, sector o tramo de la Red Matriz, que esté calificada y

definida como de Muy Alta Prioridad y que además su falla tenga origen Potencial.

Los pasos a seguir para este caso son los siguientes:

- Selección de Tramo o Línea que esté calificada como de Muy Alta Prioridad.

De acuerdo al diámetro, defina el plan de Contingencia.

Si el diámetro es de 48", 60", 78", entonces Plan de Contingencia N° 1.

Si el diámetro es de 42", 36", 30", entonces Plan de Contingencia N° 2.

Si el diámetro es de 24", 20", 16", entonces Plan de Contingencia N° 3.

8.1.1.1.1 PLAN DE CONTINGENCIA N° 1.

Acciones Preventivas.

- Revisión del grado de vulnerabilidad y de las variables que afectan la línea, con base en los efectos físicos, externos y operativos, observando cuál(es) es(son) la de mayor incidencia.
- Inspección Visual periódica del corredor, mínimo cada 6 meses a lo largo de la línea, tratando de identificar posibles señales de afectación.
- Establecer un programa de investigación periódica, a mediano o largo plazo, en función de los factores potenciales de daño y de los resultados de las inspecciones de campo.
- Elaboración de un plan adecuado de mantenimiento.
- Plan de Monitoreo en puntos específicos.

Acciones Correctivas.

- Evaluar reporte de mantenimiento y daño, y revisar la historia para el tramo, sector y línea.
- Si es problema local y esporádico, entonces ejecute solución particular de

Rehabilitación.

- Si es problema repetitivo y generalizado, entonces consulte el problema con los Especialistas y ejecute una solución de fondo.
- La supervisión de los trabajos y acciones debe ser realizada por personal Especializado.
- Si es necesario, en función del concepto de los Especialistas, se debe efectuar un programa de investigación complementario que permita evaluar con precisión las causas del problema y poder planear las soluciones.
- Plan de monitoreo en puntos específicos.
- Se llenará el Reporte correspondiente del daño para llevar un registro estadístico de comportamiento, para actualizar la calificación de Vulnerabilidad.

8.1.1.1.2 PLAN DE CONTINGENCIA N° 2.

Acciones Preventivas.

- Revisión del grado de vulnerabilidad y de las variables que afectan la línea, con base en los efectos físicos, externos y operativos, observando cuál(es) es(son) la de mayor incidencia.
- Inspección Visual periódica del corredor, mínimo cada 6 meses a lo largo de la línea, tratando de identificar posibles señales de afectación.
- Establecer un programa de investigación periódica, a mediano o largo plazo, en función de los factores potenciales de daño y de los resultados de las inspecciones de campo.
- Elaboración de un plan adecuado de mantenimiento.

Acciones Correctivas.

- Evaluar reporte de mantenimiento y daño, y revisar la historia para el tramo, sector y línea.
- Si es problema local y esporádico, entonces ejecute solución particular de

Rehabilitación.

- Si es problema repetitivo y generalizado, entonces consulte el problema con los Especialistas y ejecute una solución de fondo.
- La supervisión de los trabajos y acciones debe ser realizada por personal Especializado.
- Si es necesario, en función del concepto de los Especialistas, se debe efectuar un programa de investigación complementario que permita evaluar con precisión las causas del problema y poder planear las soluciones.
- Se llenará el Reporte correspondiente del daño para llevar un registro estadístico de comportamiento, para actualizar la calificación de Vulnerabilidad.

8.1.1.1.3 PLAN DE CONTINGENCIA N° 3.

Acciones Correctivas.

- No realizar ninguna acción preventiva
- Revisión del grado de vulnerabilidad y de las variables que afectan la línea, con base en los efectos físicos, externos y operativos, observando cuál(es) es(son) la de mayor incidencia.
- Evaluar reporte de mantenimiento y daño y revisar la historia para el tramo, sector y línea.
- Dejar que se presente el daño
- Si es problema local y esporádico, entonces ejecute solución particular de Rehabilitación.
- Si es problema repetitivo y generalizado, entonces consulte el problema con los Especialistas y ejecute una solución de fondo.
- Se llenará el Reporte correspondiente del daño para llevar un registro estadístico de comportamiento, para actualizar la calificación de Vulnerabilidad.

Analizando el listado de Orden Prioritario de Inspección por efecto de Priorización, las líneas que entran a ésta clasificación de "Sitios Críticos con Amenaza Potencial", que

pertencen a una calificación de "Muy Alta Prioridad", se presentan en la Tabla 8.1.1.

Tabla No. 8.1.1 Sitios críticos de muy alta prioridad con falla potencial

Consecutivo	Orden Prioritario	CÓDIGO E.A.A.B.	DESCRIPCION	ZONA DE SERVICIO	DIAMETRO (Pulgadas)	LONGITUD FINAL (m)
1	2	RM16056	Las Granjas - Fontibon	Z.B.N.	16	1816.72
2	4	RD742005	Av. Ferrocarril x Cra. 50 y 112 hacia Municipios.	Z.B.N.	42	5006.57
3	6	RM16060	Avda. Boyacá a Cra. 60 x Calle 68	Z.B.N.	16	2350.00
4	7	RM16051	Calle 73 x Cra. 53.	Z.B.N.	16	3523.15
5	10	RD842008	Av. Ferrocarril x Cra. 50 y 112 hacia Municipios.	Z.B.N.	42	2980.64
6	11	RM16055	Conducción San Carlos	VITELMA GRAV.	16	1228.71
7	15	STF16125	Ciudadela Colsubsidio sector IV	Z.B.N.	16	1395.15
8	16	STF16138	Av. Centenario, Zona Franca.	Z.B.N.	16	1578.18
9	19	CC9015	Cra. 36 a la Av Primera. (HF en planos)	Z.B.S.	16	3533.40
10	21	RD4A24021	Av. Boyacá - Tibabuyes.	Z.B.N.	24	2557.47

8.1.1.2 SITIOS CRITICOS CON MANIFESTACIONES VISIBLES DE FALLA .

Para éstos casos en particular, se elaborarán soluciones específicas que involucren, criterios y soluciones, de tal forma, que trate de minimizar los efectos generados por las diferentes variables que califican la vulnerabilidad de la red los cuales serán tratados en detalle por zona de servicio.

Sin embargo, para las zonas o sitios críticos en que se presentan manifestaciones visibles de falla, se puede utilizar el siguiente procedimiento:

- Definición del problema

- Exploración y diagnóstico detallado
- Planteamiento de alternativas de solución
- Desarrollo de la solución más óptima
- Escogencia del Plan de Rehabilitación (mantenimiento, Reparación o Renovación).

Dentro de la clasificación de las líneas de la red matriz, definidas como líneas con muy alta prioridad y con manifestaciones visibles de falla, se encuentran algunas en donde los problemas asociados provienen básicamente por efecto geológico y geotécnico, y en donde su solución está íntimamente ligada a la solución de estos agentes inestabilizadores. En la Tabla 8.1.2 se relacionan las líneas de este tipo.

Tabla No. 8.1.2. Sitios críticos de muy alta prioridad con falla visible

Consecutivo	Orden Prioritario	CÓDIGO E.A.A.B.	DESCRIPCION	ZONA DE SERVICIO	DIAMETRO (Pulgadas)	LONGITUD FINAL (m)
1	13	BIV60086	Silencio – Vitelma	VIT. GRAV y CDAD. BOLIVAR	60	6787.06
2	14	BIV60081	Interconexión Tanque El Silencio – Casablanca (Salida Tanque)	Z. B. N.	48	220.00
3	17	RM16045	Distribución Tanque Los Alpes	VITELMA GRAV.	16	880.00
4	18	BIV42087	Vitelma – Columnas (Refuerzo –oriental)	VIT. GRAV. S. O.	42	1550.72
5	20	RD2742010	San Diego Norte (Parque. Nacional – San Diego)	SAN DIEGO NORTE	42	151.44

8.1.2 METODOLOGIA PARA LA REHABILITACION DE LAS CAJAS DE ACCESORIOS.

A continuación se establecerán las bases y criterios particulares para la rehabilitación de las Cajas de Accesorios, que están integradas al sistema de Red Matriz de Acueducto.

En el desarrollo del Proyecto, se analizaron las diferentes líneas que componen el Sistema de Red Matriz de Acueducto, en donde se involucran los distintos elementos o accesorios que la componen, tales como: válvulas, pitómetros, purgas, ventosas, etc, y adicionalmente, las cajas estructurales que albergan estos elementos.

En consecuencia, el resultado de la priorización, contempla tanto el efecto de la línea o tubería como tal, como los elementos o accesorios que la componen; como es el caso de sus cajas de accesorios. Así, al calificar una línea como de muy alta prioridad, se está priorizando, todos sus elementos en conjunto; por lo que quedan involucradas sus respectivas cajas.

Para el caso específico de las Cajas, que hayan sido calificadas con muy alta prioridad, a través de la calificación que se le dio a la línea, se evaluará analizando si su estado o falla está relacionada con una *falla potencial* o con una *falla visible*.

8.1.2.1 DIAGNOSTICO GENERAL

Se realizó una inspección general de las cajas ubicadas en las líneas de mayor diámetro o de mayor importancia, la cual estuvo basada en un criterio visual, efectuada por personal Especializado en el área de Estructuras, con el propósito de determinar tanto el Estado Estructural como el Operativo. De ésta actividad, se generó un archivo fotográfico, en donde se observan diferentes tipos de cajas, estado exterior de los elementos estructurales y mecánicos y aspectos de funcionalidad; así mismo, se presenta el 1 comentario pertinente. Ver Anexo 11 Registro Fotográfico de Cajas, fotos N° 1 a 115.

Para darse una idea del estado real Estructural de las Cajas, se consideraron básicamente aspectos tales como:

- Tipo y estado del material que conforman los diferentes elementos estructurales, tales como, placa de fondo, muros y placa superior o tapa.
- Existencia de Fisuras y/o Grietas.

- Presencia de desplomes o pandeos laterales de los muros.
- Evidencia de deformación o hinchamiento de la placa de fondo.
- Estado de los empates entre Tubería y Caja.
- Agentes Agresivos.

Para evaluar el estado Operativo, se tuvo en cuenta las siguientes variables:

- Facilidad de Acceso en cuanto a su ubicación e ingreso.
- Estanqueidad y Drenaje.
- Ventilación.
- Facilidad de Maniobra.

Habiendo realizado la inspección visual, teniendo en cuenta los criterios anteriormente descritos, se puede concluir que en general existen comportamientos similares entre los diferentes tipos de cajas, siendo los fenómenos o problemas más comunes los que se describen a continuación:

- Se evidencia un problema marcado en la tapa superior o acceso, debido a que se manifiestan una serie de inconvenientes de diferente índole que se pueden presentar simultáneamente. En algunos casos es prefabricada y al momento de su manipuleo, se cae al fondo de la caja. Presencia de fisuras, grietas o fallas de distintas formas y tamaños, etc.
- Dificultad en el acceso de la caja, primero por su ubicación en la calzada y luego por la dificultad de ingreso a la misma.
- Ausencia de escaleras o mala colocación de éstas, haciendo a veces casi imposible la entrada.
- Presencia de humedades, encharcamiento e inundación de la caja. En la mayoría de los casos ésta agua proviene de la escorrentía superficial de agua lluvia, debido a que el agua rueda por encima de la placa y por los accesos se filtra, esto para el caso de

cajas ubicadas en calzada; para el caso que cajas localizadas en andén o zona verde, no existen en algunos casos, los realces de los muros.

- Presencia de Basuras.
- Ambiente contaminado por falta de aireación.
- Invasión de la caja como vivienda.
- En la mayoría de las cajas inspeccionadas el estado estructural de muros y placa de fondo son buenos, ya que no se evidencian ni fisuras ni grietas ni pandeos; es decir, que el estado de los diferentes elementos estructurales de las cajas, sean en mampostería o concreto reforzado se encuentran en buen estado de funcionamiento. El único elemento estructural, que a veces tiene problemas o no cumple es la placa superior o de acceso.
- Corrosiones en los elementos de pasos de la escalera de gato de entrada.
- Los accesos se encuentran tapados por re-nivelaciones de las vías, por pasto o por otros elementos.

En la Tabla 8.1.3 se presenta la relación por líneas, de las cajas inspeccionadas visualmente.

En total se inspeccionaron 182 cajas, de las cuales 179 fueron inspeccionadas visualmente y sobre 3 cajas se realizaron ensayos de concreto.

Tabla No. 8.1.3. Relación por líneas de las cajas inspeccionadas visualmente.

Tabla No. 8.1.3. Relación por líneas de las cajas inspeccionadas

Tabla No. 8.1.3. Relación por líneas de las cajas inspeccionadas

8.1.2.2 DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA.

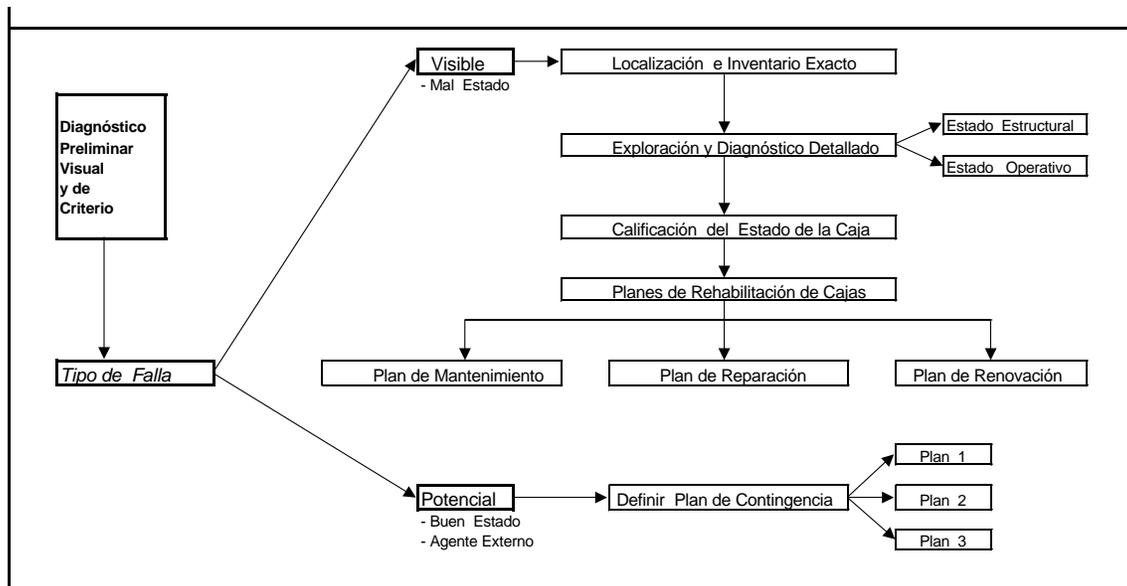
Para evaluar el estado en que se encuentran las Cajas, calificadas de muy alta prioridad, se utilizará una metodología similar a la utilizada para las conducciones o líneas, basada en la observación del tipo de falla que se esté presentado; así, se pueden distinguir dos (2) tipos de falla:

1. FALLA POTENCIAL: En donde la caja como tal, en el momento de la evaluación se encuentra en buen estado o que no presentan signos visibles que manifiesten un posible daño, pero está sujeta a condiciones o agentes externos que la pueden afectar.
2. FALLA VISIBLE: Cuando la caja en el momento de la evaluación presenta signos visibles de deterioro, es decir, que la caja se encuentra en mal estado, lo cual hace indispensable realizar algunas labores de reparación o renovación.

Para el caso asociado a una falla potencial, el procedimiento a seguir está dirigido a implementar el Plan de Contingencia que le corresponda, según la importancia de la caja. Por otra parte, para el caso cuando la falla es visible, simplemente se darán las pautas generales que se deben tener en cuenta para el arreglo específico de la caja, dado que la conformación y el estado de las cajas es muy distinto entre una y otra.

En la Figura 8.2 se presenta el esquema de la metodología para la rehabilitación de cajas.

Figura 8.2. Esquema de la metodología para la rehabilitación de cajas



8.1.2.3 CAJAS CALIFICADAS CON MUY ALTA PRIORIDAD Y CON FALLA VISIBLE.

Basados en el reporte de daños y en las conclusiones del resultado de las visitas de inspección, se establece que cada caja tiene un problema específico y diferente, que tiene que ser solucionado de forma particular.

De tal forma, dado el alcance del Estudio, se propone a continuación, dar una metodología general, que sea aplicable en la mayoría de los casos, dejando que las acciones específicas de modificación o rehabilitación de la caja, sean desarrolladas en el momento de realizar la respectiva reparación.

8.1.2.3.1 LOCALIZACIÓN E INVENTARIO DE CAJAS A REHABILITAR.

Se hace necesario la ubicación exacta de las cajas que se vayan a rehabilitar, mediante un levantamiento topográfico amarrado al sistema de coordenadas, detectando si se encuentra sobre vía, sobre calzada o zona verde, para que luego puedan ser involucradas en el Sistema de Información Geográfico (SIG), definiendo el tipo, en función al elemento principal que alberga.

Es decir, que pueden existir los siguientes Tipos de Cajas:

- De Ventosa.
- De Válvula.
- De Salida Lateral.
- De Purga.
- De Pitómetro.
- De Bocas de Acceso.
- De Otros.

Así mismo, de acuerdo a la línea que se esté rehabilitando, se realizará el inventario correspondiente.

8.1.2.3.2 EXPLORACIÓN Y DIAGNÓSTICO DETALLADO DE LA CAJA.

Esta inspección, se hará de una manera meticulosa y detallada, por personal especializado, que rinda un informe del estado real de la caja que se esté evaluando. Para esto, se deberá realizar el análisis del Estado Estructural y del Estado Operativo.

Para lo anterior, se hace necesario desarrollar por lo menos las siguientes actividades:

8.1.2.3.2.1 Estado Estructural.

Para el análisis del Estado Estructural, se considerará la Caja como tal y por otra parte, la interacción Caja - Tubería, de tal forma que, se deben tener en cuenta las siguientes actividades:

- Levantamiento preciso con dimensiones y espesores de muros.
- Tipo (s) y Estado (s) de material (es) que conforman los diferentes elementos estructurales de la caja, tales como: placa de fondo, muros, placa superior o tapa, etc.

Si es necesario, a juicio del Especialista que realiza la inspección, elaborar algunos puntos de chequeo, para cada elemento, mediante la toma de muestras o extracción de núcleos, ensayos esclerométricos o ensayos de ultrasonido. De tal forma, que se pueda inferir la capacidad de resistencia real que posee el sistema estructural.

- Detectar la presencia o no, de fisuras y/o grietas. En éste caso, es de importancia realizar un levantamiento de su localización, cantidad, sentido, profundidad y espesor, e inferir la posible causa que la originó, como pueden ser: por retracción, por corrosión, por reacción álcalis - árido, por cargas de servicio. Si el caso lo amerita, se puede llegar a hacer un monitoreo posterior colocando previamente unos testigos de prueba.
- Detectar la presencia de desplomes o pandeos laterales de los muros, anotando el sentido y magnitud.(Posible efecto de carga horizontal, por empujes del terreno o sobre empujes por acción del nivel freático).
- Detectar la presencia de deformación o hinchamiento de la placa de fondo, anotando el sentido y magnitud. (Posible efecto de subpresión).
- Detectar desagregaciones o ataques químicos por corrosión en concretos, morteros

y/o armaduras.

- Inspeccionar minuciosamente, la unión interna de la tubería con la pared de la caja, tratando de detectar posibles fugas o filtraciones de agua, o sobre esfuerzos en la caja manifestados en posibles agrietamientos.
- En los casos en que se esté rehabilitando tanto la tubería como las cajas, existe entonces la posibilidad de realizar un chequeo exterior a la caja y su interacción con la tubería de llegada y salida. Como es sabido, esta unión cobra mayor importancia bajo efectos sísmicos y de asentamiento diferencial; por lo que se recomienda la implementación de articulaciones o juntas flexibles a ambos lados de la caja.

Por lo anterior, para establecer si es necesario la localización de estas articulaciones sobre la red matriz, se deberá tener en cuenta los siguientes tres (3) criterios:

- 1) Por efecto sísmico. Se localizarán articulaciones para las líneas que fueron calificadas con un valor de muy alta vulnerabilidad, teniendo en cuenta solamente el efecto de sismo.
- 2) Por asentamiento diferencial. Se localizarán articulaciones para las líneas que estén localizadas en dos estratos diferentes. Suelo Blando - Suelo Duro.
- 3) Definir si dadas las características de funcionamiento de la caja, se hace necesario la localización de elementos de anclaje, para absorber fenómenos dinámicos producidos por efectos hidráulicos y que no se hubieran contemplado en su diseño inicial o que las necesidades actuales lo requieran.

8.1.2.3.2.2 Estado Operativo.

Para el análisis del Estado Operativo, se tuvo en cuenta principalmente, la funcionalidad de la caja, aspecto éste, que no está relacionado directamente con la estabilidad y resistencia de la caja, pero que tiene un papel preponderante en la función que desempeña.

Por lo que a continuación, se enumerarán y se explicarán las variables mas importantes que intervienen:

- **Acceso.** En este punto es muy importante tener en cuenta su Ubicación; para determinar si está localizada en vía, calzada o zona verde. Entrada que debe tener una facilidad de acceso, tanto para el personal para realizar el mantenimiento como para el ingreso y salida de accesorios y materiales. Seguridad; la cual está relacionada con una tapa de seguridad, para impedir la entrada a la caja de personas no autorizadas, evitando la mala operación, el contrabando, la vivienda y las basuras.
- **Estanqueidad y Drenaje.** Es de vital importancia que la caja se encuentre estanca, sin presencia de humedades, ni de encharcamientos, ni con niveles altos de inundación, para que los elementos que contenga no estén sometidos a condiciones agresivas de corrosión y para la facilidad de operabilidad, mantenimiento e inspección.
- **Ventilación.** Para mantener un ambiente sin humedades y además, que sea respirable sin presencia de gases perjudiciales, es conveniente que se cuente con un sistema de aireación natural, mediante la instalación de conductos que renueven el aire de la caja.
- **Facilidad de Maniobra.** Es importante, que la disposición y localización de los elementos que contiene la caja, estén dispuestos de tal manera, que permitan fácilmente a los operadores realizar las distintas labores de mantenimiento u operación.

8.1.2.3.3 CALIFICACIÓN DEL ESTADO DE LA CAJA.

Con base en el punto anterior, en donde se realiza la exploración y diagnóstico de la caja, teniendo en cuenta el Estado Estructural y Operativo, se puede entonces establecer el estado real de la caja, para recomendar así, que tipo de intervención se le debe realizar

en su rehabilitación.

Para lo anterior, se hace necesario que lo realice una persona competente y especializada, para que según su criterio, los problemas detectados y las necesidades propias de la rehabilitación, recomiende las acciones mas convenientes y en consecuencia el plan de contingencia a seguir para su Rehabilitación, sea de Mantenimiento, Reparación y/o Renovación.

8.1.2.3.4 PLANES DE REHABILITACIÓN DE CAJAS.

A continuación se describirán las diferentes acciones, actividades y alcances que se deben realizar para cada uno de los Planes anteriormente definidos.

8.1.2.3.4.1 *Plan de Mantenimiento.*

Este Plan se refiere al caso cuando el estado de la caja es aceptable, tanto en su Estado Estructural como en su Estado Operativo, por lo que las actividades a desarrollar están encaminadas a desarrollar un Mantenimiento Preventivo, el cual debe ser periódico y encaminado a realizar labores de limpieza, impermeabilización, pinturas protectoras, evacuación de aguas, destapes de sifones y ductos, etc.

8.1.2.3.4.2 *Plan de Reparación.*

La implementación de éste Plan, está pensado en tres aspectos: el primero, como una *Reparación Menor*, que tiende simplemente a restablecer las condiciones iniciales de los acabados o accesorios inherentes a la caja, tales como: tapas, escaleras, realces, pañetes, etc.

El segundo, como un *Reforzamiento*, el cual tiende a restablecer las condiciones iniciales

de resistencia de los elementos estructurales de la caja por efecto de alguna falla.

Y el tercero, catalogado como *Ampliación*, pensado para cuando se tenga la necesidad de reformar o de ampliar la caja, adosando un nuevo espacio a la caja existente, la cual debe cumplir con todas las Normas y Especificaciones estipuladas para su Diseño y Construcción.

8.1.2.3.4.3 Plan de Renovación.

Para éste caso, se considera la posibilidad de realizar un cambio sustancial o total de la caja existente, por lo que se hace necesario la demolición parcial y/o total de la Caja, para luego realizar una construcción totalmente nueva, teniendo en cuenta las Normas y Especificaciones estipuladas para su Diseño y Construcción.

8.1.2.4 CAJAS CALIFICADAS CON MUY ALTA PRIORIDAD Y CON FALLA POTENCIAL.

Teniendo en cuenta que para las líneas, ya se habían estipulado los distintos Planes de Contingencia, para ésta condición de amenaza potencial, en función del diámetro de la tubería; se planteará entonces planes de contingencia correspondientes a los anteriores, pero dirigidos a la adecuación de las cajas de accesorios.

Para la escogencia del Plan de Contingencia, que se debe utilizar para la adecuación de las cajas, se tendrá en cuenta el tipo (1, 2, o 3) de Plan de Contingencia escogido para la tubería, y se elegirá el correspondiente para las cajas; es decir, si se eligió el Plan de Contingencia N° 1 para la tubería, se elegirá entonces, el correspondiente Plan de Contingencia N° 1 para las Cajas, y así sucesivamente.

8.1.2.4.1 PLAN DE CONTINGENCIA PARA CAJAS N°1 (CAJAS CON ACCESORIOS DE 48" A 78")

Acciones Preventivas.

- Revisión de las variables o agentes detonantes que afectan la caja (efectos físicos y externos), observando cuál o cuáles son los de mayor incidencia, teniendo en cuenta alguna manifestación de filtración por el empate de los elementos de la tubería con la caja.
- Inspección visual periódica de la Caja, mínimo cada 6 meses, tratando de identificar posibles señales de afectación. Fisuras o grietas, en la placa de fondo o en los muros de soporte, placa superior, etc.
- Establecer un programa de investigación periódica a mediano o largo plazo, en función de los factores potenciales de daño y de los resultados de las inspecciones de campo.
- Elaboración de un plan adecuado de mantenimiento.
- Plan de monitoreo en puntos específicos. (Implementación de Testigos en grietas o fisuras).

Acciones Correctivas.

- Evaluar reporte de mantenimiento y daño y revisar historia de la caja.
- Si es problema específico y esporádico, entonces ejecute una solución particular de Rehabilitación.
- Si el problema es repetitivo y generalizado, entonces consulte el problema con los Especialistas y ejecute una solución de fondo.
- La supervisión de los trabajos y acciones, debe ser realizada por personal Especializado.
- Si es necesario, en función del concepto de los Especialistas, se debe efectuar un programa de investigación complementario, que permita evaluar con precisión las causas del problema y poder planear las soluciones.

- Plan de monitoreo en puntos específicos.
- Se llevará un reporte correspondiente del daño, para llevar un registro estadístico de comportamiento.

8.1.2.4.2 PLAN DE CONTINGENCIA PARA CAJAS N° 2 (CAJAS CON ACCESORIOS DE 30" A 42")

Acciones Preventivas.

- Revisión de las variables o agentes detonantes que afectan la caja efectos físicos y externos, observando cuál o cuáles son los de mayor incidencia, teniendo en cuenta alguna manifestación de filtración por el empuje de los elementos de la tubería con la caja.
- Inspección visual periódica de la Caja, mínimo cada 6 meses, tratando de identificar posibles señales de afectación. Fisuras o grietas, en la placa de fondo o en los muros de soporte, placa superior, etc.
- Establecer un programa de investigación periódica a mediano o largo plazo, en función de los factores potenciales de daño y de los resultados de las inspecciones de campo.
- Elaboración de un plan adecuado de mantenimiento.

Acciones Correctivas.

- Evaluar reporte de mantenimiento y daño y revisar historia de la caja.
- Si es problema específico y esporádico, entonces ejecute una solución particular de Rehabilitación.
- Si el problema es repetitivo y generalizado, entonces consulte el problema con los Especialistas y ejecute una solución de fondo.
- La supervisión de los trabajos y acciones, debe ser realizada por personal Especializado.
- Si es necesario, en función del concepto de los Especialistas, se debe efectuar un

programa de investigación complementario, que permita evaluar con precisión las causas del problema y poder planear las soluciones.

- Se llevará un reporte correspondiente del daño, para llevar un registro estadístico de comportamiento.

8.1.2.4.3 PLAN DE CONTINGENCIA PARA CAJAS N° 3 (CAJAS CON ACCESORIOS DE 16" A 24")

Acciones Correctivas.

- No realizar ninguna acción preventiva y dejar que se presente el daño.
- Revisión de las variables o agentes detonantes que afectan la caja efectos físicos y externos, observando cuál o cuáles son los de mayor incidencia, teniendo en cuenta alguna manifestación de filtración por el empate de los elementos de la tubería con la caja.
- Evaluar reporte de mantenimiento y daño y revisar historia de la caja.
- Si es problema es específico y esporádico, entonces ejecute una solución particular de Rehabilitación.
- Si el problema es repetitivo y generalizado, entonces consulte el problema con los Especialistas y ejecute una solución de fondo.
- Se llevará el reporte correspondiente del daño, para llevar un registro estadístico de daños.

8.1.3 METODOLOGIA PARA LA REHABILITACION DE LOS VIADUCTOS.

Dentro de los elementos o estructuras que conforman la Red Matriz, se encuentran los Viaductos o cruces elevados, los cuales se consideraran por aparte, ya que algunos de estos, no están clasificados, dentro de las líneas calificadas con muy alta prioridad, pero que ameritan y requieren una evaluación, análisis, diagnóstico y propuesta de alternativas de soluciones para su rehabilitación.

Se analizarán los problemas, teniendo en cuenta la incidencia y relación de los efectos de las diferentes especialidades y se propondrán las soluciones que sean más factibles, funcionales y seguras, contemplando, al igual que en el caso anterior, una valoración, unos planes de contingencia y unas soluciones definitivas y particulares, dependiendo del estado del viaducto a considerar.

8.1.3.1 DIAGNOSTICO GENERAL

Se realizó una inspección general, a varios de los Viaductos o Cruces elevados, efectuada por personal especializado en las diferentes áreas y bajo un criterio visual, con el objetivo de determinar tanto el Estado Estructural como los diferentes aspectos de Funcionalidad.

Para el análisis del estado real de los diferentes Viaductos, se tuvieron en cuenta aspectos tales como:

- Tipo y estado del material que conforman los diferentes elementos estructurales, tales como: Apoyos, Vigas, Soportes y la misma tubería,
- Existencia de Fisuras y /o Grietas.
- Presencia de desplomes, inclinaciones o pandeos laterales en apoyos.
- Evidencia de deformaciones, en vigas, placas o soportes de la tubería
- Estado de empates o uniones
- Deterioro superficial debido a Agentes Agresivos.

Los sitios y Viaductos inspeccionados se relacionan en la Tabla 8.1.4.

Tabla No. 8.1.4. Relación de viaductos inspeccionados visualmente

LÍNEA	CÓDIGO DE LA LÍNEA	SITIO	TIPO TUBERÍA	DIÁMETRO VIADUCTO (PULG)	EVALUACIÓN
Tibitóc-Usaquén	CC9003	Humedal del Teusacá (Fotos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 8)	Acero	60	MEJORAMIENTO CIMENTACIÓN
Vitelma-Diana Turbay (Monteblanco)	CC9011	Quebrada la Pichosa (Foto 24)	Acero	20	MONITOREO Y SEGUIMIENTO POR SOCAV. (Costado occidental)
Vitelma-Diana Turbay (Monteblanco)	CC9011	Cruce sobre el río San Cristóbal (Fotos 53 y 54)	Acero	24	BUEN ESTADO
Conducción Funza-Mosquera-Madrid	RM3015	Río Bogotá (Fotos 25, 26 y 27)	Acero	30	BUEN ESTADO
Refuerzo a suba	Línea Nueva	Río Juan Amarillo con Avenida Boyacá (Fotos 28 y 29)	Acero	36	BUEN ESTADO
Tibitóc-Casablanca (tramo rehabilitado)	RM78001	Río Juan Amarillo con Avenida Boyacá (Fotos 30, 31 y 102)	Acero	78	REHABILITADO
Tibitóc-Casablanca	RM78001	Río Tunjuelito (tramo la Chucua)	Concreto	78	MEJORAMIENTO CIMENTACIÓN
La Laguna-Monteblanco	CC9012	Quebrada Yomasa-Intersección Av. Caracas (Carretera Usme x Av. V/cio) (Fotos 36 y 37)	Acero	20	RECUBRIMIENTO DE PROTECCION
La Laguna-Monteblanco	CC9012	Planta La Laguna-Tanque Uval (Fotos 40, 41, 42 y 43)	Acero	20	RECUBRIMIENTO DE PROTECCION
La Laguna-Monteblanco	CC9012	Costado Sur Tanque Uval (Fotos 44 y 45)	Acero	20	RECUBRIMIENTO DE PROTECCION
Quindío-Juan Rey	RM24108	Quebrada el Zuque, al sur del tanque el Quindío (Fotos 46, 47, 48 y 49)	CCP	24	ENCAMISADO DE LA TUBERÍA
Regadera-Vitelma (agua cruda)	CC9005	Cruce sobre el río San Cristóbal (Fotos 51 y 52)	Acero	36	RECUBRIMIENTO DE PROTECCION
Vitelma-Columnas (Brazo occidental)	RD1942009	Cruce sobre el río San Cristóbal (Foto 55)	Acero (recubierta en concreto)	42	BUEN ESTADO
Conducción estación de bombeo Suba	RD3A24019	Calle 153 con Cra 50 (Canal Córdoba) (Fotos 56, 57, 58, 59 y 60)	Acero (recubierta en concreto)	24	BUEN ESTADO
Línea a Suba	BIV60092	Calle 127 con Av. Córdoba		60	BUEN ESTADO
Línea Av. primera	CC9013	Frente estructura control Vitelma (Fotos 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21)	Acero	20	FUERA DE SERVICIO
Zona Baja Sur-Brazo Oriental	CC9008	Quebrada el Arzobispo	Acero	24	BUEN ESTADO
Línea refuerzo Puente Aranda-Kennedy	JR241601	Canal Fucha (Foto 102)	CCP	24	BUEN ESTADO

NOTA: Las fotos referenciadas se encuentran en el anexo 11, registro fotográfico viaductos.

De la inspección visual realizada y teniendo en cuenta los criterios anteriormente

descritos, los problemas detectados, en su gran mayoría, no están afectando el Sistema Estructural como tal, sino aspectos que afectan la parte física, más no la Operativa hasta el momento; existiendo algunos Viaductos que ameritan más profundidad en sus investigaciones con la obtención de información primaria, (Humedal de Teusacá).

Los problemas más comunes que se han presentado en los Viaductos en general, son los siguientes:

- En su gran mayoría, el deterioro en la capa superficial del recubrimiento de la tubería metálica, generando corrosión.
- En algunos casos, se aprecia socavamiento en la base de los apoyos.
- Daños localizados en la cara superior de la tubería, en la capa del concreto, por arrastre de material del río.
- Acumulación de basuras en los apoyos dentro del río.

Todo esto se muestra y está registrado en el archivo fotográfico de viaductos que se presenta en anexo 11. El análisis estructural del Viaducto del Humedal de Teusacá se presenta en el anexo 3.

8.1.3.2 DESCRIPCION DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA PARA ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DETALLADO DE VIADUCTOS, A INSPECCIONAR EN EL FUTURO.

Para Evaluar el Estado en que se encuentran los diferentes Viaductos, y poder calificar su prioridad para la Rehabilitación, se hace necesario establecer un procedimiento para la Evaluación y Diagnóstico y con los resultados, poder plantear las estrategias de rehabilitación a seguir, sea Mantenimiento, Reparación, Reforzamiento o Renovación.

Para esto se hace necesario realizar las siguientes labores:

8.1.3.2.1 LOCALIZACIÓN E INVENTARIO DE VIADUCTOS A REHABILITAR.

Se requiere la ubicación exacta del Viaducto, con sus respectivas coordenadas, de tal manera que queden registradas en el Sistema de Información Geográfica (SIG), definiendo el tipo de viaducto, en función del tipo de tubería, diámetro, longitud, conformación estructural, sistema de apoyos, etc.

8.1.3.2.2 INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL VIADUCTO.

Esta inspección se hará de una manera detallada, por personal especializado, para establecer el Estado real del Viaducto, tanto desde el punto de vista Estructural, como Operativo, de tal manera que se pueda definir si se requiere o no de una evaluación más específica, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo y estado del material que conforman los diferentes elementos del Viaducto.
- Localización de zonas deterioradas o daños localizados.
- Detectar presencia o no de Fisuras y/o Grietas.
- Detectar presencia de desplomes o pandeos laterales en apoyos, anotando sentido y magnitud.
- Detectar deformaciones o desplazamientos horizontales o verticales, en placas, vigas, o elementos de soporte.
- Detectar agentes agresivos o ataques químicos.
- Inspeccionar empates o uniones entre tuberías.

8.1.3.2.3 CALIFICACIÓN DEL ESTADO DEL VIADUCTO.

Debe ser realizada por personal Competente y Especializado, para que según su criterio y los problemas detectados con base en el punto anterior, en donde se realiza la exploración y diagnóstico del estado del Viaducto, recomiende las acciones mas convenientes para la Rehabilitación, sea Mantenimiento, Reparación y/o Renovación.

8.1.3.2.4 PLANES DE REHABILITACIÓN PARA LOS VIADUCTOS.

A continuación se describen las diferentes acciones, actividades y alcances que se deben realizar para cada uno de los Planes anteriormente definidos.

8.1.3.2.4.1 *Plan de Mantenimiento.*

Este Plan se refiere cuando el estado del Viaducto es aceptable, tanto en su Estado Estructural como en su Estado Operativo, por lo que las actividades a desarrollar están encaminadas a desarrollar un Mantenimiento Preventivo, el cual debe ser periódico y encaminado a realizar labores de limpieza, Impermeabilización, pinturas protectoras, etc, llevando un registro y control de estas actividades.

8.1.3.2.4.2 *Plan de Reparación.*

La implementación de éste Plan, está pensado en dos aspectos: el primero, como una *Reparación Menor*, que tiende simplemente a restablecer las condiciones iniciales de los acabados o accesorios inherentes al viaducto, tales como: soportes, sistemas de protección.

El segundo, como un *Reforzamiento*, el cual tiende a restablecer las condiciones iniciales de resistencia de los elementos estructurales del viaducto por efecto de alguna falla.

8.1.3.2.4.3 *Plan de Renovación.*

Para éste caso, se considera la posibilidad de realizar un cambio sustancial o total del viaducto existente, por lo que se hace necesario la demolición parcial y/o total del Viaducto, para luego realizar una construcción totalmente nueva, teniendo en cuenta las

Normas y Especificaciones estipuladas para su Diseño y Construcción.

Con el fin de estudiar detalladamente los sitios definidos como prioritarios de acuerdo al Producto 2 y luego de obtener los resultados de los ensayos de laboratorio y realizar las visitas de campo a continuación se presenta el análisis detallado para cada uno de los sitios críticos establecidos de acuerdo a la priorización obtenida como resultado de las actividades del Análisis General de la Red Matriz y su Funcionamiento.

8.1.3.3 CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DETALLADO DE CRUCES EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA ALTA.

Se presenta en este numeral las consideraciones básicas que se deben tener en cuenta para la realización de estudios detallados, de los cruces de tuberías que se localizan en las zonas de amenaza sísmica alta.

8.1.3.3.1 PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN

8.1.3.3.1.1 Investigación Geotécnica y Sísmica:

Con el fin de establecer las condiciones geotécnicas se deben efectuar un programa de investigación del subsuelo que contemple:

1. Perforaciones y ensayos de Campo:

Perforaciones de 30 m de profundidad con sistemas mecánicos de percusión y lavado, separados cada 40 m a lo largo del eje del tubo, a lo largo de las zonas bajas o rondas de inundación del río Tunjuelito, o Teusacá según el caso, incluyendo por lo menos una perforación en los bordes de las zonas bajas.

Se debe contemplar sistemas de muestreo de alta calidad en suelos cohesivos de consistencia blanda a media mediante el uso de tubos de pared delgada (ASTM-D1587) o por medio del uso de pistón estacionario, con recuperación de muestras cada 1.5 m, o en los cambios de estratificación. A profundidades intermedias se deben efectuar ensayos de veleta de campo VST (ASTM D 2573). En los suelos arenosos se debe efectuar el ensayo de penetración estándar SPT (ASTM-D586), cada 1.0 m o en los cambios de estrato.

Las perforaciones se pueden alternar con métodos indirectos de exploración, tales como ensayos con el Cono Estático CPT (ASTM D3441), dilatómetro u otros ensayos in-situ que permitan una evaluación de los parámetros de resistencia y compresibilidad del suelo.

Para determinar los parámetros sísmicos del subsuelo se deben efectuar por lo menos dos ensayos lineales para la medición de la velocidad de propagación de ondas de corte y compresión en el subsuelo. Se pueden contemplar ensayos sísmicos del tipo Down Hole, piezocono sísmico o Cross Hole, que permita una evaluación confiable de los parámetros dinámicos del suelo por lo menos a 30 m de profundidad.

Con el fin de establecer la profundidad aproximada del depósito de suelos blandos en la zona de estudio se debe efectuar por lo menos un ensayo geoelectrico o sísmico con una profundidad de exploración de por lo menos 200 m.

Para definir el perfil de presiones de poros con la profundidad se recomienda la instalación de tres piezómetros de tubo abierto con punta porosa tipo Casagrande a profundidades de 10, 20 y 30 m. Se deben tomar por lo menos unas tres lecturas de cada instrumento durante la etapa de exploración.

2. Ensayos de Laboratorio:

Se deben efectuar los siguientes ensayos:

- Ensayos básicos de clasificación de suelos, tales como contenido de humedad,

límites líquido y plástico, contenido de materia orgánica granulometrías por tamizado mecánico, porcentaje de material que pasa el tamiz 200, peso unitario y peso específico de sólidos. Estos ensayos se deben programar seleccionando muestras representativas que permitan obtener un buen muestreo estadístico de las tendencias de los diferentes parámetros en cada uno de los estratos.

- Ensayos para determinar los parámetros estáticos de resistencia al corte y compresibilidad; se deben efectuar ensayos de compresión triaxial consolidados isotrópicamente, no drenados y midiendo presiones de poros, por lo menos dos ensayos separados cada 5 m de profundidad en las zonas de suelos cohesivos de consistencia firme a dura (sobreconsolidados) y por lo menos dos en la zona de suelos cohesivos blandos (ligeramente sobreconsolidados) separados cada 10 m de profundidad. Se debe incluir paralelamente un ensayo de consolidación unidimensional lenta por cada ensayo triaxial estático.
- Ensayos de columna resonante (ASTM-D4015-92) y triaxiales cíclicos (ASTM-D5311-92) para establecer la variación de los parámetros de compresibilidad y de amortiguamiento del suelo para un umbral variable entre 1×10^{-1} y 1×10^{-6} , de deformación unitaria de corte.

8.1.3.3.1.2 *Investigación Estructural:*

Con el fin de evaluar el comportamiento y estado de las estructuras de concreto, metálicas o combinadas, se recomienda efectuar la siguiente investigación detallada:

- Efectuar un levantamiento topográfico detallado del sitio, con la geometría, dimensiones, conformación estructural y tipo de cimentación. En este último caso se deben efectuar apiques temporales en el lecho del cauce con el fin de determinar las dimensiones y tipo de cimiento. En caso de prever la posible existencia de cimentaciones profundas con pilotes hincados y pre-excavados se deben programar pruebas de integridad PIT, por lo menos 1 por cada apoyo.

- Realizar Ensayos in situ y toma de muestras para ensayos de laboratorio sobre los diferentes elementos de la estructura, para determinar la calidad, distribución y tipo de refuerzo, por medio de la conformación de regatas en la superficie y/o a través de sistemas indirectos por ultrasonido o similares .
- Por otra parte se recomienda efectuar ensayos de resistencia in situ “índice esclerométrico”, efectuado con la Norma NTC 3692 (ASTM C-805-94) para un análisis estadístico complementándolo con la extracción de núcleos de concreto para la determinación de la resistencia a la compresión, de acuerdo con lo exigido por la norma NSR - 98
- Adicionalmente se pueden realizar ensayos de contenidos de cemento en el concreto, contenido aproximado de ión sulfato y ión cloruro, profundidad de carbonatación, etc, entre otros, para ver la calidad y estado de los concretos
- Los ensayos deben realizarse de acuerdo con la normatividad existente, cuando la hay, o de acuerdo con el procedimiento interno del laboratorio que realice los ensayos.

8.1.3.3.2 ANÁLISIS DE INGENIERIA:

8.1.3.3.2.1 Tipificación del perfil del subsuelo:

Con base en los resultados del programa de investigación geotécnica y sísmica se debe establecer un perfil promedio típico a lo largo de la tubería identificando los diferentes estratos que conforman el subsuelo y definiendo para cada uno de ellos su clasificación geotécnica, los parámetros físicos promedio y mecánicos de resistencia y compresibilidad, incluyendo las curvas del módulo dinámico de corte y amortiguamiento vs deformación unitaria de corte para las capas mas representativas del perfil.

8.1.3.3.2.2 *Análisis Sísmico:*

1. Determinación del perfil de aceleración en superficie:

Se debe establecer el perfil de aceleraciones en superficie a lo largo de la tubería para sismos de diferente intensidad según los siguientes casos los cuales están contemplados dentro del Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá:

- Sismo fuerte en la falla frontal
- Sismo cercano en la falla frontal
- Sismo lejano

El perfil se debe determinar por medio de modelos bidimensionales del suelo, en función del perfil promedio obtenido del programa de investigación geotécnica, teniendo en cuenta los parámetros de compresibilidad y de amortiguamiento de cada uno de los estratos representativos y su variación con el nivel de deformaciones unitarias. Para estos modelos se sugiere el uso de modelos de elementos finitos bidimensionales, teniendo en cuenta la variación de los diferentes parámetros y los rangos de deformación unitaria esperados según la intensidad del sismo.

Los resultados deben ilustrar los efectos locales de amplificación de ondas sísmicas por cambios topográficos en los espesores de depósito o variaciones en la compresibilidad de los suelos, para efectos de ondas de corte y compresión y su combinación.

2. Evaluación del potencial de licuación:

Con base en las condiciones de aceleración sísmica en superficie obtenida del modelo sísmico y en las condiciones del subsuelo del sector se debe determinar la probabilidad de licuación de suelos y los posibles asentamientos adicionales que éstos generan para

sismos de diferente intensidad, teniendo en cuenta en los análisis el tipo de suelo, el contenido de finos y su grado de plasticidad. En estos análisis se debe tener en cuenta la variación de los parámetros de resistencia del suelo con el objeto de establecer la posible variación de los asentamientos.

3. Determinación de las cargas o deformaciones dinámicas:

Con base en los resultados del modelo de deformación sísmica para sismos de diferente intensidad, se deben establecer la magnitud de los esfuerzos o deformaciones temporales y permanentes sobre la tubería (caso de tuberías enterradas) y compararlos con los límites tolerables indicados por el fabricante.

Para el caso de pasos elevados se deben establecer la magnitud de las cargas dinámicas esperadas en la estructura y la cimentación, y verificar si esta cumple o no con dichas solicitudes.

Dentro de estos análisis se debe adicionar el efecto de deformaciones inducidas por la licuación de suelos.

8.1.3.3.3 ANÁLISIS GEOTÉCNICO:

Los análisis geotécnicos se deben efectuar en función de las variables que generan afectación sobre la tubería así:

8.1.3.3.3.1 Zonas con problemas de socavación:

Se debe efectuar una evaluación hidráulica de la cuenca del río que permita establecer un modelo de crecientes (niveles de creciente y velocidad del flujo) en el sitio del cruce para diferentes periodos de retorno. Con base en los resultados de este modelo hidráulico se debe evaluar efectos de socavación general y local sobre los apoyos de la estructura en el

caso de pasos elevados y profundidades m' máximas de socavación en el caso de tuberías enterradas.

8.1.3.3.3.2 Condiciones de estabilidad y deformación:

Se deben evaluar las condiciones de estabilidad y deformación de la cimentación existente y/o proyectada teniendo en cuenta las diferentes variables que pueden incidir en su comportamiento, tales como problemas de socavación, potencial de licuación de suelos y cargas sísmicas.

Como resultados de estos análisis se debe determinar las condiciones de seguridad y deformaciones esperadas de la cimentación existente y en caso de requerirse, el planteamiento de alternativas de recalce de la cimentación o mejoramiento de suelos, según el caso.

8.1.3.3.4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL:

Con la información de los resultados de los diferentes ensayos, se harán los respectivos análisis, simulaciones y chequeos de la estructura , determinando la capacidad portante y estado de la misma ante las cargas actuantes y ante el evento de un sismo, para así poder establecer las condiciones de estabilidad y seguridad de la estructura, comparando los valores de esfuerzos y resistencias actuantes, contra los admisibles para cada material y elemento de la estructura.

A partir de estos resultados y con el diagnóstico respectivo, se definirá el tipo de intervención que se requiere, sea el recalce de la cimentación y/o de algún elemento de la estructura del cruce analizado, o su total renovación.

8.2. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LLUVIAS Y OTROS FACTORES DETONANTES EN LA ESTABILIDAD DE LADERAS A LO LARGO DE LA RED MATRIZ

Se presenta en este numeral, los procedimientos y resultados de la evaluación de la incidencia de lluvias y otros factores detonantes en la estabilidad de laderas a lo largo de la Red Matriz de Distribución localizada en la zona montañosa de la ciudad de Bogotá. Para esta evaluación se tomaron como referencia los resultados del Estudio de Amenaza geotécnica realizado recientemente por el DPAE, el cual se basa en la combinación de varios modelos semicuantitativos de estabilidad de laderas; estos resultados se compararon con modelos cuantitativos teóricos de estabilidad de taludes que incluyen la incidencia de lluvias de diferentes periodos de retorno y la determinación para cada caso de la aceleración horizontal por sismo que genera inestabilidad.

8.2.1 METODO CUANTITATIVO PARA LA EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE LADERAS

Los métodos cuantitativos para el análisis de la estabilidad de laderas se basan en modelos simples de equilibrio límite; estos métodos se basan en la evaluación de las condiciones de equilibrio estático de una masa limitada por una superficie de falla. La estabilidad se representa en términos de un factor de seguridad FS que relaciona los esfuerzos de corte resistentes con los esfuerzos de corte actuantes a lo largo de esta superficie.

8.2.1.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERAS

Con base en los resultados del reconocimiento de campo, la red matriz se proyecta en terrenos de pendiente moderada con la presencia de suelos de poco espesor y baja

topográficos de los sitios de mayor prioridad.

Los parámetros de resistencia del suelo y las profundidades de las zonas susceptibles a la falla se determinaron de varias fuentes dentro de las cuales destacamos el Estudio De Zonificación Geotécnica del DPAAE, 1998, base de datos de perforaciones y ensayos de laboratorio de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y los resultados del Programa de Exploración Geotécnica desarrollado para este estudio. Se analizaron dos condiciones de estabilidad: la primera bajo condiciones normales y la segunda teniendo en cuenta efectos de ablandamiento de suelos arcillosos por la infiltración de agua y saturación del suelo.

8.2.1.1.2 INFLUENCIA DEL SISMO EN LA ESTABILIDAD

Para contemplar la influencia del sismo se aplicó la siguiente expresión propuesta por K.Ishijara y Hsu, 1989:

$$a_{\max}/g = (C_D/C FS - 1) * \tan \beta \quad (2)$$

donde:

a_{\max} es la aceleración detonante y

FS es el factor de seguridad del talud antes del sismo.

La relación entre la cohesión dinámica C_D y la cohesión estática C se adoptó igual a 1.0 para suelos no cohesivos; 1,5 para suelos cohesivos de plasticidad baja a media (suelos residuales) y de 2.0 para suelos muy plásticos (suelo lacustre).

8.2.1.1.3 INFLUENCIA DE LLUVIAS EN LA ESTABILIDAD DE LADERAS

Para evaluar el efecto de lluvias se aplicó el mismo procedimiento utilizado en el estudio

de Amenaza Geotécnica de la UPES que incluye:

La incorporación del volumen de agua lluvia como una función del parámetro de presión de poros (ru) según el criterio propuesto por LUMB

La estimación del agua infiltrada en función de la precipitación, según el método SCS-CN del USDA (Chow y otros., 1988 y Waniesla, 1990), que se basan en la cobertura vegetal y el tipo de material.

Los parámetros de entrada de este modelo son los siguientes

CN Número de curva que depende de la cobertura del suelo y el tipo de material.

$0 < CN < 100$

CN = 0 Suelo permeable

CN = 100 Suelo impermeable

Se adoptaron los siguientes valores promedio para suelo en estado seco (criterio conservador) con las siguientes categorías:

Suelo A: CN = 32 Conos del Tunjuelo, Talus y depósitos aluviales.

Suelo B: CN = 50 Arenisca dura, arenisca tierna, arenisca del cacho, arenisca de la regadera, Formación Tilatá, conos de deyección, suelos de la sabana, Terraza alta y flujos de tierra

Suelo C: CN = 62 Lidita del Plaeners, Limolita de Labor, areniscas del Guaduas Medio, Suelos residuales, depósitos fluvio-glaciares, terrazas bajas, depósitos coluviales.

Suelo D: CN = 69 Arcillolitas del Guaduas superior e inferior y Formación Bogotá.

Se considera una condición de cobertura vegetal con pastos que es la condición mas frecuente encontrada a lo largo de la red.

P Precipitación acumulada (mm) en 24 horas. Para su estimación se utilizaron las curvas de intensidad-duración-frecuencia de la EAAB, para la zonificación del Río Bogotá, que cumplen con la siguiente ecuación:

$$P \text{ (mm)} = a \text{ Tr}^b \quad (3)$$

Donde:

a, b son parámetros de ajuste potencial

Tr Período de recurrencia de lluvias

Los valores de a y b para las cinco zonas de lluvias se presentan en la Tabla 8.2.1.

Tabla No. 8.2.1. Valores de a y b para cinco zonas de lluvia, según curvas de intensidad-duración-frecuencia de la EAAB para la zonificación del río Bogotá

ZONA	a	b
1-Entre San Diego –Usaquen	92.67	0.19
2- Entre Santa Lucia-San Diego	80.46	0.21
3- Techo, Fontibón y entre el costado sur de Santa Lucia y zona oriental de Usme	65.58	0.18
4-Soacha, Ciudad Bolívar y zona occidental de Usme	49.18	0.21
5- Embalse del Muña y alrededores	67.08	0.26

A partir de los datos de la tabla 8.2.1, se analiza una condición de equilibrio hidrológico con las siguientes expresiones:

Abstracción $S' \text{ (mm)} = 25400/\text{CN} - 254$

$$\begin{aligned} \text{Escorrentía } R(\text{mm}) &= (P - 0.2 S')^2 / (P + 0.8 S'), \text{ si } P > 0.2 S' \\ R(\text{mm}) &= 0 \text{ si } P < 0.2 S' \end{aligned}$$

$$\text{Infiltración } I (\text{mm}) = P - R$$

La infiltración se transforma a valores de r_u , con la siguiente expresión:

$$\Delta r_u = \{ I * (Aa/A) / (\eta_{\text{efectivo}} * Z) < 1.0 \text{ (incremento de } r_u \text{ por lluvia)}$$

$$r_u = r_{u_0} + \Delta r_u < 1.0 \text{ (condición de } r_u \text{ con lluvia)}$$

donde: $Aa/A = 3.0$ Relación de área aferente de talud y área de drenaje.

$\eta_{\text{efectivo}} = 2/3 \eta$ Porosidad efectiva. ($\eta =$ Porosidad)

$Z =$ Profundidad de falla (mm)

Con los valores de r_u corregido por lluvias se determina el factor de seguridad con la ecuación (1).

8.2.1.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En las Tablas 8.2.2 y 8.2.3 se presentan los resultados de los análisis de estabilidad de las zonas críticas de la Red Matriz para lluvias con períodos de retorno de 3, 10, 50 y 100 años, indicando para cada caso la aceleración y tipo de sismo que puede detonar la falla.

Tabla No. 8.2.2. Evaluación Modelo de Lluvias

Continuación tabla 8.2.2



*Tabla No. 8.2.3. Resultados evaluación Amenaza en condiciones de normales y de lluvia
(periodos de retorno de 3, 10, 50 y 100 años)*

Continuación tabla 8.2.3



Continuación tabla 8.2.3



Continuación tabla 8.2.3



Continuación tabla 8.2.3



8.2.2 METODO SEMICUANTITATIVO PARA LA EVALUACION DE ESTABILIDAD DE LADERAS

Con el objeto de evaluar la incidencia de otros factores detonantes en la Red Matriz de Distribución se analizaron los resultados de Amenaza geotécnica por fenómenos de remoción en masa obtenido en el estudio del DPAE de 'Zonificación de Riesgo por inestabilidad en diferentes localidades de la ciudad de Bogotá', cuyo resultado se representa en cinco mapas de amenaza geotécnica de diferentes localidades de Bogotá, donde se definen seis categorías desde zonas de amenaza 'muy alta' a amenaza 'muy baja'.

El procedimiento aplicado para la obtención de estos mapas se basó en la determinación del mapa de amenaza relativa por fenómenos de remoción en masa con el sistema semicuantitativo de evaluación de estabilidad (SES) de Ramírez y González (1988, 1989), y la obtención del mapa de amenaza relativa por fenómenos de remoción en masa con la metodología de taludes naturales (MTN) de T. Shuk (1968, 1970, 1995). La confrontación de estos dos mapas entre sí, y de éste con el de procesos actuales permitieron definir un mapa de amenaza geotécnica definitivo. A continuación se presenta un resumen y alcances de este trabajo

8.2.2.1 SISTEMA SEMICUANTITATIVO DE EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD (SES)

El sistema semicuantitativo de evaluación de estabilidad (ses) comprendió la evaluación de los siguientes parámetros:

INTERVALO DE CALIFICACIÓN DE ESTABILIDAD (CE)

Intrínsecos

- | | |
|---------------------------|--------|
| • M – material | 1 - 50 |
| • R – relieve | 6 - 34 |
| • D – densidad de drenaje | 6 – 35 |
| • V – cobertura vegetal | 3 - 32 |

**INTERVALO DE CALIFICACIÓN DE
ESTABILIDAD (CE)**

Detonantes

- E – erosión 2 - 35
- C – clima (lluvias) 3 - 40
- S – sismo 0 - 24
- A – acción antrópica 2 - 50

La combinación de los diferentes factores define condiciones particulares de estabilidad en función de la “calificación de estabilidad” Ce que es el resultado de la suma ponderada de los índices de estabilidad de cada parámetro.

Como resultado de la valoración de la calificación de estabilidad Ce y del estudio de su variación en la zona objeto del proyecto, se obtuvieron cinco categorías de amenaza, según la distribución que se presenta en la Tabla 8.2.4:

Tabla No. 8.2.4. Categorías de amenaza según resultado de la valoración Ce y del estudio de su variación en la zona objeto del proyecto

CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACION DE ESTABILIDAD CE		
Muy alta		Ce	< 126
Alta	126.5	Ce	< 151
Media	151.5	Ce	< 177
Baja	177.5	Ce	< 202
Muy baja	202.5	Ce	

8.2.2.2 METODOLOGÍA DE TALUDES NATURALES (MTN)

Este método se basa en la mediciones de segmentos de una ladera compuesta de materiales homogéneos en origen y composición, representados por valores de altura h y longitud l, las cuales se encuentran ligadas por la relación funcional básica:

$$H = a * (l)^b$$

Esta función es denominada por T. Shuk (1990) como envoluta actual, representa el perfil promedio de la superficie del terreno. Esta superficie se encuentra en equilibrio dinámico con su entorno ambiental, por razones físicas y termodinámicas.

Por medio de este método se calcularon los factores de seguridad y probabilidades de falla relativos para las siguientes condiciones:

- sin sismo ni lluvia (incondicional),
- con sismo,
- con lluvia y
- con sismo y lluvia,

Se calcularon estos factores para períodos de corto plazo (4.2 años), mediano plazo (19.39 años), largo plazo (26.57 años), 10 años y 20 años. En la Tabla No. 8.2.5, se muestra el factor de seguridad para las categorías de amenaza relativa.

Tabla No. 8.2.5. Factor de seguridad para las categorías de amenaza relativa

Categoría de amenaza	Factor de seguridad				
Amenaza muy alta			Fs	≤	0.6
Amenaza alta	0.6	<	Fs	≤	1.1
Amenaza media	1.1	<	Fs	≤	1.9
Amenaza baja	1.9	<	Fs	≤	3.4
Amenaza muy baja	3.4	<	Fs		

8.2.2.3 MAPA DE AMENAZA GEOTÉCNICA

El mapa de amenaza geotécnica publicado por el UPES es el resultado de la confrontación visual de los mapas obtenidos por el método de la SES y el MTN, comparado con el mapa de inventario de procesos; éstos mapas son presentados para un período de 10 años que involucra el factor lluvias el cual presentan valores picos cada 4.26 años; teniendo en cuenta que el período de recurrencia de un sismo de diseño es del orden de 450 años, en estos mapas el efecto de sismo tiene poca representatividad, en el Anexo 12 se presenta el plano JR-052-GEE-003-E correspondiente a la Amenaza Geotécnica para algunas localidades.

Como producto final se obtuvo la cartografía de la amenaza por inestabilidad del terreno para el área de estudio a escala 1:10.000, distribuidos en cinco planchas. Las condiciones generales a las cuales se asocian las diferentes categorías de amenaza son las siguientes:

8.2.2.3.1 LOCALIDAD DE CIUDAD BOLIVAR

MUY ALTA. Laderas con fenómenos de remoción en masa activos, bien definidos, recientes, y asociados principalmente a la acción del hombre. Se localiza, generalmente en áreas de explotación minera y en zonas de vertimiento sin control de aguas servidas. En esta categoría clasifica el Relleno de Doña Juana y el flujo de basuras.

ALTA. Laderas con evidencias de procesos de inestabilidad inactivos o estabilizados y proceso erosivos intensos, desarrollados sobre depósitos cuaternarios y suelos residuales, con influencia de los lineamientos de falla del Mochuelo, Terrenos y Quiba. Se localizan en áreas de explotación minera, ronda de los cursos de agua y áreas sin cobertura de servicios públicos.

MEDIA. Laderas sin evidencias de inestabilidad actual, con procesos erosivos de intensidad media a baja. Cubre gran parte del área rural y áreas urbanas consolidadas o en proceso, la acción antrópica es de intensidad moderada, especialmente en lo referente a la falta de redes de alcantarillado y vías sin pavimentar.

BAJA. laderas de piedemonte de pendiente baja conformadas sobre depósitos de terreza, que cubren áreas urbanas consolidadas, y laderas estables localizadas en las partes altas de las vertientes, labradas especialmente sobre la formación Arenisca Dura (Ksgd).

MUY BAJA. Generalmente zonas planas en áreas urbanas consolidadas, localizadas en la zona de acumulación de la vertiente conformando las terrazas altas y bajas.

8.2.2.3.2 LOCALIDADES DE RAFAEL URIBE URIBE Y SAN CRISTOBAL

MUY ALTA. Laderas con FRM. Activos, bien definidos, recientes, localizados a lo largo de las rondas de los cauces principales de los ríos San Cristóbal y quebradas Chiguaza, Trompetas y otros cauces menores.

ALTA. Laderas con evidencias actuales de inestabilidad. Desarrolladas en depósitos cuaternarios y con materiales arcillosos de las Formaciones Bogotá (Tpb) y Regadera (Ters). Asociadas a las áreas de explotación minera activas y abandonadas y rondas de cauces. La inestabilidad del terreno está acentuada por procesos erosivos y falta de cobertura de servicios públicos básicos.

MEDIA. Laderas sin evidencias de inestabilidad actual. Representan áreas rurales y áreas urbanas consolidadas o en proceso. Los procesos de erosión son de baja a media intensidad, en áreas de uso minero estos se acentúan generando mayor susceptibilidad a que se presenten FRM.

BAJA. Laderas rectilíneas estables localizadas en la parte alta de la vertiente derecha del río Tunjuelito con cobertura vegetal de bosque; sobre rocas de formación arenisca dura. (Ksgd). Laderas intermedias de transporte en depósitos cuaternarios (TGt, QTb, Qta), en zonas urbanas consolidadas.

MUY BAJA. Generalmente laderas rectilíneas de las partes altas de la vertiente. Y zonas urbanas de pendientes bajas.

8.2.2.3.3 LOCALIDADES DE SANTAFE Y CHAPINERO

MUY ALTA. Laderas con FRM. Activos, bien definidos, antiguos o recientes, localizados especialmente en antiguas zonas de explotación minera. Sobre materiales arcillosos; localmente laderas con procesos de FRM sobre depósitos cuaternarios.

ALTA. Laderas coluviales y rectilíneas con pocas evidencias de inestabilidad actual y con procesos erosivos de alta intensidad, con influencia predominante de la Falla de Bogotá y el sistema de fallas transversales. Asociadas a los valles de los cursos principales de los ríos y quebradas en partes bajas de la vertiente; y a zonas urbanas sin pavimentación.

MEDIA. Laderas de cauce y rectilíneas entallada en su mayoría en rocas del Grupo Guadalupe sin evidencias de inestabilidad actual. En las partes altas conforman áreas forestales de protección y en las partes bajas corresponden a zonas urbanas consolidadas.

BAJA. Laderas de cauce labradas en roca de la Formación Arenisca dura localizada en la parte alta de la vertiente. Laderas del Pie de Monte conformadas predominantemente por depósitos de terraza (Qta. Qtb) que cubren áreas urbanas consolidadas.

MUY BAJA. Generalmente zonas de pendiente muy baja en áreas urbanas consolidadas.

8.2.2.3.4 LOCALIDAD DE USAQUEN

MUY ALTA. Laderas con fenómenos de remoción en masa activos, recientes, y asociados principalmente a la acción del hombre. Se localiza generalmente en áreas de explotación minera y eventualmente en áreas conformadas por depósitos coluviales localizados en zonas de pendiente media a alta.

ALTA. Laderas con evidencias de desarrollo de procesos de inestabilidad y presencia de proceso erosivos intensos, desarrollados principalmente sobre depósitos de ladera (Qdlc, Qdlt) y material de la Formación Labor del grupo Guadalupe, sin cobertura vegetal, con influencia de los lineamientos de falla en sentido NE-SW. Se localiza en áreas de explotación minera y áreas urbanas en proceso de consolidación, con cobertura de servicios públicos básicos.

MEDIA. Laderas sin evidencias de inestabilidad actual, con procesos erosivos de intensidad media a baja. cubre áreas rurales, urbanas de conservación, y áreas urbanas consolidadas. La acción antrópica es de intensidad moderada, y se refleja especialmente en áreas de explotación minera y áreas urbanas sin pavimentar.

BAJA. Laderas rectilíneas de pendiente alta, estables, entallados en rocas tipo arenisca del grupo Guadalupe destinadas principalmente a áreas de protección. Laderas de piedemonte, de pendiente baja sobre depósitos de terraza (Qta, Qtb) de uso urbano consolidado.

8.2.2.3.5 LOCALIDAD DE SUBA

MUY ALTA. Laderas con FRM activos, bien definidos, recientes; desarrollados en depósitos coluviales y en las rondas de drenajes menores.

ALTA. Laderas con evidencias actuales de inestabilidad, en zonas de antigua explotación y rondas de cauces menores. Principalmente se localiza en depósitos coluviales.

MEDIA. Laderas sin evidencias de inestabilidad. Representa la mayor parte de la localidad tanto áreas urbanas, construidas y de conservación.

BAJA. laderas rectilíneas con la Formación Guaduas (KTg) sin urbanizar, con cobertura vegetal. Zonas planas conformadas por depósitos de terraza y coluviales en áreas urbanas consolidadas.

MUY BAJA. generalmente laderas rectilíneas de las partes altas de la vertiente. Y zonas urbanas de pendientes bajas.

NOTA: Las zonas de categoría de Amenaza Alta y Media son susceptibles a cambiar de nivel, dependiendo de las acciones antrópicas que tienden a mejorar o no la condición Física-Ambiental de las mismas zonas.

8.2.2.3.6 LOCALIDAD DE USME

La localidad de USME no está contemplada dentro de Los Mapas de Amenaza geotécnica del DPAE, sin embargo a partir de los resultados del modelo cuantitativo se pueden encontrar las siguientes zonas.

ALTA a MUY ALTA. No se presentan casos

MEDIA. Depósitos de ladera estables en zonas de pendiente moderada a baja, en zonas bajas con drenajes deficientes u obstaculizados, que generam reptamiento de la capa superficial de suelo. Se incluyen también aquellas zonas de pendiente moderada con evidencias de movimientos antiguos ya cicatrizados.

BAJA A MUY BAJA. Zonas de afloramientos locales de rocas de la Formación Usme, y zonas de baja pendiente con buenas condiciones de drenaje.

8.2.3 CONFRONTACION DE LOS METODOS CUANTITATIVOS CON LOS SEMICUANTITATIVOS

Al comparar los modelos cuantitativos con los semicuantitativos se encuentra lo siguiente:

8.2.3.1 INFLUENCIA DE LA ESTABILIDAD DE LADERAS ANTE SISMO:

- Las zonas de amenaza geotécnica alta a muy alta son susceptibles a inestabilizarse ante la ocurrencia de un sismo de intensidad baja a moderada.
- Las zonas de amenaza geotécnica media pueden inestabilizarse ante la ocurrencia de un sismo de intensidad moderada a muy fuerte.
- Las zonas de amenaza geotécnica baja a muy baja NO son susceptibles ante el evento de sismos intensos.

8.2.3.2 INFLUENCIA DE LA ESTABILIDAD DE LADERAS POR LLUVIAS:

Las análisis indican que el mayor efecto de daño que puede generar una lluvia sobre la estabilidad de laderas consiste en procesos de ablandamiento del suelo por influencia del agua asociada a lluvias persistentes y de baja intensidad con periodos de recurrencia de 3 a 10 años.

Otras zonas son inestables con la ocurrencia de lluvias acumuladas mayores de 100 mm, pero estas condiciones se presentan para periodos de recurrencia muy altos entre 50 y 500 años. Este criterio coincide con lo presentado en la literatura de donde la precipitación detonante puede variar entre 100 y 180 mm.

Las zonas de amenaza geotécnica , identificadas en los planos del DPAE entre alta a muy alta, coinciden en un 50% con las zonas clasificadas como amenaza ALTA en el modelo teórico; se considera que estas zonas son muy vulnerables a inestabilizarse por ablandamiento del suelo generado por de lluvias de baja recurrencia entre 3 y 10 años.

Las zonas de amenaza geotécnica media a muy baja prácticamente no presentan afectación por lluvias.

8.2.3.3 SELECCIÓN DE ZONAS GEOTÉCNICAMENTE CRÍTICAS POR SISMO Y LLUVIAS:

Con base en los resultados de la evaluación geotécnica realizada se obtiene que las zonas de mayor amenaza geotécnica ante el evento de lluvias y sismos, corresponde a aquellas que presentan un grado de amenaza alta a muy alta, en los mapas de zonificación geotécnica de la UPES. En la Tabla 8.2.6 se presenta una relación de los sitios críticos obtenidos de estos mapas.

Tabla No. 8.2.6. Relación de zonas críticas por lluvias y otros factores detonantes

NUMERO DE ORDEN	LINEA	COORDENADA		LONGITUD AFECTADA (m)	GRADO DE AMENAZA	OBSERVACIONES
		NORTE	ESTE			
21	Wiesner Suba 78 pulgadas	113050	99280	30	Alta	Llegada a Tanque Suba
21	Wiesner Suba 78 pulgadas	108500	105800	200	Alta	Parte alta Usaquén
40		108500	103850	400	Alta	Zona aluvial de la quebrada El Chico
	El Chico - Los Rosales	107500	103400	360	Alta	Cabecera de un coluvión
	El Chico - Los Rosales	107150	103350	150	Alta	Parte alta del Barrio Los Rosales
	El Chico - Los Rosales	106550	103150	180	Alta	Aluvión de la Quebrada Rosales
		103830	101450	120	Alta	Entre cra 5 y 8 y entre calles 43 y 46
	El Silencio -Parque Nacional	103160	101510	30	Alta	Cruce Q. Arzobispo
	El Silencio -Parque Nacional	103160	101390	30	Alta	Cruce Q. Arzobispo
	El Silencio -Parque Nacional	103230	101330	30	Alta	Cruce Q. Arzobispo
3	El Silencio - Casablanca	102950	102100	-	Muy alta	Deslizamiento antiguo
28	San Diego-?	102000	101600	50	Muy alta	Deslizamiento- U Distrital
1	El Silencio - Vitelma	101620	101770	50	Alta	Vereda Monserrate
1	El Silencio - Vitelma	100900	101510	160	Alta	Quebrada Santo Domingo
32-27	San Diego-?	101600	101150	160	Alta	Calle 26 con 5 (lado norte)
	San Diego - Vitelma	100520	101500	20	Alta	Cruce del Afluente sur del San Francisco
	San Diego - Vitelma	100300	101300	50	Muy alta	Deslizamiento Las Aguas
105		100250	100720	200	Alta	Aluvión del San Francisco (B. Concordia)
	El Silencio - Vitelma	99800	101060	70	Alta a Muy alta	U Distrital- Centro?
	San Dionisio	98450	101150	60	Alta	Cruce Quebrada San Dionisio?
	El Silencio - Vitelma	98750	100250	60	Muy Alta	Quebrada Las Lajitas
	San Diego - Vitelma	98500	100420	120	Muy Alta	Parte alta del Barrio Girardot
	El Silencio - Vitelma	98300	100150	150	Muy alta	Subida cerca del camino a Vitelma
	El Silencio - Vitelma San Diego - Vitelma	98100	100250	80	Muy Alta	Parte baja del Deslizamiento El Dorado
45		97190	100040	20	Muy alta	Cruce Rio San Cristobal
38		97540	99400	20	Muy alta	Cruce Rio San Cristobal
79		98110	98660	20	Muy alta	Cruce Rio San Cristobal
79		96950	98990	20	Alta	Barrio Granada Sur
79		96900	98320	-	Alta	Barrio San Luis
38		96290	99130	30	Alta	Barrio San Pedro
117		96150	100350	25	Alta	Cruce quebrada (T. Los Alpes)
		95400	99580	20	Alta	Parte baja del tanque Los Alpes
45		95050	99250	30	Muy alta	Deslizamiento Los Alpes?
88		94640	99610	10	Alta	Cruce Q La Pichosa (Parte alta)

NUMERO DE ORDEN	LINEA	COORDENADA		LONGITUD AFECTADA (m)	GRADO DE AMENAZA	OBSERVACIONES
		NORTE	ESTE			
88		94500	99610	10	Alta	Cruce Q La Pichosa (Parte alta)
45		94600	98980	10	Alta	Cruce Q La Pichosa (Parte alta)
102	La Regadera - Vitelma	94900	97400	250	Alta	Cruce Q. La Pichosa (Parte baja)
102	La Regadera - Vitelma	94250	96750	190	Alta	Los arrayanes
102	La Regadera - Vitelma	93600	96130	30	Muy Alta	Danubio Azul
88	Los Alpes - Quindio	94000	99700	220	Alta	Zanjón del Zuque (lado norte del Tanque Q)
89	Quindio-Juan Rey	93850	99950	3	Alta	Cruce del Zanjón del Quindio
0	Quindio-Juan Rey	93350	99780	100	Alta	Parte alta del Barrio Quindio
89	Quindio-Juan Rey	92680	99380	50	Alta	Cruce Q. del Barrio San Rafael
89	Quindio-Juan Rey	92200	99150	10	Alta	Cruce Q. del Barrio San Rafael
89	Quindio-Juan Rey	92150	99090	10	Alta	Cruce Q. del Barrio San Rafael
89	Quindio-Juan Rey	92100	99060	10	Alta	Cruce Q. del Barrio San Rafael
89	Quindio-Juan Rey	92000	99000	250	Alta	Deslizamiento antiguo
89	Quindio-Juan Rey	91750	98750	100	Alta	Deslizamiento antiguo
4	Quindio-Juan Rey	99500	89000	750	Alta	Sector Tanque Cazuca (cantera?)
3-20		98250	90400	30	Alta	Parte Baja Tanque Casablanca
99		97400	90000	20	Alta	Zona posterior Tanque Alto
97		96950	90380	50	Alta	Socavación Zanjón La Muralla
95		97100	91230	100	Muy Alta	Parte Alta del Barrio La Candelaria

8.3. ANALISIS DEL PROBLEMA Y PROPUESTAS DE SOLUCION, PARA PUNTOS CRITICOS PRIORITARIOS DE LA RED MATRIZ, POR ZONAS DE SERVICIO.

De la calificación promedio de las diferentes variables que componen la evaluación de priorización de la Red Matriz de Acueducto, para condiciones normales de operación, analizada por líneas, se estableció el orden de priorización de sitios críticos.

Por lo que, para las líneas calificadas con muy alta prioridad, en cada caso en particular, se planteará y se definirá el problema que se está presentando, teniendo en cuenta, cuáles son los elementos o efectos que más pesan o inciden en el valor de la

priorización y por ende en el problema mismo.

Sin embargo, para lo anterior, se tendrá en cuenta si la amenaza es evidente o potencial, por lo que se hará la distinción entre, sitios críticos con manifestaciones visibles de amenaza de falla que corresponden a amenaza evidente y sitios críticos con amenaza potencial de falla; debido a que, dependiendo del estado en que se encuentre el agente detonante, la metodología para el planteamiento de alternativas de solución y la escogencia de la mejor solución, es diferente.

Para el segundo caso, en donde la *falla es potencial*, se analizará el problema de una manera general, puesto que en el momento del estudio no se han presentado signos visibles que manifiesten un posible daño, sino que dada las condiciones de las variables que califican la priorización, hacen que ese tramo tenga una alta probabilidad de ocurrencia de falla; por lo que entonces, el planteamiento de alternativas de solución y el desarrollo de la más óptima se tiene que plantear de una manera conceptual, con una metodología clara y concisa, de tal forma que cuando el evento de daño se presente, se aplique.

Para el primer caso, en donde la manifestación de *falla es visible o evidente*, se ubicará el sector o zona, delimitando el problema y planteando alternativas de solución precisas y puntuales, las cuales se valorarán con criterios técnicos, operativos y económicos, que redunden en la mejor solución.

El resultado de la implementación de la alternativa de solución, estará encaminado a disminuir la magnitud de la vulnerabilidad; de tal forma, que al volver a evaluar éste parámetro, se encuentre dentro de un rango razonable.

8.3.1 ZONA DE SERVICIO LAGUNA.

Esta zona comprende un corredor del orden de 7 km de longitud y 2 km de ancho, a lo largo del Valle del Río Tunjuelito. El terreno presenta una topografía de pendiente

moderada a baja, conformado predominantemente por depósitos fluvio-glaciares compuestos principalmente por bloques subangulares en una matriz arcillo-limosa. Estos depósitos se encuentran superpuestos a arcillolitas y limolitas con intercalaciones esporádicas de areniscas de la Formación Usme. A lo largo del corredor existen zonas bajas con drenaje deficiente, lo cual genera movimientos lentos del terreno, que se manifiestan en puntos que se describen más adelante. A lo largo del corredor se proyecta la línea La Laguna-Monteblanco CC9011 y CC9012, de 24 pulgadas de diámetro.

8.3.1.1 LINEA: LA LAGUNA - MONTEBLANCO SITIO: ZONA INESTABLE DE LA CALLE 7 CON CARRERA 1E (USME):

Código Línea: CC9012	Diámetro: 20"	Longitud: 4885 metros
Material: AWWAC303	Orden prioritario 12	Tramo Critico 1

Agua cruda

8.3.1.1.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN.

Consiste en una zona de pendiente baja y húmeda dentro del cuerpo de un deslizamiento antiguo ya cicatrizado. La línea de 20 pulgadas se encuentra emplazada en la parte alta de esta zona crítica, y por consiguiente, se halla amenazada por la susceptibilidad a desplazamientos laterales del terreno, ver plano JR-052-TOP-008-E del anexo 12.

8.3.1.1.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

Como causa de la amenaza a la tubería se pueden mencionar:

- La infiltración de agua proveniente de precipitación en las partes altas, drenajes superficiales deficientes y posibles fugas en la junta del tubo, que generan problemas locales de saturación del suelo y producen reptamiento lento de la capa superficial del terreno.

Como resultado de las observaciones en el campo, se encontró que las zonas con mayor presencia de humedad corresponde a una cuneta antigua cubierta de vegetación, que recibe aguas residuales de una casa que se encuentra en el área del costado occidental de la tubería; en las zonas bajas del sector de afectación tienen empozamientos de agua y en el sitio del apique AP-3, emana bastante agua del subsuelo.

Para la evaluación del problema se efectuaron dos apiques y una trinchera entre 1.40 y 2.00 m de profundidad, ver plano JR-052-TOP-008-E del anexo 12. En ellos se encontró desde superficie hacia profundidad:

- Una capa superficial de limo orgánico húmedo y suelto de espesor variable entre 0.8 y 1.1 m,
- Una arcilla arenosa gris con grava fina, de consistencia media a firme.

En los dos apiques de la parte alta AP-1 y AP-3, el nivel freático se encontró entre 0.6 y 1.5 m de profundidad.

En el apique 2 (AP-2) de la parte baja no se encontró el nivel freático; sin embargo, un poco más abajo, el terreno presenta zonas húmedas.

8.3.1.1.3 COMPORTAMIENTO BAJO CONDICIONES HIPOTÉTICAS:

Debido a las condiciones del terreno, la probabilidad de que ocurra un fenómeno de inestabilidad masivo es baja, teniendo en cuenta la baja pendiente del terreno.

Se analizaron las condiciones de estabilidad en condiciones normales y en condiciones hipotéticas de sismo y lluvia, considerando un modelo simplificado de talud infinito encontrando los siguientes resultados:

Tabla No. 8.3.1. Condiciones de estabilidad para caso de talud infinito. sitio: Zona inestable de la Calle 7 con Carrera 1E (Usme)- (caso 1):

CONDICIÓN DEL TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD	GRADO DE AMENAZA	SISMO DETONANTE
Normal	2.07	Media a Baja	> 0.40 g (Muy Intenso)
Lluvia no persistente Tr = 100 años	1.76	Media	> 0.40 g (Muy Intenso)
Lluvia persistente Tr = 100 años	1.27	Media	0.23 g (Cercano)

Los resultados indican que en este sector no existe la probabilidad de ocurrencia de un movimiento masivo, sin embargo, dada la naturaleza del movimiento, el efecto de lluvias genera un incremento en la tasa de movimiento por reptación.

8.3.1.1.4 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Para controlar el problema se proponen las siguientes obras de estabilización:

- Revisión de la tubería en el sitio correspondiente al Apique AP-3, donde emana bastante agua, la cual puede provenir de una falla en las juntas de la tubería.
- Construcción de subdrenes de gravilla cubierto con geotextil, de unos 80 cm de ancho y 2 m de profundidad, con tubo de 6" perforado en la media sección, según la distribución indicada en el plano JR-052-TOP-008-E del anexo 12. Este filtro se debe conectar con el sistema de aguas lluvias que se está construyendo actualmente a lo largo de la Calle 7.
- Reconformación de una cuneta revestida en piedra, en la salida de aguas servidas de la casa del costado oriental.

8.3.1.2 LINEA: LA LAGUNA - MONTEBLANCO SITIO: ZONA INESTABLE DE LA FINCA EL PEDREGAL:

Código Línea: CC9012	Diámetro: 20"	Longitud: 4885 metros
Material: AWWAC303	Orden prioritario 12	Tramo Critico 2

Agua cruda

8.3.1.2.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Esta zona se localiza al sur del Tanque El UVAL y corresponde a un terreno de baja pendiente compuesto por un depósito de origen glaciar constituido por arcillas como matriz englobando bloques angulares de gran tamaño. El terreno presenta reptamiento lento estacionario; por el costado sur la zona de afectación limita con una quebrada que deja al descubierto bloques de gran tamaño, cantos de menor dimensión y gravas que forman parte del depósito natural, que son el resultado del transporte de sedimentos a lo largo del cauce. La situación anterior, permite deducir que existe una amenaza de impactos sobre la tubería por el material transportado por la quebrada.

En el costado nororiental de esta zona, se encuentran viviendas que invaden el corredor de la tubería.

8.3.1.2.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

La causa de la amenaza para la tubería es la infiltración de agua lluvia y drenajes superficiales deficientes generan problemas de saturación del suelo que producen reptamiento lento estacionario de la capa superficial de suelo.

Para la evaluación del problema se efectuaron dos apiques de 2.0 m de profundidad, ver plano JR-052-TOP-009-E del anexo 12. En ellos se encontró:

- una capa superficial de limo orgánico húmedo y suelto de 0,5 m de espesor
- Arcilla arenosa gris y arcilla negra con grava fina, de consistencia firme. No se encontró el nivel freático.

8.3.1.2.3 COMPORTAMIENTO BAJO CONDICIONES HIPOTÉTICAS:

Dadas las condiciones del terreno, la probabilidad de que ocurra un fenómeno de inestabilidad masivo es baja teniendo en cuenta la baja pendiente del terreno.

Se analizaron las condiciones de estabilidad en condiciones normales y en condiciones hipotéticas de sismo y lluvia, considerando un modelo simplificado de talud infinito encontrando los siguientes resultados:

Tabla No. 8.3.2. Condiciones de estabilidad para caso de talud infinito. sitio: Zona inestable de la Finca El Pedregal - (caso 2):

CONDICIÓN DEL TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD	GRADO DE AMENAZA	SISMO DETONANTE
Normal	2.71	Baja	> 0.40 g (Muy intenso)
Lluvia no persistente Tr = 100 años	2.44	Baja	> 0.40 g (Muy intenso)
Lluvia persistente Tr = 100 años	1.87	Media	> 0.40 g (Muy intenso)

Al igual que en el caso anterior los resultados indican que en este sector no existe la probabilidad de que se presente un movimiento masivo, sin embargo dada la naturaleza del depósito, el efecto de lluvias genera un incremento en la tasa de movimiento por reptación.

8.3.1.2.4 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Para controlar el problema en el paso por la quebrada localizada en el costado sur de la zona de afectación por reptamiento, se proponen las siguientes alternativas para protección de la tubería:

- Construcción de una defensa en el tubo por medio de un revestimiento en concreto, para proteger contra el posible impacto de gravas.
- Construcción de una estructura de concreto para elevar la cota del tubo 1.20 metros en el paso por la quebrada.
- Localizar la tubería por cota más baja del fondo del cauce de la quebrada.

En lo que se refiere a la zona de reptamiento se considera que hay únicamente la siguiente alternativa:

- Construcción de subdrenes de gravilla cubierto con geotextil, de unos 60 cm de ancho y 2 m de profundidad, con tubo perforado de 6" en la parte de la media sección, según la distribución indicada en el plano JR-052-TOP-009-E del anexo 12. Este filtro debe llegar hasta el cauce natural.

8.3.1.3 LINEA: LA LAGUNA - MONTEBLANCO SITIO: ZONA INESTABLE DE LA FINCA EL PAPAGAYO

Código Línea: CC9012	Diámetro: 20"	Longitud: 4885 metros
Material: AWWAC303	Orden prioritario 12	Tramo Critico 3

Agua cruda

8.3.1.3.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Esta zona se localiza unos 800 m al norte del Tanque El UVAL y corresponde a un terreno de baja pendiente donde predominan arcillas orgánicas con bloques de gran tamaño, que

genera reptamiento estacionario lento del terreno. La tubería está localizada en una zona superior a la del reptamiento a lo largo de un carretable.

8.3.1.3.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

Las causas del desplazamiento del terreno son:

- La acumulación y retención de aguas servidas favorecida por la morfología del terreno.
- Infiltración de agua lluvia.

Para la evaluación del problema se efectuaron dos apiques de 1.8 y 1.9 m de profundidad, ver plano JR-052-TOP-010-E del anexo 12. En los cuales se halló la siguiente conformación desde la superficie hacia la profundidad:

- Capa superficial de limo orgánico de 0.2 a 0.5 m de espesor,
- Arcilla negra húmeda con gravas y bloques de arenisca, entre 0.5 y 1.1 m de espesor
- Arena fina gris con gravas, hasta el nivel de exploración (1.90 m).

8.3.1.3.3 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

La zona susceptible a movimiento corresponde a la capa superficial de arcilla orgánica y afecta el área localizada al occidente de la tubería, esta zona no genera incidencia sobre la tubería que está a mayor profundidad, sin embargo, se considera que es necesario mejorar las condiciones del terreno en esa área en la parte más baja, para lo cual, se recomienda construir subdrenajes en espinazo de pescado; ver distribución en el plano JR-052-TOP-010-E del anexo 12.

8.3.1.4 LINEA: LA LAGUNA - MONTEBLANCO SITIO: ZONA INESTABLE EN EL BARRIO ALCANTUZ- BOSQUE LIMONAR

Código Línea: CC9012 Diámetro: 20" Longitud: 4885 metros
Material: AWWAC303 Orden prioritario 12 Tramo Critico 4
Agua cruda

8.3.1.4.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Al norte del sitio anterior, se encuentra el Barrio Alcantuz, el cual, se localiza en una zona de alta pendiente; a lo largo del sector se encuentran unos cortes viales, donde se presentan espesores de deposito fluvio-glaciar variable entre unos 2 y 10 m. La tubería se proyecta a lo largo de una vía, adyacente al escarpe de un deslizamiento antiguo cuya corona afectó el talud de la vía. En la zona existen evidencias de movimientos recientes que reflejan señal de actividad del desplazamiento. En la base del deslizamiento se encuentran casas que pueden quedar afectadas en el caso de presentarse inestabilidad de la ladera.

8.3.1.4.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

La pendiente natural del terreno y la conformación del mismo, generan condiciones de estabilidad precarias del sector, dejándolo susceptible a la inestabilidad ante el evento de lluvias y sismo.

Para la evaluación del problema se efectuaron dos perforaciones de 10 y 8.5 m de profundidad en la parte alta y baja del deslizamiento respectivamente.

En la perforación de la parte alta se encuentra desde la superficie hacia la profundidad:

- Depósito de arcilla arenosa densa, con gravas y bloques de arenisca, con predominio de bloques a partir de los 4 m de profundidad.

En la perforación de la parte baja se encontró desde superficie a la profundidad:

- El mismo depósito de la parte superior, con predominio de arcillas duras por debajo de los 3 m de profundidad.

En las perforaciones no se encontró el nivel freático, ver plano JR-052-TOP-011-E del anexo 12.

8.3.1.4.3 COMPORTAMIENTO BAJO CONDICIONES HIPOTÉTICAS:

Se analizaron las condiciones de estabilidad en condiciones normales y en condiciones hipotéticas de sismo y lluvia, considerando un modelo simplificado de talud infinito encontrando los siguientes resultados:

Tabla No. 8.3.3. Condiciones de estabilidad para caso de talud infinito. sitio: Zona inestable en el barrio Alcantuz- Bosque Limonar - (caso 3):

CONDICIÓN DEL TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD	GRADO DE AMENAZA	SISMO DETONANTE
Normal	1.23	Media	> 0.40 g (Muy Intenso)
Lluvia no persistente Tr = 100 años	1.12	Alta	0.31 g (Muy Intenso)
Lluvia persistente Tr = 100 años	0.92	Alta	0.18 g (Intermedio)

Los análisis indican que una precipitación persistente de $P = 150$ mm ($Tr = 100$ años) puede reactivar la zona inestable, o también un sismo intenso (falla frontal) definido en el Estudio de Microzonificación Sísmica.

8.3.1.4.4 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Para controlar el problema se proponen las siguientes obras como alternativas de estabilización:

- Construcción de un muro de contención en la base del talud con altura 4.0 metros y longitud de 16 metros. Construcción de un muro de corona anclado de 2.5 metros de altura y 20 metros de longitud cimentado sobre 4 caissons de 8 metros de profundidad y 1.8 metros de diámetro con tendones de anclaje de 50 toneladas, separados horizontalmente cada 4.0 metros. La longitud de bulbo de anclaje debe ser de 7 metros y longitud libre de 8 metros. El sistema de muro anclado tiene por objeto mejorar las condiciones de estabilidad de la banca de la vía, la cual está localizada con el borde exterior limitado por la corona del deslizamiento.
- Prolongación de la pantalla de rieles metálicos, hacia el norte 10 metros y hacia el sur 15 metros para una longitud total de 25 metros, en el deslizamiento del sector norte.

En el plano JR-052-TOP-011-E del anexo 12 se presenta el levantamiento topográfico de la zona. En el anexo 3 de este documento, se presenta la memoria del diseño estructural del muro escogido.

8.3.2 ZONA DE SERVICIO VITELMA

La zona de servicio Vitelma presenta 3 sectores definidos de acuerdo a la posición geográfica y a la forma de funcionamiento hidráulico:

- El sector Vitelma - Ciudad Bolívar suministra desde el tanque Jalisco a los tanques de El Castillo y Volador. El terreno en el área de Ciudad Bolívar está conformado por areniscas con intercalaciones de arcillolitas, las cuales se encuentran en zonas cubiertas por suelos de las mismas rocas. La pendiente es moderada a fuerte.

- El sector Vitelma – Gravedad, sirve las zonas centrales de la ciudad desde la calle 32 hacia el sur y desde la carrera 3 hacia el oriente, bordeando los cerros orientales y llegando hasta la calle 85 sur con Kr. 27 Este, también se extiende al sector sur occidental de borde oriental de la ciudad a partir de la calle 34 sur llegando hasta los límites del Santa Lucia. El terreno predominantemente está conformado por depósitos sueltos de origen aluvial, de gravedad o fluvioglacial. La topografía varía entre plana a moderada.
- El sector Vitelma sur oriental el cual corresponde a un sistema de bombeo que enlaza los tanques de Los Alpes, Quindío y Juan Rey, los cuales suministran el servicio a los sectores más elevados del sur oriente de la ciudad. El terreno en este sector, está conformado por depósitos fluvioglaciales de matriz arcillo-limosa con bloques de areniscas de tamaño heterogéneo. La topografía es moderada.

8.3.2.1 LINEA: SAN CARLOS – ALTOS DE JALISCO SITIO: BARRIOS SAN JORGE Y MARCO FIDEL SUAREZ

Código Lín: RD26A24041 Diámetro: 24” Longitud: 2125 metros
Material: AWWAC303 Orden prioritario 76 Tramo Critico 1
CCP

8.3.2.1.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

La zona se encuentra localizada bajo calzada de concreto en su totalidad y su ubicación geográfica está entre los barrios San Jorge y Marco Fidel Suarez al sur de la ciudad donde se presentan pendientes altas y cambios de alineamiento a 90° frecuentes, ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

8.3.2.1.2 CAUSAS QUE GENERAN EL MAL FUNCIONAMIENTO.

En los cambios de alineamiento se han presentado empujes ocasionando roturas

sucesivas en los mismos puntos, estos empujes generan esfuerzos que han sobrepasado la capacidad de soporte de los atraques en los codos ocasionando fugas en las juntas y daño en el accesorio. También la agresividad del suelo contribuye a que la corrosión afecte la resistencia de las tuberías.

A continuación se presentan los análisis a los resultados de los ensayos de laboratorio sobre los parámetros involucrados en la determinación de la agresividad de los suelos por corrosión.

Tabla No. 8.3.4. Análisis a los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar la agresividad de los suelos línea Vitelma Jalisco

AGRESIVIDAD DE LOS SUELOS (Método de los 10 puntos)			
Línea Vitelma-Jalisco			
Parametro estudiado	Lectura mínima	Lectura máxima	Calificación
Resistividad (Ohm/Cm)	1200	1500	2
pH	4	8.5	0
Acidez intercambiable (mvol/Kg.)	0	0	0
Sulfatos (mg/kg de suelo)	200	200	2
Humedad (%)	30	50	1
Total Calificación			5
Indice agresividad			3
Diagnóstico			Medianamente Agresivo

8.3.2.1.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Se propone rediseñar los alineamientos y hacerlos con curvas más suaves con radios mayores, mejorando los atraques y rigidizando juntas aguas abajo y aguas arriba del accesorio para ayudar en la disipación de esfuerzos, esto último en el caso que se utilicen tuberías con junta metálica tipo C303 o C200.

8.3.2.2 LINEA: VITELMA – DIANA TURBAY SITIO: BARRIOS CORDOBA, ATENAS Y GUACAMAYAS

Código Línea: CC9011	Diámetro: 20”	Longitud: 10526 metros
Material: AWWAC303	Orden prioritario 82	Tramo Critico 1

8.3.2.2.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Esta línea se desplaza por los barrios San Blas, Córdoba, Atenas y Guacamayas bajo calzada en concreto, es una línea de acero con revestimientos en esmalte y ha presentado problemas de erosión, corrosión con picaduras y rayado interior de la tubería, esto posiblemente por arrastre de material granular debido a que esta conectada a la línea Regadera-Vitelma y presentar altas pendientes y drásticos cambios de alineamiento, ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

8.3.2.2.2 CAUSAS QUE GENERAN EL MAL FUNCIONAMIENTO.

Esta tubería tiene edad mayor de 50 años de funcionamiento y en algún momento transportó agua cruda siendo esta la que originó los comienzos de rayados y erosión interna. La agresividad del terreno contribuyó con la corrosión a disminuir la resistencia de la tubería, se encuentra ubicada en suelos medianamente agresivos con humedad permanente y baja resistividad. A continuación se presentan en la tabla 8.8 los resultados de los ensayos de laboratorio y sus análisis:

8.3.2.2.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Se recomienda rehabilitar parcialmente en la zona de mayor incidencia de fallas insertando tubería continua de polietileno de alta densidad.

Tabla No. 8.3.5. Análisis a los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar la agresividad de los suelos línea Vitelma Diana Turbay

AGRESIVIDAD DE LOS SUELOS (Método de los 10 puntos)			
Línea Vitelma Diana Turbay			
Parametro estudiado	Lectura minima	Lectura maxima	Calificación
Resistividad (Ohm/Cm)	1200	1500	2
pH	4	8.5	0
Acidez intercambiable (mvol/Kg.)	0	0	0
Sulfatos (mg/kg de suelo)	200	200	2
Humedad (%)	30	50	1
Total Calificación			5
Indice agresividad			3
Diagnostico			Medianamente Agresivo

8.3.2.3 LINEA: ALPES – QUINDÍO SITIO: AL SUR DEL TANQUE LOS ALPES

Código Línea: RM24107 Diámetro: 24" Longitud: 1560 metros
Material: AWWAC303 Orden prioritario 8 Tramo Critico 1

8.3.2.3.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO

Según el reconocimiento geológico y geotécnico, se presenta una zona con pendiente moderada y con arcillas saturadas, lo cual hace que se presente un flujo de tierra, que forma parte de un deslizamiento antiguo, ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

Es una línea CCP de 24" con 25 años de instalada aproximadamente; los ensayos de agresividad se localizaron al sur del tanque Los Alpes.

8.3.2.3.2 CAUSAS QUE GENERAN EL MAL FUNCIONAMIENTO.

Por lo que la solución planteada, se refiere a la captación y manejo de aguas superficiales y subterráneas, mediante la colocación de drenajes.

Sus fallas se han presentado por corrosión y desalineamientos originados por movimiento del terreno presentándose también un terreno medianamente agresivo que con el tiempo de instalación acentúa la presencia de fallas y daños.

La agresividad del suelo contribuye a que la corrosión sea mas fuerte, a continuación se presentan los ensayos de laboratorio y análisis de resultados.

Tabla No. 8.3.6. Análisis a los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar la agresividad de los suelos línea Alpes Quindío

AGRESIVIDAD DE LOS SUELOS (Metodo de los 10 puntos)			
Línea Alpes Quindío			
Parametro estudiado	Lectura minima	Lectura maxima	Calificación
Resistividad (Ohm/Cm)	1200	1500	2
pH	4	8.5	0
Acidez intercambiable (mvol/Kg.)	0	0	0
Sulfatos (mg/kg de suelo)	200	200	2
Humedad (%)	30	50	1
Total Calificación			5
Indice agresividad			3
Diagnostico			Medianamente Agresivo

8.3.2.3.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Analizando la calificación de las respectivas variables de vulnerabilidad, la agresividad del suelo y las cargas externas, tienen una alta incidencia en la calificación total, por lo que se

recomienda, para tramos que vayan sobre calzada y tengan menos de 1.50m de relleno, la colocación de placas típicas o estructuras de protección. Así mismo, se realizarán los ensayos pertinentes de corrosión para establecer su incidencia y en consecuencia, saber si se justifica o no la implementación de un sistema de protección catódica.

Se recomienda hacer un diseño conjunto con la parte estructural y realizar ensayos de estado del revestimiento y severidad de la corrosión con la técnica DCVG antes de establecer algún sistema de rehabilitación o cambio de alineamiento.

8.3.2.4 LINEA: DISTRIBUCION TANQUE SAN DIONISIO SITIO: DESDE NUEVO TANQUE EL CONSUELO HACIA TANQUE SAN DIONISIO

Código Línea: JR16002 Diámetro: 16”

8.3.2.4.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Se presentan un deslizamiento activo y complejo, dado la pendiente del terreno en combinación de la saturación y la clase del material. ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

8.3.2.4.2 CAUSAS QUE GENERAN EL MAL FUNCIONAMIENTO.

En lo que respecta a la afectación estructural, el valor que más pesa dentro de las variables de vulnerabilidad, es el de cargas externas.

8.3.2.4.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Se recomienda la colocación de placas típicas o estructuras de protección para los tramos de tubería que estén localizados en calzada y tengan un relleno menor de 1.50m.

8.3.2.5 LINEAS: DESDE VITELMA HACIA CIUDAD BOLIVAR SITIO: VARIOS

8.3.2.5.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

En el sector Vitelma Ciudad Bolívar se encuentran las líneas RD26240141 (San Carlos - Altos de Jalisco, prioridad 76), CC9006 (Jalisco – El Castillo, prioridad 143) y BIV116088 (Refuerzo Castillo – Volador, prioridad 153), en la zona sur oriental de Ciudad Bolívar, donde predominan rocas blandas que conforman una topografía de pendiente moderada y la parte baja adyacente al río Tunjuelito donde se encuentran depósitos aluviales recientes. Con base en los resultados en las observaciones de campo, a lo largo de este corredor no se encuentran fenómenos de inestabilidad activos, y según lo indicado en el mapa de Amenaza Geotécnica, la mayor parte de la línea presenta un grado de amenaza medio en zonas de pendiente moderada y amenaza baja en zonas de pendiente baja, ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

8.3.2.5.2 COMPORTAMIENTO ANTE CONDICIONES NORMALES E HIPOTÉTICAS:

Ante condiciones normales de funcionamiento no se refleja ningún tipo de amenaza que afecte la estabilidad del sector, sin embargo, la presencia de vías sin pavimentar, cortes de laderas y la ausencia de alcantarillados pueden generar problemas de estabilidad.

Con base en análisis de estabilidad de taludes efectuados en este sector de la ciudad, en las zonas de amenaza media se pueden generar problemas de estabilidad de laderas bajo la ocurrencia de un sismo intermedio o bajo la ocurrencia de lluvias permanentes de periodo de recurrencia mayor a 100 años (Precipitación mayor a 150 mm).

8.3.2.6 LINEA: SILENCIO - VITELMA SITIO: PARTE ALTA DEL BARRIO LA PERSEVERANCIA

Código Línea: BIV60086 Diámetro: 60" Longitud: 6787 metros
Material: AWWA C200 C205 Orden prioritario 13 Tramo Critico 1

8.3.2.6.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Corresponde al corredor de la línea El Silencio - Vitelma BIV 60086; se encuentra un terreno de pendiente moderada, conformado por suelo residual arcilloso plástico. 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, ver plano JR-052-TOP-003-E del anexo 12.

Por este sector se encuentra una quebrada, la cual, fue canalizada en piedra pegada, sin embargo, hay un tramo de unos 25 metros sin canalizar hacia aguas abajo.

8.3.2.6.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

- Una de las causas de la inestabilidad la constituye las fugas de numerosas mangueras de conducción de aguas.
- Otra causa es el drenaje natural deficiente y la baja permeabilidad del suelo que favorece la retención de agua en el suelo.

Para la evaluación del problema se efectuaron dos apiques de 2.2 y 2.5 metros de profundidad a lo largo del corredor del tubo. Con dichos apiques se encontró desde la superficie hacia profundidad:

- Una capa superficial de arcilla gris húmeda y de alta plasticidad y raíces
- Capas intermedias de suelo orgánico con gravas.

- Areniscas entre 1.6 y 2.5 m de profundidad, ver plano JR-052-TOP-003-E del anexo 12.

8.3.2.6.3 COMPORTAMIENTO ANTE CONDICIONES HIPOTÉTICAS:

Con las condiciones del terreno, la probabilidad de que ocurra un fenómeno de inestabilidad masivo, es baja teniendo en cuenta la baja pendiente del terreno. Se efectuaron análisis de estabilidad en condiciones normales y en condiciones hipotéticas de sismo y lluvia, considerando un modelo simplificado de talud infinito encontrando los siguientes resultados:

Tabla No. 8.3.7. Condiciones de estabilidad para caso de talud infinito. sitio: Parte Alta del Barrio La Perseverancia:

CONDICIÓN DEL TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD	GRADO DE AMENAZA	SISMO DETONANTE
Normal	1.57	Media	> 0.40 g (Muy Intenso)
Lluvia no persistente Tr = 100 años	1.37	Media	0.34 g (Muy Intenso)
Lluvia persistente Tr ≥ 3 años	1.05	Alta	0.19 g (Cercano)

Los resultados indican que en este sector se puede presentar un movimiento masivo, para una lluvia persistente (periodo de retorno de 3 años).

8.3.2.6.4 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Para el control del movimiento lento del terreno se recomienda:

- Construcción de subdrenes de gravilla cubierto con geotextil, de unos 80 cm de ancho

y 2 m de profundidad, con tubo perforado de 6" en la parte media de la sección, según la distribución indicada en el plano JR-052-TOP-003-E del anexo 12. Este filtro se debe conectar con la canal de desagüe que se proyecta en el costado norte.

- Reconformación de la cuneta revestida en piedra, en la zona que está sin construir en una longitud de 25 metros.

8.3.2.7 LINEA: SILENCIO – VITELMA SITIO: ZONA INESTABLE – VEREDA MONSERRATE

Código Línea: BIV60086	Diámetro: 60"	Longitud: 6787 metros
Material: AWWA C200 C205	Orden prioritario 13	Tramo Critico 2

8.3.2.7.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Corresponde al corredor de la línea El Silencio - Vitelma BIV 60086; comprende un sector de unos 120 m de longitud donde la capa de suelo residual se encuentra saturada por infiltración de agua proveniente de la parte superior y del sustrato de roca. La tubería se proyecta a lo largo del borde oriental de la banca de la vía antigua, donde se presentan hundimientos y reptamiento del terreno, ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

8.3.2.7.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

La causa de la inestabilidad es la presencia de agua subterránea que mantiene condiciones permanentes de humedad, generando la deformación del terreno.

8.3.2.7.3 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

- Se recomienda construir un subdrén de 120 m de longitud y 2.5 m de profundidad, para captar y manejar el agua. El subdrén se puede conectar con una alcantarilla que está localizada al costado norte del sitio inestable.

8.3.2.8 LINEA: SILENCIO - VITELMA SITIO: PARTE ALTA DEL TANQUE SAN DIEGO

Código Línea: BIV60086 Diámetro: 60" Longitud: 6787 metros
Material: AWWA C200 C205 Orden prioritario 13 Tramo Critico 3

8.3.2.8.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Corresponde al corredor de la línea El Silencio Vitelma BIV 60086. 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 carreteable. La tubería está localizada por la corona de la masa deslizada. La base, del deslizamiento rompió la pared lateral de una zanja de concreto en una longitud aproximada de 40 m.

En la actualidad ya existen fisuras en el borde oriental de la banca, muy cerca del corredor del tubo, lo que indica que el movimiento aún está activo y amenaza la integridad de la tubería, ver plano JR-052-TOP-002-E del anexo 12.

8.3.2.8.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

Como causas de la inestabilidad se encuentran:

- El estado de los materiales superficiales, los cuales presentan baja resistencia al corte
- La saturación del suelo en el talud exterior generada por el agua proveniente de la cuneta interior, la cual, fue obstruida por material caído del talud interior de la vía. Dicha saturación generó el deslizamiento de unos 40 m de longitud entre el canal revestido (base del deslizamiento) y el borde de la vía (corona del deslizamiento), afectando la vía en longitud de 40 metros.

Para la evaluación del problema se efectuaron dos perforaciones, una en la parte alta del deslizamiento de 8 m de profundidad y otra en la parte inferior también de 8 m.

La perforación en la parte superior se encontró el siguiente perfil desde la superficie:

- Bloques en matriz areno-arcillosa hasta unos 4 m de profundidad
- Arcillolita blanda abigarrada gris y amarilla hasta 7 metros de profundidad
- Estrato de arenisca.

En la perforación de la parte inferior se encontró:

- Una capa superficial de arcillas blandas a medias hasta 3.4 m de profundidad
- Arcillolita arenosa gris de consistencia dura hasta el fondo de la perforación,

Ver plano JR-052-TOP-002-E del anexo 12.

8.3.2.8.3 COMPORTAMIENTO ANTE CONDICIONES HIPOTÉTICAS:

Se efectuaron análisis de estabilidad en condiciones normales y en condiciones hipotéticas de sismo y lluvia, considerando un modelo simplificado de talud infinito encontrando los resultados presentados en la tabla 8.3.8.

Los resultados indican que en este sector se puede presentar reactivación del movimiento en condiciones normales con un sismo intermedio, y con lluvia menor (Tr entre 3 y 10 años), tal como se refleja en la actualidad.

Tabla No. 8.3.8. Condiciones de estabilidad para caso de talud infinito. sitio: Parte Alta del Tanque San Diego:

CONDICIÓN DEL TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD	GRADO DE AMENAZA	SISMO DETONANTE
Normal	1.09	Alta	0.23 g (Cercano)
Lluvia no persistente Tr = 100 años	1.01	Alta	0.18 g (Cercano)
Lluvia persistente Tr = 100 años	0.83	Alta	0.09 g (Intermedio)

8.3.2.8.4 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

- Construcción de cuatro trincheras drenantes transversales de 2 metros de profundidad en la cota superior y un metro en la cota inferior y de 10 metros de longitud cada una, en la base del deslizamiento (parte baja del deslizamiento). Con entrega en la canal de concreto localizada en la parte baja del sitio inestable.
- Reconstrucción de la cuneta interior de la vía en longitud 85 metros y construcción de una alcantarilla de 36" y 7 metros de longitud con descole revestido escalonado de 8 metros de longitud.

Para el soporte lateral de la zona del terreno en el cual se halla la vía y la tubería se tienen como alternativas la construcción en una longitud mínima y una longitud máxima que consiste:

- Construcción de un muro de contención de longitud mínima 35 metros en el borde occidental de la carretera, de 2.5 metros de altura y 1.5 metros de ancho de base, cimentado en cuatro caissons de 8 metros de longitud y 2 metros de diámetro separados 8 metros, reforzado con tensores de anclajes de 50 ton de capacidad, de 20 metros de longitud total y 10 m de longitud de bulbo, con separaciones de 3

metros.

- Construcción de un muro de contención de longitud máxima de 52 metros en el borde occidental de la carretera, de 2.5 metros de altura y 1.5 metros de ancho de base, cimentado en seis caissons de 10 metros de longitud y 2 metros de diámetro separados 10 metros, reforzado con tensores de anclajes de 50 ton de capacidad, de 20 metros de longitud total y 10 m de longitud de bulbo, con separaciones de 10 metros.
- Reconstrucción de la pared de la zanja de concreto en una longitud de 50 metros en la base del talud, colocando como formaleta una fila de gaviones de 2 m x 1 m x 1 m, y una colchoneta reno en la base. Esta estructura también funcionará como drenaje de la base del talud.

En el anexo 3 de este documento se presenta la memoria del diseño estructural del muro escogido como solución.

8.3.2.9 LINEA: SILENCIO – VITELMA SITIO: ZONA INESTABLE – QUEBRADA LAS LAJITAS (PARTE BAJA)

Código Línea: BIV60086	Diámetro: 60”	Longitud: 6787 metros
Material: AWWA C200 C205	Orden prioritario 13	Tramo Critico 4

8.3.2.9.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

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 arcillolitas moderadamente meteorizadas a altamente meteorizadas y con alto grado de fracturamiento. La inestabilidad es muy manifiesta en la parte oriental y occidental. La zona inestable afecta una franja de unos 120 m de longitud, longitud en la cual el terreno es susceptible a presentar movimientos. Se encuentran deslizamientos activos de considerable magnitud en la parte alta y baja de la carrera 1, ver plano JR-052-TOP-012-E del anexo 12.

8.3.2.9.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA Y DIAGNÓSTICO.

Las causas de la inestabilidad que generan a la vez condiciones de estabilidad precarias de la zona son:

- El estado de los materiales muy fracturados por la presencia de la falla geológica.
- El tipo de material arcilloso blando.
- La pendiente del terreno.

8.3.2.9.3 COMPORTAMIENTO ANTE CONDICIONES HIPOTÉTICAS:

La zona presenta inestabilidad activa en condiciones normales de funcionamiento, es decir que es susceptible a la falla con lluvias o sismos de cualquier magnitud.

8.3.2.9.4 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

- Una solución alternativa consiste en cambiar el alineamiento de la tubería a lo largo de una zona geotécnicamente estable correspondiente a afloramientos de areniscas del Cacho.

Para la evaluación de esta alternativa, se hizo un reconocimiento detallado y como resultado se encontró un corredor técnicamente factible, que parte desde la calle 5ª con carrera 3 Este, sigue por el corredor de la línea de 24 pulgadas; luego se desvía al oriente por la calle 2 hasta encontrar las carreras 5ª Este y 5B Este, en la cima de un cerro, llegar finalmente hasta el tanque Vitelma. La longitud total del corredor es del orden de 1500 m, y ocupa una vía recientemente pavimentada en concreto, la cual, habría que demoler (por lo menos un carril) y contempla además excavaciones en roca (areniscas) de unos 3 m de profundidad y 2 m de ancho para la fundación de la tubería. Esta solución aunque muy

segura resultaría excesivamente costosa, comparada con la solución que a continuación se describe.

- Teniendo en cuenta la magnitud y características del problema se recomienda como solución técnica convivir con el problema: a) colocando la tubería dentro de un cajón de concreto de 144 metros de longitud, de 2.5 metros de ancho x 2.0 metros de altura, con juntas articuladas a distancias constantes para darle algo de flexibilidad, permitiendo el movimiento del terreno sin que afecte la integridad de la tubería, b) construyendo una pantalla en pilotes a la zona externa a la tubería.

8.3.2.10 LINEA: VITELMA – COLUMNAS REFUERZO ORIENTAL SITIO: ZONA INESTABLE – COSTADO SUR DEL TANQUE VITELMA

Código Línea: BIV42087	Diámetro: 42”	Longitud: 1550 metros
Material: AWWA C303	Orden prioritario 18	Tramo Critico 1

8.3.2.10.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Al costado sur del tanque de Vitelma, La tubería de 42” BIV42087 atraviesa por el flanco derecho de un deslizamiento antiguo de una fracción de un depósito coluvial. El área presenta un alto grado de humedad por la presencia de una corriente de agua, que genera reptamiento lento en el terreno, ver plano JR-052-TOP-006-E del anexo 12.

8.3.2.10.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

Básicamente, solo existe una causa de la inestabilidad:

- La naturaleza del suelo, donde predominan suelos arcillosos que en condiciones de saturación presentan ablandamiento que genera creep lento.

Para evaluar las condiciones del suelo en la zona, se efectuaron dos apiques de 2.0 y 2.1 metros de profundidad. En los dos apiques se encontró:

- Arcilla gris de consistencia firme hasta 1.70 m de profundidad
- Arcillolitas gris con vetas oxidadas hasta la profundidad del apique.

8.3.2.10.3 COMPORTAMIENTO ANTE CONDICIONES HIPOTÉTICAS:

Dada la baja pendiente del terreno, no existe la probabilidad de que se presente un movimiento masivo, sin embargo, el efecto de lluvias genera un incremento en la tasa de movimiento por reptación.

8.3.2.10.4 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Según la exploración de subsuelo y la información de que la tubería esta fundada a una profundidad de 3 metros, sobre la arcillolita se considera que no es necesario efectuar ningún tipo de medida correctiva, puesto que el desplazamiento del terreno afecta la parte mas superficial del terreno conformado por arcillas.

8.3.2.11 LINEA: VITELMA SANTA LUCIA SITIO: DESLIZAMIENTO DE LOS BARRIOS MONTEBELLO Y SAN LUIS

Código Línea: RD2324038	Diámetro: 24"	Longitud: 3196 metros
Material: AWWA C303	Orden prioritario 50	Tramo Critico 1

8.3.2.11.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

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 se ubica en la transversal 2ª; sitio en el cual está localizada la tubería de 24", esta corona 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. En el sector 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, ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

8.3.2.11.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

Se considera que el problema es geotécnicamente complejo y ha sido reportado desde hace unos 15 años. Se han presentado fallas sucesivas del talud, en forma de flujos de materiales limo-arcillosos que han afectado varias casas del sector, por manejos inadecuados de aguas servidas. En la urbanización San Luis (parte baja del talud), el deslizamiento ha generado levantamiento de las casas más próximas a la base del talud (por lo menos 3), lo que permite pensar que se puede tratar de un mecanismo de falla más profundo, generada por factores geológicos o geotécnicos aún no analizados.

8.3.2.11.3 COMPORTAMIENTO ANTE CONDICIONES HIPOTÉTICAS:

En la actualidad se han efectuado una serie de obras de contención en la base y en la superficie del talud, que no permiten determinar con certeza las condiciones de estabilidad actual; sin embargo ya se presentan algunas fisuras a lo largo de la Transversal 2 A, que indica que las condiciones de estabilidad siguen siendo precarias.

8.3.2.11.4 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Dadas las características del problema la alternativa de solución mas recomendable consiste en modificar el alineamiento desde la calle 26 sur con carrera 1B (zona del parque) hasta la calle 26 A sur, a lo largo de esta, hasta la carrera 2B y luego hasta la calle 26B sur y por esta hasta empalmar con la Transversal 2 A, en una longitud de 330 m.

8.3.2.12 LINEA: VITELMA SANTA LUCIA (SAN BLAS - LA COLINA) SITIO: DESLIZAMIENTO DEL BARRIO VILLA DE LOS ALPES

Código Línea: RD2324038	Diámetro: 24"	Longitud: 3196 metros
Material: AWWA C303	Orden prioritario 50	Tramo Critico 2

8.3.2.12.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

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 localizadas en la parte baja del Barrio una cuadra al norte de la carrera 5 A, presentan agrietamiento y hay un reporte de una falla reciente de la tubería variante barrio Las Lomas (STF24134 prioridad 152) de 24", la cual, está localizada a lo largo del tramo ya mencionado, ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

Durante la visita de diciembre ya existían fisuras en la vía que posiblemente estaban asociadas a movimientos lentos del terreno; igualmente en ese momento se estaba efectuando una reparación en la tubería.

8.3.2.12.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

Se desconocen con certeza las causas del problema. Una primera hipótesis está relacionada con zonas de antiguas canteras abandonadas en el lote de Tubos Moore que generaron el problema y una segunda hipótesis en un movimiento lento de una capa superficial de relleno donde están cimentadas las casas y no compromete la tubería.

8.3.2.12.3 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Dadas las características del problema la alternativa de solución consiste en convivir con el problema y efectuar reparaciones implementando juntas flexibles a lo largo del tubo en la medida que se presenten daños.

Otra solución contempla cambiar el alineamiento 80 m por la calle 32 sur y 550 m por la carrera séptima. Sin embargo, Información suministrada por un inspector indica que ya existe una variante recientemente construida en la carrera 10 y a lo largo de la Avenida Primero de Mayo; de ser comprobada esta información, no es necesario efectuar ningún tipo de variante.

8.3.2.13 LINEAS: DESDE VITELMA PARA LOS BARRIOS SURORIENTALES SITIO: ZONA B DE LOS ALPES DEL ZIPA

En este sector se encuentran ubicadas las siguientes líneas:

BIV30111 Columnas (B) – San Vicente, diámetro 30”, longitud 707 metros, material AAWAC303, prioridad 139.

RM24106 Barrios sur orientales, diámetro 24”, longitud 1497 metros, material AAWAC303, prioridad 17.

RM24107 Alpes (B) – Quindío (B), diámetro 24”, longitud 1560 metros, material AAWAC303, prioridad 8.

RM24108 Quindío – Juan Rey, diámetro 24”, longitud 3140 metros, material AAWAC303, prioridad 36.

La zona Vitelma Sur Oriental contempla las líneas que se encuentran localizadas entre los Tanques Columnas, San Vicente, Los Alpes, Quindío y Juan Rey.

A lo largo del corredor tramo norte entre los Tanques Columnas y San Vicente y Tramo sur entre los Tanques y Juan Rey, predominan depósitos fluvio-glaciares compuestos por arcillas de alta plasticidad con gravas y bloques, donde se encuentran las zonas de mayor afectación. En algunos tramos, la tubería pasa por afloramientos de arcillolitas de la Formación Bogotá y areniscas del Cacho, donde se presentan condiciones de estabilidad favorables.

8.3.2.13.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Corresponde a un sector de pendiente moderada a alta donde se encuentran arcillolitas y areniscas cubiertas por un coluvión de poco espesor. En este sector se presentan dos flujos de tierras de unos 40 m de ancho, en condiciones precarias de estabilidad con presencia abundante de agua, ver plano JR-052-TOP-014-E del anexo 12.

8.3.2.13.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

Como causas que generan condiciones de inestabilidad se encuentran:

- La presencia de agua Subterránea
- La presencia de suelos arcillosos blandos.

Con base en perforaciones efectuadas en Estudios de Suelos del sector, se encuentra:

Una capa superficial de arcillas de consistencia media a firme de baja plasticidad y alto

contenido de humedad a profundidades variables entre 1 y 3 m

Un estrato rocoso de arcillolita de la Formación Bogotá.

8.3.2.13.3 COMPORTAMIENTO ANTE CONDICIONES HIPOTÉTICAS:

Estas zonas presentan condiciones precarias de estabilidad es decir que se pueden reactivar bajo condiciones de sismo de baja intensidad y lluvias de baja duración.

8.3.2.13.4 PLANTEAMIENTO Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Para mejorar las condiciones de estabilidad del tubo a lo largo del corredor afectado se recomienda:

- Construcción de una trinchera drenante de unos 80 cm de ancho y de unos 2 m de profundidad, con gravilla, geotextil y tubo perforado de PVC, en unos 200 m de longitud, a lo largo del tubo.
- Conformación de ramales de trinchera drenante de las mismas dimensiones en las zonas de los flujos de tierra, parte alta del tubo, de unos 200 m de largo (un ramal principal de 40 m y dos laterales de 30 m por flujo).

8.3.2.14 LINEAS: DESDE VITELMA PARA LOS BARRIOS SURORIENTALES SITIO: ZONA A DE LOS ALPES DEL ZIPA

En este sector se encuentran ubicadas varias las siguientes líneas:

BIV30111 Columnas (B) – San Vicente, diámetro 30”, longitud 707 metros, material AAWAC303, prioridad 139.

RM24106 Barrios sur orientales, diámetro 24”, longitud 1497 metros, material AAWAC303,

prioridad 17.

RM24107 Alpes (B) – Quindío (B), diámetro 24”, longitud 1560 metros, material AAWAC303, prioridad 8.

RM24108 Quindío – Juan Rey, diámetro 24”, longitud 3140 metros, material AAWAC303, prioridad 36.

A lo largo del corredor tramo norte entre los Tanques Columnas y San Vicente y Tramo sur entre los Tanques y Juan Rey, predominan depósitos fluvio-glaciares compuestos por arcillas de alta plasticidad con gravas y bloques, donde se encuentran las zonas de mayor afectación. En algunos tramos, la tubería pasa por afloramientos de arcillolitas de la Formación Bogotá y areniscas del Cacho, donde se presentan condiciones de estabilidad favorables.

8.3.2.14.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

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; se generó un surco de unos 100 a 150 m de longitud a raíz de la rotura del tubo en la parte alta del cerro. 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, ver plano JR-052-TOP-014-E del anexo 12.

8.3.2.14.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

Como causa de la inestabilidad se encuentra:

- La pendiente del terreno y el espesor mayor de suelos residuales con la presencia de agua en alta proporción.

8.3.2.14.3 COMPORTAMIENTO ANTE CONDICIONES HIPOTÉTICAS:

Estas zonas presentan condiciones precarias de estabilidad es decir que se pueden reactivar bajo condiciones de sismo de baja intensidad y lluvias de baja duración.

8.3.2.14.4 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Para el mejoramiento de las condiciones del terreno, se recomienda la ejecución de las siguientes obras:

- Conformar anclajes o trinchos en sacos de suelo-cemento apoyados hasta la roca (4 m de profundidad), cada 15 a 20 m para soportar la tubería; se requiere un total de unos 10 trinchos.
- Contemplar la construcción de una trinchera drenante de 1.50 m de profundidad con gravilla y geotextil a lo largo del tubo en una longitud de 200 m.
- Recuperar la zona del surco con 8 trinchos de madera.

8.3.3 LINEA: QUINDIO – JUAN REY SITIO: ZANJÓN DEL QUINDÍO

Código Línea: RM24108	Diámetro: 24"	Longitud: 1560 metros
Material: AWWA C303	Orden prioritario 36	Tramo Critico 1

8.3.3.1.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

A lo largo de este zanjón, localizado al costado noroccidental del tanque Quindío, 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, conformando una batea, ver plano JR-052-TOP-013-E del anexo 12.

El sector es de alto riesgo y se encuentran invadido por casas de dos y tres pisos, algunas de ellas con evidencias de asentamientos.

8.3.3.1.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

Como causa de la inestabilidad se encuentra:

La morfología del terreno que define una zona baja y húmeda, con predominio de materiales arcillosos de baja consistencia y baja resistencia que se traducen en condiciones de inestabilidad.

8.3.3.1.3 COMPORTAMIENTO ANTE CONDICIONES HIPOTÉTICAS:

Estas zonas presentan condiciones precarias de estabilidad es decir que se pueden reactivar bajo condiciones de sismo de baja intensidad y lluvias de baja duración.

8.3.3.1.4 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Debido a la presencia de viviendas en el sector, es prácticamente imposible acometer obras correctivas de drenaje para mitigar el problema por los costos que llegan a ser no razonables, en consecuencia se recomienda convivir con el problema.

8.3.3.2 LINEA: QUINDIO – JUAN REY SITIO: PARTE ALTA DEL BARRIO QUINDÍO

Código Línea: RM24108	Diámetro: 24"	Longitud: 1560 metros
Material: AWWA C303	Orden prioritario 36	Tramo Critico 2

8.3.3.2.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

El terreno a lo largo de este tramo está conformado por areniscas y suelos residuales en la parte norte y depósito fluvio-glacial 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 fluvio-glacial 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.

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 abajo 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., ver plano JR-052-TOP-004-E del anexo 12.

8.3.3.2.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

Existe una sola causa del problema de estabilidad:

- La morfología del terreno en la zona sur que favorece la acumulación de agua lluvia y la proveniente de conexiones ilegales en la tubería que saturan el suelo y generan reptamiento.

Con el fin de determinar las condiciones del subsuelo de este sector, se efectuaron cuatro apiques de 2 m de profundidad. En ellos se encontró desde superficie hacia profundidad:

- Una capa superficial de limo orgánico de unos 0.2 m de espesor
- Una arcilla negra con raíces hasta 0.60m de profundidad.
- Limo arcilloso café y gris oscuro de consistencia media a firme hasta 1.70 m.
- Por debajo de 1.7 m se encuentra el estrato rocoso de arcillolita.
- El nivel freático se encontró en dos de los apiques entre 1.6 y 2.0 m.

8.3.3.2.3 COMPORTAMIENTO ANTE CONDICIONES HIPOTÉTICAS:

Se analizaron las condiciones de estabilidad en condiciones normales y en condiciones hipotéticas de sismo y lluvia, considerando un modelo simplificado de talud infinito encontrando los siguientes resultados:

Tabla No. 8.3.9. Condiciones de estabilidad para caso de talud infinito. sitio: Parte Alta del barrio Quindío

CONDICIÓN DEL TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD	GRADO DE AMENAZA	SISMO DETONANTE
Normal	3.39	Muy Baja	> 0.40 g (No clasifica)
Lluvia no persistente Tr = 100 años	3.09	Baja	> 0.40 g (No clasifica)
Lluvia persistente Tr = 100 años	2.21	Baja	> 0.40 g (Muy intenso)

Los resultados indican que en este sector no existe la probabilidad de que se presente un movimiento masivo por efecto de lluvias; es factible una falla por un sismo cercano de alta intensidad.

8.3.3.2.4 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Para este sector se recomienda:

- La construcción de subdrenes en geotextil y gravilla de 0.8 m de ancho en una zanja de 2.0 m de profundidad, con distribución según el plano JR-052-TOP-004-E del anexo 12. Los drenes se pueden conectar al drenaje natural en la parte baja de la zona de afectación.
- Conformación de zanja revestida en concreto a lo largo del cauce natural existente.

En lo que se refiere al paso por el zanjón al sur del tanque El Quindio se recomienda:

- Prolongar la protección en concreto a ambos lados, en la margen derecha 3 metros y en la margen izquierda 2 metros. La ampliación en la margen derecha debe tener un vertedero.
- Aguas debajo de la tubería, construir una estructura escalonada en gaviones para disipación de energía; los gaviones deben quedar protegidos con rodillos de madera.

8.3.3.3 LINEA: QUINDIO (B) – JUAN REY (B) SITIO: ZONA INESTABLE AL COSTADO SUR DEL BARRIO SAN RAFAEL

Código Línea: RM24108 Diámetro: 24” Longitud: 3140 metros
Material: AWWA C303 Orden prioritario 36 Tramo Critico 3

8.3.3.3.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

En este tramo se presenta una zona húmeda por el drenaje natural deficiente y la baja pendiente el terreno. La conformación del terreno está constituida por depósito fluvio-glacial compuesto por bloques de roca con tamaño heterogéneo englobados en una matriz arcillosa blanda. La tubería se proyecta en la parte alta de la zona de afectación, ver plano JR-052-TOP-005-E del anexo 12.

8.3.3.3.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

Como causa de la inestabilidad se tiene:

La baja pendiente del terreno y la presencia de agua del drenaje natural de la zona permite la saturación del suelo generando creep lento.

Se efectuaron cuatro apiques entre 2.6 y 2.8 m de profundidad donde se encontró el siguiente perfil desde superficie hacia profundidad:

- Material de relleno y limo orgánico entre 0.6 y 1.1 m de profundidad,
- Arcilla limosa café con raíces hasta la profundidad de exploración.
- El nivel freático se encontró entre 1.6 y 2.0 m. La localización de los sitios de exploración se presentan en el plano JR-052-TOP-005-E del anexo 12.

8.3.3.3.3 COMPORTAMIENTO ANTE CONDICIONES HIPOTÉTICAS:

Debido a la baja pendiente del orden de 5 a 10°, la probabilidad de ocurrencia de fenómenos de inestabilidad masivos es muy baja, aún bajo condiciones detonantes de sismo o lluvia.

8.3.3.3.4 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Para la estabilización del sitio, se recomienda:

- Al igual que en el caso anterior se propone la construcción de subdrenes en geotextil y gravilla de 0.6 metros de espesor en una zanja de 2.0 metros de profundidad, con distribución en espinazo de pescado. Los drenes se pueden conectar al drenaje natural en la parte baja de la zona de afectación.

8.3.4 ZONA DE SERVICIO SAN DIEGO NORTE Y SUR

Comprende la zona baja del piedemonte sur-oriental de la ciudad, entre los cerros orientales y la Avenida Caracas; para un poco más al nororiente del Tanque Santa Lucía hasta la Calle 26 Sector del Parque Nacional (San Diego Sur) y de este punto hacia el norte por la carrera séptima hasta la Calle 92. La mayor parte de las líneas se localizan en la parte alta e intermedia de los conos mencionados para la zona de Servicio Santa Fe, donde se presentan intercalaciones de suelos granulares gruesos (gravas y arenas), con intercalaciones de arcillas y capas enterradas de limos orgánicos y turbas.

En condiciones normales de funcionamiento no se presenta una amenaza alta. En esta zona es importante destacar el deslizamiento antiguo del Parque Nacional, del cual no hay registros o referencias de reactivación desde los años 30 y más aún, en el momento

de los reconocimientos de campo no se observan señales visibles de inestabilidad activa.

Este sector clasifica como zona de Amenaza Geotécnica Media según el Estudio del DPAE; y corresponde a zonas sin evidencias de inestabilidad y corresponde a áreas rurales y urbanas consolidadas y en proceso; desde el punto de vista sísmico se presenta un grado de amenaza medio donde se puede presentar inestabilidad de laderas en las partes altas y licuación de suelos arenosos de densidad media a suelta, en las partes bajas, para una condición de sismo de alta intensidad.

8.3.4.1 LINEA: SAN DIEGO – ZONA INTERMEDIA SITIO: TODA LA LINEA. INVESTIGACIÓN PROTECCIÓN CATÓDICA

Código Línea: BIV48100	Diámetro: 48"	Longitud: 2188 metros
Material: AWWA C200 C205	Orden prioritario 88	Tramo Critico 1

La falta de información sobre los sistemas de protección catódica instalados en algunas líneas de Bogotá, llevo a practicar la inspección en uno de ellos, ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

En el sistema indicado se realizaron las siguientes labores:

- Inspección de las acometidas al rectificador.
- Inspección y verificación de los componentes del rectificador.
- Inspección de la caseta del rectificador.
- Inspección de puestas a tierra.
- Inspección camas anódicas
- Inspección de postes o estaciones de monitoreo.
- Verificación del alcance del rectificador.

Las inspecciones y evaluaciones fueron realizadas por la firma AB Proyectos e Inspecciones Ltda.

El rectificador y sus partes se encuentran en buen estado lo mismo que las acometidas al mismo.

La caseta presenta servicio compartido entre vigilancia y almacenamiento de cajas y otros objetos, esto debe evitarse, la caseta debe ser solo para protección del rectificador.

Las camas anódicas como están en predios vigilados de la EAAB, no presentan problema de señalización, ni de vandalismo.

En los postes y los puntos de monitoreo se encuentra falta de mantenimiento de maleza y de limpieza de cajas. La pérdida de algunas placas de identificación genera algo de dificultad en la inspección, se requiere remarcar todos los puntos que tengan que ver con el sistema e instruir al personal sobre la importancia y necesidad de conservarlo las marcas.

Se debe tener una rutina de pintura y limpieza a los postes de los puntos de control.

El sistema tiene un funcionamiento aparentemente adecuado, las mediciones y monitoreos se practicaron en base a los planos del sistema y asumiendo que las conexiones indicadas están de acuerdo.

Las medidas de potencial están dentro de un rango de protección, salvo al final en el punto 10 que amerita un estudio de pérdidas de corriente de protección.

Se requiere también hacer un seguimiento al sistema llevando las estadísticas de inspección y monitoreo, este seguimiento debe estar acompañado con la inspección de algunos puntos de conexión que pueden presentar duda de operación.

El grupo de inspección, control, monitoreo y mantenimiento de los sistemas de protección catódica instalados, por instalar y los monitoreos de cruces con sistemas de protección foráneos, debe tener la adecuada capacitación y apoyo logístico para el buen desempeño de su labor. Esto obliga a que se tenga en los organigramas de la empresa el lugar de

dependencia e influencia del grupo de Protección Catódica.

Las recomendaciones indicadas deben ser aplicadas a todas las líneas que tengan sistemas de protección catódica instalado.

8.3.5 ZONA DE SERVICIO BAJA NORTE

Comprende la mayor parte del área urbana de la ciudad desde la Localidad de Ciudad Bolívar al sur de la ciudad, hasta la calle 200 en el sector de Torca, al costado norte. Por el occidente limita con el Río Bogotá y por el oriente aproximadamente con la Avenida Carrera 68.

Dentro del marco geológico y geomorfológico de la ciudad se pueden diferenciar cuatro zonas de comportamiento aproximadamente similar que en términos generales corresponden a los espacios físicos mostrados en la tabla 8.13

La zona 1 predominantemente está constituida por de consistencia media firme, con presencia de materiales limoso o arenosos.

En la zona 2 en la parte mas superficial el terreno está constituido por limos y arcillas orgánicas negras con raíces y en proceso de compresión por efecto del peso del relleno suprayacente en la mayoría de los casos. En esta zona es importante la presencia de suelos de origen lacustre en la parte central.

Tabla No. 8.3.10. Zonas geológicas y geomorfológicas similares en la zona baja norte

ZONA	UBICACIÓN
1	Comprende la parte sur de la sabana y se encuentra limitada por el norte por la Avenida del Ferrocarril, por el sur por los cerros suroccidentales, por la parte oriental y occidental limita respectivamente con los cerros orientales y Soacha y Funza.
2	Comprende la parte central de la Sabana de Bogotá, limitada por el norte por la calle 72 y al sur por la Avenida del Ferrocarril, por el oriente limita aproximadamente con la carrera 22 y al occidente se encuentra hasta la transversal 92.
3	Corresponde a la parte noroccidental de la Sabana de Bogotá con excepción de los cerros de Suba.
4	Bordea los cerros orientales y se halla principalmente en la parte centro oriental.

La zona 3 en la parte noroccidental, principalmente en el sector norte los suelos son de origen lacustre con espesores importantes, constituyendo un potencial de alta compresibilidad. La zona 4 tiene terrenos conformados por suelos residuales derivados de la meteorización de las rocas. Comprende también depósitos coluviales localizados en el piedemonte y en las laderas de los cerros orientales y suroccidentales.

8.3.5.1 LINEA: TUBERÍA DE IMPULSIÓN CIUDAD BOLIVAR SITIO: ZONA POSTERIOR DEL TANQUE SIERRA MORENA III

Código Línea: BIV36070 Diámetro: 30" Longitud: 893 metros
Material: AWWA C303 Orden prioritario 78 Tramo Critico 1

8.3.5.1.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Este tanque está localizado al sur oeste 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 entre la calle 76ª sur y carreras 56 a 60. El terreno está conformado por areniscas muy fracturadas. La zona está afectada por procesos de erosión y meteorización, ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

8.3.5.1.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

Se encuentran suelos residuales limo-arenosos susceptibles a la erosión e inestabilidad en particular de la capa mas superficial; las fugas permanentes de agua proveniente de conexiones de contrabando generan condiciones de humedad y saturación del suelo manteniendo condiciones de estabilidad precarias de la zona.

8.3.5.1.3 COMPORTAMIENTO ANTE CONDICIONES HIPOTÉTICAS:

Se efectuaron los análisis de estabilidad con base en un modelo simplificado de talud infinito, encontrando los siguientes resultados:

Tabla No. 8.3.11. Condiciones de estabilidad para caso de talud infinito. sitio: zona Posterior del Tanque Sierra Morena III

CONDICIÓN DEL TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD	GRADO DE AMENAZA	SISMO DETONANTE
Normal	1.69	Media	> 0.40 g (No clasifica)
Lluvia no persistente Tr = 100 años	1.52	Media	> 0.40 g (No clasifica)
Lluvia persistente Tr = 100 años	1.17	Media	0.29 g (Muy Intenso)

Este talud puede ser susceptible a la falla por un sismo de gran intensidad.

8.3.5.1.4 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Se recomienda las siguientes obras y actividades de estabilización:

- Arreglo de los suministros de agua en la entrega del Tanque: se recomienda

implementar estructuras de entrega seguras par controlar las fugas de las mangueras.

- Trinchos de madera y recuperación vegetal en un área de 300 x 300 m.

Protección de la tubería con una barrera de pilotes de rieles metálicos de 6 m de longitud, separados cada 2 m paralela al tubo en el costado sur en un tramo de 200 m.

8.3.5.2 LINEA: TIBITOC-CASABLANCA SITIO: INESTABILIDAD EN LA PARTE BAJA DEL TANQUE CASABLANCA

Código Línea: RM78001	Diámetro: 78"	Longitud: 52694 metros
Material: AWWA C301	Orden prioritario 1	Tramo Critico 1

8.3.5.2.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Localizado al sur occidente 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, ver plano JR-052-TOP-001-E del anexo 12.

Según el reconocimiento de los Especialistas de Geología y Geotécnia, en ésta zona se presenta un deslizamiento muy cercano a la tubería de 78" que llega al Tanque de Casablanca, inducido por aguas superficiales de la vía y aguas subterráneas que están generando saturación del terreno, causando hundimientos y movimientos del terreno.

8.3.5.2.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

La infiltración de aguas lluvias y aguas provenientes del tanque generan saturación de la capa superficial de suelo e inducen el problema de estabilidad.

Con el objeto de analizar las causas del problema se programó una perforación de 8 m de

profundidad en la parte alta del deslizamiento y una trinchera de 1.7 m de longitud en la parte baja. En la parte alta, entre 0 y 5.6 m de profundidad se encuentra arena limo arcillosa y arcilla limoarenosa con gravas y bloques de arenisca; por debajo de esta profundidad se encuentran bloques de arenisca en matriz arenosa. En la trinchera de la parte baja se encuentra entre 0 y 1.7 m relleno de escombros y a 1.7 m se encuentran areniscas.

Para el diseño de las obras de protección, se recomienda una perforación de 8.0 m hacia el lado de la vía y un apique trinchera (2 m de apique y 3 m de trinchera), hacia la zona inestable, para tener mejores elementos de juicio y por ende proporcionar una mejor solución conceptual.

Analizando las condiciones de afectación de la zona, las variables que intervienen y la alternativa que sea mas viable, se propone la colocación de un filtro longitudinal, de unos 100 m de largo, a una profundidad de 1.50 m y con una sección transversal de 0.40 x 0.60 m, que tenga la función de recoger las aguas que provienen de la vía y de la zona aledaña, con un descole controlado; así mismo, la construcción de un muro de contención, que en principio puede hacerse en gaviones con una longitud de 40 m y una altura de 3.0 m.

8.3.5.2.3 COMPORTAMIENTO ANTE HIPÓTESIS DE SISMO Y LLUVIA:

Con el objeto de evaluar las condiciones de estabilidad de la zona se efectuó un modelo simplificado de talud infinito, encontrando los siguientes resultados:

Tabla No. 8.3.12. Condiciones de estabilidad para caso de talud infinito. sitio: Inestabilidad en la parte Baja del Tanque Casablanca

CONDICIÓN DEL TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD	GRADO DE AMENAZA	SISMO DETONANTE
Normal	1.57	Media	> 0.40 g (No clasifica)
Lluvia no persistente Tr = 100 años	1.99	Media	> 0.40 g (No clasifica)
Lluvia persistente Tr = 100 años	1.18	Media	0.33 g (Muy Intenso)

Se presentan condiciones de estabilidad marginales ante la ocurrencia de lluvias persistentes del orden de 48 mm que corresponde a un período de retorno superior a 10 años, combinado con el evento de un sismo muy intenso.

8.3.5.2.4 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Con el fin de controlar el problema de estabilidad se recomienda la construcción de 90 m de subdrenes de gravilla cubierto con geotextil, de 0.80 m de ancho y 2 m de profundidad, con tubo perforado de 6", con la distribución indicada en el plano JR-052-TOP-001-E del anexo 12.

Sin embargo, se recomienda para el diseño definitivo de las obras que se deban ejecutar en esta zona, la realización de las siguientes acciones:

1.- Es muy importante, descartar que la presencia de agua y la saturación del suelo, provenga de escapes del Tanque, o de la tubería. Por que si la fuente de agua fuera ésta, la solución estaría encaminada a detectar la localización de dichas fugas y su reparación correspondiente.

2.- Topografía. Levantamiento planimétrico y de secciones de la zona en consideración,

para implantación de las obras que se requieran.

3.- Investigación Geotécnica. Se complementará la información que se tenga, mediante otros sondeos y/o apiques, para caracterizar y delimitar mejor la zona en conflicto.

4.- Diseños Definitivos Hidráulicos y Estructurales.

5.- Cantidades de obra reales, con su respectivo cronograma de actividades y las especificaciones correspondientes.

8.3.5.3 LINEA: DIFERENTES LINEAS SITIO: RONDA DE INUNDACIÓN DEL RIO TUNJUELITO

8.3.5.3.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Corresponde a la cuenca baja del río Tunjuelito con susceptibilidad como zona de riesgo alto, constituida por arcillas y limos poco permeables, ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

8.3.5.3.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

Con base en registros de perforaciones efectuadas en la zona, se encuentran desde la superficie hasta unos 8 a 15 m de profundidad arcillas de consistencia media a blanda con intercalaciones de arenas finas sueltas, con valores del Ensayo de Penetración Estándar entre 8 y 15 golpes/pie. Por debajo se encuentran arcillas de consistencia firme a dura y suelos orgánicos consolidados.

En condiciones normales de funcionamiento no existe amenaza sobre la tubería, ya que las características del suelo de fundación no genera afectación sobre la tubería por deformaciones; en condiciones de sismo, la presencia de depósitos de arenas sueltos con

menos de 15 golpes/pie, generan un alto de grado de amenaza por licuación del suelo. La ocurrencia de este evento puede generar asentamientos diferenciales en la tubería y posibles dislocaciones a lo largo de las juntas.

Las líneas potencialmente afectadas son las siguientes:

- RM78001 de 78" Línea Tibitoc-Cantarrana-Casablanca. L = 500 m
Prioridad 1
- BIV4842099 de 48" Línea El Silencio Casablanca. L = 500 m
Prioridad 49
- STF1624131 de 16" Bosa Kennedy Av Las Americas. L = 900 m
Prioridad 44
- RM16049 de 16" Avenida 44sur x Carrera 25 – El Carmen. L = 300 m
Prioridad 28
- RD13A24031 de 24" Línea El Tunal _San Francisco. L = 600 m
Prioridad 83

NOTA: Las longitudes de afectación (L) son aproximadas ya que son tomadas del mapa geotécnico de Bogotá en la zona plana (escala 1:25.000).

8.3.5.3.3 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Aunque no se logró encontrar los diseños de estas redes, con base en la información que se pudo analizar en particular de la Línea Tibitóc-Casablanca, el estado de arte de construcción contempla la construcción de apoyos de las tuberías cada 6 m, lo cual resultaría conveniente contra el evento de sismo; de no ser así y para mitigar la amenaza sísmica en la tubería sería necesario efectuar un recalce de la cimentación por medio de pilotes pre-excavados (o hincados) del orden de 10 y 15 m de profundidad, de tal manera que sobrepase la zona de depósito susceptible a licuación y llegue hasta los mantos de arcillas firmes a duras que probablemente se encuentren entre 8 y 13 m de profundidad.

La capacidad de un pilote construido por el sistema de hélice continua para esta profundidad puede variar entre 11 y 18 ton; se recomienda por lo menos el uso de 2 pilotes por apoyos unidos por un cabezal metálico o de concreto que le aporte rigidez; se requerirán separaciones entre apoyos del orden de 6 m para una tubería de 78", y del orden de 15 m para tuberías de 48" y de 20 m para tuberías de menor diámetro.

8.3.5.4 LINEA: DIFERENTES LINEAS SITIO: RONDA DE INUNDACIÓN DEL RÍO BOGOTÁ Y HUMEDALES

8.3.5.4.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Comprende terrenos conformados por depósitos recientes del río Bogotá que se superponen a la formación Sabana y que Helmens (1.990) denominó formación Chía, tiene una composición limo-arcillosa a arcillo-limosa predominantemente, son de origen aluvial o lacustre en algunos sectores. En estos últimos casos suelen encontrarse con importantes intercalaciones de materiales orgánicos, ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

Los rellenos de origen antrópico son muy abundantes en algunos sectores de las zonas bajas y márgenes del río Bogotá, son sitios de disposición de residuos sólidos como basuras y escombros de demoliciones y otras clases de materiales la mayoría dispuestos como rellenos desordenados de depresiones cercanas al cauce del río o zonas de disposición de materiales de excavación en inmediaciones de la Avenida Centenario (carretera Bogotá – Fontibón- Mosquera).

8.3.5.4.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA.

Registros de perforación en las proximidades del Río Bogotá indican la presencia de arcillas y limos orgánicos muy blandos, con intercalaciones de arenas sueltas, con valores del Ensayo de Penetración Estándar entre 5 y 10 golpes/pie. Se encuentra una capa

superficial de relleno que varía entre 1 y 2 m de espesor en la zona sur de Kennedy y del orden de 2 a 6 m de espesor en la zona norte de Fontibón.

En las zonas de humedal se presenta una situación similar con el predominio de suelos arcillosos blandos y limos orgánicos.

En condiciones normales de funcionamiento existe amenaza por deformaciones debidas a asentamientos por consolidación del suelo compresible. En la zona sur de Kennedy los rellenos son antiguos y de poco espesor y no afectan el comportamiento del tubo, y en el sector de la localidad de Fontibon se encuentran rellenos antiguos y recientes de espesores variables entre 2 y 6 m, compuestos principalmente por desechos de construcción y basuras. Estos asentamientos progresivos pueden generar asentamientos diferenciales y eventuales afectaciones en la tubería.

En condiciones hipotéticas de sismo la presencia de suelos muy blandos y sueltos los hacen susceptibles a deformaciones permanentes y fenómenos de licuación en arenas, ante el evento de un sismo de moderada a baja intensidad.

Las líneas con afectación potencial en la Ronda del Río Bogotá son las siguientes:

1. RM241DEMAYO de 24" Avenida 1o de Mayo con Carrera 86-Kennedy
Sin prioridad
2. BIV1624114 de 16" Conducción Gran Britalia-Kennedy
Prioridad 39
3. STF16137 de 16" Avenida Villavicencio Sector Tintalito y Gran Britalia-Kennedy
Prioridad 69
4. STF16138 de 16" Avenida Centenario – Zona Franca - Fontibón.
Prioridad 16
5. RM16058 de 16" Avenida El Dorado x Av. Cra 47, Fontibón.
Prioridad 56
6. STF16125 de 16" Ciudadela Colsubsidio – Relleno El Cortijo.
Prioridad 15

Las líneas con afectación Potencial en las zonas de humedales son las siguientes:

1. RM16056 de 16" Avenida Centenario cerca al río Fucha
Prioridad 2
2. RM300.15 de 30" Margen derecha del río Bogotá y entrada a Funza
Prioridad 30
3. RD842008 de 16" Ferrocarril de Occidente, Humedal de Capellanía
Prioridad 10
4. RD6742005 de 16" Ferrocarril de Occidente, Humedal de Capellanía
Sin prioridad
5. STF24135 de 16" Avenida Moriscos, Relleno El Cortijo
Sin prioridad
6. RD4A24021. de 16" Av Boyacá- Tibabuyes, Minuto de Dios.
Prioridad 21

8.3.5.4.3 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Dadas las características del sector, se recomienda mantener en observación estas líneas, efectuar revisiones periódicas sobre daños aplicando el siguiente plan de contingencia :

Plan de Contingencia

Para este caso las acciones que se tomarán son correctivas que consisten en :

- ◇ Esperar hasta que se presente el daño, una vez ocurrido se debe identificar claramente las causas que lo generan según las variables externas correspondientes (remoción en masa, geología estructural, litología y comportamiento geotécnico).
- ◇ Evaluar reporte de daños y revisar historia para el tramo, sector y línea.
- ◇ Si es un problema local y esporádico la solución es particular.

◇ Si es un problema repetitivo y generalizado la solución debe ser de "fondo" para la línea o tramo afectado.

NOTA: Se entiende como solución de fondo desde el punto de vista geotécnico, el cambio de alineamiento del tubo a una zona que ofrezca mayor seguridad geológica y geotécnica, estructuras de protección tipo cajón para prevenir deformaciones en la tubería, elevar la cota de fundación de la tubería en el caso de rellenos de espesor considerable sobre la tubería.

8.3.5.5 LINEA: TIBITOC – USAQUEN SITIO: ZONA DE RELLENOS POR LA LÍNEA DEL FERROCARRIL DEL NORTE ENTRE LA CALLE 170 Y LA CALLE 200

Código Línea: CC9003	Diámetro: 60"	Longitud: 38000 metros
Material: AWWA C303	Orden prioritario 3	Tramo Critico 2

8.3.5.5.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

A lo largo del costado occidental de la línea del ferrocarril del norte, entre las calles 170 y la calle 200, el corredor de la línea de 60" presenta invasiones por construcciones de almacenes, restaurantes y centros educativos. En este sector han sido dispuestos de manera desordenada sobre suelos arcillosos, limosos y / u orgánicos, materiales arcillosos, orgánicos provenientes de excavaciones, mezclados con materiales constituidos por escombros de demoliciones, sin la compactación adecuada, lo cual ha originado que el terreno en el transcurso del tiempo se ha venido consolidando por su propio peso generando zonas deprimidas que han incidido en problemas de estabilidad de la tubería de 60" (Tibitóc – Usaquén), ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

8.3.5.5.2 CAUSAS QUE GENERAN LA AMENAZA Y DIAGNOSTICO.

La presencia de rellenos sobre suelos arcillosos blandos y suelos orgánicos producen

asentamientos del terreno que afectan la tubería.

Se han presentado fugas por las uniones de la tubería CCP de diámetro 60” originadas por desalineamientos verticales horizontales o combinados que han tratado de desempatar la unión espigo campana anulando el efecto de sello de la empaquetadura de caucho. La solución que hasta el momento se ha dado a este problema ha sido la rigidización mediante soldadura de las juntas espigo campana; este problema se puede estar presentado por asentamientos diferenciales de terreno o empuje lateral del mismo.

Tabla No. 8.3.13. Análisis a los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar la agresividad de los suelos línea Tibitóc Usaquen

AGRESIVIDAD DE LOS SUELOS (Metodo de los 10 puntos)			
Línea Tibitóc-Usaquen			
Parametro estudiado	Lectura minima	Lectura maxima	Calificación
Resistividad (Ohm/Cm)	1000	1200	3
pH	4	8.5	0
Acidez intercambiable (mvol/Kg.)	0	0	0
Sulfatos (mg/kg de suelo)	100	275	2
Humedad (%)	30	50	1
Total Calificación			6
Indice agresividad			3
Diagnostico			Medianamente Agresivo

En el análisis de suelo y las mediciones de resistividad se muestran un panorama de agresividad media en el corredor de la línea que puede estar afectando la estructura de la misma, esta agresividad actuando en forma constante sobre la estructura del tubo puede verse incrementada por las obras ejecutadas sobre el corredor de la tubería.

8.3.5.5.3 PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Como Alternativas de solución para el problema que se presenta en este sitio se consideraron las siguientes:

1. Relocalización del tramo de línea
2. Apoyar la tubería sobre vigas cada 10m, que transmitan las cargas a una pareja de pilotes por cada viga.
3. Instalación de Uniones Mecánicas Flexibles

La Alternativa No. 1, no se considera viable, ya que el diagnóstico y evaluación sobre el estado de la tubería para esta línea, indica que se encuentra en estado aceptable, hecho que se ha podido corroborar durante las reparaciones de los daños que se han presentado sobre esta tubería en el sitio, los cuales se han presentado por desempate de los tubos y no por rotura de los mismos, siendo únicamente necesaria la limpieza, recuperación de los revestimientos interiores y rehabilitación de los accesorios; en consecuencia no se justificaba el cambio de los tubos en este sitio, además, el problema de asentamientos corresponde no sólo al sitio por donde pasa la tubería actualmente, sino a una zona comprendida aproximadamente entre la zona de piedemonte y la Autopista Norte, por tanto la relocalización del tramo no solucionaría por si sola el problema que allí se presenta. Esta alternativa implica la pérdida de tramos considerables de tubería, los cuales no podrían ser reutilizados luego de su extracción; si se considera una pérdida del 40% de la longitud de los tubos, se estaría hablando del orden de 1140 m de tubería que se perderían, para un costo aproximado de \$912'000.000 de pesos (\$800.000/metro lineal de suministro de tubería CCP) por concepto del suministro de la tubería, sin considerar el costo por instalación de la misma y como se mencionó anteriormente, que no se estaría dando solución al problema de asentamiento en la zona.

Por otra parte, el mejor corredor es el existente, dado que las zonas aledañas al mismo cuentan con un desarrollo generalizado a nivel residencial, educativo e industrial, razón por la cual sería necesaria la compra de predios y/o indemnizaciones que incrementan el costo por concepto de esta solución; además, cualquier cambio de

alineamiento implica un incremento en la longitud.

La Alternativa 2 se basó en un estudio realizado en septiembre de 1998 por la firma Análisis Geotécnicos Colombianos AGC Ltda, en ella se evalúan parejas de pilotes hincados, unidos por una viga en la que estaría apoyado el tubo de 60". Los apoyos de pilote viga se estudiaron para separación entre apoyos de 10 m a lo largo del eje del tubo. Los análisis se realizaron para alternativas con pilotes de sección cuadrada en concreto reforzado de 0.25 y 0.30 m de lado y de 20, 25 y 30 m de longitud y para pilotes de sección circular en tubería metálica de 8 y 10" de diámetro con longitudes de 20, 25 y 30 m. En el Anexo 27 del volumen 7A de 7 se presenta el informe entregado a la EAAB por el Ingeniero Alvaro González de AGC Ltda., en el cual se hace el análisis detallado de esta solución, considerando el tramo comprendido entre las abscisas K25+674.25 y K25+816.25 (aproximadamente calles 188 y 189 con Av. Ferrocarril), lugar que fue estudiado por el desplazamiento de la tubería, situación que actualmente se está presentando aproximadamente entre las calles 183 y 205 (Longitud aproximada del tramo 2850 m), tal y como se estableció en el análisis y estudio realizado por esta consultoría, en consecuencia la solución planteada debería extenderse para el tramo de 2850m actualmente involucrado. Si se extrapola esta solución para el tramo actual, se tendría un costo aproximado de \$1027'356.720 pesos a precios de 1998 (Cuellar Serrano Gómez propuso un valor de \$51'187.598 para 142 m de tubería evaluada entre las abscisas antes mencionadas), cifra que corresponde a \$1424'174.880 pesos del 2001 (considerando IPC 1998-16.7%, 1999 - 9.23% y del 2000-8.75%), valor que no incluye topografía, rotura y reparación de pavimentos, limpieza de la tubería y rehabilitación de accesorios entre otros.

Finalmente, la Alternativa 3 contempla la instalación de 15 uniones mecánicas flexibles, distribuidas entre las calles 183 y 205, con una separación promedio de 200 m aproximadamente, con el fin de permitir el desplazamiento del tubo a lo largo de su eje y aliviar esfuerzos internos en la sección del tubo. Esta alternativa se ha evaluado como la más viable, ya que la flexibilización de las juntas permite eliminar los cordones de rigidización que se han utilizado como solución a los daños que se han presentado en

este sitio por desempate de las juntas. Esta solución tiene un costo aproximado de \$900'414.695 de pesos, permitiendo el monitoreo y seguimiento de los desplazamientos, dado que las uniones se disponen en cajas; en el Anexo 27 se presenta la descripción y justificación técnica de la bondad de las uniones mecánicas flexibles recomendadas.

Adicionalmente, se recomienda adoptar el Plan de Contingencia 1 que contempla acciones preventivas tales como:

- Inspección visual periódica de la línea identificando posible señales de afectación. Desde el punto de vista geológico y geotécnico, se recomienda efectuar inspecciones periódicas cada seis meses o después del evento de un sismo o lluvia de magnitud importante. estas inspecciones deben ser realizadas por personal especializado.
- Establecer un programa de investigación periódica a mediano y largo plazo en función de los factores potenciales de daño y de los resultados de las inspecciones de campo. Desde el punto de vista geológico y geotécnico se recomienda la programación de apiques de inspección en sitios representativos, con el objeto de evaluar el estado de la tubería y verificar condiciones de cimentación, estado de los materiales y condiciones del agua subterránea.

De otra parte, en el anexo 25 de este documento, se presenta el documento JR-052-IT01-01-01 correspondiente al Informe Técnico sobre una falla presentada en la línea Tibitoc-Usaquen el día 14 de Junio de 2001 a la altura de la calle 205 elaborado por esta Consultoría y en el Anexo 27 se presenta el informe presentado por el Ing. Isaza Villa a la EAAB respecto a la evaluación de este mismo daño.

8.3.5.6 LINEA: INTERCONEXION CALLE 129 SITIO: CRUCE AUTOPISTA NORTE

Código Línea: RM60002 **Diámetro:** 60" **Longitud:** 4110 metros
Material: AWWA C303 **Orden prioritario** 130 **Tramo Critico** 1

8.3.5.6.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Línea CCP de 60" que interconecta la línea Tibitóc – Casablanca con la línea Usaquén Escuela Militar estando instalada por el costado occidental de la autopista norte entre la calle 129 y calle 92, ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

8.3.5.6.2 CAUSAS QUE GENERAN EL MAL FUNCIONAMIENTO Y DIAGNÓSTICO.

La línea no ha presentado problemas de mal funcionamiento y el índice de agresividad del terreno es bajo pero esta siendo afectada por sobre cargas de tráfico debido a las calzadas de transmilenio sobre la autopista y a la construcción de puentes peatonales y vehiculares sobre la autopista. Esta afectación podría ocasionar asentamientos de terreno con la consecuente pérdida de estanqueidad en las juntas de espigo y campana con empaque de caucho.

A continuación se presenta la calificación de los resultados de los ensayos de laboratorio realizado a los suelos.

*Tabla No. 8.3.14. Análisis a los resultados de los ensayos de laboratorio Interconexión
calle 129*

AGRESIVIDAD DE LOS SUELOS (Metodo de los 10 puntos)			
Interconexión calle 129			
Parametro estudiado	Lectura minima	Lectura maxima	Calificación
Resistividad (Ohm/Cm)	1500 - 2000	1500 - 2000	1
pH	4 - 8.5	4 - 8.5	0
Acidezintercambiable (mvol/Kg.)	0	0	0
Sulfatos (mg/kg de suelo)	200	200	2
Humedad (%)	30 - 50	30 - 50	1
Total Calificación			4
Indice agresividad			2
Diagnostico			Poco Agresivo

8.3.5.6.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Por agresividad del suelo no se espera normalmente afectación pero esta situación puede cambiar por las sobrecargas que pueda soportar la estructura causada por las obras de infraestructura.

Se podría utilizar el método de inspección visual y mecánica con la técnica DCVG para determinar estado del revestimiento sus defectos y posible afectación por corrosión de la parte metálica de la tubería.

8.3.5.7 LINEA: USAQUEN – LA BELLA SUIZA - LOS CEDRITOS SITIO: VIA DEL FERROCARRIL, CALLE 127 Y KR. 7

Código Línea: RM24104	Diámetro: 24"	Longitud: 3856 metros
Material: AWWA C303	Orden prioritario 84	Tramo Critico 1

8.3.5.7.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Línea CCP de diámetro 24" sale de Usaquén por la vía del ferrocarril al norte a la calle 127 con carrera séptima y continua al norte por el costado oriental, ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

8.3.5.7.2 CAUSAS QUE GENERAN EL MAL FUNCIONAMIENTO.

En terrenos poco agresivos con influencia de las construcciones al oriente de la avenida séptima que puedan originar asentamientos diferenciales y corrimientos de la tubería con la consecuente desempate de las juntas.

A continuación se presenta el análisis de los resultados de laboratorio realizados a los suelos.

Tabla No. 8.3.15. Análisis a los resultados de los ensayos de laboratorio

línea Usaquen-Bella Suiza – Los Cedritos

AGRESIVIDAD DE LOS SUELOS (Metodo de los 10 puntos)			
Línea Usaquen - Bella Suiza - Los Cedritos			
Parametro estudiado	Lectura minima	Lectura maxima	Calificación
Resistividad (Ohm/Cm)	1500	2000	1
pH	4	8.5	0
Acidez intercambiable (mvol/Kg.)	0	0	0
Sulfatos (mg/kg de suelo)	2000	2000	2
Humedad (%)	30	50	1
Total Calificación			4
Indice agresividad			2
Diagnostico			Poco Agresivo

8.3.5.7.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Se propone hacer un estudio del estado del revestimiento exterior de la tubería mediante apiques manuales e inspección visual o aplicando la ya mencionada técnica del DCVG, cuyo costo se sale del alcance de este contrato.

8.3.5.8 LINEAS: TIBITOC – CASABLANCA SITIO: SECTOR TIBITOC - LOS CLUBES, HUMEDAL DEL TEUSACA

Código Línea: RM78001 Diámetro: 78” Longitud: 52694 metros
Material: AWWA C301 Orden prioritario 1 Tramo Critico 3

8.3.5.8.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

En la zona descrita del Humedal de Teusacá, la línea de 78" proveniente de la planta de Tibitóc; su alineamiento es enterrado y está conformada por tubería tipo PCCP, con anclajes de flotación en los extremos, complementado con una estructura especial en la zona central. Estos elementos, son en concreto reforzado, ver plano JR-052-TOP-007-E del anexo 12.

8.3.5.8.2 CAUSAS QUE GENERAN EL MAL FUNCIONAMIENTO.

Dada la experiencia de comportamiento de falla de la tubería PCCP, por corrosión tanto del concreto exterior de protección y como del acero pretensado, de las condiciones del suelo circundante dada su composición de suelos orgánicos y arcillosos, de el alto nivel freático y su gran variación, y de la respectiva importancia de la línea dentro del sistema general de distribución de agua potable, hacen que sea una zona de muy alta prioridad y por ende su posible rehabilitación.

Sin embargo, así la tubería esté bajo condiciones y medios agresivos, también es cierto, que cuenta con unos elementos de protección generados por los anclajes de flotación y por la estructura especial, que sirven directa o indirectamente para amortiguar los agentes detonantes y en consecuencia hacer que este tramo de tubería sea menos vulnerable.

En consecuencia, con la información geotécnica, geológica y estructural, que se dispone hasta el momento, no es suficiente para conocer el estado actual y real de este tramo de

la tubería; pues no se conoce a ciencia cierta como se encuentra las respectivas estructuras de protección, ni tampoco se conoce el estado de la tubería.

Por lo tanto, proponer en estas condiciones una serie de alternativas de rehabilitación o renovación, es una tarea muy aventurada, pues los elementos de juicio de donde se parten son muy escasos e insuficientes y pueden conllevar a una sobre valoración del problema y de su respectiva solución.

8.3.5.8.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Por todo lo anterior, se recomienda que se realice un Estudio específico para esa zona que por lo menos contenga los siguientes aspectos:

8.3.5.8.3.1 Topografía.

Levantamiento planimétrico, abscisado y nivelación del tramo de la tubería enterrada en el humedal, determinando en lo posible las secciones típicas de los anclajes de flotación y de la estructura especial en concreto.

8.3.5.8.3.2 Investigación Geotécnica.

Se realizarán los sondeos o exploraciones pertinentes para determinar las características mecánicas del suelo circundante y del estrato de soporte de la tubería y de las obras de protección anexas, lo mismo, que se determinará el módulo de reacción del estrato de cimentación de la tubería y las características de consolidación, para determinar los valores o magnitudes de las deformaciones residuales a que tenga lugar.

8.3.5.8.3.3 Inspección General.

Se realizará una inspección visual tanto externa como interna del tramo de tubería que se localiza enterrado en el humedal, para determinar el estado real en que se encuentra.

Mediante una exploración visual externa, en donde se determine el estado estructural de los anclajes de flotación y de la estructura especial. El propósito es establecer la magnitud de afectación - si lo hay -, y en que grado están las fisuras, grietas o desprendimientos de los elementos de protección de la tubería. Por lo que se puede establecer unos puntos específicos de muestreo, por lo menos tres en la zona central, en donde los dos de los puntos se ubiquen en el cambio de la estructura especial a estructura de anclaje de flotación y otros tres o cuatro puntos de chequeo localizados a ambos lados, sobre los elementos de flotación.

De igual manera se hará la inspección visual por dentro de la tubería, para lo cual se recomienda hacerla personalmente (y no mediante cámara de televisión), no sin antes realizar el proceso de desocupado y limpieza pertinente.

Así mismo, se realizarán algunos ensayos de laboratorio externos e internos, que permitan conocer sobre todo el grado de corrosión de las estructuras de protección y de la tubería y sus respectivas propiedades mecánicas de resistencia.

8.3.5.8.3.4 Modelación Suelo - Estructura.

Mediante la formulación de un modelo estructural que tenga en cuenta todas las características y propiedades que interactúan entre el suelo circundante, los anclajes de flotación, la estructura especial y la tubería, para diferentes condiciones de operación, se establecerá los esfuerzos actuantes a los cuáles está siendo sometido el sistema estructural y por ende se encontrará en que condiciones de seguridad está trabajando.

8.3.5.8.3.5 Planteamiento de Alternativas de Solución.

En consecuencia, con base en lo anterior, se podrá establecer con claridad y certeza cuál es el estado real de la tubería, cuáles son sus verdaderos problemas y por ende cual debe ser, (y si lo amerita), las obras necesarias para su rehabilitación o su renovación.

8.3.5.8.3.6 Desarrollo de la Alternativa mas óptima.

Cualquier solución que se proponga, dado que se encuentre en buen estado todo el sistema estructural, debe considerar seguir utilizando la tubería actual y sus obras complementarias; realizando algunas obras menores de mantenimiento y/o complementaciones estructurales de baja incidencia. Indicando que variables tales como: cargas externas, agresividad del suelo y comportamiento geotécnico, pueden ser revaluadas y recalificadas con un valor menor, por lo que el nuevo valor global de vulnerabilidad tenderá a disminuir.

Sin embargo, si el estudio justifica que se debe realizar algún reforzamiento más profundo, una segunda alternativa de solución podría ser la misma metodología de rehabilitación utilizada para la misma línea en el tramo Clubes - Calle 80, basada en la instalación de una tubería metálica por dentro de la existente.

Dado que la anterior solución no sea factible, ahí sí, se contemplaría la posibilidad de construir un nuevo viaducto elevado atravesando el humedal.

8.3.5.9 LINEA: TIBITOC – CASABLANCA SITIO: CRUCE SOBRE RÍO TUNJUELITO

Código Línea: RM78001	Diámetro: 78”	Longitud: 52694 metros
Material: AWWA C301	Orden prioritario 1	Tramo Critico 3

8.3.5.9.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

En la zona en donde la línea de 78" que conduce hacia Casablanca y se cruza con el Río Tunjuelito, según los Estudios de Geología y Geotécnica, se presentan hundimientos y fallas en el terreno aledaño por la baja resistencia del suelo, dado que su conformación es a base de arenas limosas sueltas y saturadas, por lo que el agente detonante es el sismo

Línea PCCP de diámetro 78" por la avenida Boyaca al sur de la autopista Medellín, en su desplazamiento hasta el cruce con la línea férrea de la sevillana se alterna bajo calzada y en zona verde, a partir de la línea férrea sigue por vía cruzando el río Tunjuelo y la zona

de la urbanización villa del río con profundidades de mas de 6 metros en esta zona, ver plano JR-052-TOP-004-E del anexo 12.

8.3.5.9.2 CAUSAS QUE GENERAN EL MAL FUNCIONAMIENTO.

Debido a los problemas descritos se puede presentar una licuación en el terreno

Esta tubería tiene el mismo diseño, materiales y tiempo de funcionamiento que el sector comprendido entre la planta de Tibitóc y la avenida Boyaca con calle 80, tramo en el que se presentaron los estallidos de la tubería como consecuencia de la pérdida de pasivación del mortero de protección y fragilidad por hidrogeno de la varilla de alto tensionamiento, fallos que motivaron la decisión de rehabilitación de este tramo.

En términos generales la causa principal de estas fallas fueron la agresividad del terreno sobre la tubería, por eso en este tramo se desarrolla ensayos de laboratorio para determinar las condiciones de agresividad del terreno y de esta forma hacer tomar decisiones que permitan efectuar estudios directos sobre la tubería y determinar sitios para rehabilitación parcial o total si es del caso.

A continuación se presentan los resultados del análisis de laboratorio para determinación de agresividad del suelo.

*Tabla No. 8.3.16. Análisis a los resultados de los ensayos de laboratorio línea Tibitóc –
Casablanca-Cruce sobre el río Tunjuelito*

AGRESIVIDAD DE LOS SUELOS (Metodo de los 10 puntos)		
Línea Tibitóc - Casablanca		
Parametro estudiado	Valor promedio	Calificación
Resistividad (Ohm/Cm)	1200 - 1500	2
pH	4 - 8.5	0
Acidez intercambiable (mvol/Kg.)	0	0
Sulfatos (mg/kg de suelo)	200	2
Humedad (%)	30 - 50	1
Total Calificación		5
Indice agresividad		3
Diagnostico		Medianamente Agresivo

Adicionalmente, los resultados de análisis de suelos correspondientes a sectores de la línea \varnothing 78" al sur de la Autopista Medellín, presentan en términos generales presencia continua de humedad con porcentajes variables entre 14.3 y 64.9, valores de pH entre 4.65 y 7.97, cantidades de cloruros entre 26.6 y 388.2 mg Cl/Kg. Al sur de la Autopista Medellín se realizó una medición de resistividad que da el siguiente panorama:

- Av. Boyacá – Auto Dorado Moderadamente corrosivo
- AV. Boyacá – Terminal de transporte Moderadamente corrosivo
- AV: Boyacá – Canal Río Fucha Moderadamente corrosivo
- AV. Boyacá – Av. Primero de Mayo Ligeramente corrosivo
- AV. Boyacá – Calle 42 sur Moderadamente corrosivo
- AV: Boyacá - Diagonal 47 sur Moderadamente corrosivo
- AV. Boyacá - Diagonal 49 sur Moderadamente corrosivo

En el análisis de suelo y las mediciones de resistividad muestran un panorama de agresividad media en el corredor de la línea que puede estar afectando la estructura de la misma, esta agresividad actuando en forma constante sobre la estructura del tubo puede

verse incrementada por las obras de infraestructura que se han desarrollado y que se seguirán desarrollando a lo largo del sector.

8.3.5.9.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

La solución estará desarrollada cuando se analice la condición hipotética de operación; Así mismo, se deberá realizar una investigación de los suelos, para establecer si las arenas son densas o no; si lo son entonces el problema de licuación queda descartado y habría problema ante un evento sísmico.

De acuerdo a los resultados, se recomienda hacer estudios del recubrimiento y de el avance de la corrosión sobre la tubería mediante técnicas de inspección visual y mecánica (DCBG) (DC Voltaje Gradient Technology) que permitan evaluar el estado del revestimiento, sus defectos y las severidad de la corrosión en el acero. El costo de estos ensayos esta por fuera del alcance económico del presente estudio. Dependiendo de los resultados obtenidos en este estudio se determinaría la técnica de rehabilitación total o parcial que se requiera.

8.3.5.10 LINEA: TIBITOC – CASABLANCA SITIO: SECTOR REHABILITADO. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA.

Código Línea: RM78001	Diámetro: 78"	Longitud: 52694 metros
Material: AWWA C301	Orden prioritario 1	Tramo Critico 3

Para esta línea se han tomado una serie de muestras a la altura de la calle 127 con el objeto de determinar las condiciones actuales de la línea de $\varnothing 78''$ y extrapolarlas a otros tramos que no son motivo del programa de rehabilitación, ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

Se tomaron muestras de concreto, empaque y acero de refuerzo.

8.3.5.10.1 INVESTIGACIÓN SOBRE LOS REVESTIMIENTOS

Las muestras de concreto fueron tomadas y procesadas por el Centro de diagnóstico del Concreto y la Corrosión de SIKA.

Las muestras tomadas permitieron ensayos de medición de profundidad de carbonatación, cantidades aproximadas de cemento en las mezclas actuales, materia orgánica, cloruros y sulfatos.

Algunos factores para tener en cuenta es la continua presencia de humedad en el subsuelo aledaño a la tubería enterrada y la presencia de iones cloro en los recubrimientos interior y exterior de la tubería PCCP.

Con relación a la profundidad carbonatación en el exterior de la tubería, se detecta ataque a mas de 20 mm de la superficie del concreto del núcleo del tubo, esto indica que según la distribución de capas de fabricación de la tubería, el mortero exterior y el alambren de refuerzo ya han sido afectados antes de llegar la carbonatación a la profundidad indicada. Hay que recordar que la carbonatación (reacción del dióxido de carbono con la cal libre o hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento) es una forma de romper la pasivación que los recubrimientos de mortero/concreto ejercen sobre las estructuras de acero para protegerlas de la corrosión.

En las muestras de concreto interior (tomada después de retirar la capa de sedimentación interior) y concreto exterior tomadas del núcleo del tubo PCCP, se encuentra una diferencia entre los contenidos de cemento en el interior con relación al exterior, siendo mas bajos al interior, caso que en la fabricación no se presenta por ser los dos concretos fundidos simultáneamente y en la misma mezclada; esto se puede explicar por la acción de las aguas puras que tienen una capacidad lixivante alta y por la presencia de cloro residual del tratamiento en el agua transportada. También se presenta en el concreto interior una baja de dureza, pues no presenta mucha resistencia al taladrado de toma de muestra. El mortero de recubrimiento del acero de refuerzo no presenta desviación contra los valores normales para estas mezclas.

La presencia de cloruros en el mortero exterior es inconveniente, pues esto baja la capacidad de pasivación y al presentarse sobre el alambren un proceso de corrosión, este tiende a fragilizarse por hidrógeno como aconteció en los estallidos presentados y estudiados en su momento.

8.3.5.10.2 INVESTIGACIÓN SOBRE LOS EMPAQUES EN LAS JUNTAS

Las muestras fueron tomadas en la tubería instalada en la Avenida Boyacá o diagonal 126B frente al número 59 - 10, costado oriental, en donde se localizaba la ventana No. 1 para inserción de tubería del sector rehabilitado número cinco (5), la dirección corresponde a la abscisa K33+375.00. Los resultados obtenidos se incluyen en el anexo 5.

Con relación a las muestras de empaque se tienen los siguientes comentarios:

- El empaque originalmente es de sección circular.
- El empaque se calcula y se fabrica por volumen, para que llene completamente la ranura entre el espigo y la campana una vez ejecutada la junta.
- El empaque actúa como un sello flexible.
- Las características mecánicas básicas del empaque son:
 - . Resistencia a la tensión 2700 psi min.
 - . Elongación en punto de rotura 350%
 - . Gravedad específica 0.95 a 1.45.
 - . Endurecimiento por compresión 20%.

La muestra de empaque tomada, después de 28 años de trabajo, aunque no es representativa por el tamaño que no permite realizar los ensayos completos, si muestra que mantiene sus características elásticas y de dureza, lo que garantiza buenas condiciones de sello en funcionamiento normal. La sección transversal de la muestra no

es circular, pero esto obedece al confinamiento al que se somete el empaque en la ranura del espigo y la campana; como se expuso antes el empaque se calcula y fabrica por volumen, obligándolo a deformarse para tomar la forma casi rectangular de la ranura de sello en la unión de la tubería.

Se hace notar que solo se conoce una reparación por fuga en la junta, que fue manejada con un empaque adicional presionado por un elemento metálico de tres secciones con uniones de tornillo y que se inserto entre la ranura exterior de la junta con fuga.

Respecto al caucho o empaque, se realizo la determinación de la densidad y el comportamiento a la tensión (curva esfuerzo – deformación), sin embargo de los resultados de los ensayos no se puede concluir el estado y comportamiento del empaque porque en el caso del ensayo esfuerzo – deformación, los dispositivos de sujeción no funcionaron correctamente.

8.3.5.10.3 INVESTIGACIÓN SOBRE EL ACERO DE REFUERZO

Referente a las muestras de alambón de alta tensión, se nota en este análisis, la presencia de una junta longitudinal de plegamiento, originada durante el proceso de fabricación, este plegamiento aunque no afecta la resistencia mecánica del alambón, si aumenta el área de material ferroso expuesta a ataque corrosivo. También se detectan puntos de corrosión sobre la superficie del alambón.

Estas observaciones coinciden con los ensayos realizados por la Universidad Nacional entre 1.978 y 1.983, a muestras de alambón de refuerzo correspondientes a tubos que fallaron durante ese periodo. Resumen de estos resultados se encuentran en el informe final de la Reunión de Expertos realizada en la EAAB, bajo la coordinación del consorcio Estudios Técnicos-Cenec-Salgado Meléndez.

En los ensayos a las muestras de alambón de la sección de tubería fallada, se detectaron puntos de corrosión sobre la superficie del alambón y microfisuras en el mismo, por el

plegamiento que presenta el alambren. Como ya hay un proceso de corrosión, hay presencia de hidrógeno libre que al penetrar en el material ferroso genera rotura del alambren por fragilidad por hidrógeno. Estos problemas de corrosión y fragilidad en el alambren, se han presentado en todos los puntos de falla de la tubería PCCP de 78". Es de suponer que este fenómeno se repita en algunos puntos de la línea no rehabilitada; teniendo en cuenta que el alambren es de la misma procedencia.

En cuanto a los ensayos de las varillas de acero del refuerzo pretensado de la tubería, en el informe del anexo 5 parte C, se muestran las gráficas de las curvas esfuerzo – deformación. Analizando los resultados entregados, se puede deducir que el modulo de elasticidad de las probetas ensayadas es un 15% menor que la de un acero convencional estandar; esto hace que la elongación o deformación que se presente en el acero sea mayor.

En los ensayos correspondientes a tubería fallada, se concluye que la protección del mortero lanzado sobre el alambren de refuerzo no es suficiente, debido al poco espesor del recubrimiento, causa que acompañada de la agresividad del terreno ha generado la presencia de corrosión en los alambrenes y la rotura de los mismos por fragilidad por hidrógeno; al romperse el alambren el núcleo de concreto del tubo PCCP comienza a trabajar a tracción, fallando cuando se rompe la lamina de estanqueidad embebida dentro del núcleo de concreto.

La poca confiabilidad de la tubería PCCP, hace recomendar una rehabilitación total de la línea; si la Empresa lo prefiere se podría implementar un programa de monitoreo sobre la Línea Tibitóc - Casablanca que incluya el estado de los recubrimientos y el avance de la corrosión.

8.3.5.10.4 CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA INVESTIGACIÓN DEL TRAMO REHABILITADO

En resumen, se evidencia que según los resultados de los ensayos de laboratorio y la

inspección realizada, la tubería original tipo PCCP de 78", se encuentra en condiciones aceptables y en consecuencia apta para seguir cumpliendo su función para la cual fue diseñada, ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

Se podría inferir que con base en estos resultados, no hubiera sido necesario la rehabilitación (por ahora), de este tramo de tubería.

Sin embargo el problema de la corrosión del concreto, del acero y de la carbonatación es tal que se puede generar una zona muy localizada y en consecuencia, al realizarse una secuencia de ensayos podría no identificar las zonas en que verdaderamente se estén presentando estos fenómenos de ataque a la tubería, dando un diagnostico erróneo del estado y comportamiento real de la misma.

Dado que el tipo de tubería que conforma la línea de 78" es el de PCCP, en donde existe un acero helicoidal pretensado, que unido al concreto interior, son los que le dan la resistencia estructural a la tubería, hacen que al momento de presentarse un fenómeno de corrosión o de carbonatación, pueda fallar el acero pretensado y por ende se manifieste una falla de tipo explosiva en la tubería; por lo que es muy aventurado asegurar que con estos tipos de ensayos y con los resultados que puedan arrojar se pueda concluir de una manera precisa y representativa que la tubería se encuentra en buen estado.

Lo que los ensayos si podrían inferir, es el caso contrario; que es cuando se detectan niveles no aceptables o muy cercanos a los máximos, para los fenómenos de corrosión y carbonatación. En estos casos, los ensayos serian contundentes para diagnosticar la posible falla de la tubería y en consecuencia su respectiva rehabilitación.

8.3.5.11 LINEAS: TIBITOC – CASABLANCA (RM78001) Y TIBITÓC - USAQUEN (CC9003) SITIO: INVESTIGACIÓN DE LAS CÁMARAS QUE CONTIENEN LAS VÁLVULAS V-40, V-42 Y V-18.

A Continuación se presentan los comentarios y conclusiones de los resultados presentados por SIKA ANDINA S.A. (anexo 7), para las Cámaras V-40 y V-42, de la Tubería de la Red Tibitoc –Casablanca (RM-78001) y, V-18 de la Tubería Tibitoc – Usaquen (CC9003), ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12. Las cámaras de estas válvulas se localizan así:

Cámara V-18: Ferrocarril del norte, detrás de American Pipe.

Cámara V-40: Av. Boyacá, 50 m al norte del Canal San Francisco

Cámara V-42: Transversal 80 No 40A-30 sur.

El objetivo del presente Informe es el de analizar y conceptuar sobre los datos suministrados por SIKA ANDINA, de los diferentes ensayos realizados a las cámaras en mención.

- En general los resultados encontrados tanto por la inspección realizada como por los ensayos efectuados por la Firma Sika Andina, confirman el diagnóstico inicial, el cual se basó en una inspección visual; dado que se realizó un diagnóstico específico para la cámara V-18 (sobre la línea de 60”) y para la cámara V-42 (sobre la línea de 78”).
- Los comentarios y conclusiones presentadas por Sika Andina en su Informe, coinciden con los criterios expresados inicialmente en el Producto 2, en el cual se menciona que las cámaras en general presentan un buen estado Estructural, tanto en muros de soporte como de la placa de fondo; en cambio, los problemas mas recurrentes se manifiestan en la placa o tapa superior.
- Se está de acuerdo con que el mayor ataque que se está presentando es por presencia de la carbonatación en los elementos estructurales de soporte (por ahora

en un nivel bajo), que conlleva a un proceso de corrosión, debido a presencia de humedades y oxígeno, por lo que se debe realizar los diferentes planes de contingencia planteados anteriormente, para implementar algunas medidas de contingencia como son la instalación de respiraderos y drenajes para la evacuación de aguas y evitar la evaporación del agua dentro de la cámara; con esto se evita que siga avanzando el efecto de carbonatación; siendo ésta alternativa de solución mejor que la de implementar recubrimientos protectores.

Dado el caso en que la solución de la instalación de drenajes y ventilaciones sea muy complicado de implementar, ya sea por que la cámara esté ubicada en la calzada, o por que la placa de fondo es tan profunda que no se le puede construir un desagüe natural u otra razón, se puede entonces pensar en la aplicación de recubrimientos protectores.

8.3.5.11.1 CHEQUEO ESTRUCTURAL CAJA V-40

Esta Caja está localizada en la Avenida Boyacá 50 m al norte del Canal San Francisco, a la salida del Terminal de Transporte, sobre la línea de Tibitoc – Casablanca de diámetro de 78”.

Habiéndose realizado inicialmente una inspección visual, se detectó que en la placa superior conformada por elementos de concreto prefabricados y fundidos en sitio, se evidenciaron fisuras transversales, que indican sobre esfuerzos por tensión en la fibra inferior de las placas prefabricadas; lo mismo que, en la viga de soporte existente, se manifestaban aceros expuestos.

Dado lo anterior, se realizaron ensayos (Sika Andina S.A), para establecer la resistencia a la compresión y calidad del concreto tanto de los muros de soporte como del pórtico (columnas y viga), además para determinar el contenido de sulfatos, ión cloruro, carbonatación, permeabilidad, porosidad y densidad del concreto. Adicionalmente, se estableció la posición relativa y características de los aceros embebidos en los respectivos elementos.

Estos ensayos fueron elaborados bajo las normas existentes y de acuerdo al procedimiento interno de Sika Andina S.A, en donde los resultados obtenidos para cada ensayo están cumpliendo con los requerimientos y especificaciones según las respectivas normas, como lo indica el informe de Sika del anexo 7 de este documento.

El único punto donde se presenta inicio de corrosión es en la cara inferior de la viga de cubierta, debido al bajo recubrimiento de los flejes; y como este pórtico con los muros, son los que resisten el peso de la placa de cubierta de la caja, sobre la cual transitan vehículos pesados y debido al estado fisurado de las placas prefabricadas, se hace el siguiente Análisis Estructural.

Con base en la información obtenida, y la geometría del Pórtico existente, se modeló mediante el programa SAP 2000, para poder establecer el comportamiento y estado del mismo, bajo condiciones actuales de cargas verticales. En el Anexo 3 de este documento, se presenta el análisis estructural para la caja V-40 y el diseño correspondiente de la solución.

De los resultados obtenidos en el análisis , se observa que el refuerzo que tiene la viga actualmente, se encuentra con una cuantía inferior a la requerida para las solicitaciones reales de carga a que está siendo sometida. Por otra parte, las columnas y muros sí están cumpliendo para los requerimientos de carga y tienen el refuerzo necesario.

Adicionalmente, En las placas prefabricadas la sección es insuficiente, ya que se están presentando sobre esfuerzos, que son los que están generando las fisuras que se observan; por lo que si adicionalmente la viga de soporte no cumple, lo más conveniente es demoler toda la placa superior y volver a construirla para que cumpla con todas las solicitaciones y requerimientos a los que va estar sometida.

8.3.5.12 LINEA: TIBITOC – CASABLANCA SITIO: CRUCE SOBRE EL HUMEDAL DEL JUAN AMARILLO. ANALISIS DE LAS MEDICIONES DEL ESPESOR POR ULTRASONIDO EN EL VIADUCTO SOBRE EL RIO SALITRE (JUAN AMARILLO) CON AV. BOYACA

Código Línea: RM78001 Diámetro: 78” Longitud: 52694 metros
Material: AWWA C301 Orden prioritario 1 Tramo Critico

En el resultado entregado por la firma AB proyectos, de la inspección de espesor de material en el cuerpo del viaducto sobre el río Juan Amarillo por la Av. Boyacá, ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12; se deduce lo siguiente:

- No se aprecia desgaste o disminución de espesor en la lamina del tubo. Esto indicaría que no hay un punto particularmente afectado por corrosión, por erosión, ni por abrasión.
- El espesor de lamina indicado por el fabricante de la tubería es de 7/16” (11.11 mm) y en los ensayos se esta encontrando en el cuerpo de la tubería espesores mayores al indicado, el menor encontrado es de 11,57 mm. Estaría indicando que el espesor de material empleado en la fabricación de la tubería fue mayor, posiblemente por mejorar rigidez, por protección contra la corrosión o por disponibilidad de material en el momento de fabricación..
- En el espesor de las uniones se encuentra también una uniformidad en las medidas que indicarían que no hay ataque al material; lo interesante de estas medidas es que el espesor de la unión es menor que el del tubo (9,25 promedio contra 11,67 promedio), lo que indica que los dos elementos tubo / unión soportan presiones distintas si son fabricados con el mismo material, como no se conocen presiones reales de trabajo se requeriría verificar con el fabricante de la tubería y con el acueducto el tipo de material de cada uno de estos elementos y la presión a la que deberán quedar trabajando una vez se terminen las obras de rehabilitación y se normalice el funcionamiento de la línea Tibitóc - Casablanca, esto podría

ocasionar problemas operativos en el futuro.

- Se indica también en el informe de AB Proyectos que hay cubrimiento de tierra en la parte baja de las uniones tipo Dresser, se requiere recomendarle a la EAAB que elimine esta tierra y realice algún trabajo de protección para evitar que se repita esa acumulación de tierra en esos sitios; la tierra y la humedad en contacto con los pernos de las uniones tipo Dresser, pueden originar serios problemas de corrosión.

Cabe anotar que el contratista de la rehabilitación, practicó una limpieza completa de la zona y del viaducto, implementando obras de refuerzo en el mismo.

8.3.5.13 LINEA: TIBITOC – USAQUEN SITIO: VIADUCTO SOBRE EL HUMEDAL DE TEUSACÁ-LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Código Línea: CC9003	Diámetro: 60"	Longitud: 38000 metros
Material: AWWA C303	Orden prioritario 3	Tramo Critico 3

8.3.5.13.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Sobre la línea de 60" que sale de la Planta de Tibitóc hacia Usaquén, en el sitio en donde se cruza con el Humedal del Teusacá, la tubería está localizada sobre un viaducto, en tubería metálica y soportada mediante cinturones de rigidización y apoyos articulados, sobre pórticos metálicos, ver plano JR-052-TOP-007-E del anexo 12.

8.3.5.13.2 CAUSAS QUE GENERAN EL MAL FUNCIONAMIENTO Y DIAGNÓSTICO.

Al haberse realizado la inspección visual, se encontró que los apoyos metálicos articulados, estaban cabeceados hacia un lado, sobre todo los localizados hacia los extremos del viaducto, mientras que los ubicados en la zona central estaban debidamente alineados, como puede observarse en el registro fotográfico, de tal forma, se manifiesta

un corrimiento total y uniforme de la tubería en la zona del principio y final del viaducto.

Sin embargo, el alineamiento de la tubería a simple vista, parece que no haya tenido ningún desajuste, pues su estado muestra una tubería completamente recta tanto en planta como en corte; es decir, no se hace evidente cambios significativos en dirección ni tampoco por efecto de flexión. Así mismo, los pórticos metálicos se encuentran sin ningún problema de estabilidad lateral, únicamente con algún grado menor de corrosión en la parte inferior, la cual coincide con la zona de fluctuación del nivel del humedal.

Por lo anterior, se cree que el fenómeno no tiene correlación con posibles asentamientos totales o diferenciales; es decir, la cimentación de los pórticos se ha comportado adecuadamente a las condiciones del terreno y de las cargas, por lo que el fenómeno de corrimiento de los apoyos debe estar asociado a otras causas.

Analizando las evidencias en el sitio, como es el corrimiento de la tubería en la zona de inicio del viaducto, en donde se aprecia claramente que el tubo trató de desempatarse de una magnitud igual tanto en la parte superior como en la inferior. Así mismo, a medida que los apoyos articulados están localizados más hacia el centro del viaducto, el cabeceo se va disminuyendo hasta casi llegar a cero, indicando éstos dos síntomas, que el efecto ocurrido se trata o está asociado a un acortamiento uniforme en la tubería y no debido a efectos de flexión asociados a asentamientos.

Por lo que se concluye, que el fenómeno que ocurrió fue debido a la incidencia de deformación axial (acortamiento) por efectos de cambios de temperatura. Esto pudo haberse presentado casi al inicio de la construcción del viaducto, pues seguramente, cuando se instaló la tubería los apoyos quedaron perfectamente alineados y la tubería se encontraba a una temperatura semejante a la del medio ambiente; sin embargo, al momento de dar en servicio el viaducto, la temperatura del agua pudo haber inducido una disminución en la temperatura del tubo, (del orden de 7 á 10 °C), causando la contracción de la tubería y en consecuencia el cabeceo de los apoyos articulados y el corrimiento en el empate al inicio del viaducto.

8.3.5.13.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Por todo lo anterior, se recomienda lo siguiente, para cuando se vaya a realizar el arreglo de la tubería:

1.- Levantamiento Topográfico. Se requiere levantar con detalle todo el viaducto, estableciendo en cada apoyo la magnitud y estado del cabeceo, lo mismo que la nivelación y abscisado correspondiente.

2.- Ensayos de Laboratorio. Además de los ensayos pertinentes de corrosión se realizará un chequeo de la temperatura del agua en la tubería para diferentes horas del día, para estimar con mayor precisión el gradiente por temperatura.

3.- Reacomodar los apoyos metálicos, dejando los mismos elementos de soporte, sin afectar la cimentación y los pórticos existentes.

4.- Adecuar juntas flexibles en los extremos del viaducto.

5.- Plan de monitoreo topográfico y si lo amerita la colocación de extensómetros o señales en los extremos del viaducto.

Se anexa análisis detallado del chequeo estructural realizado al viaducto sobre el humedal de Teusacá (ver Anexo 3).

8.3.5.13.4 ANALISIS DE LA NIVELACION TOPOGRAFICA EN EL SECTOR DEL HUMEDAL DEL TEUSACA.

A continuación se presenta el análisis los comentarios y las conclusiones de los resultados de la Nivelación Topográfica realizada a la Línea Tibitoc- Usaquen, en la zona del Humedal del Teusacá.

El objetivo de este informe es analizar y conceptuar sobre los datos suministrados por la topografía realizada a la línea Tibitóc – Usaquen, tubería metálica de 60”, que cruza el Humedal del Teusacá.

Teniendo en cuenta los datos de la cartera de nivelación presentados en el anexo 8, a continuación, se presentan los comentarios pertinentes:

- Inicialmente, según los planos existentes en la EAAB la longitud del viaducto en el sector es de 368m. Ahora, de acuerdo con el levantamiento realizado, la longitud real es de 402 m.
- El número de apoyos o pórticos son 17, tanto en los planos existentes como en el levantamiento topográfico.
- La separación entre apoyos varía; dado que en los planos iniciales se contemplan luces de aproximadamente 22.50m, y en la realidad son de 24.0m (aprox.).
- La pendiente de diseño, según los planos originales es del 0.00175; y según la topografía realizada es del 0.0015 considerando una línea recta entre el comienzo del viaducto en el costado norte y el punto de finalización a los 402m en el costado sur.
- Los asentamientos diferenciales encontrados, teniendo como base la línea de pendiente entre el punto inicial y el punto final, son los que se presentan en la tabla 8.3.17, observándose que el mayor efecto de asentamiento diferencial se presenta hacia el tercio final del viaducto (costado sur), siendo su mayor valor de 9.0 cm, (localizado hacia el apoyo número 14).
- Según los datos de topografía, referentes a los desplazamientos del balancín, se observa que los mayores valores se manifiestan hacia la zona del costado norte, particularmente en los primeros apoyos y su tendencia indica una disminución uniforme hacia el costado sur. Esto coincide con la tendencia de la pendiente de la tubería que va en el mismo sentido.

- Al tener la tubería una pendiente hacia el costado sur del 0.0015, hace que se genere una componente de compresión axial sobre ella, producida básicamente por el peso propio de la tubería; así mismo, la componente de la velocidad del agua dentro de la tubería, genera un efecto de fricción en el mismo sentido, que sumadas éstas dos condiciones, hacen que cuando se presente el acortamiento axial dado por los cambios de temperatura, éstos se evidencien más hacia el costado norte y van decreciendo más o menos uniformemente hacia el costado sur (ver figuras 8.3 y 8.4), debido a que se está empujando la tubería (hacia el costado sur), y queda libre para expandirse hacia el costado norte, pues el tipo de apoyos dado por los balancines hacen que se pueda dar éste corrimiento.

Es importante recalcar que el acortamiento de la tubería por la disminución de la temperatura, proviene por la diferencia entre la temperatura dada en el medio ambiente a la parte exterior de la tubería y la temperatura por la parte interior de la tubería que viene siendo transmitida por el agua. Por lo anterior, el mayor acortamiento de la tubería se produce en la etapa inicial del Proyecto, -cuando entra al servicio el viaducto-; pues es cuando más diferencia de temperatura existe entre los dos medios.

Posteriormente a esto, se producen ya menores variaciones de cambios de temperatura, que hacen que se presenten acortamientos o elongaciones mucho menores que la inicial; pero son éstos efectos los que están produciendo los escapes de agua en la zona del costado norte, dado que en la unión dresser existente ya está casi agotada su holgura con el desplazamiento inicial producido por el primer cambio de temperatura y cualquier cambio adicional de acortamiento genera la respectiva fuga.

Esto se comprueba con la evidencia de los distintos reportes de fugas que se han presentado en la unión dresser ubicada en el costado norte.

*Tabla No. 8.3.17. Perfil actual del viaducto sobre el Humedal del Teusacá (Línea Tibitoc-
Usaquen) y cálculo de asentamientos*

Figura 8.3 Esquema de desplazamiento para balancines

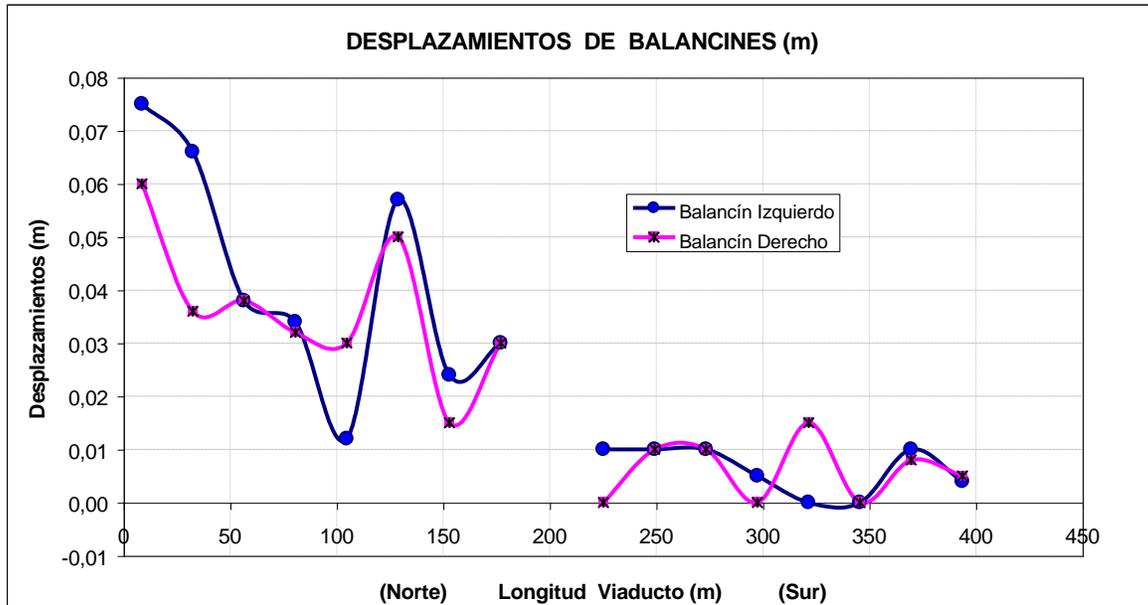
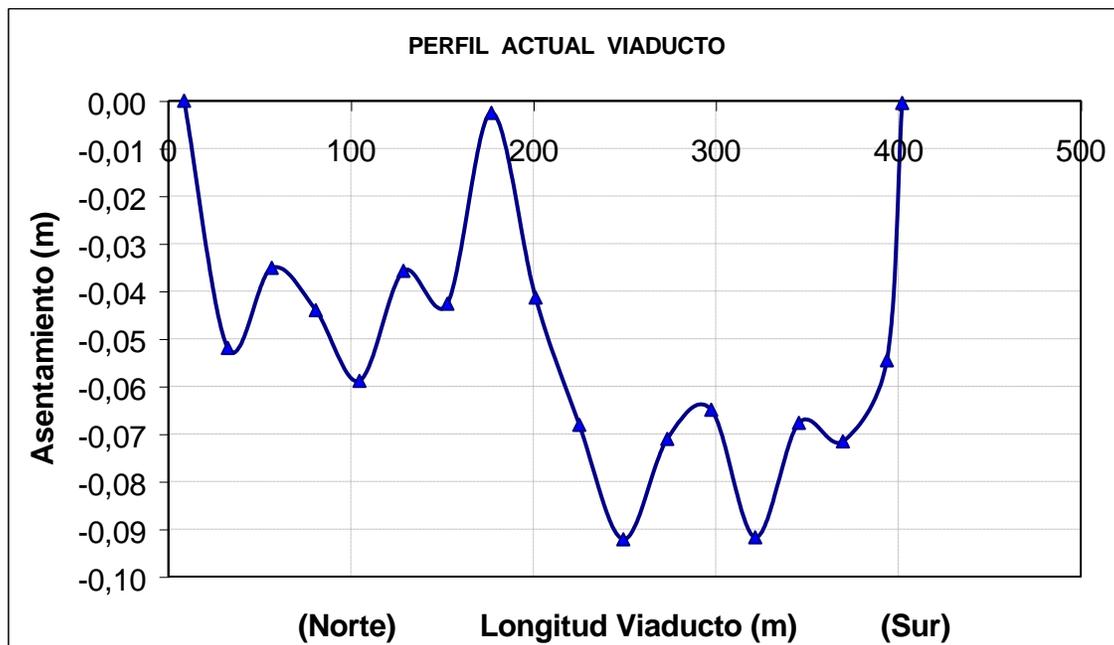


Figura 8.4 Esquema de asentamientos



8.3.5.14 LINEA: AV. FERROCARRIL X CRA. 50 A 112 HACIA MUNICIPIOS SITIO: PARALELO A LA VIA FERROCARRIL DE OCCIDENTE

Código Línea: BIV36075 Diámetro: 36” Longitud: 3713 metros

Material: AWWA C303 Orden prioritario 105 Tramo Critico 1

Esta línea presenta problemas potenciales debido a la presencia de rellenos de antiguas escombreras que han generado sobrecargas a las redes a lo largo de su trazado, ver plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12.

8.3.5.15 VIADUCTOS Y PASOS ENTERRADOS EN ZONAS DE AMENAZA SISMICA ALTA

Se presentan en este informe, los resultados de la Evaluación Sísmica preliminar realizada para los sitios de mayor prioridad en los cruces localizados en sectores de mayor amenaza sísmica de acuerdo con la investigación geotécnica y sísmica recopilada: Los cruces analizados fueron los siguientes:

Humedal de Teusacá:

- 1) Línea Tibitoc-Usaquen de 60 pulgadas (Paso elevado)-CC9003
- 2) Línea Tibitoc-Casablanca de 78 pulgadas (Paso enterrado)-RM78001

Zona Baja del Río Tunjuelito:

- 3) Línea Tibitoc-Casablanca de 78 pulgadas (Paso elevado)-RM78001
- 4) Línea El Silencio-Casablanca 42 pulgadas (Paso enterrado)-BIV4842099

8.3.5.15.1 ACTIVIDADES REALIZADAS

Con el fin de evaluar el estado de las estructuras de soporte y de las tuberías y la incidencia desde el punto de vista sísmico y geotécnico se efectuaron las siguientes

actividades:

- 1) Inspección visual de cada uno de los sitios en los cruces mencionados.
- 2) Recopilación y análisis de información técnica disponible
- 3) Evaluación preliminar de problemas geotécnicos, sísmicos y estructurales
- 4) Definición de posibles alternativas de solución.
- 5) Recomendaciones para estudios detallados

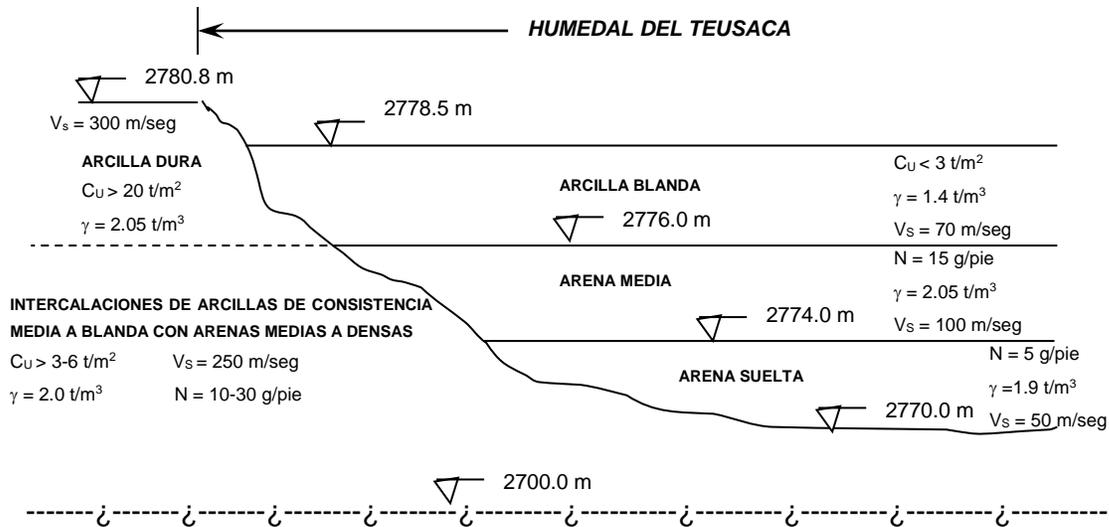
8.3.5.15.2 DESCRIPCION DE LOS SITIOS:

8.3.5.15.2.1 *Humedal de Teusacá:*

1. Descripción geotécnica:

El humedal de Teusacá se encuentra localizado al costado sur del Cerro de Tibito, a la altura del río Teusacá que fluye en dirección Este-Oeste. Antes de llegar a la desembocadura con el río Bogotá, se genera una llanura de inundación donde predominan depósitos saturados de arenas sueltas con intercalaciones de arcillas blandas; este depósito puede tener del orden de 5 a 10 m de espesor y descansa sobre arcillas de consistencia media a dura de la Formación Sabana. Con base en registros de perforaciones encontradas en los planos de la Empresa de Acueducto, complementado con información geotécnica local de la zona, se define la estratigrafía que se presenta en la figura 8.5.

Figura No. 8.5. Estratigrafía de la zona del humedal del Teusaca



NOTA: El perfil se asumió, basado en información geotécnica del sector y en estudios de suelos realizados en la zona por la firma IGL.

Superficialmente se reporta una capa de arcillas saturadas de consistencia blanda de 2.5 m de espesor, con una resistencia al corte no drenado menor de 3 ton/m². Por debajo se encuentran arenas de compacidad media y suelta hasta una profundidad estimada entre 5 y 10 m, con valores del ensayo de penetración estándar variables entre 5 y 15 golpes/pie; debajo de este depósito se encuentran arcillas y arenas de mayor consistencia las cuales se encuentran a profundidades estimadas entre 50 y 100 m antes de llegar al sustrato rocoso.

2. Líneas afectadas

1) Viaducto de Teusacá - Línea Tibitoc-Usaquén de 60"

La línea Tibitoc-Usaquén de 60", atraviesa el humedal del Teusacá sobre un viaducto en tubería metálica con una longitud total del orden de 420 m, soportada mediante cinturones de rigidización y apoyos articulados cada 24 m aproximadamente, sobre pórticos metálicos que transfieren la carga a cimentación.

No se cuenta con los planos de diseño o construcción del viaducto, ni se tiene ninguna especificación, en consecuencia se desconoce el tipo de cimentación existente; la información suministrada por la Empresa de Acueducto, indica que el viaducto descansa sobre pilotes de poca profundidad del orden de 3 m, sin embargo, esta información no pudo ser verificada.

En el plano JR-052-TOP-007-E del anexo 12, se presenta el levantamiento topográfico y de detalles de los apoyos, donde se presentan las dimensiones y gálibos del viaducto en general.

Adicionalmente se hizo el análisis de las posibles causas que han originado el cabeceo de los apoyos metálicos

2) *Paso enterrado del Tubo de 78" -Línea Tibitoc-Casablanca*

El paso por el Humedal de Teusacá de la Línea Tibitoc-Casablanca, tiene una longitud aproximada de 255 m; según lo indicado en la cartilla de American Pipe de Febrero de 1969, a lo largo de este tramo se construyeron anclajes contra flotación cada 6.0 m de los cuales no se tiene ninguna especificación y en la zona adyacente al río Teusacá, en un tramo de 50 m se construyó una estructura especial de la cual tampoco hay nada de información. La cota batea de la tubería se encuentra a una profundidad variable entre 3.5 y 6.0 m de profundidad.

8.3.5.15.2.2 *Zona Baja del río Tunjuelito:*

1. **Descripción geotécnica:**

El río Tunjuelito antes de la desembocadura con el río Bogotá genera una llanura de inundación donde se depositan materiales de baja resistencia; con base en algunos

registros de estudios de suelos efectuados en cercanías al río, en la ronda de inundación se encuentran arenas sueltas a muy sueltas intercaladas con arcillas blandas con valores del ensayo de penetración estándar entre 5 y 15 golpes/pie, en los primeros 10 m de profundidad; por debajo se encuentran mantos de arenas y arcillas de mayor consistencia.

En la zona mas baja adyacente al barrio San Benito, los bordes del río Tunjuelito están controlados por diques de relleno de alturas variables estimadas entre 3 y 6 m, en el fondo de cauce se encuentran arenas finas sueltas susceptibles a socavación por crecientes del río en periodos de invierno.

2. Líneas afectadas:

1) Línea Tibitoc- Casablanca de 78 pulgadas.

Consiste en un paso elevado, conformado por una estructura en concreto reforzado de una longitud total aproximada de 28 m, conformada por tres apoyos separados centro a centro cada 8.5 m aproximadamente. Los apoyos consisten en pórticos de concreto reforzado, con dos columnas de 0.50 x 0.50 m y una viga en posición transversal al tubo de 70 cm de ancho x 60 cm de altura. El apoyo del costado sur tiene las columnas inclinadas. La tubería de conducción es de tipo PCCP y descansa sobre una placa de concreto que se proyecta en la misma dirección del eje del tubo y descansa sobre los tres apoyos antes mencionados.

En el apoyo central se estima una carga del orden de 75 toneladas y en los apoyos extremos de unas 65 toneladas. Estas cargas se consideran relativamente bajas y en condiciones normales de funcionamiento son perfectamente asumidas por cimentaciones de tipo superficial; sin embargo existen otros factores sísmicos y geotécnicos que afectarían el comportamiento de este tipo de cimentación.

Desde el punto de vista geotécnico, en el fondo del cauce se encuentran arenas finas sueltas las cuales son susceptibles a socavarse ante el flujo del agua. Durante inspecciones efectuadas en un periodo de cuatro a seis meses se encontró que los

apoyos del viaducto, están reteniendo material de desecho que transporta el cauce del río; estos desechos reducen el área hidráulica efectiva del cauce, aumentando la velocidad del flujo del agua, que a su vez induce socavación en la cimentación. Esta situación puede con el tiempo repercutir en la estabilidad del viaducto, en caso de que la cimentación esté a poca profundidad.

En el costado sur (margen izquierda del río), se encuentra un relleno de basuras del orden de unos 4 m de espesor, el cual cubre la antigua zona baja o ronda de inundación del río Tunjuelito; en consecuencia en este sector es probable que se encuentren arenas sueltas por debajo del relleno, las cuales pueden ser susceptibles a licuarse por sismo.

En el área del puente existe la probabilidad de pérdida temporal de capacidad portante del suelo de fundación ante la posible ocurrencia de licuación de suelos. Esta situación genera también condiciones de amenaza sobre la estabilidad de la estructura.

De igual manera que en el anterior viaducto, no se cuenta con información específica sobre la estructura y tipo de cimentación existente, por lo tanto no es posible hacer un diagnóstico más detallado.

2) *Línea El Silencio Casablanca de 42 pulgadas.*

Entre unos 50 m y 100 m al oriente del paso elevado en concreto, se encuentra el cruce enterrado de esta línea. La longitud del corredor es similar al caso anterior, es decir de unos 28 m aproximadamente, y no se cuenta con información sobre la profundidad de cimentación de la tubería con respecto al fondo del cauce. Por los problemas geotécnicos ya mencionados en el numeral anterior, existe la probabilidad de que la tubería quede descubierta por socavación del lecho del río; o también se puede presentar flotación o asentamientos ante la probabilidad de licuación del suelo arenoso, por efecto sísmico.

En la margen izquierda del río Tunjuelito, esta tubería también atraviesa la zona de relleno de basuras; como ya se explicó en esta zona existe la probabilidad de licuación de suelos.

8.3.5.15.3 ANALISIS SISMICO:

8.3.5.15.3.1 Generalidades

Para la evaluación de las condiciones sísmicas de los sectores en estudio se tomo como referencia los resultados del Estudio de Microzonificación Sísmica de la ciudad de Bogota. Dadas las características geotécnicas locales, el sector del río Tunjuelito clasifica como ZONA 5, según el Mapa de Microzonificación Sísmica de la ciudad de Bogotá. En el caso del Humedal del Teusacá, esta se encuentra por fuera del perímetro urbano y en consecuencia no es cubierta por el estudio en mención; sin embargo, teniendo en cuenta su similitud desde el punto de vista geomorfológico y geotécnico con la zona baja del rio Tunjuelito, se maneja con los parámetros indicados para la ZONA 2.

8.3.5.15.3.2 Espectro de Respuesta y Sismos de Diseño:

Con base en lo estipulado en el Estudio de Micro zonificación Sísmica (EMS), se define el siguiente Espectro de Aceleraciones:

◇ Periodo Inicial	$T_o = 0.50$
◇ Periodo corto	$T_c = 3.00$
◇ Periodo Largo	$T_L = 5.71$
◇ Aceleración máxima	$A_m = 0.20$
◇ Aceleración nominal	$A_n = 0.30$
◇ Factor de amplificación de la aceleración	$F_a = 1.0$
◇ Factor de amplificación de la aceleración en el rango de velocidades constantes	$F_v = 25.98$

Se contemplaron además tres condiciones de sismo de diseño, con las siguientes aceleraciones en roca:

Sismo fuerte en la Falla Frontal $a = 0.20g$

Sismo moderado en la falla frontal	$a = 0.12 \text{ g}$
Sismo lejano en la zona de Benioff	$a = 0.038 \text{ g}$

El sismo de la falla frontal de la Cordillera Oriental se encuentra a unos 60 km de la ciudad; el sismo fuerte se considera de una magnitud de 7.2 en la escala de Richter, y genera una aceleración en la roca de 0.20 g; este sismo debido a su cercanía es de alta frecuencia y su período de retorno es del orden de 475 años.. El sismo moderado con aceleración de 0.12 g tiene un período de retorno del orden de 100 años con una probabilidad de excedencia del 40% en 50 años.

El sismo lejano está localizado en la zona de subducción cuya aceleración en la roca es del orden de 0.038 g y debido a su baja frecuencia puede generar efectos locales de amplificación de ondas sísmicas en suelos blandos. Para fines de tener en cuenta este aspecto se consideraron los valores de aceleración del espectro de respuesta sísmica para un periodo estimado de 2.5 segundos, que corresponde a los valores máximos de aceleración en el espectro.

Para fines de análisis preliminar se consideraron las siguientes aceleraciones en superficie:

1. Zona del Humedal de Teusacá:

Para los tres sismos de diseño se utilizaron las siguientes aceleraciones, leídas del Espectro de Aceleraciones de la Zona 2 (piedemonte), para un periodo natural del orden de 1 segundo, así:

Sismo fuerte en la Falla Frontal	$a = 0.75\text{g}$
Sismo moderado en la falla frontal	$a = 0.45 \text{ g}$
Sismo lejano en la zona de Benioff	$a = 0.14 \text{ g}$

2. Zona de la ronda de inundación del río Tunjuelito:

Tomando los valores correspondientes a la Zona 5 se obtienen los siguientes valores de aceleración para un periodo variable entre 1 y 2 segundos:

Sismo fuerte en la Falla Frontal	$a = 0.50g$
Sismo moderado en la falla frontal	$a = 0.30 g$
Sismo lejano en la zona de Benioff	$a = 0.09 g$

Para tener en cuenta la propagación de ondas en la superficie del terreno se estimó para el caso del Humedal de Teusacá, el periodo natural del suelo por medio de la siguiente expresión:

$$T_n = 4 * H / v_s$$

Donde H es el espesor del depósito: 80 m

v_s es la velocidad de la propagación de la onda de corte: 253 m/seg

El período natural de vibración es del orden de:

$$T_n = 4 * 80 \text{ m} / 253 \text{ m/seg} = 1.26 \text{ seg.}$$

Con base en la figura 3.10 del Estudio de Micro zonificación sísmica de Bogotá, en la ronda del Río Tunjuelito, el período natural de vibración del suelo está entre 1 y 2 segundos.

8.3.5.15.3.3 Cargas y Deformaciones Elásticas en tuberías enterradas y continuas:

Las cargas sísmicas pueden imponer deformaciones en el tubo que inducen a rupturas o esfuerzos excesivos en su sección; por consiguiente es necesario evaluar las

deformaciones axiales y circunferenciales impuestas por el sismo y compararlas con las deformaciones tolerables del material de la tubería.

1. Distorsiones Sísmicas en tubos enterrados:

El efecto de las ondas longitudinales y de corte dependiendo de su dirección puede generar diferentes tipos de acciones en el tubo así:

- 1) Esfuerzos de tensión y compresión, generados por las ondas longitudinales y transversales que se transmiten en una dirección paralela al eje del tubo; si se considera que no se presenta desplazamiento relativo del suelo con respecto al tubo, las deformaciones unitarias axiales en el tubo son iguales a las deformaciones unitarias del terreno generadas por el sismo.
- 2) Esfuerzos de flexión longitudinal, producidos por las ondas de corte a lo largo del eje del tubo. En este caso las ondas de corte generan desplazamientos del terreno en una dirección perpendicular al eje del tubo causando deformaciones unitarias de compresión en una mitad del tubo y simultáneamente se generan deformaciones unitarias de tensión en la mitad opuesta.
- 3) Ovalización del tubo, causada por ondas de corte propagándose en una dirección perpendicular al eje del tubo; debido a la geometría del tubo, normalmente el efecto de ovalización no genera condiciones críticas de esfuerzos de tensión o compresión, los cuales son en general muy bajos y con un aporte mínimo de esfuerzos, comparados con los inducidos por la presión interna del fluido en el tubo.

En el caso de tuberías con juntas de espigo y campana se pueden generar de desempates de los tramos de tubos adyacentes por eventos sísmicos de intensidad fuerte a moderada. Los resultados de estos modelos se presentan en el Anexo 26.

Para el caso de tuberías continuas, estos resultados presentan unos esfuerzos internos que en los casos de sismos fuerte y moderado pueden superar los de límites tolerables

del material que los conforman; en el caso de sismo lejano, la tubería presenta condiciones de esfuerzos por debajo de los límites máximos de fluencia.

2. Cargas y Deformaciones en viaductos:

Se analizaron las condiciones de estabilidad del tubo y de sus apoyos teniendo en cuenta, la geometría, cargas actuantes, especificaciones de materiales y las cargas dinámicas inducidas por sismos de diferente intensidad.

a. Línea Tibitoc -Usaquen -Viaducto de Teusacá: de 60"

Del Viaducto en estructura aporticada en acero, con luces de 24 m y alturas aproximadas desde su cimentación de 3 m; se hizo el análisis teniendo en cuenta las cargas verticales actuantes y el efecto sísmico, asociado a la super estructura, en donde el sismo, hace que se genere una carga que puede estar aplicada longitudinal o transversalmente a la estructura de soporte; siendo en este caso, el efecto transversal el más crítico.

De tal forma, realizando un chequeo estructural que involucre un tramo de tubería que esté soportada por un solo pórtico, se podrá establecer en que grado de compromiso o de seguridad se encuentra la superestructura, ante un evento de sismo.

La conformación típica del pórtico de acero considerado, contempla una viga metálica en forma de " I ", con una altura de 0.20m y un espesor de las alas de 0.016m; para el caso de las columnas, el perfil utilizado tiene una forma de " I ", con una altura de 0.45m y un espesor de las alas de 0.016m.

Teniendo en cuenta el área aferente de la tubería y la carga sísmica que actúa sobre la estructura, se analizó mediante un modelo en SAP 2000 (ver anexo 26), el comportamiento de este sistema, encontrando que las deformaciones laterales son muy bajas, pues están del orden de 0.004 m, valor menor que lo estipulado y lo requerido por los Códigos. Así mismo, los valores de los esfuerzos encontrados tanto para la viga como

para las columnas son menores que los admisibles; por lo que los elementos que conforman el pórtico (viga y columna), están dentro de los márgenes permisibles cuando son solicitados por efecto sísmico simultáneo con la carga vertical.

En conclusión, la superestructura actual cumple para los requerimientos sísmicos; el problema radica, en que la infraestructura o cimentación al estar apoyada en el estrato de arena suelta, ante un efecto sísmico fuerte tiene la posibilidad de que se presente la licuación del terreno, haciendo que se produzcan asentamientos diferenciales de consideración, lo que resulta en una concentración de esfuerzos sobre la súper estructura y la tubería, que sobrepasan los esfuerzos admisibles, presentándose un colapso total.

Por lo que en definitiva, se deberá reforzar únicamente la cimentación de cada uno de los pórticos existentes, de acuerdo con las consideraciones geotécnicas ya expresadas.

b. Línea Tibitoc - Casablanca - Paso elevado sobre el Río Tunjuelito

En el caso de este paso elevado no se cuenta con información detallada del diseño y construcción de los diferentes elementos estructurales, ni del tipo y condiciones de la cimentación existente, en consecuencia no es posible hacer una evaluación geotécnica y estructural detallada de la misma, ya que no habría con qué comparar los resultados.

Solo se tiene el concepto de la inspección visual en donde hasta el momento la estructura no presenta ningún tipo de deterioro o desgaste de los materiales, ni presencia de pandeos o fisuras en los diferentes elementos que conforman el viaducto, de tal manera que no se aprecia evidencia que comprometa la estabilidad de la superestructura del viaducto.

8.3.5.15.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCION.

Teniendo en cuenta las condiciones propias del sitio y las características del Viaducto, se

proponen a continuación las siguientes alternativas:

- Cambio de Tubería, conservando los apoyos.

En este caso, se evidencia que la calidad de los apoyos, tanto de las pilas en concreto como de los tensores, no son lo suficientemente confiables; adicionalmente, el alineamiento de la tubería, se encuentra dentro del flujo del agua en épocas de creciente.

Así, se mejoren los apoyos, la tubería quedaría expuesta a los empujes dinámicos del Río.

- Cruce Sub Fluvial.

Se considera en éste caso, atravesar el Río Tunjuelito por debajo de su lecho, para lo cual tocaría profundizar de tal forma que el efecto de socavación estuviera controlado; así mismo, la estructura de los apoyos (estribos) del Puente, dificultaría en parte esta alternativa.

Por lo anterior, se estima que el valor de la implementación de las obras necesarias para realizar ésta alternativa sería bastante onerosa.

- Cambio de Tubería, cambio de alineamiento vertical.

En éste caso, se propone cambiar el alineamiento vertical de la tubería, para sobre elevarla y dejarla por encima del nivel de aguas máximas, soportándola con nuevos tensores a una estructura metálica paralela a la placa del puente; de tal forma, los dos pilares de concreto existentes, se podrían demoler y los tensores existentes, se podrían mejorar.

Para esta solución, se necesita la colocación de por lo menos unos cuatro codos de 45 grados y si es necesario dos uniones tipo dresser y una válvula de aireación.

Así mismo, la tubería debe ser en acero, para que sea auto portante entre los cuatro nuevos apoyos o tensores salientes de la estructura portante.

Analizando los pro y los contra de cada una de las anteriores alternativas, se deduce que la que más se ajusta a las condiciones existentes y a las características propias del entorno es la tercera, - Cambio de Tubería, cambio de alineamiento vertical -, pues es la que mejor soluciona los agentes actuantes con una menor cantidad de obra.

8.3.5.15.4.1 Licuación de suelos:

1. Generalidades:

Para la evaluación del Potencial de Licuación del subsuelo se adoptó el Método propuesto por Seed 1983, donde la relación de esfuerzos equivalentes τ/σ_{vo}' es estimada a partir de la siguiente ecuación:

$$\frac{\tau}{\sigma_{vo}'} = 0.65 r_d \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma_{vo}'}$$

Donde r_d es el factor de reducción que depende de la profundidad, a_{max} , es la aceleración máxima de diseño, σ_{vo}' es el esfuerzo vertical efectivo de sobrecarga y σ_{vo} , el esfuerzo vertical total de sobrecarga.

Con base en la experiencia de sismos recientes, Seed presenta un Método empírico para la determinación de la relación de esfuerzos equivalentes donde se establece la condición límite de licuación del suelo, en función de la resistencia a la Penetración Estándar SPT; el ensayo es normalizado a 1kg/cm² de esfuerzo de confinamiento y considera una eficiencia del 60%.

Se analizó el potencial de licuación para los tres escenarios de sismo indicados en la parte inicial de este documento encontrando los siguientes resultados:

- ◇ Para una condición de sismo fuerte o moderado se obtiene una condición de licuación total de las capas de arenas limosas de compacidad media a suelta, afectando una profundidad de suelo del orden de 10 m de espesor; se estiman asentamientos totales y diferenciales del orden de 50 cm, los cuales pueden generar daños en el tubo y su cimentación.
- ◇ La influencia del sismo lejano genera licuación local de las capas de suelos arenosos de baja compacidad; ésta situación puede producir asentamientos diferenciales del orden de 5 a 10 cm los cuales pueden ser asimilados por la tubería; sin embargo no se descarta la posibilidad de desempates o daños locales en la misma.

Los resultados obtenidos del Análisis del Potencial de Licuación del suelo se presentan en el Anexo 26.

8.3.5.15.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

8.3.5.15.5.1 Línea Tibitoc-Usaquen de 60 pulgadas – Viaducto Teusacá

Dadas las condiciones de vulnerabilidad sísmica y geotécnica, para este viaducto se recomienda lo siguiente:

Efectuar el recalce de la cimentación por medio de micropilotes: Una evaluación muy preliminar (ver avalúo de cargas de cimentación del anexo 26) contempla la colocación por apoyo de cuatro micropilotes de inyección de 0.10 m (4 pulgadas) de diámetro y del orden de 12.5 m de profundidad, de tal manera que quede empotrados por lo menos 2.5 m en un estrato competente. la carga máxima transmitida por cada micropilote es del orden de 33 ton.

La inyección se puede efectuar con lechada de agua cemento con una proporción de 1:1 en peso. La presión de inyección no debe ser mayor a 5 kg/cm^2 . Para una carga máxima de 33 toneladas por micropilote, se requieren para cada pilote un refuerzo de 4 varillas de acero de 1 pulgada con esfuerzo de fluencia de 4.200 kg/cm^2 y flejes $3/8''$ c/0.20m. Los micropilotes deben quedar unidos por un cabezal de concreto.

En caso de no encontrar estrato competente y bajo la hipótesis de que predominan suelos blandos a mayor profundidad se estiman longitudes mínimas de micropilote del orden de 20 a 25 m. Este diseño requerirá de una investigación geotécnica y sísmica más detallada.

En los bordes del viaducto se recomienda la colocación de juntas flexibles con el fin de prevenir daños asociados a sismos, por efecto del cambio de rigidez de suelos duros a blandos.

Como algunos de los apoyos de los extremos presentan inclinaciones, es necesario efectuar una acomodación de estos para garantizar un adecuado funcionamiento del sistema estructural.

8.3.5.15.5.2 Línea Tibitoc-Casablanca de 78 pulgadas – Paso enterrado en el Humedal de Teusaca

Para este tramo de tubería se recomienda implementar obras de recalce de la cimentación, mediante la colocación de pares de micropilotes separados cada 6 m con el objeto de prevenir daños por licuación ante el evento de sismo. Se recomienda la construcción de micropilotes con perforaciones de 4" de diámetro y en caso de encontrar el estrato firme a 10 m de profundidad, el micropilote deberá quedar empotrado dentro de esta capa a una profundidad de 2.5 m. En el caso de encontrar un mayor espesor de suelos blandos, se requerirán micropilotes de longitudes variables entre 20 y 25 m. La inyección se puede efectuar con lechada de agua cemento con una proporción de 1:1 en peso. La presión de inyección no debe ser mayor a 5 kg/cm^2 . Para una carga máxima de 33 toneladas por micropilote se requieren de 4 varillas de acero de 1 pulgada con esfuerzo de fluencia de

4.200 kg/cm², con flejes de 3/8 " c/ 0.20m

Los micropilotes deben quedar unidos por un cabezal de concreto que se une con el tubo por medio de un collar de acero. En la figura ___ se presenta un esquema del prediseño de la cimentación.

En los bordes del humedal se recomienda la colocación de juntas flexibles con el fin de prevenir daños asociados a sismos, por efecto del cambio de rigidez de suelos duros a blandos.

8.3.5.15.5.3 Línea Tibitoc—Casablanca – Paso elevado por el Río Tunjuelito:

Debido a que no se tiene información del tipo de cimentación y detalles del diseño estructural, será necesario efectuar un estudio geotécnico y estructural detallado para evaluar las condiciones reales de estabilidad.

Desde el punto de vista estructural a pesar de que la estructura tiene una geometría razonablemente aceptable para las condiciones de carga actuantes, se requiere de información específica sobre el tipo de refuerzo y el estado general de los concretos, siendo necesario realizar un programa específico de investigación y ensayos.

Desde el punto de vista geotécnico dependiendo del tipo de cimentación puede ser necesario implementar obras de recalce. Si se comprueba que la cimentación es superficial, se requerirá de pilotes de recalce en el contorno de la cimentación de unos 12 m de profundidad. Con base en la magnitud de las cargas estimadas por apoyo se requieren unos 4 pilotes de 0.6 m de diámetro y de unos 15 m de longitud, de tal manera que sobrepase la capa de suelos arenosos sueltos.

Como medida de contingencia en el corto plazo se recomienda programar limpiezas periódicas de los apoyos del puente con el fin de prevenir daños por socavación en la cimentación y estructura. Otra alternativa consiste en proteger el fondo del cauce con lechos

de gravas con el fin de reducir los efectos de pérdida de material por socavación; el diseño de estas obras requiere de estudios integrales geotécnicos e hidráulicos para logra una solución optima.

8.3.5.15.5.4 Línea El Silencio Casablanca –Paso por el río Tunjuelito. 42”

Se recomienda implementar el recalce de la tubería por medio de la colocación de pares de micropilotes separados cada 6 m con el objeto de prevenir daños por licuación ante el evento de sismo. Se recomienda la construcción de micropilotes con perforaciones de 4" de diámetro y en caso de encontrar el estrato firme a 10 m de profundidad, el micropilote deberá quedar empotrado dentro de esta capa una profundidad de 2.5 m. Si se presenta un mayor espesor de suelos blandos, se requerirán micropilotes de longitudes variables entre 20 y 25 m. La inyección se puede efectuar con lechada de agua cemento con una proporción de 1:1 en peso. La presión de inyección no debe ser mayor a 5 kg/cm². Para una carga máxima de 33 toneladas por micropilote se requieren de 4 varillas de acero de 1 pulgada con esfuerzo de fluencia de 4.200 kg/cm².

Los micropilotes deben quedar unidos por un cabezal metálico o de concreto que se une con el tubo por medio de un collar de acero que le aporta rigidez. En la figura ___ se presenta un esquema del prediseño de la cimentación.

Se recomienda la colocación de juntas flexibles con el fin de prevenir daños asociados a sismos, por efecto del cambio de rigidez de suelos duros a blandos.

8.3.6 ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS A CONSIDERAR PARA OTRAS LÍNEAS

En la Tabla 8.3.18 se relacionan otras líneas con aspectos de carácter geológico y geotécnico a considerar.

Tabla No. 8.3.18. Otras líneas con aspectos geológico y geotécnicos a considerar.

LÍNEA	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA	AMENAZA		PROBLEMAS POTENCIALES	ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN
			SÍSMICA SEGÚN EVALUACIÓN	GEOTÉCNICA SEGÚN PLANOS FOPAE		
Interconexión tanque el Silencio - Conducción Parque Nacional - San Diego	RD2842109	Terreno conformado por un coluvión, originado por un deslizamiento antiguo.	MEDIA	MEDIA	Reactivación del deslizamiento por lluvias de alta duración o sismo de intensidad moderada a alta.	Colocación juntas flexibles en la transición roca - depósito coluvión y en cambio topográfico fuerte.
Camino de la Sirena	RD324018	Suelos arcillo-limosos de consistencia media a blanda	MEDIA	MEDIA	Asentamiento de un relleno en el costado occidental.	Colocación de junta flexible en la zona del relleno.
Ruta Baja Arborizadora	BIV30069	Terreno conformado por suelos residuales, de areniscas y arcillolitas	BAJA	MEDIA	Erosión por aguas servidas y aguas lluvias.	Mantenimiento de obras de drenaje en la vía.
San Diego-Vitelma	CC9007	Terreno conformado por suelos residuales de areniscas y arcillolitas	BAJA A MEDIA	BAJA A MEDIA	Dislocación por sismo	Colocación de dos juntas flexibles en la transición suelo-roca
Ruta Baja Jerusalen	BIV30069	Terreno conformado por suelos residuales de arcillolitas y areniscas	BAJA	BAJA A MEDIA	Erosión y desplazamiento del terreno por aguas no controladas	Captación y manejo de aguas superficiales.

TABLA DE CONTENIDO

8.	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DETALLADA DE LA RED MATRIZ PARA SU REHABILITACIÓN	8-1
8.1.	METODOLOGÍA Y ANÁLISIS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA RED MATRIZ	8-1
8.1.1	<i>METODOLOGIA PARA LA REHABILITACIÓN DE TUBERÍAS.</i>	8-2
8.1.1.1	SITIOS CRITICOS CON FALLA POTENCIAL.	8-2
8.1.1.1.1	Plan de contingencia N° 1.	8-3
8.1.1.1.2	Plan de contingencia N° 2.	8-4
8.1.1.1.3	Plan de contingencia N° 3.	8-5
8.1.1.2	SITIOS CRITICOS CON MANIFESTACIONES VISIBLES DE FALLA	8-6
8.1.2	<i>METODOLOGIA PARA LA REHABILITACION DE LAS CAJAS DE ACCESORIOS.</i>	8-7
8.1.2.1	DIAGNOSTICO GENERAL	8-8
8.1.2.2	DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA.	8-14
8.1.2.3	CAJAS CALIFICADAS CON MUY ALTA PRIORIDAD Y CON FALLA VISIBLE.	8-15
8.1.2.3.1	Localización e inventario de cajas a rehabilitar.	8-16
8.1.2.3.2	Exploración y diagnóstico detallado de la caja.	8-16
8.1.2.3.2.1	Estado Estructural.	8-17
8.1.2.3.2.2	Estado Operativo.	8-18
8.1.2.3.3	Calificación del estado de la caja.	8-19
8.1.2.3.4	Planes de rehabilitación de cajas.	8-20
8.1.2.3.4.1	Plan de Mantenimiento.	8-20
8.1.2.3.4.2	Plan de Reparación.	8-20
8.1.2.3.4.3	Plan de Renovación.	8-21
8.1.2.4	CAJAS CALIFICADAS CON MUY ALTA PRIORIDAD Y CON FALLA POTENCIAL.	8-21
8.1.2.4.1	Plan de contingencia para cajas N°1 (cajas con accesorios de 48" a 78")	8-22
8.1.2.4.2	Plan de contingencia para cajas N° 2 (cajas con accesorios de 30" a 42")	8-23
8.1.2.4.3	Plan de contingencia para cajas N° 3 (cajas con accesorios de 16" a 24")	8-24
8.1.3	<i>METODOLOGIA PARA LA REHABILITACION DE LOS VIADUCTOS.</i>	8-24
8.1.3.1	DIAGNOSTICO GENERAL	8-25
8.1.3.2	DESCRIPCION DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA PARA ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DETALLADO DE VIADUCTOS, A INSPECCIONAR EN EL FUTURO.	8-27
8.1.3.2.1	Localización e inventario de viaductos a rehabilitar.	8-28
8.1.3.2.2	Inspección y diagnóstico del viaducto.	8-28
8.1.3.2.3	Calificación del estado del viaducto.	8-28
8.1.3.2.4	Planes de rehabilitación para los viaductos.	8-29
8.1.3.2.4.1	Plan de Mantenimiento.	8-29
8.1.3.2.4.2	Plan de Reparación.	8-29



8.1.3.2.4.3	Plan de Renovación.....	8-29
8.1.3.3	CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DETALLADO DE CRUCES EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA ALTA.....	8-30
8.1.3.3.1	<i>Programa de investigación.....</i>	8-30
8.1.3.3.1.1	Investigación Geotécnica y Sísmica:.....	8-30
8.1.3.3.1.2	Investigación Estructural:.....	8-32
8.1.3.3.2	<i>Análisis de ingeniería:.....</i>	8-33
8.1.3.3.2.1	Tipificación del perfil del subsuelo:.....	8-33
8.1.3.3.2.2	Análisis Sísmico:.....	8-34
8.1.3.3.3	<i>Análisis geotécnico:.....</i>	8-35
8.1.3.3.3.1	Zonas con problemas de socavación:.....	8-35
8.1.3.3.3.2	Condiciones de estabilidad y deformación:.....	8-36
8.1.3.3.4	<i>Análisis Estructural:.....</i>	8-36
8.2.	EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LLUVIAS Y OTROS FACTORES DETONANTES EN LA ESTABILIDAD DE LADERAS A LO LARGO DE LA RED MATRIZ.....	8-37
8.2.1	<i>METODO CUANTITATIVO PARA LA EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE LADERAS.....</i>	8-37
8.2.1.1	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERAS.....	8-37
8.2.1.1.1	<i>Estabilidad en condiciones normales.....</i>	8-38
8.2.1.1.2	<i>Influencia del sismo en la estabilidad.....</i>	8-39
8.2.1.1.3	<i>Influencia de lluvias en la estabilidad de laderas.....</i>	8-39
8.2.1.2	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	8-42
8.2.2	<i>METODO SEMICUANTITATIVO PARA LA EVALUACION DE ESTABILIDAD DE LADERAS.....</i>	8-50
8.2.2.1	SISTEMA SEMICUANTITATIVO DE EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD (SES).....	8-50
8.2.2.2	METODOLOGÍA DE TALUDES NATURALES (MTN).....	8-51
8.2.2.3	MAPA DE AMENAZA GEOTÉCNICA.....	8-53
8.2.2.3.1	<i>Localidad de Ciudad Bolivar.....</i>	8-53
8.2.2.3.2	<i>Localidades de Rafael Uribe Uribe y San Cristobal.....</i>	8-54
8.2.2.3.3	<i>Localidades de Santafe y Chapinero.....</i>	8-54
8.2.2.3.4	<i>Localidad de Usaquen.....</i>	8-55
8.2.2.3.5	<i>Localidad de Suba.....</i>	8-55
8.2.2.3.6	<i>Localidad de Usme.....</i>	8-56
8.2.3	<i>CONFRONTACION DE LOS METODOS CUANTITATIVOS CON LOS SEMICUANTITATIVOS.....</i>	8-56
8.2.3.1	INFLUENCIA DE LA ESTABILIDAD DE LADERAS ANTE SISMO:.....	8-56
8.2.3.2	INFLUENCIA DE LA ESTABILIDAD DE LADERAS POR LLUVIAS:.....	8-57
8.2.3.3	SELECCIÓN DE ZONAS GEOTÉCNICAMENTE CRÍTICAS POR SISMO Y LLUVIAS:.....	8-57
8.3.	ANALISIS DEL PROBLEMA Y PROPUESTAS DE SOLUCION, PARA PUNTOS CRITICOS PRIORITARIOS DE LA RED MATRIZ, POR ZONAS DE SERVICIO.....	8-59

8.3.1	ZONA DE SERVICIO LAGUNA.	8-60
8.3.1.1	LINEA: LA LAGUNA - MONTEBLANCO SITIO: ZONA INESTABLE DE LA CALLE 7 CON CARRERA 1E (USME):.....	8-61
8.3.1.1.1	Localización y descripción.....	8-61
8.3.1.1.2	Causas que generan la amenaza.	8-61
8.3.1.1.3	Comportamiento bajo condiciones hipotéticas:.....	8-62
8.3.1.1.4	Planteamiento y análisis de alternativas de solución.	8-63
8.3.1.2	LINEA: LA LAGUNA - MONTEBLANCO SITIO: ZONA INESTABLE DE LA FINCA EL PEDREGAL:.....	8-64
8.3.1.2.1	Localización y Descripción del sitio.	8-64
8.3.1.2.2	Causas que generan la amenaza.	8-64
8.3.1.2.3	Comportamiento bajo condiciones hipotéticas:.....	8-65
8.3.1.2.4	Planteamiento y análisis de alternativas de solución.	8-66
8.3.1.3	LINEA: LA LAGUNA - MONTEBLANCO SITIO: ZONA INESTABLE DE LA FINCA EL PAPAGAYO	8-66
8.3.1.3.1	Localización y Descripción del sitio.	8-66
8.3.1.3.2	Causas que generan la amenaza.	8-67
8.3.1.3.3	Planteamiento y análisis de alternativas de solución.	8-67
8.3.1.4	LINEA: LA LAGUNA - MONTEBLANCO SITIO: ZONA INESTABLE EN EL BARRIO ALCANTUZ- BOSQUE LIMONAR.....	8-68
8.3.1.4.1	Localización y Descripción del sitio.	8-68
8.3.1.4.2	Causas que generan la amenaza.	8-68
8.3.1.4.3	Comportamiento bajo condiciones hipotéticas:.....	8-69
8.3.1.4.4	Planteamiento y análisis de alternativas de solución.	8-70
8.3.2	ZONA DE SERVICIO VITELMA.....	8-70
8.3.2.1	LINEA: SAN CARLOS – ALTOS DE JALISCO SITIO: BARRIOS SAN JORGE Y MARCO FIDEL SUAREZ	8-71
8.3.2.1.1	Localización y Descripción del sitio.	8-71
8.3.2.1.2	Causas que generan el mal funcionamiento.	8-71
8.3.2.1.3	Alternativas de solución.	8-72
8.3.2.2	LINEA: VITELMA – DIANA TURBAY SITIO: BARRIOS CORDOBA, ATENAS Y GUACAMAYAS	8-73
8.3.2.2.1	Localización y Descripción del sitio.	8-73
8.3.2.2.2	Causas que generan el mal funcionamiento.	8-73
8.3.2.2.3	Alternativas de solución.	8-73
8.3.2.3	LINEA: ALPES – QUINDÍO SITIO: AL SUR DEL TANQUE LOS ALPES	8-74
8.3.2.3.1	Localización y Descripción del sitio.....	8-74
8.3.2.3.2	Causas que generan el mal funcionamiento.	8-75
8.3.2.3.3	Alternativas de solución.	8-75

8.3.2.4	LINEA: DISTRIBUCION TANQUE SAN DIONISIO SITIO: DESDE NUEVO TANQUE EL CONSUELO HACIA TANQUE SAN DIONISIO	8-76
8.3.2.4.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-76
8.3.2.4.2	<i>Causas que generan el mal funcionamiento.</i>	8-76
8.3.2.4.3	<i>Alternativas de solución.</i>	8-76
8.3.2.5	LINEAS: DESDE VITELMA HACIA CIUDAD BOLIVAR SITIO: VARIOS	8-77
8.3.2.5.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-77
8.3.2.5.2	<i>Comportamiento ante condiciones normales e hipotéticas:</i>	8-77
8.3.2.6	LINEA: SILENCIO - VITELMA SITIO: PARTE ALTA DEL BARRIO LA PERSEVERANCIA	8-78
8.3.2.6.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-78
8.3.2.6.2	<i>Causas que generan la amenaza.</i>	8-78
8.3.2.6.3	<i>Comportamiento ante condiciones hipotéticas:</i>	8-79
8.3.2.6.4	<i>Planteamiento y análisis de alternativas de solución.</i>	8-79
8.3.2.7	LINEA: SILENCIO – VITELMA SITIO: ZONA INESTABLE – VEREDA MONSERRATE	8-80
8.3.2.7.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-80
8.3.2.7.2	<i>Causas que generan la amenaza.</i>	8-80
8.3.2.7.3	<i>Planteamiento y análisis de alternativas de solución.</i>	8-80
8.3.2.8	LINEA: SILENCIO - VITELMA SITIO: PARTE ALTA DEL TANQUE SAN DIEGO	8-81
8.3.2.8.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-81
8.3.2.8.2	<i>Causas que generan la amenaza.</i>	8-81
8.3.2.8.3	<i>Comportamiento ante condiciones hipotéticas:</i>	8-82
8.3.2.8.4	<i>Planteamiento y análisis de alternativas de solución.</i>	8-83
8.3.2.9	LINEA: SILENCIO – VITELMA SITIO: ZONA INESTABLE – QUEBRADA LAS LAJITAS (PARTE BAJA)	8-84
8.3.2.9.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-84
8.3.2.9.2	<i>Causas que generan la amenaza y Diagnóstico.</i>	8-85
8.3.2.9.3	<i>Comportamiento ante condiciones hipotéticas:</i>	8-85
8.3.2.9.4	<i>Planteamiento y análisis de alternativas de solución.</i>	8-85
8.3.2.10	LINEA: VITELMA – COLUMNAS REFUERZO ORIENTAL SITIO: ZONA INESTABLE – COSTADO SUR DEL TANQUE VITELMA	8-86
8.3.2.10.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-86
8.3.2.10.2	<i>Causas que generan la amenaza.</i>	8-86
8.3.2.10.3	<i>Comportamiento ante condiciones hipotéticas:</i>	8-87
8.3.2.10.4	<i>Planteamiento y análisis de alternativas de solución.</i>	8-87
8.3.2.11	LINEA: VITELMA SANTA LUCIA SITIO: DESLIZAMIENTO DE LOS BARRIOS MONTEBELLO Y SAN LUIS	8-87
8.3.2.11.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-87
8.3.2.11.2	<i>Causas que generan la amenaza.</i>	8-88
8.3.2.11.3	<i>Comportamiento ante condiciones hipotéticas:</i>	8-88

8.3.2.11.4	<i>Planteamiento y análisis de alternativas de solución.</i>	8-89
8.3.2.12	LINEA: VITELMA SANTA LUCIA (SAN BLAS - LA COLINA) SITIO: DESLIZAMIENTO DEL BARRIO VILLA DE LOS ALPES	8-89
8.3.2.12.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-89
8.3.2.12.2	<i>Causas que generan la amenaza.</i>	8-90
8.3.2.12.3	<i>Planteamiento y análisis de alternativas de solución.</i>	8-90
8.3.2.13	LINEAS: DESDE VITELMA PARA LOS BARRIOS SURORIENTALES SITIO: ZONA B DE LOS ALPES DEL ZIPA	8-90
8.3.2.13.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-91
8.3.2.13.2	<i>Causas que generan la amenaza.</i>	8-91
8.3.2.13.3	<i>Comportamiento ante condiciones hipotéticas:</i>	8-92
8.3.2.13.4	<i>Planteamiento y alternativas de solución.</i>	8-92
8.3.2.14	LINEAS: DESDE VITELMA PARA LOS BARRIOS SURORIENTALES SITIO: ZONA A DE LOS ALPES DEL ZIPA	8-92
8.3.2.14.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-93
8.3.2.14.2	<i>Causas que generan la amenaza.</i>	8-93
8.3.2.14.3	<i>Comportamiento ante condiciones hipotéticas:</i>	8-94
8.3.2.14.4	<i>Planteamiento y análisis de alternativas de solución.</i>	8-94
8.3.3	LINEA: QUINDIO – JUAN REY sitio: Zanjón del Quindío	8-95
8.3.3.1.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-95
8.3.3.1.2	<i>Causas que generan la amenaza.</i>	8-95
8.3.3.1.3	<i>Comportamiento ante condiciones hipotéticas:</i>	8-95
8.3.3.1.4	<i>Planteamiento y análisis de alternativas de solución.</i>	8-96
8.3.3.2	LINEA: QUINDIO – JUAN REY SITIO: PARTE ALTA DEL BARRIO QUINDÍO	8-96
8.3.3.2.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-96
8.3.3.2.2	<i>Causas que generan la amenaza.</i>	8-97
8.3.3.2.3	<i>Comportamiento ante condiciones hipotéticas:</i>	8-97
8.3.3.2.4	<i>Planteamiento y análisis de alternativas de solución.</i>	8-98
8.3.3.3	LINEA: QUINDIO (B) – JUAN REY (B) SITIO: ZONA INESTABLE AL COSTADO SUR DEL BARRIO SAN RAFAEL	8-99
8.3.3.3.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-99
8.3.3.3.2	<i>Causas que generan la amenaza.</i>	8-99
8.3.3.3.3	<i>Comportamiento ante condiciones hipotéticas:</i>	8-100
8.3.3.3.4	<i>Planteamiento y análisis de alternativas de solución.</i>	8-100
8.3.4	ZONA DE SERVICIO SAN DIEGO NORTE Y SUR	8-100
8.3.4.1	LINEA: SAN DIEGO – ZONA INTERMEDIA SITIO: TODA LA LINEA. INVESTIGACIÓN PROTECCIÓN CATÓDICA	8-101
8.3.5	ZONA DE SERVICIO BAJA NORTE	8-103
8.3.5.1	LINEA: TUBERÍA DE IMPULSIÓN CIUDAD BOLIVAR SITIO: ZONA POSTERIOR DEL	

	TANQUE SIERRA MORENA III	8-104
8.3.5.1.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-104
8.3.5.1.2	<i>Causas que generan la amenaza.</i>	8-105
8.3.5.1.3	<i>Comportamiento ante condiciones hipotéticas:</i>	8-105
8.3.5.1.4	<i>Planteamiento y análisis de alternativas de solución.</i>	8-105
8.3.5.2	LINEA: TIBITOC-CASABLANCA SITIO: INESTABILIDAD EN LA PARTE BAJA DEL TANQUE CASABLANCA	8-106
8.3.5.2.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-106
8.3.5.2.2	<i>Causas que generan la amenaza.</i>	8-106
8.3.5.2.3	<i>Comportamiento ante hipótesis de sismo y lluvia:</i>	8-107
8.3.5.2.4	<i>Planteamiento y análisis de alternativas de solución.</i>	8-108
8.3.5.3	LINEA: DIFERENTES LINEAS SITIO: RONDA DE INUNDACIÓN DEL RIO TUNJUELITO ..	8-109
8.3.5.3.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-109
8.3.5.3.2	<i>Causas que generan la amenaza.</i>	8-109
8.3.5.3.3	<i>Planteamiento y análisis de alternativas de solución.</i>	8-110
8.3.5.4	LINEA: DIFERENTES LINEAS SITIO: RONDA DE INUNDACIÓN DEL RÍO BOGOTÁ Y HUMEDALES	8-111
8.3.5.4.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-111
8.3.5.4.2	<i>Causas que generan la amenaza.</i>	8-111
8.3.5.4.3	<i>Planteamiento y análisis de alternativas de solución.</i>	8-113
8.3.5.5	LINEA: TIBITOC – USAQUEN SITIO: ZONA DE RELLENOS POR LA LÍNEA DEL FERROCARRIL DEL NORTE ENTRE LA CALLE 170 Y LA CALLE 200	8-114
8.3.5.5.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-114
8.3.5.5.2	<i>Causas que generan la amenaza y diagnóstico.</i>	8-114
8.3.5.5.3	<i>Planteamiento y análisis de alternativas de solución.</i>	8-116
8.3.5.6	LINEA: INTERCONEXION CALLE 129 SITIO: CRUCE AUTOPISTA NORTE	8-117
8.3.5.6.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-117
8.3.5.6.2	<i>Causas que generan el mal funcionamiento y Diagnóstico.</i>	8-117
8.3.5.6.3	<i>Alternativas de solución.</i>	8-118
8.3.5.7	LINEA: USAQUEN – LA BELLA SUIZA - LOS CEDRITOS SITIO: VIA DEL FERROCARRIL, CALLE 127 Y KR. 7	8-119
8.3.5.7.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-119
8.3.5.7.2	<i>Causas que generan el mal funcionamiento.</i>	8-119
8.3.5.7.3	<i>Alternativas de solución.</i>	8-120
8.3.5.8	LINEAS: TIBITOC – CASABLANCA SITIO: SECTOR TIBITOC - LOS CLUBES, HUMEDAL DEL TEUSACA	8-121
8.3.5.8.1	<i>Localización y Descripción del sitio.</i>	8-121
8.3.5.8.2	<i>Causas que generan el mal funcionamiento.</i>	8-121
8.3.5.8.3	<i>Alternativas de solución.</i>	8-122

8.3.5.8.3.1	Topografía.....	8-122
8.3.5.8.3.2	Investigación Geotécnica.....	8-122
8.3.5.8.3.3	Inspección General.....	8-122
8.3.5.8.3.4	Modelación Suelo - Estructura.....	8-123
8.3.5.8.3.5	Planteamiento de Alternativas de Solución.....	8-123
8.3.5.8.3.6	Desarrollo de la Alternativa mas óptima.....	8-123
8.3.5.9	LINEA: TIBITOC – CASABLANCA SITIO: CRUCE SOBRE RÍO TUNJUELITO.....	8-124
8.3.5.9.1	<i>Localización y Descripción del sitio.....</i>	8-124
8.3.5.9.2	<i>Causas que generan el mal funcionamiento.....</i>	8-125
8.3.5.9.3	<i>Alternativas de solución.....</i>	8-127
8.3.5.10	LINEA: TIBITOC – CASABLANCA SITIO: SECTOR REHABILITADO. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA.....	8-127
8.3.5.10.1	<i>Investigación sobre los revestimientos.....</i>	8-128
8.3.5.10.2	<i>Investigación sobre los empaques en las juntas.....</i>	8-129
8.3.5.10.3	<i>Investigación sobre el acero de refuerzo.....</i>	8-130
8.3.5.10.4	<i>Conclusiones de los resultados obtenidos en la investigación del tramo rehabilitado.....</i>	8-131
8.3.5.11	LINEAS: TIBITOC – CASABLANCA (RM78001) Y TIBITÓC - USAQUEN (CC9003) SITIO: INVESTIGACIÓN DE LAS CÁMARAS QUE CONTIENEN LAS VÁLVULAS V-40, V-42 Y V-18.....	8-133
8.3.5.11.1	<i>Chequeo estructural caja v-40.....</i>	8-134
8.3.5.12	LINEA: TIBITOC – CASABLANCA SITIO: CRUCE SOBRE EL HUMEDAL DEL JUAN AMARILLO. ANALISIS DE LAS MEDICIONES DEL ESPESOR POR ULTRASONIDO EN EL VIADUCTO SOBRE EL RIO SALITRE (JUAN AMARILLO) CON AV. BOYACA.....	8-136
8.3.5.13	LINEA: TIBITOC – USAQUEN SITIO: VIADUCTO SOBRE EL HUMEDAL DE TEUSACÁ- LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	8-137
8.3.5.13.1	<i>Localización y Descripción del sitio.....</i>	8-137
8.3.5.13.2	<i>Causas que generan el mal funcionamiento y Diagnóstico.....</i>	8-137
8.3.5.13.3	<i>Alternativas de solución.....</i>	8-139
8.3.5.13.4	<i>Analisis de la nivelacion topografica en el sector del Humedal del Teusaca.....</i>	8-139
8.3.5.14	LINEA: AV. FERROCARRIL X CRA. 50 A 112 HACIA MUNICIPIOS SITIO: PARALELO A LA VIA FERROCARRIL DE OCCIDENTE.....	8-144
8.3.5.15	VIADUCTOS Y PASOS ENTERRADOS EN ZONAS DE AMENAZA SISMICA ALTA.....	8-144
8.3.5.15.1	<i>Actividades realizadas.....</i>	8-144
8.3.5.15.2	<i>Descripcion de los sitios:.....</i>	8-145
8.3.5.15.2.1	Humedal de Teusacá:.....	8-145
8.3.5.15.2.2	Zona Baja del río Tunjuelito:.....	8-147
8.3.5.15.3	<i>Analisis sismico:.....</i>	8-150
8.3.5.15.3.1	Generalidades.....	8-150
8.3.5.15.3.2	Espectro de Respuesta y Sismos de Diseño:.....	8-150

8.3.5.15.3.3	Cargas y Deformaciones Elásticas en tuberías enterradas y continuas:.....	8-152
8.3.5.15.4	<i>Alternativas de solución.</i>	8-155
8.3.5.15.4.1	Licuación de suelos:.....	8-157
8.3.5.15.5	<i>Conclusiones y recomendaciones:</i>	8-158
8.3.5.15.5.1	Línea Tibitoc-Usaquen de 60 pulgadas – Viaducto Teusacá	8-158
8.3.5.15.5.2	Línea Tibitoc-Casablanca de 78 pulgadas – Paso enterrado en el Humedal de Teusaca	8-159
8.3.5.15.5.3	Línea Tibitoc—Casablanca – Paso elevado por el Río Tunjuelito:.....	8-160
8.3.5.15.5.4	Línea El Silencio Casablanca –Paso por el río Tunjuelito. 42”	8-161
8.3.6	<i>ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS A CONSIDERAR PARA OTRAS LÍNEAS</i>	8-161

ANEXO 3. CHEQUEO Y DISEÑO ESTRUCTURAL

ANEXO 11. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE CAJAS DE VÁLVULAS Y VIADUCTOS

ANEXO 12. PLANOS EJECUTADOS POR LA CONSULTORÍA

**ANEXO 25. INFORME TÉCNICO (JR-052-IT01-01-01) FALLA SOBRE LA LÍNEA TIBITOC-
USAQUEN DE 60” EL DÍA 14 DE JUNIO DE 2001.**



INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

<i>Figura No. 8.1. Esquema de la metodología para rehabilitación de tuberías.</i>	8-2
<i>Tabla No. 8.1.1 Sitios críticos de muy alta prioridad con falla potencial</i>	8-6
<i>Tabla No. 8.1.2. Sitios críticos de muy alta prioridad con falla visible</i>	8-7
<i>Tabla No. 8.1.3. Relación por líneas de las cajas inspeccionadas visualmente.</i>	8-11
<i>Tabla No. 8.1.4. Relación de viaductos inspeccionados visualmente</i>	8-26
<i>Tabla No. 8.2.1. Valores de a y b para cinco zonas de lluvia, según curvas de intensidad-duración- frecuencia de la EAAB para la zonificación del río bogotá</i>	8-41
<i>Tabla No. 8.2.2. Evaluación modelo de lluvias</i>	8-43
<i>Tabla No. 8.2.3. Resultados evaluación amenaza en condiciones de normales y de lluvia (periodos de retorno de 3, 10, 50 y 100 años)</i>	8-45
<i>Tabla No. 8.2.4. Categorías de amenaza según resultado de la valoración ce y del estudio de su variación en la zona objeto del proyecto</i>	8-51
<i>Tabla No. 8.2.5. Factor de seguridad para las categorías de amenaza relativa</i>	8-52
<i>Tabla No. 8.2.6. Relación de zonas críticas por lluvias y otros factores detonantes</i>	8-58
<i>Tabla No. 8.3.1. Condiciones de estabilidad para caso de talud infinito. sitio: zona inestable de la calle 7 con carrera 1e (usme)- (caso 1):</i>	8-63
<i>Tabla No. 8.3.2. Condiciones de estabilidad para caso de talud infinito. sitio: zona inestable de la finca el pedregal - (caso 2):</i>	8-65
<i>Tabla No. 8.3.3. Condiciones de estabilidad para caso de talud infinito. sitio: zona inestable en el barrio alcantuz- bosque limonar - (caso 3):</i>	8-69
<i>Tabla No. 8.3.4. Análisis a los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar la agresividad de los suelos línea Vitelma Jalisco</i>	8-72
<i>Tabla No. 8.3.5. Análisis a los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar la agresividad de los suelos línea Vitelma Diana Turbay</i>	8-74
<i>Tabla No. 8.3.6. Análisis a los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar la agresividad de los suelos línea Alpes Quindío</i>	8-75
<i>Tabla No. 8.3.7. Condiciones de estabilidad para caso de talud infinito. sitio: parte alta del barrio la perseverancia:</i>	8-79
<i>Tabla No. 8.3.8. Condiciones de estabilidad para caso de talud infinito. sitio: parte alta del tanque San Diego:</i>	8-83



<i>Tabla No. 8.3.9. Condiciones de estabilidad para caso de talud infinito. sitio: parte alta del barrio Quindío</i>	8-97
<i>Tabla No. 8.3.10. Zonas geológicas y geomorfológicas similares en la zona baja norte</i>	8-104
<i>Tabla No. 8.3.11. Condiciones de estabilidad para caso de talud infinito. sitio: zona posterior del tanque Sierra Morena III</i>	8-105
<i>Tabla No. 8.3.12. Condiciones de estabilidad para caso de talud infinito. sitio: inestabilidad en la parte baja del tanque Casablanca</i>	8-108
<i>Tabla No. 8.3.13. Análisis a los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar la agresividad de los suelos línea Tibitóc Usaquen</i>	8-115
<i>Tabla No. 8.3.14. Análisis a los resultados de los ensayos de laboratorio interconexión calle 129</i>	8-118
<i>Tabla No. 8.3.15. Análisis a los resultados de los ensayos de laboratorio línea Usaquen-Bella Suiza – los Cedritos</i>	8-120
<i>Tabla No. 8.3.16. Análisis a los resultados de los ensayos de laboratorio línea Tibitóc – Casablanca- cruce sobre el río tunjuelito</i>	8-126
<i>Tabla No. 8.3.17. Perfil actual del viaducto sobre el humedal del teusacá (línea Tibitoc-Usaquen) y cálculo de asentamientos</i>	8-142
<i>Figura No. 8.3 Esquema de desplazamiento para balancines</i>	8-143
<i>Figura No. 8.4 Esquema de asentamientos</i>	8-143
<i>Figura No. 8.5. Estratigrafía de la zona del humedal del teusaca</i>	8-146
<i>Tabla No. 8.3.18. Otras líneas con aspectos geológico y geotécnicos a considerar.</i>	8-162