

## **7. INVESTIGACIONES DE CAMPO**

### **7.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS Y EQUIPOS MODERNOS INVESTIGADOS PARA INSPECCIÓN DE TUBERÍAS.**

En el presente numeral se incluye una descripción de diferentes técnicas de inspección de tuberías, las cuales fueron consultadas e investigadas con el fin de aplicarlas en el caso específico de las inspecciones de campo. Las tecnologías aquí indicadas corresponden a las empleadas en la actualidad en diversos países del mundo, como Alemania, Francia y Estados Unidos, países donde han alcanzado un alto grado de desarrollo en las técnicas de rehabilitación de tuberías tanto en sistemas de suministro de agua como en sistemas de alcantarillado y son ampliamente utilizadas.

El motivo fundamental por lo cual los siguientes sistemas no fueron empleados en el presente estudio se debe a sus altos costos, como se indicará más adelante, ya que por ser tecnologías de punta la mayoría de los equipos no se encuentran disponibles en el mercado nacional, aunque sus casas fabricantes ya poseen las respectivas representaciones con algunas firmas radicadas en el país.

Otros Factores que influyeron en la no utilización, dentro del presente Estudio, de los sistemas o equipos para la inspección de tuberías descritos a continuación, fueron los tiempos de importación de los equipos, aproximadamente tres (3) meses para la entrega después de dada la orden de compra para algunos de ellos, así como la infraestructura requerida para la implementación de su uso, ya que la mayoría de los sistemas o equipos de inspección descritos, requieren de la intervención de las tuberías o en su defecto la suspensión temporal del servicio para su empleo con óptimos resultados, tal es el caso de las cámaras de CTV, limpiadores, o la ejecución de obras de excavaciones como el caso de PAS, y la instalación de cupones para corrosión externa.

### **7.1.1 MONITOREO ACÚSTICO DE LAS TUBERÍAS PCCP (PAS)**

El deterioro de las tuberías PCCP ocurre generalmente por causas que se originan en el exterior del tubo. La corrosión se presenta por pérdida de las propiedades protectoras del mortero de revestimiento. En ambientes muy alcalinos las varillas de refuerzo son protegidas de la corrosión, sin embargo cuando el mortero de revestimiento es química o físicamente atacado, la calidad de su pasivación por el alto pH del cemento disminuye. Esta pérdida de protección permite la corrosión la cual inicia por las varillas preesforzadas y puede tener varias causas como una reacción de reducción, por corrientes perdidas o de origen galvánico.

En la rotura de las varillas preesforzadas de refuerzo se desprende gran energía que alcanza un alto nivel, el cual puede ser detectado por un sistema de monitoreo acústico, a través de micrófonos previamente instalados. Esta detección permite conocer las zonas de la tubería que presentan un deterioro por rompimiento de las varillas, adicionalmente proporcionan la información necesaria para prever daños futuros mayores y posiblemente catastróficos.

Conocer el estado de las varillas preesforzadas de refuerzo del tubo metálico en tuberías PCCP es a menudo una labor costosa por la inaccesibilidad a la tubería que dificulta su evaluación, sin embargo se puede realizar un examen aleatorio de las varillas por medio de una excavación o una inspección desde la pared interior de las tuberías, con lo que se tendría un conocimiento del estado actual muy localizado.

En vista de lo anterior se han desarrollados técnicas para determinar el momento y la localización del rompimiento de las varillas preesforzadas y por ende determinar el deterioro de la tubería, tal como los sistemas de monitoreo acústico, que proporcionan la información exacta y fiable sobre la proporción del deterioro de la tubería. Los sistemas de inspección se han diseñado y son instalados de tal manera que permiten mantener la línea en funcionamiento incluso durante su instalación y durante el tiempo que dure la inspección.

La aplicación del monitoreo acústico para las tuberías PCCP, suministra información fiable sobre la proporción de rotura de las varillas de refuerzo en la estructura, lo que permite planear las reparaciones. La información permite adicionalmente determinar el número de roturas de las varillas preesforzadas en relación con la integridad de la tubería, por lo que se puede prever los intervalos óptimos para el monitoreo minimizando las inspecciones externas y las actividades de reparación

Básicamente existen en el mercado dos sistemas, diseñados para satisfacer las necesidades; el uno consiste en la instalación de una estación de hidrofonia y el otro en la instalación de una serie de hidrófonos (micrófonos).

1. La estación de hidrofonia: Puede ser instalada fácilmente, como un punto de salida de 2", sobre la tapa de una boca de inspección (manhole). Dependiendo del diámetro de la tubería, las estaciones pueden espaciarse más de 305 metros. La estación supervisa la actividad acústica que ocurra entre dos situaciones o roturas, igualmente genera un registro permanente de la actividad acústica y por medio de una comparación con los criterios previamente definidos en el diseño del sistema determina la situación de los eventos.

La estación proporciona una apreciación global y superficial de la tubería identificando áreas activas donde los eventos exhiben las características de rotura del alambre acústicamente. Una vez localizadas las áreas activas, una serie de hidrófonos puede desplegarse para clasificar bien los eventos acústicos. Este sistema se diseña para que el personal lo pueda instalar fácilmente y pueda mover las estaciones por encima de la tubería.

2. El sistema de monitoreo en serie: El sistema de monitoreo por medio hidrófonos instalados en serie, consiste de varios micrófonos conectados en serie. Los micrófonos son insertados dentro del flujo con la tubería en funcionamiento. Una vez instalados los hidrófonos monitorean la tubería continuamente para eventos acústicos que exhiban propiedades tales como las que ocurren cuando se representan roturas de las varillas preesforzadas. Estos eventos son grabados en una unidad de

Adquisición de Datos que los compara con el criterio de diseño previamente establecido e incorporado al sistema. Si un evento acústico reúne o sobrepasa las condiciones del criterio establecido, el mismo representa una sobre carga y debe ser evaluado por personal especializado.

Cuando un determinado evento acústico tiene las características de una falla de los alambres preesforzados, el software de análisis evalúa la señal con el fin de determinar la localización exacta del origen del evento. La velocidad del sonido dentro del agua es conocida, así como el espaciamiento entre micrófonos.

Los micrófonos para las instalaciones en serie pueden ser distanciados entre 30.5 y 61 metros y son apropiados para la investigación de tuberías de diámetros pequeños (24"), donde el desarrollo de una estación de hidrofónica es impracticable por el gran espacio que requiere.

Se han desarrollado y utilizado con éxito, en Phoenix Arizona -Estados Unidos sistemas de monitoreo acústico para detectar y localizar fallas en tuberías de varios diámetros, hasta 96".

Si no existen datos de monitoreos anteriores, el sistema de monitoreo acústico puede ser eficaz para la determinación de las condiciones actuales de la tubería y suministra la información suficiente sobre la localización de las roturas de las varillas.

### **7.1.2 CIRCUITO CERRADO DE TELEVISIÓN**

Las Cámaras de Circuitos Cerrados de Televisión (CCTV), han sido aplicadas recientemente para detectar las condiciones actuales de las tuberías, los resultados visuales pueden ser la base para la subsiguiente decisión de reparar o reemplazar las tuberías, verificando el estado físico del interior del tubo y analizando los protocolos de inspección.

La técnica de inspección consiste en la introducción de una cámara de CCTV, de alta resolución y enfoque en el interior de la tubería. La cámara es colocada sobre un carrito o tractor que permite su desplazamiento el cual es orientado desde el exterior por una unidad completamente automatizada, en donde se tiene control sobre la orientación de las imágenes, el zoom de la cámara, la velocidad de desplazamiento e incluso por medio de un teclado se pueden incorporar textos a la imagen de la pantalla, la que además registra la fecha, hora y distancia recorrida.

Existen en el mercado diferentes tipos de conjuntos cámara - tractor, provistos de diversos dispositivos como luces alógenas, con conectores para el cable de comando tipo tapón plegable, cámaras con ajuste del diafragma automático, tractores con embrague para operación en reversa, con transmisión tipo oruga o sobre llantas, con sistema de chorro de agua para lavado lateral el cual también puede ser usado como sistema autoportante con chorro de agua de alta presión, cámara con cámara auxiliar o satélite para inspección de tuberías en derivaciones, entre otros, todos de acuerdo con el tipo de material de la tubería y su diámetro.

Los sistemas modulares para inspección con CCTV pueden ofrecer las siguientes posibilidades:

- Foto sensible, cámara de alta resolución con alta calidad de imagen
- Utilizable bajo condiciones difíciles ( Tuberías obstruidas o defectuosas)
- Costo – eficiencia simple y economía en el tiempo de trabajo
- Posibilidades de ampliación y adaptación a tareas específicas.
- Resistente a tierra, agua y agentes químicos agresivos.
- Reúne los requisitos de las normas técnicas y de protección a la salud.

#### **7.1.2.1 VENTAJAS Y PROPIEDADES TÉCNICAS**

- Fácil adaptación a las demandas de los clientes
- Sistema de Costo eficaz y práctico

- Posibilidad de ampliación del aparato portátil al sistema completo.
- Sistema de cámaras de alta resolución con zoom y foco automático.
- Supervisión de la presión interna de las cámaras para evitar la penetración del agua
- Clasificación de la condición de las tuberías con una moderna base de datos mediante un software.

A continuación se relacionan las principales características que pueden tener los conjuntos de los distintos equipos que actualmente se consiguen en el mercado y según los requerimientos que se tengan, para sus componentes más importantes como son unidades de control, carritos o tractores porta cámara, carretes de cable, cámaras

#### **7.1.2.2 UNIDADES DE MANDO Y OPERACIÓN.**

- Unidad de mando con controles automáticos
- Graduación de la iluminación desde 0 a 120W según la capacidad requerida
- Control del funcionamiento del tractor porta cámara (velocidad, dirección, sistema automático del movimiento en reverso)
- Control de la cámara
- Control microprocesado de la transferencia de los datos obtenidos entre el tractor y la unidad básica
- Indicador para el estado de carga de la batería.
- Teclado con 39 teclas por línea para 25 líneas por hoja con y sin fondo
- Indicación de fecha, hora, posición de la cámara, indicador del uso del video y del número de la fotografía.
- Conexiones para transferencias desde y hacia el PC
- Conexión para video grabadora
- Conexión para transmisión del video
- Transformador DC/DC para aumentar la distancia de la inspección
- Monitor a color de alta resolución
- Videograbadora de cuatro cabezas

- Control de video con busca rápida
- Videgrabadora e impresora con mando vía PC
- Impresora a color
- Estación de computador para el procesamiento de datos

#### **7.1.2.3 UNIDADES ALIMENTADORAS DE ENERGÍA**

- Acumulador de cuatro baterías por 9,5 Ah, 48 V para tres horas de operación alterna
- Suministro de energía por 220 V, con transformador a 48 V, generador alterno con aislamiento de ruido de aproximadamente 60 dB

#### **7.1.2.4 CARRO PORTA CÁMARA O TRACTOR**

- Con engranajes para subir y bajar la cámara, dirigible, con caja en acero inoxidable, medidor de inclinación y corrección automática.
- Graduación eléctrica de la altura de la cámara
- Válvula para cargar nitrógeno
- Sistema automático para el movimiento en reverso
- Con transmisión sobre orugas o ruedas
- Cabezal móvil horizontal y giratoriamente en 300 ° a 540 °
- Para aplicaciones en tuberías desde 8" hasta 63" de radio

#### **7.1.2.5 CARRETE PORTA CABLE**

- Capacidad máxima 150m de cable
- Conducción del motor máximo 200m
- Conducción del motor máximo 400m

### 7.1.2.6 CÁMARA DE VIDEO

- Supervisión de la presión interna. ( censor de estrechez )
- Sincronización con el carrete porta cable.
- Cámara a color de alta resolución y soporte con inclinación (Soporte hasta 270 grados y rotación de 360)
- Lente ancho con alta profundidad de enfoque
- Iris automático
- Con foco automático, auto foco y focos manuales
- Con zoom de 12 veces, alcance de 10 mm a 0.8 m, largo de foco 5,4 a 64,8 mm, diafragma de F 1,8 a 2,7
- Lámparas para iluminación alógenas de 4 x 20 w
- Instalación para llenar nitrógeno

El costo para adquisición de un equipo completo de inspección de fabricación Alemana, en el que se incluye la cámara, el carro tractor, el cable con carrete giratorio automático, monitores, sistema de baterías, rectificadores de corriente, computador con su software, videograbadora, impresora a color, sistema de iluminación, vehículo para transporte Mercedes Benz con cuarto de control, todos estos de las características relacionadas anteriormente, asciende a la suma de US\$ 157.369,00, según cotización presentada por el representante de la casa fabricante RAUSCH.

En el anexo 9 se incluyen los catálogos y especificaciones para varios conjuntos de equipos de fabricas europeas.

### 7.1.3 LIMPIADORES DE TUBERÍAS

Generalmente en los sistemas de acueducto con el paso del tiempo y el crecimiento de la población, se aumentan los requerimientos de capacidad de las tuberías, por el consecuente incremento de la demanda en el suministro. Lo anterior representa una disminución en la eficiencia de las mismas y por lo tanto un mayor costo de la distribución.



También con el paso del tiempo aumenta la corrosión sobre las tuberías, hecho que igualmente incrementa los costos de operación por mayores mantenimientos, cada vez más frecuentes y desmejoramiento de la calidad de las superficies de la tubería.

Existen en el mercado limpiadores industriales de tuberías que consisten en un dispositivo que se mueve a través del interior de la tubería con el objeto de limpiarla y en algunos casos inspeccionar su redondez. Estos dispositivos se conocen comúnmente como PIGS, "marranos" o simplemente tacos.

Los tacos pueden ser usados con diferentes propósitos, como el de limpiar las líneas nuevas de cualquier residuo de la construcción, animales muertos atrapados, retirar estrías de fábrica o rebabas de soldadura, otra función importante que pueden cumplir los tacos es la de verificar la ovalidad de las tuberías y si estas presentan algún abollamiento o bucle, igualmente en tuberías de acueducto en operación sirven para el retiro de la biopelícula acumulada en las paredes.

Existen en el mercado diferentes tipos de tacos, según la función para la que hayan sido diseñados cada uno, a continuación se relacionan algunos de los más comunes:

#### **7.1.3.1 TACOS PARA LAVADO**

Los tacos para lavado son diseñados para remover los sólidos acumulados o residuos en las tuberías. Esto incrementa la eficiencia y baja los costos de operación. Ellos tienen un cepillo de alambre para raspar las paredes de las tuberías y quitar los sólidos. Tacos de 14" y más normalmente usan cepillos de alambre rotatorios que son fáciles de reemplazar y económicos, para tacos más grandes se usan cepillos de alambre especiales. Los cepillos normales son hechos con alambres de acero de carbono refinado u ordinario y para líneas de tubería con revestimiento interior el material usado es el Prostran.

Ocasionalmente un taco puede pegarse en la línea, la localización del mismo puede encontrarse usando un taco con un transmisor en su cuerpo, el transmisor emite una

señal que puede ser localizada por un receptor. Después de localizado la línea puede excavar y el taco se retira.

Los tacos son generalmente fabricados en una sola pieza de poliuretano de alta calidad y con una máxima flexibilidad para larga duración, además puede pasar por válvulas y derivaciones en "T" sin encorvarse.

En el mercado se encuentran tacos para muchas aplicaciones como por ejemplo, tacos para limpieza de residuos de hierro por medio magnético.

### **7.1.3.2 ESFERAS**

LAS ESFERAS HAN SIDO USADAS POR MUCHOS AÑOS COMO TACOS DE CIERRE. LAS HAY DE CUATRO TIPOS BÁSICOS, ESFERAS INFLABLES, SÓLIDAS, ESPUMA Y SOLUBLES.

Para las esferas inflables, en diámetros desde 6" hasta 48", se usa agua o agua y glicol y son infladas hasta el -1% o -2% del diámetro interno del tubo y pueden pasar a través de los tramos deformados de la tubería, derivaciones y válvulas completamente abiertas.

En el caso de redes de acueducto las esferas pueden ser usadas para las pruebas hidrostáticas ya que purgan el aire y el agua de las líneas para el drenado de las tuberías.

### **7.1.3.3 PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DEL TACO.**

Para mejores resultados, es importante tener en cuenta que el taco debe estar en buenas condiciones, si este ha sido corrido anteriormente se debe inspeccionar para garantizar que correrá nuevamente y no se atascará. Se recomienda medir el diámetro externo de la superficie del taco el cual debe ser más grande que el diámetro interno de la tubería. También se debe medir el diámetro libre del cepillo del taco con el fin de asegurar que los

cepillos mantendrán el contacto con la tubería. La superficie exterior del taco debe estar libre de rasgaduras, perforaciones o cualquier otro daño que afecte la corrida del taco. Se deben revisar las cerdas del cepillo para verificar que estos están libres de corrosión y roturas. Las anteriores precauciones son necesarias para evitar que los tacos forcen las tuberías, las cerdas sueltas pueden dañar las válvulas, la instrumentación otro equipo de la línea.

Existen en el mercado equipos lanzadores de tacos y equipos receptores de tacos, cuyas funciones respectivas son las de lanzar el taco dentro de las tuberías y recibirlo después de han realizado la carrera exitosa.

Para lograr un recorrido del taco exitoso se recomiendan en términos generales los siguientes pasos:

1. Aumentar el flujo y la presión, sin sobrepasar los límites de seguridad de la tubería.
2. Quitar la presión de la línea y drenar hacia donde se encuentra el lanzador. Quitando la presión se permite al taco relajarse a su forma original lo que puede causar un retroceso de él en la tubería.
3. Después de 15 o 30 minutos represurizar la línea e intentar manejar el taco por la tubería, con movimientos hacia delante y hacia atrás, intentando dos o tres veces.
4. En las líneas de agua potable, cuando se usan tacos de espuma, este se debe introducir en una solución alta en cloro (3000 o 5000 ppm) para desinfección. Después de la limpieza la línea debe desocuparse y realizarse la desinfección con un cloro de acuerdo con las normas de LA EMPRESA.

En el anexo 9 se incluyen catálogos de descripción y especificaciones de diversos tipos de tacos.

#### **7.1.4 SISTEMA DE INSPECCIÓN POR RADAR DE PENETRACIÓN EN SUELO - GPR**

El sistema de inspección por medio del radar de penetración en suelos - GPR, por siglas en inglés, fue usado inicialmente para descubrir estructuras en el hielo, pero ha venido evolucionando para incluir la penetración de suelo, piedras y estructuras especiales hechas por el hombre como una tubería de agua.

El GPR usa las radio-ondas para descubrir los objetos enterrados y mapear cualquier objeto penetrable por estas, como las imágenes de los rayos X cuando trazan un cuerpo al pasar a través de este. El GPR usa un detector sensible para grabar las radio-ondas débiles reflejadas por materiales embebidos entre el material en investigación.

Se deben hacer medidas en muchos puntos para tener una representación exacta del área en estudio. Una computadora graba y une los datos del GPR para crear una imagen que indica la profundidad y colocación de los objetos en el área en estudio.

La frecuencia de las radio-ondas depende del tipo de exploración que se requiera así por ejemplo se usan bajas frecuencias de radio para exploraciones de cartografía geológica profundas y ondas de altas frecuencias de radio para delimitar las barras de refuerzo en estructuras de concreto.

En el mercado internacional existen una amplia gama sistemas con sensores, software de pulso y rangos de frecuencias configurados de tal manera que se ajusten a los requerimientos según cada necesidad.

Un equipo básico de GPR para la recolección de datos de campo puede estar constituido por un display de video digital, un odómetro, un software, una batería y un carro para su desplazamiento.

Los datos recolectados en campo son archivados automáticamente para su interpretación gráfica, por medio de un software de análisis, el cual a cada punto de los datos le asigna un peso que representa la probabilidad de que la situación de un punto blanco este

presente en el diagrama obtenido. Para el caso de las líneas de tubería estas aparecerán como un cordón de puntos blancos formado por varias líneas.

El en anexo 9 se incluyen manuales y catálogos de algunos equipos de GRP y la manera de interpretar los datos tomados.

### **7.1.5 PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN SOBRE CORROSIÓN DE TUBERÍAS.**

#### **7.1.5.1 CORROSIÓN INTERIOR**

El objetivo es el de determinar la velocidad y morfología de la corrosión producida en el interior de la tuberías con alma de acero, Por lo tanto se debe realizar un monitoreo al interior de las tuberías en los puntos más representativos como la parte inferior del tubo.

Lo anterior debe ser complementada con la medición ultrasónica de espesores de pared del tubo, lo cual permite diagnosticar integralmente el estado del sistema y priorizar los sectores críticos para establecer los programas de rehabilitación pertinentes.

Para las tuberías con revestimiento en mortero tales como la PCCP, CCP y AWWA C200 C205 la metodología anterior puede ser complementada llevando a cabo una patología del concreto con el fin de encontrar su integridad como medio aislante.

Para lo anterior es necesario adelantar como mínimo las siguientes actividades, dependiendo del tipo de material de la tubería:

##### **7.1.5.1.1 Tuberías con revestimientos de asfalto y esmalte:**

- Instalación de cupones: De baja presión, preferiblemente en la posición horaria de las seis, parte inferior del tubo.

- Toma de muestras de sólidos: Dispositivos para el muestreo de sólidos, su caracterización y granulometría.
- Accesorios para polarización lineal o Potentiodyne: Dispositivo para el levantamiento de curvas y determinar la velocidad de corrosión en la línea por la técnica mencionada.

Previo a la instalación se deben inspeccionar las líneas y determinar la localización de los puntos de muestreo los cuales deben coincidir con sitios de fácil acceso como las cajas para válvulas. Los dispositivos pueden ser instalados con la línea en servicio mediante la técnica de "HOT - TAP", (máquina perforadora).

A partir del tiempo cero, tiempo en que sean instalados los dispositivos, se requiere de recorridos cada mes, hasta completar cuatro, para realizar el monitoreo respectivo.

Se realizarán análisis de campo y laboratorio; con la toma de muestras de agua y sólidos se efectúan análisis físico - químicos como de pH, temperatura, sulfatos , carbonatos, ión ferroso, ión férrico, metales, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y microbiológicos, determinación de bacterias aeróbicas y anaeróbicas; así como con los dispositivos instalados se determina el tipo y forma de la corrosión, cálculo de la velocidad y su morfología. Con la toma de espesores se registran los datos y se analizan comparándolos con los especificados en el diseño de las tuberías.

#### 7.1.5.1.2 Tuberías con revestimiento en mortero de cemento:

Para esta clase de tubería, que corresponde al mayor porcentaje instalado en la red matriz es necesario lo siguiente:

- Inspección visual: Con el fin de observar el estado del concreto, agrietamiento, descascaramiento u otra anomalía que permita deducir la migración de humedad hacia el acero y por lo tanto inducir las fallas por la presencia de Stress Corrosion Cracking.
- Muestreo y análisis del concreto: Para el análisis de pH, cloruros, bacterias, sulfuros y carbonatos.

### 7.1.5.2 CORROSIÓN EXTERIOR.

En este campo es importante tener en cuenta separadamente las líneas con protección catódica y sin protección catódica respectivamente.

#### 7.1.5.2.1 Líneas con protección catódica.

Se deben desarrollar de las siguientes actividades:

- Levantamiento de los potenciales de protección catódica utilizando las técnicas tubo / suelo, estación / suelo, "instan ON/OFF" y Close Interval Survey - CIS, cada uno de ellos seleccionado previamente de acuerdo a la zona y tramo específico de tubería, así como calificación de interferencias e influencias de sistemas de protección catódica foráneos.
- Pruebas para medición de espesores y estado del revestimiento. Para determinar los puntos de inspección se utilizaría la técnica DCVG " DC Voltaje Gradient", por medio de la cual se miden gradientes de voltaje que indican el sitio recomendado para la inspección.

Adicionalmente, en cuanto a las unidades rectificadoras de corriente impresa :

- Inspección de las acometidas a tierra de alta y baja tensión de corriente alterna y continua respectivamente.
- Inspección de la URPC, su sistema de rectificación e instrumentación de medición y control.
- Evaluación de la vida remanente y de la eficiencia de las camas de drenaje de corriente.
- Inspección de las estaciones de medición de potenciales, puentes eléctricos y camas anódicas de sacrificio.
- Inspección y medición de continuidad de corriente en las juntas de aislamiento dieléctrico en equipos y bridas.

#### 7.1.5.2.2 Líneas sin protección catódica.

Actividades a desarrollar.

- Levantamiento del perfil de resistividad continua por efecto electromagnético a diferentes profundidades; para clasificar el tipo de suelo, el nivel freático, presencia de otras líneas enterradas, obras civiles enterradas, rellenos sanitarios y/o desperdicios, de adecuación de suelos y la agresividad del suelo, complementándose con análisis físico - químico y microbiológico de suelos.
- Inspección de los diferentes revestimientos aplicando la técnica DCVG y apiques para conocer el estado físico, determinar defectos, magnitudes y la corrosión catódica - catódica, anódica - anódica y catódica - anódica.
- Estudio y medición de los diferentes revestimientos externos, para detectar defectos y fallas por microfisuración, pérdida de adherencia ínter cristalina y sustrato metálico.
- Estudio de los revestimientos con morteros y agregados en cuanto a fallas y defectos por compuestos químicos y bacterias y el estudio de la pérdida de las propiedades químicas que afectan el pH y composición de la mezcla.
- Evaluación de las interferencias y daños generados por campos inducidos y corrientes dispersas mediante técnica de análisis de Onda.

Todas las inspecciones anteriores se ajustan a las normas y recomendaciones de NACE Standard RP0169-92, ANSI NFPA NEC, AWWA o normas afines.

#### 7.1.5.3 EQUIPO PARA LAS PRUEBAS Y ENSAYOS.

La relación general del equipo a utilizar para adelantar el programa de inspección es:

- Localizador de tubería METROTEC.
- Equipo Para evaluación de revestimiento DCVG "DC Voltege Gradient".



- Equipo para medición de resistividad TINKER RASOR.
- Equipo para evaluación de la protección catódica y corrosión CIS "Close Interval Surrey", marca COREX.
- Rectificador de inspección técnica de medidas eléctricas en DC y AC, puesta a tierra.
- Multímetros digitales, marca BECKAM.
- Multímetros digitales con memoria de 200 KB, marca COREX.
- Amperímetros de DC y AC, marca FLUKE.
- Electrodo de referencia Cobre - Sulfato, marca TINKER RASOR.
- Equipos para inspección de rectificadores URPC, camas anódicas y estaciones de prueba P/S.
- Equipos para inspección de revestimientos, marca COREX.
- Osciloscopio para formas de onda de voltaje.
- Equipos para toma de muestras para análisis de suelos, agua y producto de corrosión.
- Estuche para análisis de bacterias corrosivas en aguas y suelos.
- Banco metalográfico portátil.
- Medidor de velocidad de corrosión por potencial mixto.
- Juego de instrumentos para evaluar corrosión en morteros y concretos.
- Interruptores temporizados de 40 amperios, marca COREX.
- Herramientas menores, calibradores, teléfonos o radios.
- Vehículos.

El tiempo del programa de inspección depende básicamente de las variables a medir. Para la velocidad de corrosión se deben hacer mediciones cada treinta días y tomar un número de cuatro mediciones lo que representa un tiempo de cuatro meses para la toma de la información.

El costo total Luego del programa de investigación, puede ascender a la suma de \$.250.000.000,00.

## **7.2. EQUIPOS Y SISTEMAS DE INSPECCIÓN EMPLEADOS EN EL ESTUDIO**

A continuación se describen los equipos y sistemas de inspección empleados para la ejecución de las investigaciones de campo según cada una de las áreas en que se desarrollaron.

### **7.2.1 INSPECCIÓN DE VÁLVULAS**

Para las inspecciones mecánicas a las válvulas se aplicaron técnicas no destructivas, como la medición de espesores por ultrasonido, la medición de la amplitud y frecuencia de las vibraciones en velocidad y aceleración pico, medición de temperatura con termómetro de contacto, medición del espesor de la capa de pintura en las válvulas y medición del nivel de ruido dentro de la cámara con sonómetro. Los equipos utilizados fueron:

- Medidor de espesores de pintura marca DEFELSKO, modelo Positector 6000 F3.
- Medidor de espesores de material, marca DAKOTA ULTRASONICS, modelo MX-3.
- Higrómetro, marca TESTO, modelo 615.
- Termómetro de superficie, marca PTC.
- Sonómetro, marca LUTRON, modelo SL-4001.
- Colector de señal dinámica, marca S.K.F., modelo CMVA-55, tipo FFT ( fast fourier transformer).
- Transductor tipo acelerómetro en las direcciones, vertical, horizontal y axial.

### **7.2.2 INSPECCIÓN PROTECCIÓN CATÓDICA**

Para la determinación del estado actual del sistema de protección catódica instalado en la línea San Diego - Zona Intermedia I de 48", se realizaron las inspecciones descritas en el numeral 7.3, mediante las técnicas de inspección visual y mediciones directas en campo, en el caso de la medición de la resistividad eléctrica se utilizó la técnica de los "cuatro (4) pines". Para las anteriores inspecciones se emplearon los siguientes equipos:

- Resistímetro, marca NILSSON, modelo 400.
- Multímetro digital, marca TMC, modelo 160.
- Electrodo Cu-CuSO<sub>4</sub>.
- Osciloscopio de banda ancha de 60 MHZ, modelo TS200.
- Pinza amperimétrica digital, marca SCORT.
- Herramienta menor.

### **7.2.3 INVESTIGACIÓN EN CORROSIÓN**

Para la aplicación del "Método de los 10 Puntos", tendiente a determinar el grado de corrosividad del suelo, se midieron las resistividades eléctricas de los suelos en distintos sitios de la ciudad, la técnica utilizada fue la de los "cuatro(4) pines", aplicada a 3 y 6 metros de profundidad sobre los alineamientos longitudinales o oblicuos a la tubería y distanciados cada 50 metros longitudinalmente a la tubería y para lo que se utilizó el siguiente equipo.

- Resistímetro, marca NILSSON, modelo 400.
- Multímetro digital, marca TMC, modelo 160.

También se llevaron a cabo la toma de muestras de suelos para análisis de parámetros químicos de laboratorio, las muestras se tomaron por medio de la técnica de barrenos helicoidales y motorizados, las características del equipo completo utilizado son:

- Motor a gasolina de 3 HP, marca STIHL.
- Barrenos helicoidales de 5", 4" y 3" de diámetro.
- Tubería hueca (10 ml).
- Extractor.
- Cadenas, platinas de acero, Hoyadores, Barras, Palas, llave de tubos y otros.
- Caja de herramientas menores.

## **7.2.4 EXPLORACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA.**

Para las exploraciones de campo y la toma de muestras de suelos para el análisis de laboratorio se realizaron perforaciones con equipo de lavado, en suelos se empleó la técnica de percusión y en bloques o rocas las perforaciones se hicieron con equipo rotatorio con broca de diamante.

En campo se realizaron los ensayos de resistencia a la penetración estándar con cuchara partida. Las características del equipo utilizado en campo son las siguientes:

- Máquina de perforación, PETTY.
- Bomba de agua.
- Tubería AW (30) metros.
- Broca de diamante, tipo BX.
- Split Spoon.
- Torre máquina.
- Llaves de tubos, barras, hoyador, poleas, llave de cadena, machos y otros.
- Tubería de revestimiento y caja de herramientas.

Para los apiques se utilizó herramienta menor tal como barras, picas, palas, hoyadores, para el ensayo de resistencia a la penetración se utilizó el penetrómetro de bolsillo.

### **7.2.4.1 DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN.**

Como resultado del programa de priorización efectuado de toda la red matriz, en condiciones normales de operación, se programó y efectuó un Programa de Inspección detallada de sitios críticos, que contempló:

#### 7.2.4.1.1 Reconocimiento detallado del sitio

Se desarrolló un reconocimiento detallado de los sitios críticos prioritarios, conjuntamente por parte del Geólogo Especialista y del Ingeniero Especialista en Geotecnia, con la colaboración del personal de inspección y encargado de la exploración. Durante el reconocimiento se analizaron las posibles alternativas de estabilización y en función de éstas, se definieron los puntos de exploración del subsuelo y el área de influencia de estabilidad para el levantamiento topográfico correspondiente.

#### 7.2.4.1.2 Exploración del Subsuelo

Con el objeto de determinar las propiedades geotécnicas del subsuelo y las condiciones del agua subterránea, se llevó a cabo un programa de exploración geotécnica del subsuelo que comprendió:

- Perforaciones con equipos manuales y mecánicos de rotación, percusión y lavado. En los suelos granulares o arcillosos duros, se efectuó el ensayo de penetración estándar SPT, y se recuperaron muestras alteradas con muestreadores de tubo partido. En los materiales rocosos o bloques embebidos dentro del suelo, se recuperaron núcleos de roca con sistemas de rotación y barrenas corazonadoras con punta de diamante. El muestreo se efectuó de manera casi continua.
- Apiques y trincheras, excavadas manualmente.

#### 7.2.4.1.3 Ensayos de Laboratorio

De las muestras obtenidas en la ejecución de la exploración se efectuaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Los ensayos básicos de clasificación de materiales y para la determinación de propiedades índice, tales como humedad natural, Límites líquido y plástico, granulometrías por tamizado mecánico, contenido de finos (PT200) y contenido de materia orgánica.

Se ejecutaron ensayos de corte directo sobre muestras representativas de suelo granular y cohesivo, para la determinación de los parámetros de resistencia al corte. sobre las muestras de suelo cohesivo se tomaron datos de penetrómetro de bolsillo y veleta.

### **7.2.5 INVESTIGACIÓN SOBRE CONCRETOS Y MORTEROS**

Para conocer el estado de los morteros y concretos de revestimiento de las tuberías, así como el de los concretos de las cámaras para válvulas se ejecutaron ensayos de campo in situ y la toma de muestras para ensayos de laboratorio químicos.

Para la determinar in-situ la profundidad de carbonatación del concreto de las cámaras se realizó un ensayo mediante el empleo y aplicación de un revelador como la fenolftaleína (revelador de  $\text{pH} > 10$ ).

Para la determinación de la posición relativa del refuerzo de las armaduras se aplicó la técnica de la lectura con sonda electromagnética.

La toma de núcleos de concreto para el ensayo de resistencia a la compresión se realizó por medio de la técnica de taladrado.

El equipo utilizado para la toma de muestras y ensayos de campo fue el siguiente:

- Detector de armaduras, marca James Instruments, referencia PROTOVALE CM9.
- Taladro rotopercurtor, marca HILTI, modelo TE-77
- Extractor de núcleos, marca HILTI, modelo DD250 E
- Prensa Universal de ensayos, marca AMSLER 80/200 toneladas.

### **7.2.6 LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS**

Los levantamientos topográficos realizados se encuentran ajustados a la última norma de la EAAB, para estos casos (NS-030 Versión 00). Los levantamientos fueron de tipo planialtimétrico y para los trabajos de campo cada comisión de topografía dispuso del siguiente equipo:

- Una estación NIKKON 410 con sus accesorios y cartera electrónica incorporada.
- Nivel automático NIKKON de precisión con sus accesorios y mira milimétrica.
- Tres (3) radios portátiles con alcance de 3,0 km para las comunicaciones.
- Vehículo para transporte.

### **7.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SITIOS DE INSPECCIÓN (INCLUYE PLANO DE LOCALIZACIÓN).**

Con base en los resultados obtenidos en la identificación de los sitios críticos y su priorización los cuales se encuentran consignados en el informe No. JR-052-P2-01-02 correspondiente al producto de la Actividad No. 2, se programaron las actividades de campo tendientes a investigar y profundizar sobre las características particulares que presentan cada uno de ellos, con el fin de tener las herramientas necesarias que alimentan los respectivos modelos para su análisis y evaluación.

Las inspecciones de campo para la investigación de los factores que afectan o tienen incidencia sobre los diferentes sitios críticos, según el orden de prioridades, se adelantaron sobre los siguientes aspectos:

1. Investigación sobre la agresividad del suelo.
2. Investigación sobre el estado de las protecciones de las tuberías.
3. Investigación sobre el estado de las válvulas.

4. Investigación sobre el estado de los concretos en cámaras de válvulas.
5. Investigación geológica y geotécnica.
6. Investigación sobre el estado de los empaques en uniones y varillas de refuerzo en tuberías.
7. Investigación sobre el estado estructural de algunos componentes del sistema (cruces aéreos).
8. Investigación sobre las condiciones operacionales o de funcionamiento de las líneas matrices.
9. Levantamientos topográficos

A continuación se presenta una descripción general de las actividades desarrolladas en cada uno de los anteriores aspectos, la localización general de los sitios inspeccionados y sus principales características, y el tipo de investigación realizada, según el objetivo buscado.

### **7.3.1 INVESTIGACIÓN SOBRE LA AGRESIVIDAD DEL SUELO.**

El objetivo primordial es el determinar que tan agresivo es el medio, en este caso el suelo, en donde se encuentran instaladas las tuberías de la red matriz, desde el punto de vista de ataque por corrosión a la tubería, mediante la medición y determinación de seis parámetros básicos, para la aplicación de la metodología conocida como "El Método de los 10 Puntos".

Los parámetros seleccionados en este caso fueron, Contenido de Ión Cloruros, Contenido de Ión Sulfatos, Humedad, pH, Acidez y Conductividad Eléctrica, las cuales representan algunas de las propiedades químicas y físicas de los suelos que permiten indicar, por medio de la metodología aplicada, que tan agresivas son las condiciones que presenta el medio y/o su grado de permisibilidad para que se presente corrosión en las tuberías. Se buscó extender y aplicar los resultados obtenidos en los ensayos realizados, a aquellas zonas que presentaran suelos con similitud en estas propiedades químicas y físicas y



donde no fue posible, por falta de recursos económicos asignados a investigaciones en el proyecto, para la ejecución de ensayos.

Para la determinación de los parámetros anteriormente indicados se llevaron a cabo perforaciones por medio de barrenos motorizados, tomando una muestra de suelo por perforación. El peso total de cada muestra varió entre 600 y 1000 gr. La profundidad de la muestra coincidía con la cota de fondo de la tubería en cada sitio. Los ensayos fueron realizados por el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá.

Adicionalmente a las muestras de suelos y los ensayos de laboratorio, se tomaron mediciones de la Resistividad Eléctrica en campo, en los mismos sitios y donde las condiciones del terreno lo permitieron, es decir, en donde las áreas adyacentes a los ejes de las tuberías corresponden a zonas verdes y por lo tanto no se encontraban pavimentadas.

Por los anteriores motivos no se realizaron mediciones de la resistividad eléctrica en campo en las líneas Vitelma - Diana Turbay, Vitelma Jalisco y Alpes - Quindío, ya que los corredores paralelos a las tuberías, en esos sitios, son vías pavimentadas y una medida de resistividad eléctrica del terreno se verá distorsionada por esta circunstancia y no reflejará la condición del suelo. Para estos sitios se utilizaron los ensayos de laboratorio mostrados en el anexo 5 (resultados U.N), correspondientes a Acidez Intercambiable. Lo anterior ocurrió solamente para los tres (3) sitios mencionados anteriormente.

Para los sitios inspeccionados se tuvo en forma general como criterio de selección que corresponden a zonas de rellenos de escombros o con flujo de aguas superficiales, posiblemente subsuperficiales y zonas de hundimientos. En la tabla 7.1 se indican los sitios donde se llevaron a cabo la toma de muestras y las características de suelos, según el Mapa Geotécnico de la Zonificación de Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades de Santa Fé de Bogotá - DPAE - septiembre de 1998 para la zona montañosa y el mapa de la Zonificación Geotécnica del D.E de Bogotá - INGEOMINAS - 1996 para la zona plana.

*Tabla 7.1 Descripción del Tipo de material en sitios de inspección por agresividad del suelo*

<b>SITIO</b>	<b>LINEA</b>	<b>TIPO DE SUELO</b>
Ferrocarril del Norte por calle 195	Tibitóc – Usaquén	SUELOS TRANSPORTADOS FINOS: Material de origen fluvial, lacustre con susceptibilidad de erosión.
Av. Séptima con Calle 157 a 165	Línea Carretera central del norte	MATERIAL INTERMEDIO: Depósitos aluviales y fluvio-glaciares, constituidos por más del 70% por clastos.
Av. Séptima con Calle 127	Usaquén-Bella Suiza-Cedritos	MATERIAL INTERMEDIO: Depósitos aluviales y fluvio-glaciares, constituidos por más del 70% por clastos.
Autonorte con Calle 115 a 120	Interconexión calle 92-129	SUELOS BLANDOS: De baja resistencia, muy compresibles.
Autonorte con calle 109	Interconexión calle 92-129	SUELOS BLANDOS: De baja resistencia, muy compresibles.
Av. Ciudad de Quito con Calle 98	Tibitóc – Usaquén	SUELOS BLANDOS: De baja resistencia, muy compresibles.
Av. Boyacá con Av. El dorado	Tibitóc – Casablanca	SUELOS BLANDOS: De baja resistencia, muy compresibles.
Av. Boyacá con Av. Ferrocarril.	Tibitóc – Casablanca	Parte superior limos y arcillas orgánicas negras, debajo arcilla amarilla preconsolidada y agrietada
Av. Boyacá con río Fucha.	Tibitóc – Casablanca	Arcillas y limos con una capa superior de arcilla expansiva "neme". Presencia de arenas potencialmente licuables.
Av. Boyacá con Av. Américas	Tibitóc – Casablanca	Arcillas y limos con una capa superior de arcilla expansiva "neme". Presencia de arenas potencialmente licuables.
Av. Boyacá con Av. Primero de Mayo	Tibitóc – Casablanca	Arcillas y limos con una capa superior de arcilla expansiva "neme". Presencia de arenas potencialmente licuables.
Av. Boyacá No. 34 - 10 sur Av. Boyacá No. 35 - 17 sur	Tibitóc – Casablanca	Arcillas y limos con una capa superior de arcilla expansiva "neme". Presencia de arenas potencialmente licuables.

<b>SITIO</b>	<b>LINEA</b>	<b>TIPO DE SUELO</b>
Ferrocarril del Sur No. 42 B - 72 sur	Tibitóc – Casablanca	CONSISTENCIA MEDIA: Arcillas Y Limos
Ferrocarril del Sur con Diag. 47 sur	Tibitóc – Casablanca	Arcillas y limos con una capa superior de arcilla expansiva "neme". Presencia de arenas potencialmente licuables.
Ferrocarril del Sur con Diag. 49 sur	Tibitóc – Casablanca	ZONA DE INUNDACIÓN: Baja, Constituida por arcillas y limos poco permeables.
Tanque los Alpes	Alpes – Quindio	ZONA MONTAÑOSA: Rocas blandas con resistencia a la compresión simple menor a 500 Kg/cm.
Cra. 4ª Este No. 27A - 02 sur Cra. 5ª Este No. 26A - 46 sur	Vitelma – Diana Turbay	MATERIAL INTERMEDIO: Depósitos aluviales y fluvio-glaciares, constituidos por más del 70% por clastos.
Cra. 4ª Este No. 21A- 71 sur		ZONA MONTAÑOSA: Rocas blandas con resistencia a la compresión simple menor a 500 Kg/cm.
Cra. 5ª Este No. 21A - 71 sur	Vitelma – Diana Turbay	MATERIAL INTERMEDIO: Depósitos aluviales y fluvio-glaciares, constituidos por más del 70% por clastos.
Transv.16G bis con Diag 45A sur	Vitelma – Jalisco	SUELOS TRANSPORTADOS FINOS: Material de origen fluvial, lacustre con susceptibilidad de erosión.
Cra. 14 B con Calle 45C sur	Vitelma – Jalisco	SUELOS TRANSPORTADOS FINOS: Material de origen fluvial, lacustre con susceptibilidad de erosión.
Calle 17ª con Calle 59 B sur	Vitelma – Jalisco	ZONA DE ALTO RIESGO: Por deslizamiento de las paredes de las excavaciones e inundación por desbordamientos del río Tunjuelito

En el tabla 7.2 se indica la relación de muestras tomadas, mostrando el número de la muestra, la fecha y hora de toma, su localización, profundidad y línea investigada. En total se tomaron 53 muestras de suelos y una de agua, cuyos resultados de laboratorio, para los parámetros analizados, se incluyen en el anexo 5 (resultados U.N).

En cuanto a las mediciones de las resistividades de suelos tomadas en campo, los resultados se incluyen en el anexo 6 (informe de A.B). En el numeral 8 de este informe, se presenta el análisis de resultados, el cual se contiene dentro del análisis de cada una de las líneas que corresponda.

La aplicación del método de los 10 puntos, los resultados obtenidos y su análisis se presentan de manera detallada en el numeral No. 8 en cada una de las líneas a las cuales se halla realizado esta investigación (ver Tablas 8.7, 8.8, 8.9, 8.16, 8.17, 8.18 y 8.19).

En el plano JR-052-GEN-008-E "Localización General de los Sitios de Inspección" del anexo 12, se indica la localización general sobre el sistema red matriz, de los sitios donde se adelantaron las investigaciones relacionadas anteriormente, como se puede apreciar se abarcaron distintas zonas de la ciudad incluyendo la zona norte hacia el oriente, centro y sur, así como distintos diámetros de tubería.

*Tabla 7.2 Relación de muestras de suelos tomadas para análisis de su agresividad*

No. MUESTRA	FECHA DE TOMA	HORA DE TOMA	LOCALIZACIÓN	PROFUNDIDAD MUESTRA (m)	LÍNEA RED MATRIZ	DIAM. PULG.
1C	19-Feb-01	11:00 a.m.	Diag. 126 B No. 59-10 (Oriente)	4.00	Tibitóc Casablanca	78
2C	20-Feb-01	9:30 a.m.	V18 Av. Ferrocarril por American Pipe	4.00	Tibitóc Usaquen	60
3C	20-Feb-01	10:20 a.m.	V18 Av. Ferrocarril por American Pipe	4.00	Tibitóc Usaquen	60
4C	20-Feb-01	11:40 a.m.	V18 Av. Ferrocarril por American Pipe	4.00	Tibitóc Usaquen	60
5C	20-Feb-01	12:15 p.m.	V18 Av. Ferrocarril por American Pipe	4.00	Tibitóc Usaquen	60
6C	20-Feb-01	1:20 p.m.	V18 Av. Ferrocarril por American Pipe	4.00	Tibitóc Usaquen	60
7C	22-Feb-01	9:00 a.m.	Av. 7 por calle 161	4.00	Carretera central norte	24
8C	22-Feb-01	9:40 a.m.	Av. 7 por calle 162	4.00	Carretera central norte	24

No. MUESTRA	FECHA DE TOMA	HORA DE TOMA	LOCALIZACIÓN	PROFUNDIDAD MUESTRA (m)	LÍNEA RED MATRIZ	DIAM. PULG.
9C	22-Feb-01	10:30 a.m.	Av. 7 por calle 163	4.00	Carretera central norte	24
10C	22-Feb-01	11:00 a.m.	Av. 7 por calle 163ª	4.00	Carretera central norte	24
11C	20-Feb-01	2:40 p.m.	Av. 7 No. 164-51 al norte	4.00	Carretera central norte	24
12C	22-Feb-01	11:20 a.m.	Av. 7 por calle 160ª	3.50	Carretera central norte	24
13C	22-Feb-01	12:15 p.m.	Av. 7 No. 158-17 al norte	3.50	Carretera central norte	24
14C	22-Feb-01	1:00 p.m.	Av. 7 No. 157-29	3.50	Carretera central norte	24
15C	22-Feb-01	2:40 p.m.	Av. 7 No. 126-30	5.00	Bella Suiza	24
16C	22-Feb-01	4:00 p.m.	Av. 7 por calle 127 al este	5.00	Bella Suiza	24
17C	22-Feb-01	4:40 p.m.	Av. 7 No. 127A-21 al norte	5.00	Bella Suiza	24
18C	23-Feb-01	9:00 a.m.	Autop. Norte No. 120-73	3.00	Interconexión calle 92	60
19C	23-Feb-01	10:30 a.m.	Autop. Norte No. 119-31	3.00	Interconexión calle 92	60
20C	23-Feb-01	11:30 a.m.	Autop. Norte por calle 117	3.00	Interconexión calle 92	60
21C	23-Feb-01	12:40 p.m.	Autop. Norte por calle 115	3.00	Interconexión calle 92	60
22C	23-Feb-01	1:30 p.m.	Autop. Norte por diag. 109	4.00	Interconexión calle 92	60
23C	23-Feb-01	2:45 p.m.	Autop. Norte No. 109-27	4.00	Interconexión calle 92	60
25C	26-Feb-01	9:00 a.m.	Av. Quito por calle 88B	4.00	Tibitóc Usaquen	60
28C	27-Feb-01	9:00 a.m.	Av. Boyacá por Av. El Dorado	3.00	Tibitóc Casablanca	78
29C	27-Feb-01	10:00 a.m.	Av. Boyacá por Av. El Dorado	3.00	Tibitóc Casablanca	78
30C	27-Feb-01	11:00 a.m.	Av. Boyacá por Av. Ferrocarril	4.00	Tibitóc Casablanca	78
31C	27-Feb-01	12:45 p.m.	Av. Boyacá por Av. Ferrocarril	4.00	Tibitóc Casablanca	78
32C	27-Feb-01	2:00 p.m.	Av. Boyacá por Av. Ferrocarril	4.00	Tibitóc Casablanca	78
33C	28-Feb-01	8:30 a.m.	Av. Boyacá por río Fucha	5.00	Tibitóc Casablanca	78
34C	28-Feb-01	11:20 a.m.	Av. Boyacá por río Fucha	6.00	Tibitóc Casablanca	78
35C	28-Feb-01	3:40 p.m.	Av. Boyacá por río Fucha	6.00	Tibitóc Casablanca	78
36C	1-Mar-01	9:00 a.m.	Av. Boyacá por Américas	5.00	Tibitóc Casablanca	78
37C	1-Mar-01	10:40 a.m.	Av. Boyacá por Américas	4.00	Tibitóc Casablanca	78
38C	1-Mar-01	11:20 a.m.	Av. Boyacá por Américas	4.00	Tibitóc Casablanca	78
39C	1-Mar-01	12:30 p.m.	Av. Boyacá por Av. 1 Mayo	7.00	Tibitóc Casablanca	78
40C	2-Mar-01	10:00 a.m.	Av. Boyacá No. 34 - 10 Sur	7.00	Tibitóc Casablanca	78
41C	5-Mar-01	12:00 m.	Av Boyacá No. 35 - 17 Sur	7.00	Tibitóc Casablanca	78
42C	5-Mar-01	2:00 p.m.	Av Ferrocarril No.42 B 72 Sur	5.00	Tibitóc Casablanca	78
43C	5-Mar-01	3:00 p.m.	Av. Ferrocarril con Diag. 47 Sur	5.00	Tibitóc Casablanca	78
44C	5-Mar-01	2:30 p.m.	Av. Ferr con Diag. 47 Sur 150 mts al sur	5.00	Tibitóc Casablanca	78
45C	6-Mar-01	2:30 p.m.	Av. Ferrocarril con Diag. 49 Sur	5.00	Tibitóc Casablanca	78

No. MUESTRA	FECHA DE TOMA	HORA DE TOMA	LOCALIZACIÓN	PROFUNDIDAD MUESTRA (m)	LÍNEA RED MATRIZ	DIAM. PULG.
46C	7-Mar-01	9:15 a.m.	Al Sur del Tanque Los Alpes	2.50	Alpes Quindío	24
47C	7-Mar-01	0:20 a.m.	Al Sur del Tanque Los Alpes	2.50	Alpes Quindío	24
48C	7-Mar-01	11:30 a.m.	Al Sur del Tanque Los Alpes	2.50	Alpes Quindío	24
49C	7-Mar-01	12:40 p.m.	Al Sur del Tanque Los Alpes	2.50	Alpes Quindío	24
50C	7-Mar-01	2:20 p.m.	Carrera 4ª Este No. 27 a 02 Sur	2.50	Vitelma Diana Turbay	24
51C	7-Mar-01	3:15 p.m.	Carrera 5ª Este No. 26 a 46 Sur	2.50	Vitelma Diana Turbay	24
52C	7-Mar-01	4:25 p.m.	Carrera 5ª Este No. 24 a 15 Sur	2.50	Vitelma Diana Turbay	24
53C	7-Mar-01	5:00 p.m.	Carrera 4ª Este No. 21 a 71 Sur	2.00	Vitelma Diana Turbay	24
54C	8-Mar-01	9:00 a.m.	Transv.16 G Bis Diag. 45 A Sur	2.50	Vitelma Jalisco	24
55C	8-Mar-01	11:00 a.m.	Carrera 14 B con Calle 45 C Sur	3.00	Vitelma Jalisco	24
56C	8-Mar-01	2:45 p.m.	Calle 17 A con Calle 59 B Sur	5.00	Vitelma Jalisco	24

**OBSERVACIONES:**

Muestra 1C, en la ventana No. 1. Las muestras 2C, 3C y 4C fueron tomadas al norte V18; la 5C y 6C al sur V18.

No existen los números 24C, 26C y 27C.

La muestra 29C fue tomada por el costado occidental del tubo.

NOTA: Para la muestra 1C existía una excavación de tres (3) metros

Se tomó una muestra de agua en el mismo apique de la muestra 1C.

### **7.3.2 INVESTIGACIÓN SOBRE LAS PROTECCIONES DE LAS TUBERÍAS**

Para la investigación sobre el estado de las protecciones de las tuberías del sistema red matriz se tuvo en cuenta dos tipos básicos predominantes de protecciones encontrados y aplicadas sobre el cilindro metálico, una a manera de revestimiento que lo protege del contacto y exposición al medio, tanto interior como exteriormente, a través de una capa de mortero de cemento, y la protección catódica que lo protege exclusivamente contra la corrosión.

### 7.3.2.1 INVESTIGACIÓN SOBRE LOS REVESTIMIENTOS

Para adelantar la investigación sobre el estado de los revestimientos de mortero de cemento y concreto se tomaron muestras de estos materiales, tanto interior como exteriormente, a diferentes profundidades dentro de su espesor y se realizaron los ensayos de laboratorio para la determinación del Contenido del Ión Cloruro, Contenido del Ión Sulfato, Contenido de Materia Orgánica y Contenido de Cemento respectivamente, así mismo y de manera general se realizaron mediciones de profundidad de carbonatación sobre el mortero exterior.

Por facilidad de acceso para la toma de muestras, se aprovecharon las obras de rehabilitación de la tubería de la línea Tibitóc Casablanca, ya que la tubería se encontraba desocupada y expuesta en el sector No. 5 sobre la Avenida Boyacá con calle 127. El denominado sector No. 5 comprende desde la válvula V38A localizada en la abscisa K33+370,00 hasta la válvula V39 en la abscisa K35+769,00.

Las muestras fueron tomadas en los lugares expuestos de la tubería de las ventanas Nos. 1, 2 y 4, construidas para la inserción de tuberías, dentro del Contrato de la Concesión Tibitóc.

Durante la toma de muestras de morteros y concretos en la ventana No. 1, se observó la presencia del nivel freático de aguas al nivel de la excavación por lo que se consideró de importancia la toma de una muestra de agua para la ejecución de los mismos ensayos. Los resultados de su análisis se incluyen en el anexo 7 (resultados de Sika).

La ventana No. 1 se encuentra localizada en la abscisa K33+375,00, ( Av. Boyacá o Diag. 126B frente al No. 59 - 10), la ventana No. 2 en la abscisa K33+648,00, (100 metros al norte de la intersección de la Av. Boyacá con calle 127) y la ventana No. 4 en la abscisa K34+580,00, al sur de la intersección anterior.

El tramo de la tubería donde se tomaron las muestras presenta las siguientes características:

- Nombre de la Línea: Tibitóc - Casablanca.
- Código según EAAB: RM 78001
- Tipo de tubería: PCCP
- Diámetro de la tubería: 78"
- Edad de la Tubería: 30 años
- Profundidad promedio de la Tubería en el tramo inspeccionado: 2.50 metros
- Ubicación: Sobre separador central de la Avenida Boyacá.
- Tipo de suelo: Suelos Blandos, de baja resistencia, muy compresibles.

La toma de muestras se hizo una vez se descartó la capa más superficial o expuesta del revestimiento interior, por la posibilidad que existe, que en este punto se tenga pérdida de pasta y contaminación con la biopelícula que se deposita sobre ella.

Para realizar los ensayos mencionados se tomó una muestra cada dos (2) centímetros de profundidad en promedio, en la dirección de afuera hacia adentro del revestimiento, es decir penetrando la capa, tanto interior como exterior, hasta barrer todo el espesor. El espesor de la capa de revestimiento interior es de aproximadamente cuatro (4) centímetros y el de la capa exterior de diez(10) centímetros.

Tanto la toma de muestras como los ensayos de laboratorio fueron adelantados por el Centro de Diagnóstico del Concreto y la Corrosión, a través de la firma SIKA ANDINA S.A.

En la tabla 7.3 se indica de manera general el número de muestras tomadas, la fecha de toma, la localización sobre la línea y la profundidad de la muestra dentro del espesor, ya sea en la capa interior o exterior de revestimiento.

En el numeral 8.3.5.11.1 se presenta el análisis de los resultados obtenidos y en el anexo 7 (informe Sika sobre determinación de la profundidad de carbonatación, y las cuantías de cloruros, sulfatos, cemento y materia orgánica) se incluyen los resultados obtenidos.



*Tabla 7.3 Relación de muestras tomadas de morteros y concretos de revestimiento para ensayos de laboratorio*

No. Muestra	ORDEN DE TOMA	FECHA DE TOMA	LOCALIZACIÓN	LINEA DE TUBERÍA	DIAM pulg	Profundidad dentro espesor. cms.
1	1	19-Feb-01	VENTANA No. 1 cara interna	TIBITÓC – CASABLANCA	78	0 - 2.0
	2	19-Feb-01	VENTANA No. 1 cara interna	TIBITÓC – CASABLANCA	78	2.0 - 3.5
2	3	19-Feb-01	VENTANA No. 1 cara externa, costado oriental	TIBITÓC – CASABLANCA	78	0 - 4.0
3	4	19-Feb-01	VENTANA No. 1 cara externa, lomo	TIBITÓC – CASABLANCA	78	0 - 2.0
	5	19-Feb-01	VENTANA No. 1 cara externa, lomo	TIBITÓC – CASABLANCA	78	2.0 - 4.0
4	6	19-Feb-01	VENTANA No. 1 cara externa, mortero exterior revestimiento varillas	TIBITÓC – CASABLANCA	78	0 - 2.0
	7	19-Feb-01	VENTANA No. 1 cara externa, mortero exterior revestimiento varillas	TIBITÓC – CASABLANCA	78	2.0 - 4.0
5	8	19-Feb-01	VENTANA No. 1 cara externa, concreto revestimiento lámina	TIBITÓC – CASABLANCA	78	8.0 - 10.0
	9	19-Feb-01	VENTANA No. 1 cara externa, concreto revestimiento lámina	TIBITÓC – CASABLANCA	78	6.0 - 8.0
6	10	21-Feb-01	VENTANA No. 2 cara interna	TIBITÓC – CASABLANCA	78	0 - 4.0
7	11	21-Feb-01	VENTANA No. 2 cara externa, mortero exterior revestimiento varillas	TIBITÓC – CASABLANCA	78	0 - 2.0
8	12	21-Feb-01	VENTANA No. 4 cara interna	TIBITÓC – CASABLANCA	78	0 - 1.5
	13	21-Feb-01	VENTANA No. 4 cara interna	TIBITÓC – CASABLANCA	78	1.5 - 4.0
9	14	21-Feb-01	VENTANA No. 4 - 2 cara interna	TIBITÓC – CASABLANCA	78	0 - 2.0
	15	21-Feb-01	VENTANA No. 4 - 2 cara interna	TIBITÓC – CASABLANCA	78	2.0 - 4.0
10	16	21-Feb-01	VENTANA No. 4 - 3 cara interna	TIBITÓC – CASABLANCA	78	0 - 4.0
	17	21-Feb-01	VENTANA No. 4 - 3 cara interna, cerca de junta	TIBITÓC – CASABLANCA	78	0 - 2.0
11	18	21-Feb-01	VENTANA No.4 cara externa, mortero revestimiento varillas	TIBITÓC – CASABLANCA	78	0 - 4.0

En el plano JR-052-GEN-008-E "Localización General de los sitios de Inspección", anexo 12 se indica, para los sitios mencionados, la localización general de los puntos de muestreo sobre la línea Tibitóc - Casablanca.

### 7.3.2.2 INVESTIGACIÓN SOBRE LA PROTECCIÓN CATÓDICA

Con el fin de conocer el estado físico, de funcionamiento y determinar las necesidades para la puesta a punto de los sistemas de protección catódica instalados en algunas líneas de distribución del sistema red matriz de acueducto, se adelantaron las siguientes investigaciones:

#### 7.3.2.2.1 Revisión de información existente

Se adelantó una investigación documental en LA EMPRESA, con lo cual se pudo establecer que cinco (5) líneas tenían instalado algún tipo de sistema de protección catódica contra la corrosión, las que se indican en la tabla 7.4

*Tabla 7.4 Líneas con sistema de protección catódica*

ORDEN	CÓDIGO E.A.A.B.	DESCRIPCION	ZONA DE SERVICIO	MATERIAL	CLASE psi	AÑO INSTALACIÓN	DIÁM. Pulg.	LONGITUD (mts)
1	BIV60092	Línea a Suba	Z .B .N.	AWWA C200 C203		1986	60	5750.68
2	BIV42074	Silencio – Cazucá	SOACHA	AWWA C200 C203		1987	42	2887.60
3	BIV4842099	Silencio – Casablanca	Z .B .N.	AWWA C200 C203	350	1987	48	7620.00
	BIV4842099			AWWA C200 C203	350	1987	42	7030.00
4	BIV60086	Silencio – Vitelma	VITELMA	AWWA C200 C205	250	1986	60	6787.06
5	BIV48100	San Diego Zona Intermedia I	Z .I.	AWWA C200 C205	150	1987	48	2188.55
						<b>TOTAL</b>		<b>32263.89</b>

Como resultado de la investigación, se obtuvo copia de los siguientes documentos:

- Proyecto red Matriz de Distribución EAAB. Conducción Línea San Diego - Zona Intermedia I - Sistema de Protección Catódica. "Informe Final de Instalación", Delta Ingeniería - 1990.
- Línea Silencio - Casablanca - "Informe final de Interventoría en la Construcción", Hidroestudios y Restrepo y Uribe.
- Conducción Línea a Cazucá, Sistema de Protección Catódica - Empresa de Acueducto de Bogotá. Propuesta para diseño, Suministro, Instalación y puesta en operación del Sistema Completo. Delta Ingeniería - diciembre de 1989.
- Protección Catódica Línea a Suba, Informe Final de Diseño. Delta Ingeniería - junio de 1987.
- Manual para Operación y Monitoreo de la protección catódica de las Líneas del programa Bogotá IV. Estudios Técnicos -CNEC - Salgado Meléndez & Asociados. Junio de 1990.
- Formatos de Monitoreo protección Catódica Líneas: Usaquen - Suba, San Diego - Zona Intermedia, Silencio - Vitelma, Línea a Cazucá. División de Mantenimiento Electromecánico - EAAB, octubre de 1998

Con base en la información recopilada se pudo determinar que, aunque en un principio a los sistemas de protección catódica instalados se les hizo operación o monitoreo y mantenimiento, el mismo fue suspendido desde el año 1998, por lo que actualmente muchos de los puntos de monitoreo se encuentran perdidos o simplemente fueron tapados y no tienen acceso.

#### 7.3.2.2.2 Reconocimientos de campo.

Partiendo de la información recopilada, se adelantaron reconocimientos de campo sobre la línea Silencio - Casablanca BIV4842099 de  $\varnothing$  60" y San Diego Zona Intermedia BIV48100 de  $\varnothing$  48", las dos construidas durante la ejecución del programa Bogotá IV.

Para la línea Silencio - Casablanca, se cuenta con la información de los diseños del sistema de protección catódica, planos de diseño, informe final de la interventoría durante la construcción de las obras de instalación de tubería y durante el reconocimiento de campo, en el cual no fue posible la ubicación de varios de los elementos del sistema como puntos de monitoreo, rectificadores de potencial y camas anódicas, se llegó a la conclusión de que el sistema no se encuentra en operación.

Para la línea San Diego - Zona Intermedia I, se cuenta con el informe final y los planos de la instalación del sistema de protección catódica por lo que se procedió a la localización y reconocimiento, hallándose el rectificador de corriente, 9 de las 10 cajas de monitoreo o puntos de medición de potencial y postes de referencia de las camas anódicas, por lo que se optó por adelantar la investigación sobre el estado del sistema de protección catódica sobre esta línea.

#### 7.3.2.2.3 Sistema de protección catódica línea San Diego - Zona Intermedia I

La línea San Diego - Zona Intermedia I, es de acero con revestimiento en mortero (norma AWWA C200-C205), diámetro de 48". La línea parte de la salida del tanque de San Diego cruza la Avenida Circunvalar y la Calle 26 en dirección sur occidente para tomar la carrera 4 hasta la calle 24, por donde continúa en sentido occidente hasta la estructura de reductoras de Control Santa Fé. Su longitud total alcanza los 2188.55 metros, según planos de obra construida.

Según el Mapa Geotécnico de la Zonificación de Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades de Santa Fé de Bogotá - DPAE - septiembre de 1998, en la

parte montañosa y el mapa de Zonificación Geotécnica del D.E de Bogotá - INGEOMINAS - 1996 en la parte plana, la línea atraviesa tres zonas con diferentes tipos de material, el primer tramo desde el tanque San Diego hasta la Avenida Circunvalar corresponde a rocas con resistencia a la compresión simple menor de  $560 \text{ kg/cm}^2$ , el segundo comprende desde la Avenida Circunvalar hasta la carrera 4, con materiales de origen fluvial, lacustre con gran susceptibilidad y el tercer tramo sobre la calle 24 corresponde a zonas de depósitos coluviales y conos de deyección.

Las inspecciones de campo sobre esta línea cubrieron los siguientes elementos, acometidas eléctricas y demás componentes del rectificador de corriente, medición de resistividades de suelo en el sitio del rectificador y camas anódicas, inspecciones de las conexiones y tomas de potencial en postes de monitoreo y verificación del alcance de los rectificadores.

En el plano JR-052-GEN-008-E "Localización General de los sitios de Inspección" anexo 12, se muestra la línea inspeccionada. Los resultados para cada una de las mediciones de campo, realizadas entre el 6 y 11 de abril de 2001, así como la descripción del estado en que se encontró cada elemento y las recomendaciones de cada caso se muestran en el numeral 8.3.4.1 tratado por el especialista en electromecánica y en el anexo 6 (informe de A.B.)

### **7.3.3 INVESTIGACIÓN SOBRE EL ESTADO DE LAS VÁLVULAS.**

En vista de que no hay un elemento universal y/o multiuso y por el contrario, hay diferentes tipos y modelos de válvulas que cumplen funciones muy específicas dentro del sistema, el conocimiento de las partes básicas de cada tipo de válvula, es fundamental como criterio técnico para su selección, empleo y rehabilitación.

Por razones como las anteriores, se tiene que, en el caso de la red matriz del acueducto de Bogotá D.C. se encuentran instaladas una variedad de válvulas de distintos tipos, modelos y marcas, funciones e incluso instaladas en un amplio periodo de tiempo en el

cual las técnicas de fabricación y mecanismos de accionamiento y operación han evolucionado.

Como resultado de la Actividad No. 2, Análisis General, Evaluación y Clasificación de la Red Matriz y su Funcionamiento, en el cual se incluye el inventario de elementos entregado por la División de Electromecánica de la EAAB, se encontraron un conjunto variado de elementos, de válvulas de paso sobre las líneas, purgas, reductoras de presión y ventosas en el cual se hallaron instaladas alrededor de 30 marcas diferentes y de variados tipos y diámetros, según su función: de paso, purga, reductoras tales como válvulas de mariposa, de cono, de compuerta, de chorro anular y en el caso de las ventosas, doble efecto con doble cámara o cámara sencilla.

Por tales motivos para adelantar una investigación tendiente a determinar el estado físico del extenso y heterogéneo conjunto de elementos encontrados, fue necesario que la misma se dividiera en dos etapas, en primer lugar una inspección visual sobre una muestra representativa de toda la diversidad y posteriormente una inspección mecánica, ajustada al presupuesto disponible, sobre un grupo selecto de válvulas.

### **7.3.3.1 INSPECCIÓN VISUAL A VÁLVULAS**

Su objetivo primordial es el de identificar el elemento y conocer su estado físico exterior actual, además conocer las condiciones físicas del entorno, bajo las que opera el elemento en particular y todas aquellas piezas que lo constituyen o sirven de acoples.

De manera general se consideró de importancia observar las condiciones del medio, húmedo, seco o bajo agua, limpio o con basura, el estado de los sellos, by-pass si existen, estado de la tornillería, presencia de fugas, condiciones de los acoples, estado de los soportes, tipo de cuadrantes de operación, espacios libres, y asentamientos de estructuras entre otros.

Dentro de la identificación del elemento y en la medida que las condiciones del medio lo permitieran, no estuvieran inundadas o llenas de basura, se determinó el diámetro, ubicación, norma de fabricación, país de origen así como una identificación del material de fabricación del cuerpo de la válvula.

En términos generales las inspecciones visuales fueron llevadas a cabo sobre un grupo de válvulas que presentan las siguientes características:

- Función : Paso, Purga, Reductoras de presión, Ventosas.
- Tipo de válvulas: Mariposa, Compuerta, Cono, Paso Anular, Doble Cámara y Cámara Sencilla en el caso de las ventosas.
- Diámetros de las válvulas de paso: 60", 42", 36", 30", 24", 16"
- Diámetros de las válvulas de Purga y Ventosas: 6", 4"
- Diámetros de válvulas para derivaciones: 24", 16" y 12"
- Diámetros de las válvulas de ventosa: 6" y 4".
- Localización de las válvulas: Estructuras de control, Tanques, en línea.

En el plano JR-052-GEN-008-E del anexo 12 se muestra la localización general dentro del sistema red matriz de las válvulas inspeccionadas.

En el numeral 2.2.1 se presenta la relación de las válvulas inspeccionadas visualmente, así como algunos comentarios sobre este aspecto.

### **7.3.3.2 INSPECCIÓN MECÁNICA DE VÁLVULAS.**

Las inspecciones mecánicas están dirigidas a determinar de manera más detallada y especializada el estado físico actual interior y exterior del elemento y del entorno bajo el cual opera, mediante la aplicación de técnicas no destructivas.

Para la ejecución de las pruebas mecánicas las cuales consistieron fundamentalmente en la medición de los niveles de ruido y vibraciones, estado de la pintura de revestimiento,

nivel de temperatura y medición de espesores en las tuberías de acople, se seleccionó, acorde con el presupuesto signado, un grupo de seis válvulas localizadas en distintos sectores de la ciudad y que presentan las características presentadas en la tabla 7.5

Como se puede apreciar en la muestra de válvulas se han incluido de tipo mariposa, compuerta, y paso anular, así como varios diámetros y de función ya que se trató de cubrir por lo menos una que correspondiera con las características más representativas del diverso conjunto de elementos.

Para la ejecución de las mediciones se requirió, por parte de la EAAB, de la limpieza y evacuación de agua de las cámaras donde se encuentran alojados los elementos, labor que tomó varios días, motivo por el cual las inspecciones y toma de datos se prolongó desde el 30 de marzo hasta el 28 de abril de 2001.

Las mediciones de campo se hicieron siguiendo estándares internacionales, como en el caso de la medición de espesores el cual se hizo bajo la norma ASTM E-165, y con base en la norma ISO2372 y para la clasificación de los grados de corrosión se acogió la norma ISO 8501-1 y lo indicado por la NACE.

Los resultados de las mediciones realizadas a las seis válvulas seleccionadas, así como su análisis, recomendaciones y conclusiones se incluyen en el anexo 6 informe A.B. y en el numeral 2.2.2 de este documento.



*Tabla 7.5 Válvulas seleccionadas para pruebas mecánicas*

CÓDIGO EAAB	LOCALIZACIÓN	DIÁM. (pulg)	MARCA	TIPO	FUNCIÓN	ACTUADOR	MATERIAL CAJA	ESTADO DE LA CAJA
PVR001	CONTROL CASABLANCA	36"	VAG	PASO ANULAR	RED. PRESIÓN		CONCRETO	
PVM008	CONTROL SILENCIO	36"	VAG	PASO ANULAR	RED. PRESIÓN		CONCRETO	PARCIALMEN TE INUNDADA
PVM188	CALLE 22C X CRA. 42B	42"	N.D.	MARIPOSA	PASO	MANUAL	CONCRETO	INUNDADA
PVM451	TANQUE EL SILENCIO	60"	VANADOUR	MARIPOSA	PASO	MANUAL	CONCRETO	PARCIALMEN TE INUNDADA
	CALLE 22 No. 4 - 81	30"	N.D.	MARIPOSA	PASO	MANUAL	CONCRETO	INUNDADA
	CALLE 6 CON CRA. 36 COSTADO ws	24"	N.D.	COMPUER TA	PASO	MANUAL	CONCRETO	INUNDADA

### **7.3.4 INVESTIGACIÓN SOBRE EL ESTADO DE LOS CONCRETOS EN CÁMARAS DE VÁLVULAS.**

El objetivo consistió en conocer el estado actual de los materiales con los que fueron construidas las cámaras o cajas para alojar las válvulas, lo cual se hizo mediante la determinación de las características físico - químicas que reflejan los parámetros de durabilidad y resistencia mecánica aspecto fundamental antes de iniciar cualquier labor de rehabilitación de las estructuras.

Se realizaron inspecciones y ensayos de campo y laboratorio tales como determinación del espaciamiento del refuerzo, profundidad de carbonatación, contenido de cemento, ión cloruros, ión sulfatos y materia orgánica y la extracción de núcleos de concreto para determinar la resistencia a la compresión, porosidad y la densidad del concreto.

Inicialmente fueron seleccionadas cuatro cámaras que contienen las válvulas Nos. V44 y V43 sobre la línea Tibitóc - Casablanca de 78" y las válvulas V18 y V17 sobre la Línea Tibitóc -Usaquén de 60".

Luego de un reconocimiento de campo, en el que no fue posible tener acceso a las cámaras de las válvulas V44, por encontrarse dentro de predios privados en donde no se permitió la entrada y V43, la cual no se encontró, estas fueron reemplazadas por las cámaras de las válvulas V40 y V42. Por disponibilidad de presupuesto la cámara de la válvula V17 tampoco pudo ser inspeccionada y fue retirada del listado inicial.

Las características generales de las cámaras inspeccionadas se presentan en la tabla 7.6

Tanto la toma de muestras de campo como los ensayos de laboratorio fueron ejecutados por el Centro de Diagnosis del Concreto, a través de la firma SIKA ANDINA S.A, siguiendo las normas ambientales y precauciones de seguridad del caso.

La localización general de las cámaras inspeccionadas se muestra en el plano JR-052-GEN-008-E, "Localización general de los Sitios de Inspección" anexo 12 y los resultados de los ensayos, su análisis y recomendaciones se indican en el anexo 7- Informe de Sika, y en el numeral 8.3.5.12.

*Tabla 7.6 Características generales de las cámaras inspeccionadas*

CARACTERÍSTICA	V42	V40	V18
Localización	Av. Boyacá No. 40A-30sur	Av. Boyacá frente a Bavaria	Ferrocarril del norte con Calle 200
Ubicación	Separador Central	Calzada	Potrero
Nombre de la Línea	Tibitóc – Casablanca	Tibitóc – Casablanca	Tibitóc – Usaquén
Diámetro de la línea	78"	78"	60"
Diámetro de la Válvula	60"	60"	30"
Material de la caja	Concreto	Concreto	Concreto (Con realce en ladrillo)

CARACTERÍSTICA	V42	V40	V18
<b>Tipo de caja</b>	Enterrada	Enterrada	Semi – enterrada
<b>Tipo de tapa</b>	Placa continua	Placa continua	Placas prefabricadas
<b>Forma de la Caja</b>	Rectangular	Rectangular	Rectangular
<b>Tipo de suelo</b>	Arcillas y limos con una capa superior de arcilla expansiva "neme". Presencia de arenas potencialmente licuables.	Arcillas y limos con una capa superior de arcilla expansiva "neme". Presencia de arenas potencialmente licuables.	SUELOS BLANDOS: De baja resistencia, muy compresibles.

### 7.3.5 INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA.

Con base en la identificación de los sitios críticos y de aquellos cuyas causas se encuentran directamente relacionadas con su geología o geotecnia, se programaron una serie de actividades tendientes a determinar las medidas correctivas necesarias.

Las exploraciones de campo estuvieron dirigidas a la caracterización geológica y geotécnica de los sitios, determinación de las profundidades de falla de los deslizamientos y evaluación de la estabilidad de los taludes, dimensionamiento de obras y selección de alternativas de solución entre otras.

Las investigaciones consistieron en la ejecución de apiques manuales y perforaciones mecánicas con equipo de lavado en los sitios previamente seleccionados, se tomaron muestras de suelo alteradas para la ejecución de ensayos como granulometría, peso unitario, humedad natural, contenido de materia orgánica, límites de Atterberg y corte directo según el caso.

En vista de que las zonas donde se desarrollaron las inspecciones presentan características diferentes, según el Mapa Geotécnico de la Zonificación de Riesgo por

Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades de Santa Fé de Bogotá - DPAE - septiembre de 1998 para la zona montañosa y el mapa de la Zonificación Geotécnica del D.E de Bogotá - INGEOMINAS - 1996 para la zona plana, se presentan por separado, tal como se indica en la tabla 7.7

En la tabla 7.8 se relacionan cada uno de los sitios donde se desarrollaron las exploraciones de campo, indicando el tipo de exploración, fecha de ejecución, su profundidad total, línea de la red matriz investigada, tipo y número de ensayos de laboratorio.

En el Plano JR-052-GEN-008-E "Localización general de los Sitios de Inspección" anexo 12 se indica la localización general de los sitios relacionados anteriormente sobre el sistema red matriz y sus coordenadas según el sistema del IGAC.

Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados se incluyen en el anexo 5 informe ensayos de laboratorio U. Nal, y el análisis y recomendaciones para cada sitio en particular se detallan en el numeral 8.3 para aquellas líneas que corresponda.

*Tabla 7.7 Tipos de material en sitios con exploración geológica y geotécnica*

LUGAR	LÍNEA DE INTERÉS	TIPO DE MATERIAL	TOPOGRAFÍA
Parte baja del tanque Casablanca	Tibitóc – Casablanca	Arcillolitas muy meteorizadas	Ondulada
Parte alta del Barrio Quindío	Quindío - Juan Rey	Al norte areniscas y suelos residuales. Al sur Depósitos fluvioglaciales saturados	Quebrada
Corredor barrios Juan Rey – San Rafael	Quindío - Juan Rey	Depósitos fluvioglaciales saturados	Ondulada
Av. Circunvalar Calle 11 sur	Vitelma Columnas	Depósito coluvial saturado	Quebrada

LUGAR	LÍNEA DE INTERÉS	TIPO DE MATERIAL	TOPOGRAFÍA
Los Alpes	Alpes – Quindío	Suelos residuales arenosos derivados de meteorización en areniscas y arcillosos de arcillolitas	Quebrada
Tanque San Dionicio	Salida Tanque	Arcillolitas de la formación Bogotá	Quebrada
Tanque el Uval – Barrio Alcantuz	La Laguna – Monteblanco	Al sur Arcillolitas altamente meteorizadas. Al norte depósito fluvioglacial	Ondulada
Barrio La Perseverancia	Silencio – Vitelma	Suelo residual areno - limoso en reptamiento	Quebrada
Zona Intermedia - Av. Circunvalar	Silencio – Vitelma	Arenisca residual sobre arcillolita	Quebrada
Tanque San Diego	San Diego – Vitelma	Arcillolitas meteorizadas de la formación guaduas	Ondulada
Barrio Las Aguas	Silencio – Vitelma	Suelos arcillosos de la formación Bogotá	Ondulada
Qda. Las Lajitas	Silencio – Vitelma	Arcillolitas con alto grado de fracturamiento	Ondulada
Barios Girardot y Ramírez	San Diego – Vitelma	Arcillolitas de la formación Bogotá, muy meteorizadas y moderadamente meteorizadas.	Quebrada
Zanjón del Quindío	Alpes – Quindío	Suelos residuales arcillosos	Quebrada
Barrio Montebello	Vitelma – Jalisco	Arcillolitas muy meteorizadas de la formación Bogotá	Ondulada
Villa de los Alpes	Vitelma – Jalisco	Arcillas de la formación Bogotá	Ondulada

Tabla 7.8 relación de exploraciones de campo y ensayos de laboratorio realizadas

No. MUESTRA	FECHA DE TOMA	NOMBRE DE LA LÍNEA	DIAM. PULG.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	PROF. TOTAL (m)	LOCALIZACIÓN	ENSAYOS DE LABORATORIO					
							H.NAT	LIM.	PESO UN.	M.O	GRAN.	CORT DIR.
2-BASE	27/03/2001	SILENCIO - VITELMA	60	PERFORACIÓN	8,00	Parte Alta Tanque San Diego	8	-	6		4	
1-CORONA	27/03/2001	SILENCIO - VITELMA	60	PERFORACIÓN	8,00	Parte Alta Tanque San Diego	12	3	10		0	
AP-1	28/03/2001	SILENCIO - VITELMA	60	APIQUE	2,20	Altos de la Perseverancia	4	1	2			
AP-2	28/03/2001	SILENCIO - VITELMA	60	APIQUE	2,50	Altos de la Perseverancia	2	1	2			
V.A.C.	28/03/2001	SILENCIO - VITELMA	60	APIQUE	2,00	Vía Antigua Circunvalar	4	2	2			
AP-1	4/04/2001	VITELMA - COLUMNAS, VITELMA DIANA TURBAY	42	APIQUE	2,10	Calle 11 Sur - Cra. 8 Este	4	2	2			
AP-2	4/04/2001	VITELMA - COLUMNAS, VITELMA DIANA TURBAY	42	APIQUE	2,00	Calle 11 Sur - Cra. 8 Este	3	1	3			
APQ-1	4/04/2001	QUINDÍO - JUAN REY	24	APIQUE	2,00	Calle 46 Sur con Cra. 20 Este Parte Alta Barrio Quindío	4	1	4	1		
APQ-2	4/04/2001	QUINDÍO - JUAN REY	24	APIQUE	2,00	Calle 46 Sur con Cra. 20 Este Parte Alta Barrio Quindío	5	2	4			
APQ-3	4/04/2001	QUINDÍO - JUAN REY	24	APIQUE	2,00	Calle 46 Sur con Cra. 20 Este Parte Alta Barrio Quindío	5	3	3			
APQ-4	4/04/2001	QUINDÍO - JUAN REY	24	APIQUE	2,00	Calle 46 Sur con Cra. 20 Este Parte Alta Barrio Quindío	3	1	1			
APQQ-1	9/04/2001	QUINDÍO - JUAN REY	24	APIQUE	2,10	Barrios Juan Rey y San Rafael	4	1	3			
APQQ-2	9/04/2001	QUINDÍO - JUAN REY	24	APIQUE	2,40	Barrios Juan Rey y San Rafael	4	2	3			

No. MUESTRA	FECHA DE TOMA	NOMBRE DE LA LÍNEA	DIAM. PULG.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	PROF. TOTAL (m)	LOCALIZACIÓN	ENSAYOS DE LABORATORIO					
							H.NAT	LIM.	PESO UN.	M.O	GRAN.	CORT DIR.
APQQ-3	9/04/2001	QUINDÍO - JUAN REY	24	APIQUE	2,40	Barrios Juan Rey y San Rafael	3	1	2			
APQQ-4	9/04/2001	QUINDÍO - JUAN REY	24	APIQUE	2,60	Barrios Juan Rey y San Rafael	3	1	2			
AP-1	10/04/2001	LA LAGUNA MONTEBLANCO	20	APIQUE	2,00	Calle 7 con Cra. 1 Este Usme	3	1	3	1		
AP-2	10/04/2001	LA LAGUNA MONTEBLANCO	20	APIQUE	2,00	Calle 7 con Cra. 1 Este Usme	3		3			
AP-3TR	10/04/2001	LA LAGUNA MONTEBLANCO	20	APIQUE	2,00	Calle 7 con Cra. 1 Este Usme	2	1	2	1		
APQ-1	10/04/2001	LA LAGUNA MONTEBLANCO	20	APIQUE	2,00	Camino al Uval con Cra. 1 este Usme	3	2	3		1	
APQ-2	10/04/2001	LA LAGUNA MONTEBLANCO	21	APIQUE	2,00	Camino al Uval con Cra. 1 este Usme	3	1	3	1	1	
APQQ-1	10/04/2001	LA LAGUNA MONTEBLANCO	20	APIQUE	1,80	Finca Requilina (El Papayo ICBF)	2	1	1	2		
APQQ-2	10/04/2001	LA LAGUNA MONTEBLANCO	20	APIQUE	1,90	Finca Requilina (El Papayo ICBF)	4		1		2	
APP1	20/04/2001	LA LAGUNA MONTEBLANCO	20	PERFORACIÓN	8.50	Calle 110 Sur con Cra. 4 Este	16	2	8		5	1
APP2	20/04/2001	LA LAGUNA MONTEBLANCO	20	PERFORACIÓN	10.00	Calle 110 Sur con Cra. 4 Este	5	1	4		4	
		TIBITÓC – CASABLANCA	78	PERFORACIÓN		Parte baja del tanque Casablanca	13	4	8		3	
AP-1	10/04/2001	TIBITÓC – CASABLANCA	78	APIQUE	1,70	Parte baja del tanque Casablanca	1		1			

### **7.3.6 INVESTIGACIÓN SOBRE EL ESTADO DE LOS EMPAQUES EN UNIONES Y VARILLAS DE REFUERZO EN TUBERÍAS.**

Con el fin de adelantar una comparación de las condiciones iniciales con las actuales, a través de las especificaciones contenidas en las normas de fabricación y los resultados de los ensayos de laboratorio respectivamente, se tomaron muestras de los empaques de las uniones de tuberías y de las varillas exteriores de refuerzo de la tubería PCCP de la línea Tibitóc - Casablanca.

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.

Las muestras fueron llevadas al laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Nacional sede Bogotá, donde se realizaron los ensayos y bajo las normas a continuación indicadas:

*Tabla 7.9 Normas de ensayo para elementos de tubería*

<b>ELEMENTO</b>	<b>ENSAYO</b>	<b>NORMA ENSAYO</b>
ALAMBRE	Resistencia a la tensión	ASTM A370
ALAMBRE	Macroataque	
EMPAQUE	Resistencia la tensión	ASTM D412
EMPAQUE	Elongación a la rotura	ASTM D412
EMPAQUE	Densidad	

Los resultados obtenidos se incluyen en el anexo 5 y el análisis de los resultados se muestran en el numeral 8.3.5.11.2



### **7.3.7 INVESTIGACIÓN SOBRE EL ESTADO ESTRUCTURAL DE VIADUCTOS.**

Con las investigaciones preliminares se conocieron algunos cruces especiales de tubería que merecen particular atención, por el estado visual en que se encontraron y el grado de importancia que tienen dentro del sistema red matriz.

Lo anterior corresponde a los viaductos o cruces de tuberías sobre humedales, ríos, quebradas o cañadas, relacionados en la tabla 7.10.

Para los cruces anteriormente mencionados se realizaron inspecciones visuales con el fin de observar entre otros los fenómenos de inestabilidad en cimentaciones ocasionadas por los distintos factores, tipos de apoyos y su condición.

*Tabla 7.10 Líneas investigadas ubicadas en cercanías a cuerpos de agua*

<b>NOMBRE LÍNEA</b>	<b>DIÁMETRO</b>	<b>LOCALIZACIÓN VIADUCTO O CRUCE</b>
Tibitóc – Casablanca	78"	Av. Boyacá cruce Canal Salitre
Tibitóc – Casablanca	78"	Cruce río Tunjuelito
Tibitóc – Usaquen	60"	Cruce río Teusacá
Línea Av. Primera	20"	Salida Planta Vitelma
La Laguna –Moteblanco	20"	Sector Santa Marta
La Laguna –Moteblanco	20"	Cruce Qda. Yomasa
La Laguna –Moteblanco	20"	Calle 4 con Cra. 2 (Usme)
La Laguna –Moteblanco	20"	100 mts. al Sur del Tanque el Uval
Quindío - Juan Rey	24"	Cruce Qda. El Zuque
Alpes - Quindío	24"	Altos del Zipa
Vitelma -Columnas	42"	Cruce río San Critobal

Durante la investigación adelantada se conoció que la línea Av. Primero de Mayo 20" se encuentra fuera de servicio, por lo que la investigación sobre el viaducto relacionado fue suspendida.

Por ser de vital importancia dentro del sistema se llevó a cabo un levantamiento topográfico, con nivelación y contranivelación de precisión, en el viaducto de la línea Tibitóc - Usaquen de 60", en el cruce sobre el río Teusacá, en el cual la tubería metálica se encuentra soportada mediante cinturones de rigidización y apoyos articulados sobre pórticos metálicos. En el anexo 3 se presentan las memorias de cálculo del chequeo estructural realizado al viaducto, antes de tener los datos del levantamiento topográfico. En el numeral 8.3.5.14.4 se presenta el análisis de los resultados obtenidos con la nivelación topográfica, cartera de nivelación que se presenta en el Anexo 8 de este documento.

Similarmente, por las condiciones de inestabilidad por socavación y pérdida de protección de la tubería, se realizó un levantamiento topográfico de detalle con curvas de nivel, en el cruce de la tubería de la línea Quindío - Juan Rey sobre la Quebrada El Zuque. En este sitio la tubería se encuentra protegida por un dado de concreto sobre el lecho, el cual presenta muestra visibles de socavación y además en el extremo norte de la protección la tubería se encuentra expuesta y a la intemperie.

En el cruce de la Línea Tibitóc - Casablanca con el canal Salitre se llevó a cabo la medición de espesores de la lámina de acero, sobre la tubería metálica de 60". En este sitio la tubería se encuentra apoyada sobre una estructura metálica en cerchas. Los resultados de las mediciones realizadas se incluyen en el anexo 6 - el informe de AB, así mismo, en el numeral 8.3.5.13.

### **7.3.8 INVESTIGACIÓN SOBRE LAS CONDICIONES OPERACIONALES O DE FUNCIONAMIENTO DE LAS LÍNEAS MATRICES.**

Con el fin de conocer el estado de operación de las líneas del sistema red matriz se llevó a cabo una investigación a través de entrevistas con diferentes funcionarios de la Dirección de Control y Operación Acueducto y la Dirección de Mantenimiento Acueducto E.A.A.B. los cuales cuentan con la experiencia y el amplio conocimiento en el manejo operativo y de mantenimiento de la red.

Por medio de las anteriores reuniones se tuvo conocimiento de las modificaciones y los cambios en la operación del sistema, los que a su vez fueron tenidos en cuenta, y por medio de la ayuda prestada por el modelo hidráulico, se realizaron simulaciones para algunos de ellos con el fin de profundizar y conocer los detalles de la operación del sistema.

Complementariamente a las reuniones se adelantó una investigación sobre los daños y mantenimientos de la red matriz presentados en la década entre 1990 y 2000 y se llevaron a cabo reconocimientos de campo con el fin de involucrar además del aspecto técnico, los aspectos tales como ambiental, predial y socioeconómico.

En particular fueron identificados e investigados los sitios que se relacionan en la Tabla 7.11.

*Tabla 7.11 Sitios investigados con problemas de operación*

<b>NOMBRE DE LA LÍNEA</b>	<b>SITIO</b>
Tibitóc – Casablanca	Cruce enterrado en el río Teusacá
Tibitóc – Usaquén	Av. Ferrocarril del Norte entre Cls. 183 a 197
Silencio Casablanca	Salida del tunel Los Rosales
Tanque de Santa Ana - Usaquén	Carrera 7 calle 113
Línea San Diego - Vitelma	

NOMBRE DE LA LÍNEA	SITIO
Silencio - Vitelma	Llegada al tanque de vitelma
Alpes - Quindío	Altos del zipa
Tanque los Pinos	Tanque los Pinos
Tanque la Capilla	Tanque la Capilla
Línea Avenida Morisco	Avenida morisco entre Kr 91 y 116
Línea Aut. Medellín	Calle 80 Occidente Av. Boyaba
Línea Escuela Militar - Puente Aranda	Cruce con el canal Salitre
Línea Gran Britalia	Av. Agoberto Mejia con Kr. 86
Carretera del Sur Venecia-Madelena	Autop. Sur con Kr. 51 a Av. Villavicencio

Los sitios anteriormente relacionados se indican en el plano JR-052-GEN-008-E "Localización General de los Sitios de Inspección" anexo 12. En el numeral 3 de este informe, se hace la descripción, análisis y recomendaciones de los problemas operativos.

### **7.3.9 LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS**

Como complemento a todas las investigaciones realizadas y con el propósito establecer las características topográficas de las zonas, del dimensionamiento de las obras ya sea de drenaje o de estabilización y la verificación estructural de sus condiciones actuales, se programó el levantamiento topográfico de los sitios relacionados en la tabla 7.12.

*Tabla 7.12 Localización de Levantamientos Topográficos*

<b>NOMBRE DE LA LÍNEA</b>	<b>LOCALIZACIÓN TOPOGRAFÍA</b>	<b>TIPO DE LEVANTAMIENTO</b>	<b>TOPOGRAFÍA</b>
Vitelma - Diana Turbay	Calle 11 sur - Cra. 4 este	De detalle con curvas de nivel y localización de la tubería.	Quebrada
Tibitó - Cantarrana	Parte baja del Tanque Casablanca	De detalle con curvas de nivel y localización de la tubería.	Ondulada
Silencio - Vitelma	Vía Antigua Circunvalar	De detalle con curvas de nivel y localización de la tubería.	Ondulada
Silencio - Vitelma	Parte Alta del tanque San Diego	De detalle con curvas de nivel y localización de la tubería.	Ondulada
Silencio - Vitelma	Qda. Las Lajitas - Barrio Girardot	De detalle con curvas de nivel y localización de la tubería.	Ondulada
La Laguna – Monteblanco	Calle 110 sur – Cra. 4 este	De detalle con curvas de nivel y localización de la tubería.	Quebrada
La Laguna – Monteblanco	Hda. Quebrada Dulce	De detalle con curvas de nivel y localización de la tubería	Quebrada
La Laguna – Monteblanco	Sur del tanque El Uval	De detalle con curvas de nivel y localización de la tubería	Ondulada
La Laguna - Monteblanco	Finca Requilina (Papagayo)	De detalle con curvas de nivel y localización de la tubería	Ondulada
Quindío - Juan Rey	Parte alta del barrio San Rafael	De detalle con curvas de nivel y localización de la tubería	Ondulada
Quindío - Juan Rey	Parte alta del barrio Quindío	De detalle con curvas de nivel y localización de la tubería	Quebrada

<b>NOMBRE DE LA LÍNEA</b>	<b>LOCALIZACIÓN TOPOGRAFÍA</b>	<b>TIPO DE LEVANTAMIENTO</b>	<b>TOPOGRAFÍA</b>
Quindío - Juan Rey	Zanjón del Zuque	De detalle con curvas de nivel y localización de la tubería	Quebrada
Tibitó - Usaquen	Viaducto río Teusacá	Nivelación de precisión, con curvas de nivel	Plana

Durante los levantamientos topográficos se detallaron los escarpes, se levantaron los paramentos, se localizaron los alineamientos de la tubería y cualquier otro accidente de importancia tales como edificaciones, sumideros, tapas de pozos de inspección, postes, líneas de energía y otros.

Todos los levantamientos topográficos se realizaron siguiendo la norma NS-030 Versión 00 de la EAAB, tanto para el trabajo de campo como para el trabajo de oficina, que en términos generales expresa una precisión de 1:20000 en el levantamiento planimétrico.

Para la topografía del viaducto sobre el río Teusacá, de la línea Tibitóc - Usaquen se realizó una nivelación y contranivelación geométrica de detalle (precisión milimétrica), tanto para el lomo de la tubería como para los elementos de soporte.

En cada sitio de topografía se dejaron mojones, mínimo dos (2), con placas georeferenciadas en el proyecto y en lo posible en los extremos de cada sitio. Cada mojón es de concreto de 20 por 20 por 80 centímetros y placa de bronce, de conformidad con el modelo indicado por LA EMPRESA.

Las topografías quedaron amarradas planimétrica y altimétricamente al sistema de coordenadas y cotas del IGAC, utilizando para ello las placas debidamente certificadas. Cabe resaltar que para la transformación de las cotas del sistema IGAC al sistema de la EAAB se debe sumar 29.86 metros.

Adicionalmente en cada sitio donde se realizaron los levantamientos topográficos se llevó a cabo la georeferenciación de los puntos donde se ejecutaron perforaciones y apiques por la investigación geotécnica.

Los planos topográficos, los cuales se encuentran ajustados a las normas que para su presentación tiene la EAAB o norma NS-043 Versión 00, así como las carteras topográficas se incluyen en el anexo 8.

En el anexo 8 se incluye una descripción detallada de las actividades desarrolladas, la relación de los mojones de amarre geodésico y las carteras de campo correspondientes.

### **7.3.10 RESUMEN INSPECCIONES DE CAMPO**

En la tabla 7.13 se presenta una relación de las líneas, más importantes en donde se desarrolló algún tipo de inspección o investigación según lo indicado anteriormente. La columna longitud inspeccionada corresponde a la longitud aproximada que fue objeto de inspección en cada una de las áreas indicadas. En total fueron inspeccionados 178 kilómetros de tuberías con diferentes características; En el anexo 20 se presentan los esquemas actualizados de las estructuras de control visitadas en campo.

*Tabla 7.13 Longitudes de tubería inspeccionada por áreas de investigación*





Tabla 7.13 Longitudes de tubería inspeccionada por áreas de investigación

Tabla 7.13 Longitudes de tubería inspeccionada por áreas de investigación



## 7.4. VISITAS DE CAMPO

En el transcurso del presente estudio se realizaron algunas visitas de campo con el fin de verificar el estado de las líneas y de algunos puntos específicos sobre la red; sobre el desarrollo de estas visitas se presentan en el anexo 4, los informes correspondientes donde se describen los asistentes a dicha visita, la fecha, el tramo inspeccionado, el desarrollo de la visita, que incluye las inspecciones realizadas y las conclusiones correspondientes. Se efectuaron visitas de campo a la línea Tibitóc – Casablanca, el tanque San Diego y la línea Tibitóc – Usaquen.

## 7.5. CONTENIDO DE LOS ANEXOS 5, 6 Y 7 (RESULTADOS DE LAS INSPECCIONES).

A continuación se presenta en la tabla 7.14 un listado resumen de los ensayos cuyos resultados se presentan en los anexos 5, 6 y 7 .

*Tabla 7.14 Listado resumen de ubicación de anexos de resultados de las inspecciones*

<b>Anexo 5 Resultados de las inspecciones Universidad Nacional</b>		
<b>Parte</b>	<b>Tipo</b>	<b>Parámetros estudiados</b>
Parte A	Análisis químico de los suelos	% de Humedad (base húmeda)
		PH
		Conductividad específica
		Acidez intercambiable
		Sulfatos
		Cloruros
Parte B	Análisis de aguas	PH
		Acidez Total
		Cloruros
		Sulfatos
Parte C	Análisis físico de los suelos	Humedad Natural
		Peso Unitario
		Limites de Atterberg y Granulometría

Parte	Tipo	Parámetros estudiados
Parte D	Análisis sobre el alambre tensor y el empaque de caucho	Densidad
		Elongación y tensión de ruptura
		Tensión macrografía
<b>Anexo 6 Resultados de las inspecciones de AB proyectos e inspecciones Ltda.</b>		
Parte	Tipo	Parámetros estudiados
Parte A	Inspección de válvulas	Inspección visual
		Análisis de vibraciones
		Medición de espesores en tuberías de acceso o salida
		Medición espesores de pintura
Parte B	Resistividad de los suelos	Medición de resistividad a diferentes profundidades en diferentes sitios
Parte C	Evaluación del sistema de protección catódica Línea San Diego Zona Intermedia	Inspección por personal calificado apoyado con equipos
<b>Anexo 7 Resultados de las inspecciones Sika Andina S.A.</b>		
Parte	Tipo	Parámetros estudiados
Parte A	Evaluación de las cámaras V-18, V-40 y V-42 de la línea Tibitóc Casablanca	Resistencia a la compresión
		Profundidad de carbonatación
		Contenido aproximado de cemento y materia orgánica
		Contenido aproximado de cloruros
		Contenido aproximado de sulfatos
		Determinación de la profundidad de carbonatación y de la posición relativa del refuerzo
		Extracción de núcleos para la determinación de la resistencia a compresión
		Ensayos de porosidad y densidad del concreto
Parte B	Evaluación de algunos tramos del sector de rehabilitación No. 5 de la línea Tibitóc Casablanca	Profundidad de carbonatación
		Contenido aproximado de cemento y materia orgánica
		Contenido aproximado de cloruros
		Contenido aproximado de sulfatos
		Potencial de corrosión
		Medición de espesores de lamina metálica

## TABLA DE CONTENIDO

<b>7. INVESTIGACIONES DE CAMPO.....</b>	<b>7-1</b>
7.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS Y EQUIPOS MODERNOS INVESTIGADOS PARA INSPECCIÓN DE TUBERÍAS.....	7-1
7.1.1 MONITOREO ACÚSTICO DE LAS TUBERÍAS PCCP (PAS).....	7-2
7.1.2 CIRCUITO CERRADO DE TELEVISIÓN .....	7-4
7.1.2.1 Ventajas y propiedades técnicas .....	7-5
7.1.2.2 Unidades de Mando y Operación.....	7-6
7.1.2.3 Unidades alimentadoras de energía .....	7-7
7.1.2.4 Carro porta cámara o tractor .....	7-7
7.1.2.5 Carrete porta cable.....	7-7
7.1.2.6 Cámara de video .....	7-8
7.1.3 LIMPIADORES DE TUBERÍAS.....	7-8
7.1.3.1 Tacos para lavado.....	7-9
7.1.3.2 Esferas .....	7-10
7.1.3.3 Procedimiento de inspección del taco. ....	7-10
7.1.4 SISTEMA DE INSPECCIÓN POR RADAR DE PENETRACIÓN EN SUELO - GPR.....	7-12
7.1.5 PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN SOBRE CORROSIÓN DE TUBERÍAS... 7-13	
7.1.5.1 Corrosión Interior.....	7-13
7.1.5.1.1 Tuberías con revestimientos de asfalto y esmalte: .....	7-13
7.1.5.1.2 Tuberías con revestimiento en mortero de cemento: .....	7-14
7.1.5.2 Corrosión exterior.....	7-15
7.1.5.2.1 Líneas con protección catódica.....	7-15
7.1.5.2.2 Líneas sin protección catódica.....	7-16
7.1.5.3 Equipo para las pruebas y ensayos.....	7-16
7.2. EQUIPOS Y SISTEMAS DE INSPECCIÓN EMPLEADOS EN EL ESTUDIO .....	7-18
7.2.1 INSPECCIÓN DE VÁLVULAS .....	7-18
7.2.2 INSPECCIÓN PROTECCIÓN CATÓDICA .....	7-18
7.2.3 INVESTIGACIÓN EN CORROSIÓN.....	7-19
7.2.4 EXPLORACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA. ....	7-20
7.2.4.1 DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN. ....	7-20



7.2.4.1.1 Reconocimiento detallado del sitio.....	7-21
7.2.4.1.2 Exploración del Subsuelo.....	7-21
7.2.4.1.3 Ensayos de Laboratorio .....	7-21
7.2.5 INVESTIGACIÓN SOBRE CONCRETOS Y MORTEROS.....	7-22
7.2.6 LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS .....	7-23
7.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SITIOS DE INSPECCIÓN (INCLUYE PLANO DE LOCALIZACIÓN).....	7-23
7.3.1 INVESTIGACIÓN SOBRE LA AGRESIVIDAD DEL SUELO.....	7-24
7.3.2 INVESTIGACIÓN SOBRE LAS PROTECCIONES DE LAS TUBERÍAS.....	7-30
7.3.2.1 Investigación sobre los revestimientos .....	7-31
7.3.2.2 Investigación sobre la protección catódica .....	7-34
7.3.2.2.1 Revisión de información existente .....	7-34
7.3.2.2.2 Reconocimientos de campo.....	7-36
7.3.2.2.3 Sistema de protección catódica línea San Diego - Zona Intermedia I. ....	7-36
7.3.3 INVESTIGACIÓN SOBRE EL ESTADO DE LAS VÁLVULAS. ....	7-37
7.3.3.1 Inspección Visual a Válvulas.....	7-38
7.3.3.2 Inspección mecánica de válvulas.....	7-39
7.3.4 INVESTIGACIÓN SOBRE EL ESTADO DE LOS CONCRETOS EN CÁMARAS DE VÁLVULAS.....	7-41
7.3.5 INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA.....	7-43
7.3.6 INVESTIGACIÓN SOBRE EL ESTADO DE LOS EMPAQUES EN UNIONES Y VARILLAS DE REFUERZO EN TUBERÍAS.....	7-48
7.3.7 INVESTIGACIÓN SOBRE EL ESTADO ESTRUCTURAL DE VIADUCTOS. .	7-49
7.3.8 INVESTIGACIÓN SOBRE LAS CONDICIONES OPERACIONALES O DE FUNCIONAMIENTO DE LAS LÍNEAS MATRICES.....	7-51
7.3.9 LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS .....	7-52
7.3.10 RESUMEN INSPECCIONES DE CAMPO.....	7-55
7.4. VISITAS DE CAMPO .....	7-59
7.5. CONTENIDO DE LOS ANEXOS 5, 6 Y 7 (RESULTADOS DE LAS INSPECCIONES).	7-59

**ANEXO 3.** LINEA TIBITOC USAQUEN CHEQUEO ESTRUCTURAL HUMEDAL DEL TEUSACA

**ANEXO 4.** INFORMES SOBRE VISITAS TECNICAS REALIZADAS



**ANEXO 5. RESULTADO DE LAS INSPECCIONES UNIVERSIDAD NACIONAL**

PARTE A ANALISIS QUIMICO DE LOS SUELSO

PARTE B ANALISIS DE AGUAS

PARTE C ANALISIS FISICO DE LOS SUELOS

PARTE D ANALISIS SOBRE EL ALAMBRE TENSOR Y EL EMPAQUE DE  
CAUCHO

**ANEXO 6. RESULTADO DE LAS INSPECCIONES AB PROYECTOS E INSPECCIONES  
LTDA.**

PARTE A INSPECCION DE VALVULAS

PARTE B RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS

PARTE C EVALUACION SISTEMA DE PROTECCION CATODICA LINEA SAN  
DIEGO ZONA INTERMEDIA

**ANEXO 7. RESULTADO DE LAS INSPECCIONES SIKA ANDINA S.A.**

PARTE A EVALUACION DE LAS CAMARAS V-18, V-40 Y V-42 DE LA LINEA  
TIBITOC CASABLANCA

PARTE B EVALUACION DE ALGUNOS TRAMOS DEL SECTOR DE  
REHABILITACION NO.5 DE LA LINEA TIBITOC-CASABLANCA

**ANEXO 8. TOPOGRAFIA**

**ANEXO 9. CATALOGOS DE EQUIPOS**

**ANEXO 20. ESQUEMAS ACTUALIZADOS DE LAS ESTRUCTURAS DE CONTROL**



## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 7.1 Descripción del Tipo de material en sitios de inspección por agresividad del suelo .....</i>	<i>7-26</i>
<i>Tabla 7.2 Relación de muestras de suelos tomadas para análisis de su agresividad . .....</i>	<i>7-28</i>
<i>Tabla 7.3 Relación de muestras tomadas de morteros y concretos de revestimiento para ensayos de laboratorio .....</i>	<i>7-33</i>
<i>Tabla 7.4 Líneas con sistema de protección catódica .....</i>	<i>7-34</i>
<i>Tabla 7.5 Válvulas seleccionadas para pruebas mecánicas .....</i>	<i>7-41</i>
<i>Tabla 7.6 Características generales de las cámaras inspeccionadas .....</i>	<i>7-42</i>
<i>Tabla 7.7 Tipos de material en sitios con exploración geológica y geotécnica ....</i>	<i>7-44</i>
<i>Tabla 7.8 relación de exploraciones de campo y ensayos de laboratorio realizadas... .....</i>	<i>7-46</i>
<i>Tabla 7.9 Normas de ensayo para elementos de tubería .....</i>	<i>7-48</i>
<i>Tabla 7.10 Líneas investigadas ubicadas en cercanías a cuerpos de agua .....</i>	<i>7-49</i>
<i>Tabla 7.11 Sitios investigados con problemas de operación .....</i>	<i>7-51</i>
<i>Tabla 7.12 Localización de Levantamientos Topográficos .....</i>	<i>7-53</i>
<i>Tabla 7.13 Longitudes de tubería inspeccionada por áreas de investigación .....</i>	<i>7-56</i>
<i>Tabla 7.14 Listado resumen de ubicación de anexos de resultados de las inspecciones .....</i>	<i>7-59</i>