

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2</b> <b>INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y</b> <b>ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA i FECHA: 2007-09-19	

## TABLA DE CONTENIDO

(TOMO 1 DE 3)

<b>1</b>	<b><u>GENERALIDADES</u></b>	<b>1-1</b>
1.1	OBJETIVOS Y ALCANCES	1-1
1.2	ANTECEDENTES	1-2
1.3	METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	1-2
1.3.1	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	1-2
1.3.2	METODOLOGÍA CONSECUCIÓN PERFIL GEOTÉCNICO	1-2
1.3.3	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA ESTÁTICA Y DINÁMICA	1-3
1.3.4	DEFINICIÓN DEL PERFIL GEOTÉCNICO	1-4
<b>2</b>	<b><u>RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN</u></b>	<b>2-1</b>
2.1	REVISIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	2-1
2.1.1	ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE BOGOTÁ, MZSB, (INGEOMINAS Y UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 1997)	2-1
2.1.1.1	Registros de perforación	2-1
2.1.1.2	Profundidad del basamento rocoso	2-2
2.1.2	REGISTROS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOTÉCNICO SISGEO DE LA EAAB	2-2
2.1.3	MODELO GEOTÉCNICO DE LA SABANA DE BOGOTÁ (SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA, 2006)	2-2
2.1.4	PROYECTO METRO	2-3
2.1.5	ESTUDIOS REALIZADOS POR EMPRESAS DE CONSULTORÍA PRIVADAS	2-3
<b>3</b>	<b><u>METODOLOGIA PARA LA CONSECUCION DEL PERFIL GEOTÉCNICO</u></b>	<b>3-1</b>
3.1	EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA	3-1
3.2	EXPLORACION GEOLOGICA Y GEOFISICA	3-5
<b>4</b>	<b><u>CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA ESTÁTICA Y DINÁMICA</u></b>	<b>4-1</b>
4.1	PROGRAMA DE ENSAYOS DE LABORATORIO	4-1
4.2	PARAMETROS GEOMECHANICOS ESTÁTICOS	4-13
4.3	PARAMETROS GEOMECHANICOS DINÁMICOS	4-13
4.3.1	DOWN HOLE	4-14
4.3.2	REFRACCIÓN SÍSMICA	4-15
4.3.3	TRIAxIAL CÍCLICO	4-16
4.3.4	BENDER ELEMENT	4-19

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA ii</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA ii		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA ii								
FECHA: 2007-09-19								

4.3.5 MÓDULO DE CORTE MÁXIMO,  $G_{MÁX}$  4-20

## **5 DEFINICIÓN DEL PERFIL GEOTÉCNICO 5-1**

<b>5.1</b>	<b>DETERMINACION DEL NIVEL DE ROCA BASE</b>	<b>5-1</b>
<b>5.2</b>	<b>IDENTIFICACIÓN Y CORRELACIONABILIDAD DE CONJUNTOS ESTRATIGRÁFICOS</b>	<b>5-1</b>
5.2.1	PRINCIPIOS DE CORRELACIÓN	5-1
5.2.2	MARCADORES ESTRATIGRÁFICOS (TURBAS, ARENAS)	5-3
5.2.3	MATERIALES CARACTERÍSTICOS	5-4
<b>5.3</b>	<b>ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<b>5-7</b>
<b>5.4</b>	<b>SECCIONES DE ANÁLISIS DE RESPUESTA</b>	<b>5-8</b>
<b>5.5</b>	<b>SISMOS DE DISEÑO</b>	<b>5-10</b>

## **6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 6-1**

## **7 LIMITACIONES 7-1**

## **8 BIBLIOGRAFÍA 8-1**

### **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1 Programa de investigación geotécnica.....	3-2
Tabla 2 Perforaciones realizadas.....	3-4
Tabla 3 Resumen de resultados de ensayos de laboratorio estáticos.....	4-2
Tabla 4 Programación de ensayos de laboratorio dinámicos.....	4-12
Tabla 5. Materiales representativos del perfil geotécnico .....	5-6

### **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Esquema del ensayo Down Hole. Tomado de "Determinación de las propiedades dinámicas de los suelos".....	4-15
<b>Figura 2.</b> Registro e identificación de tiempos de llegada de ondas P y S. "Determinación de las propiedades dinámicas de los suelos". .....	4-15
<b>Figura 3.</b> Esquema de interpretación del ensayo de refracción sísmica.....	4-16
Figura 4. Esquema del estado de esfuerzos de un ensayo triaxial cíclico. (a) Condiciones deseables; (b) Condiciones de esfuerzo equivalentes para un plano a 45°, usadas para la realización de los ensayos de esta investigación. ....	4-18

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA iii FECHA: 2007-09-19	

**Figura 5.** (a) Detalle del montaje del Bender Element para el ensayo de una muestra de suelo. (b) Esquema del equipo de Bender Element utilizado en ensayos triaxiales o de columna resonante. Tomado de "Lab measurements of  $G_{max}$  using bender elements". (Dyvik y Madshus, 1985). ..... 4-19  
**Figura 6.** Ejemplo de correlación estratigráfica..... 5-2

## LISTA DE ANEXOS

### TOMO (2 DE 3)

ANEXO 1 REGISTROS DE PERFORACIÓN INFORMACIÓN DE REFERENCIA RECOPIADA  
 ANEXO 2 REGISTROS DE PERFORACIÓN DEL PROYECTO Y ENSAYOS DE LABORATORIO

### TOMO (3 DE 3)

ANEXO 3 LOCALIZACION PLANTA-PERFIL PERFORACIONES RECOPIADAS Y DEL PROYECTO  
 ANEXO 4 INFORME DE RECONOCIMIENTO GEOLOGICO  
 ANEXO 5 ENSAYOS DE CAMPO DOWNHOLE  
 ANEXO 6 REGISTROS LINEAS DE REFRACCION SISMICA  
 ANEXO 7 SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES (SEVs)  
 ANEXO 8 INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA  
 ANEXO 9 MODELO GEOTECNICO  
 ANEXO 10 AYUDA DE MEMORIA REUNIÓN AGOSTO 2 DE 2007

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 1-1 FECHA: 2007-09-19	

## 1 GENERALIDADES

Uno de productos esperados en el estudio, es la caracterización y zonificación geotécnica de la Línea Matriz de 78” TIBITOC-CASABLANCA. En el presente informe, se presenta la metodología usada y el modelo geotécnico del trazado, el cual servirá como base para la elaboración de los análisis de respuesta sísmica e interacción sísmica suelo tubería.

Se presenta una caracterización geotécnica de los materiales encontrados, tanto en la información de referencia consultada, como en la exploración del subsuelo ejecutada en el desarrollo del contrato. Adicionalmente se expresan los posibles problemas que se pueden generar en la línea ante cargas sísmicas.

El modelo geotécnico presentado está sustentado con la información geotécnica recopilada y la investigación geotécnica efectuada para el proyecto mediante perforaciones, ensayos de campo y laboratorio, ensayos geofísicos y conceptos geológicos ejecutados.

### 1.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

La EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ – E.S.P. suscribió con el CONSORCIO TIBITOC 2006 el Contrato 1-02-25400-514-2006 para realizar los “Estudios y Diseños para la Rehabilitación de la Línea Red Matriz de 78” TIBITOC – CASABLANCA”.

El alcance detallado de la caracterización geotécnica (Producto 2) de acuerdo con el alcance de los términos de referencia del contrato, incluye los siguientes subproductos, los cuales están contenidos en el presente documento.

- Informe del programa de la investigación del subsuelo ejecutada y recopilada
- Informe de la investigación del subsuelo ejecutada y recopilada
- Informe de la evaluación del estado geotécnico general de la línea
- Zonificación y caracterización geotécnica detallada de la Línea y el modelo geotécnico, con planos de la zonificación y el perfil geotécnico detallado de la línea.

Como parte de los estudios geotécnicos realizados se presentó con anterioridad a este informe el correspondiente a la propuesta de exploración del subsuelo (Documento RTC-IF-GT-001 v.1).

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	  <b>SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A.</b> <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	<b>VERSIÓN: 1</b>
		<b>PÁGINA 1-2</b> <b>FECHA: 2007-09-19</b>	

## 1.2 ANTECEDENTES

En el año 2001 se desarrollo el “Estudio para la evaluación del estado de la red matriz de distribución del sistema de acueducto y formulación de un programa estructurado para su rehabilitación”, elaborado por el Ingeniero Jairo René Rojas. A partir de la información recopilada y de los sitios identificados, la presente consultoría complementará, para la Línea Tibitoc – Casablanca, dicho estudio con la ejecución de la exploración del subsuelo, ensayos de laboratorio y de campo a lo largo del trazado de la tubería necesarios para minimizar la incertidumbre en las propiedades estáticas y dinámicas y mejorar la confiabilidad de las soluciones.

## 1.3 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

### 1.3.1 Recopilación y análisis de Información

En la actividad de recopilación y análisis de información geotécnica para el proyecto, se tomaron como referencia varios estudios existentes, disponibles para la ciudad de Bogotá. A continuación se relacionan los más importantes.

- Microzonificación Sísmica de Bogotá, MZSB (INGEOMINAS-UNIANDES, 1997)
- Sistema de Información para Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá (SIRE)
- Registros del sistema de información geotécnico SISGEO de la EAAB
- Modelo Geotécnico de la Sabana de Bogotá (Sociedad Colombiana de Geotecnia, 2006)
- Proyecto Metro
- Estudios realizados por Empresas de Consultoría Privadas.

### 1.3.2 Metodología consecución perfil geotécnico

La metodología empleada consistió de los siguientes pasos:

- Recopilación y revisión de planos as-built, en planta y perfil, de la línea de Red Matriz Tibitoc–Casablanca a lo largo de su recorrido.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2</b> <b>INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y</b> <b>ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 1-3 FECHA: 2007-09-19	

- Revisión de los mapas de zonificación geotécnica, geológica y sísmica, junto con el mapa de isoespesores de sedimentos para la ciudad de Bogotá, teniendo en cuenta el alineamiento de la tubería.
- Recopilación y revisión de información geotécnica disponible de estudios previos realizados por la EAAB, IDU, DPAE, INGEOMINAS y entidades privadas, en una franja de 500m a lado y lado del lineamiento de la tubería de Red Matriz.
- Recopilación y montaje de orto-fotos en una franja a lo largo del trazado de la línea.
- Generación de planos en planta y perfil con la información geotécnica recopilada en todo el recorrido de la Línea Tibitoc-Casablanca.
- Planteamiento de la propuesta de exploración del subsuelo con base en la información geotécnica recopilada, sectores críticos y sectores con información geotécnica insuficiente para dar cumplimiento con el alcance del estudio.
- Visitas de campo para el reconocimiento del recorrido de la tubería y refinamiento de la propuesta preliminar de exploración del subsuelo.
- Selección de muestras para ensayos de caracterización estática y dinámica.
- Elaboración de modelo geotécnico preliminar basado en la exploración realizada y en la recopilación de información.
- Caracterización de los materiales presentes en el modelo geotécnico.
- Zonificación geotécnica del trazado de la línea.

### 1.3.3 Caracterización geotécnica estática y dinámica

Se elaboró un plan de ensayos de campo y laboratorio que estuvo orientado principalmente hacia los siguientes objetivos generales:

1. Caracterización geotécnica general del corredor por donde pasa la tubería Red Matriz Tibitoc-Casablanca.
2. Caracterización geotécnica estática de la estratigrafía encontrada a lo largo del trazado de la tubería en las actividades de exploración del subsuelo,
3. Caracterización dinámica de los depósitos de suelos más representativos

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 1-4 FECHA: 2007-09-19	

Con base en la información geotécnica (estática y dinámica) recopilada, se establecieron, en principio, 5 modelos bidimensionales del subsuelo cada uno aproximadamente de 10.5 km de longitud a lo largo del eje de la tubería del orden de 53.2 km. Estos modelos permitieron plasmar la secuencia estratigráfica y las propiedades geomecánicas estáticas y dinámicas, representativas de cada material para acometer posteriormente el análisis dinámico, habiéndose redefinido 16 secciones de análisis de respuesta bidimensional, al tener en cuenta los cambios de estratigrafía implícitos y de rigidez de los materiales, el efecto de los cambios topográficos y de dirección de la tubería entre tramos, y las limitaciones del número de nudos de las secciones de análisis.

#### 1.3.4 Definición del perfil geotécnico

Siguiendo la metodología anteriormente descrita en el numeral 1.3.2, se estableció la localización de las perforaciones a ejecutarse para el desarrollo del presente estudio. Así mismo, se definieron los sitios de ejecución de los ensayos geofísicos consistentes en líneas de refracción sísmica, sondeos eléctricos verticales y down-hole, bajo el criterio de optimización de las cantidades de ensayos y perforación establecidas en los términos de referencia del contrato.

Con base en los resultados obtenidos del programa de exploración y la información recopilada, se conformó un modelo geotécnico, a lo largo del trazado, que puede ser empleado para realizar las modelaciones numéricas, tanto bidimensionales como tridimensionales, orientadas a establecer la respuesta dinámica del corredor de la tubería y la interacción sísmica de la misma con el suelo circundante

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 2-1 FECHA: 2007-09-19	

## 2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Con el fin de optimizar los recursos disponibles en cuanto a información geotécnica y bibliográfica, se realizó la siguiente recopilación de información:

### 2.1 REVISIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Con el fin de definir el modelo geotécnico preliminar y plantear el programa de exploración del subsuelo, se efectuó una recopilación y revisión de información geotécnica disponible de estudios previos realizados por la EAAB, IDU, DPAE, INGEOMINAS y entidades privadas, en una franja de 500m a lado y lado del alineamiento de la tubería de Red Matriz. Los registros de perforación y resumen de la caracterización geotécnica encontrada de los sondeos usados como información de referencia para conformar el modelo geotécnico, son presentados en el ANEXO 1.

A continuación se relacionan los estudios recopilados, con la información encontrada:

#### 2.1.1 Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, MZSB, (Ingeominas Y Universidad de los Andes, 1997)

Dentro de la información disponible en los subproyectos del estudio de MZSB se empleó la siguiente: ubicación del proyecto dentro de las zonas de respuesta sísmica de la ciudad, profundidad de la roca dentro del mapa de espesor de sedimentos y secuencia estratigráfica del subsuelo en diferentes sectores de la ciudad (con base en la información suministrada por trece (13) diferentes perforaciones entre 20m y 180m de profundidad). Se debe resaltar que los primeros 17Km del trazado no se encuentran dentro del mapa, por encontrarse fuera de los límites de la ciudad, y por tal razón se propuso una cantidad considerable de sondeos y ensayos geofísicos en este sector.

##### 2.1.1.1 Registros de perforación

Dentro del desarrollo del estudio de MZSB para la ciudad se realizaron treinta y ocho (38) sondeos a diferentes profundidades en varios puntos de Bogotá, trece (13) de los cuales fueron utilizados, de acuerdo con su cercanía a los tramos en evaluación de la línea Tibitoc-

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2</b> <b>INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y</b> <b>ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 2-2 FECHA: 2007-09-19	

Casablanca, para definir el modelo geotécnico preliminar. Estos trece sondeos tienen profundidades entre 20m y 180m y corresponden a las siguientes perforaciones: N1, N2, N4, N9, N9A, N19, N21, N22, N24, N27, N28, N29 y N48.

### 2.1.1.2 Profundidad del basamento rocoso

Según el Mapa de espesor de sedimentos tomada del estudio de MZSB, se construyó la geometría del basamento rocoso para cada uno de los sectores en análisis, alcanzando en algunos tramos profundidades hasta de 250 metros.

### 2.1.2 Registros del sistema de información geotécnico SISGEO de la EAAB

Esta información consiste en perforaciones con profundidades variables entre 10m y 50m, las cuales incluyen descripción geotécnica y eventualmente propiedades mecánicas estáticas y dinámicas.

- Información recopilada de los sitios identificados en el “Estudio para la evaluación del estado de la red matriz de distribución del sistema de acueducto y formulación de un programa estructurado para su rehabilitación” elaborado por el Consultor Jairo René Rojas en el año 2001 para la línea Tibitoc-Casablanca
- Información del sistema de información geotécnico SISGEO de la EAAB, la cual consiste en 173 perforaciones con profundidades variables entre 1.5m y 50m, a lo largo del trazado de la tubería, realizadas por varios consultores entre los años 1983 y 2003.

### 2.1.3 Modelo Geotécnico de la Sabana de Bogotá (Sociedad Colombiana de Geotecnia, 2006)

Modelo geotécnico de la Sabana de Bogotá, realizado por la Sociedad Colombiana de Geotecnia en el año 2006. De este estudio se extrajo la información correspondiente a los registros de perforaciones cercanos al trazado de análisis, del cual se tomaron 38 perforaciones con profundidades variables entre 20m y 130m. En estos registros se pudo obtener información de la caracterización de los suelos con propiedades índice y complementada en muchos casos con caracterización dinámica por medio de mediciones de velocidades de onda de corte realizadas en ensayos Down Hole.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 2-3 FECHA: 2007-09-19	

#### 2.1.4 Proyecto Metro

Se tomó la información de siete (7) perforaciones con una profundidad mayor a 50m, de donde se obtuvieron caracterizaciones para la elaboración del modelo geotécnico de la Sección ubicada en la calle 68 con Avenida Boyacá y en la Avenida Primero de Mayo con Avenida Boyacá.

#### 2.1.5 Estudios realizados por Empresas de Consultoría Privadas

Entre ellos se pueden citar los siguientes:

- Estudio de suelos, diagnóstico geotécnico y recomendaciones para la Tubería Tibitoc en 15 sectores, entre las abscisas K24+430 y K2+900, realizado por la firma LFO Ltda. en el año 2005, del cual se tomaron 36 perforaciones entre 7.3m y 20.6m.
- Estudios y diseños para la troncal de la Avenida Boyacá realizado por el Consorcio La Vialidad Ltda y Civiltec Ltda. en el año 1999, el cual aportó 51 perforaciones entre 6m y 31m, entre la Autopista Sur y la Avenida Suba con Avenida Boyacá.
- Estudios y diseños estructurales de la avenida ferrocarril del sur realizado por Tecnoconsulta Ltda. en el año 1999. con información de 3 perforaciones entre 15m y 30m, localizadas sobre la Avenida Ferrocarril a la altura del Río Tunjuelo.
- Estudio de la adecuación vial del ferrocarril del sur, intersección por la Avenida Boyacá, realizado por Tecnoconsulta Ltda. en el año 2000, de donde se tomaron 2 perforaciones entre 10m y 25m, localizadas en la intersección de la Avenida el Ferrocarril con Avenida Boyacá.
- Estudios y diseños para la regulación vial y adecuación de la calle 80 al sistema Troncal, realizado por el Consorcio Restrepo y Uribe Ltda. y Sesac Ltda, en el año 1997, con 2 perforaciones de 45m de profundidad en el puente de la calle 80 con avenida Boyacá.
- Estudio de suelos y cimentaciones para el puente de la calle 153 con autopista norte, unión temporal Constructora INECON-TE Ltda y Estudios Técnicos S.A., 1999, con 4 sondeos entre 20 y 40m.
- Estudio de instrumentación de puentes vehiculares dentro del SAP – IDU para Bogotá fase I, sector sobre la Autopista Norte, entre calles 170 y 127 (CIF – Ingeniería y Georriesgos IGR, 2002).

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 2-4 FECHA: 2007-09-19	

- Estudio de respuesta dinámica del subsuelo para el puente de la Avenida Suba con Avenida Boyacá, realizado por el Consorcio Alianza Suba Tramo 2 e Ingeniería y Georriesgos IGR, en el año 2003, del cual se tomaron 8 perforaciones con información de ensayos Down Hole.
- Estudio de suelos para la construcción del Intercambiador La Caro, realizado por Áreas Ltda en Marzo de 1995, del cual se tomaron 6 sondeos con profundidades variables entre 3m y 27m y 6 barrenos con 8m de profundidad máxima.
- Estudio de suelos para la construcción del Intercambiador Los Clubes, realizado por Áreas Ltda en Mayo de 1995, del cual se tomaron 2 sondeos con profundidades variables entre 38m y 45m, y 4 barrenos con 8m de profundidad máxima.
- Estudio de suelos para la construcción del Intercambiador Sindamanoy, realizado por Áreas Ltda en Mayo de 1995, del cual se tomaron 2 sondeos con profundidades variables entre 42m y 45m, y 3 barrenos con 8.2m de profundidad máxima.
- Estudio de suelos para la construcción del Puente Peatonal, realizado por Civilia y Áreas Ltda en Noviembre de 2006, del cual se tomaron 2 sondeos con profundidades de 30m y 7 barrenos con 7m de profundidad máxima.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 3-1 FECHA: 2007-09-19	

### 3 METODOLOGIA PARA LA CONSECUION DEL PERFIL GEOTÉCNICO

#### 3.1 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

De acuerdo con la recopilación, revisión y análisis de información, después de implementada la metodología presentada en el numeral 1.3.2 de este informe, en la Tabla 1 se muestra el programa detallado de investigación geotécnica para la Línea Red Matriz Tibitoc-Casablanca, en la cual se describe la localización, tipo de investigación de campo realizada y justificación de cada uno de los diferentes puntos evaluados a lo largo del trazado de estudio, cuya cantidad y profundidad están acordes con los términos de referencia. Los registros de perforación realizados para el proyecto, se presentan en el ANEXO 2.

Adicionalmente, en la Tabla 2, se presenta la ubicación (abscisa, cota) y profundidad de cada una de las perforaciones mecánicas realizadas para la investigación geotécnica. En los planos presentados en el ANEXO 3, en donde se detalla la localización en planta y perfil de la información geotécnica recopilada y generada directamente para el proyecto.

En términos generales, se busco optimizar las cantidades de ensayos geofísicos y perforaciones disponibles para completar la información geotécnica en tramos con baja densidad de datos o deficiencia de ensayos, así como en sitios críticos del trazado, con sectores de geometrías complejas y zonas con estratos arenosos potencialmente licuables.

Para la localización de perforaciones profundas (>20m), se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

1. Sector Norte: (K-1+100 – K 4+500). No existía información disponible por lo cual se realizó una priorización en esta zona.
2. Sector Norte: (K4+500 - K36+000): Se recopiló una buena cantidad de información de estudios de efectos locales para edificaciones y puentes.
3. Sector Avenida Boyacá (K36+000 - K50+600): Se propusieron varios sitios de exploración por ausencia de información disponible.
4. Sector Sur (K50+600 - K52+200): El trazado de la tubería en su últimos 2 km está muy cercano a la línea Silencio - Casablanca que actualmente es objeto de un estudio similar por parte de la firma HVM Ingenieros, por lo cual se asumió que se contará con la información que resulte de la exploración programada en dicho proyecto.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2</b> <b>INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y</b> <b>ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 3-2</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 3-2		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 3-2								
FECHA: 2007-09-19								

**Tabla 1** Programa de investigación geotécnica

	No.	Sitio	Justificación
<b>Perf. Mecánicas 10m</b>	1	Válvula V1. K0-900	Caracterización del cerro de donde arranca el trazado
	2	Válvulas V3-V9. K0-900	Caracterización del cerro de donde arranca el trazado
	3	0+000	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	4	K4+900	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	5	K5+400	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	6	K7+700	En la zona el tubo aparece un revestimiento para el tubo. Caracterización para la modelación numérica.
	7	K9+200	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	8	K12+300	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	9	K16+700	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	10	K18+500	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	11	K18+900	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	12	K32+000	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	13	K32+900	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	14	K46+800	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	15	K48+300	Para establecimiento del modelo geotécnico.
<b>Perf. Mecánicas 20m</b>	1	En el depósito que se encuentra bajando el cerro de Tibitoc. K0+100	Caracterización del cerro de donde arranca el trazado
	2	En el depósito donde se encuentra la interconexión V7. K0+200	Caracterización dinámica del sitio de interconexión para modelación numérica.
	3	En el predio de la Sra. Cecilia Lozano. Aprox K0+500	El trazado de la tubería va paralelo a un cerro. Efectos locales por topografía.
	4	En el predio de la Sra. Cecilia Lozano. K1+000	El trazado de la tubería va paralelo a un cerro. Efectos locales por topografía.
	5	K1+500	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	6	K2+650	Posibles arenas licuables. La tubería pasa en sifón por el antiguo Río Teusacá. Existe una lámina de aprox 7m de agua por encima del tubo.
	7	K4+000	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	8	K6+500	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	9	K8+200	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	10	K8+700	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	11	K10+800	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	12	K12+800	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	13	K14+800	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	14	K16+200	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	15	K17+300	La tubería cambia su alineamiento en planta.
	16	K18+100	La tubería cambia su alineamiento en planta.
	17	K21+000	Para establecimiento del modelo geotécnico. Posible presencia de turbas.
	18	K23+500	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	19	K25+200	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	20	K26+600	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	21	K29+900	La tubería cambia su alineamiento 90° en planta.
	22	K30+400	Puede marcar una transición por la cercanía al Canal Cordoba
	23	K36+500	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	24	K37+400	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	25	K39+000	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	26	K42+000	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	27	K43+300	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	28	K46+000	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	29	K47+400	Para establecimiento del modelo geotécnico.
	30	K51+100	Para establecimiento del modelo geotécnico.
<b>Perf. Mecánicas 30m</b>	1	K3+200	Caracterización dinámica para modelación numérica
	2	K6+000	Caracterización dinámica para modelación numérica
	3	K15+500	Puede marcar una transición entre la zona de humedales y los suelos del norte
	4	K22+800	Caracterización dinámica para modelación numérica. Posibles depósitos licuables por presencia del Canal Torca
	5	K28+300	Caracterización dinámica para modelación numérica
	6	K30+900	Posibles arenas licuables. La tubería pasa por el antiguo Canal Cordoba.
	7	K34+100	La tubería pasa por una zona de humedales. Caracterización dinámica para la modelación numérica.
	8	K36+100	Caracterización dinámica para modelación numérica
	9	K41+600	La tubería pasa por el Canal San Francisco
	10	K42+800	La tubería pasa por el Río Fucha

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2</b> <b>INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y</b> <b>ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 3-3</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 3-3		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 3-3								
FECHA: 2007-09-19								

**Tabla 1** Programa de investigación geotécnica (Continuación)

	No.	Sitio	Justificación
<b>Perf. Mecánicas 50m</b>	1	Cruce Río Teusacá. K2+50	Posibles arenas licuables. La tubería pasa en sifón por el antiguo Río Teusacá. Existe una lámina de aprox 7m de agua por encima del tubo.
	2	Cruce Canal Salitre. K35+500	Posible depósitos de arenas licuables. La tubería sale a la superficie.
<b>Down Hole</b>	1	S3-20. En el predio de la Sra. Cecilia Lozano. Aprox K0+500	Caracterización dinámica del cerro de donde arranca el trazado. Efectos topográficos por ser zona de piedemonte
	2	S4-20. En el predio de la Sra. Cecilia Lozano. Aprox K1+000	El trazado de la tubería va paralelo a un cerro. Efectos locales por topografía.
	3	S1-30m. K3+200	Caracterización dinámica para modelación numérica
	4	S2-30m. K6+000	El trazado pasa por debajo de un puente vehicular. Caracterización dinámica para modelación numérica
	5	S9-20m. K8+700	Para poder realizar la agrupación de los depósitos por velocidades de onda de corte.
	6	S3-30m. K15+500	Puede marcar una transición entre la zona de humedales y los suelos del norte. Caracterización dinámica para modelación numérica.
	7	S4-30m. K22+800	Caracterización dinámica para modelación numérica
	8	S5-30m. K28+300	La tubería pasa por una zona de humedales. Caracterización dinámica para la modelación numérica.
	9	S6-30m. K30+900	La tubería pasa por una zona de humedales. Caracterización dinámica para la modelación numérica.
	10	S7-30m. K34+100	Posibles arenas licuables. La tubería pasa por el Río Juan Amarillo
	11	S8-30m. K36+100	La tubería pasa por el Canal San Francisco.
	12	S9-30m. K41+600	Posibles arenas licuables. La tubería pasa por el Río Fucha
	13	S10-30m. K42+800	La tubería pasa por el Río Fucha
	14	S10-20m. K10+800	Caracterización dinámica para modelación numérica
	15	S11-20m. K12+800	Caracterización dinámica para modelación numérica
	16	S13-20m. K14+800	Caracterización dinámica para modelación numérica
	17	S15-20m. K17+300	Caracterización dinámica para modelación numérica
	18	S17-20m. K21+000	Caracterización dinámica para modelación numérica
<b>Lineas Sísmicas</b>	1	K0-370 - K0-480 paralelo al eje del tubo	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	2	K0-20 - K0-130 perpendicular al eje tubo	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	3	K0+380 perpendicular al eje tubo	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	4	K1+900 perpendicular al eje tubo	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	5	K4+400 - K4+500 inclinado al eje tubo	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	6	K6+500 - K6+600 paralelo al eje del tubo	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	7	K8+100 - K8+200 paralelo al eje del tubo	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	8	K9+450 - K9+550 paralelo al eje del tubo	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	9	K10+800 - K10+900 paralelo al eje tubo	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	10	K14+450 - K14+550 paralelo al eje tubo	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	11	K16+115 - K16+225 paralelo al eje tubo	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	12	K18+050 perpendicular al eje tubo	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	13	K32+700 - K32+810 inclinado al eje tubo	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	14	K33+600 - K33+700 paralelo al eje tubo	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 3-4</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 3-4		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 3-4								
FECHA: 2007-09-19								

**Tabla 1** Programa de investigación geotécnica (Continuación)

	No.	Sitio	Justificación
Sondeos Eléctricos Verticales	1	K1+150	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	2	K2+850	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	3	K7+850	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	4	K10+250	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	5	K13+950	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	6	K19+500	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	7	K31+700	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	8	K35+000	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica
	9	K51+500	Determinación de la profundidad del basamento rocoso y caracterización dinámica para modelación numérica

**Tabla 2** Perforaciones realizadas

SONDEO	ABSCISA	Down Hole	Prof.(m)	CONS
S-4	K0+200		16	1
S-5A	K0+500	DH	20	2
S-5N	K0+650		30	3
S-7	K1+000		20	4
S-7A	K1+500	DH	20	5
S-8	K2+050	DH	50	6
S-9	K2+650		20	7
S-9.1	K3+200	DH	30	8
S-10	K3+500		10	9
S-10A	K4+000		20	10
S-12	K5+000		10	11
S-13	K5+400		10	12
S-13N	K6+000		20	13

SONDEO	ABSCISA	Down Hole	Prof.(m)	CONS
S-29	K18+100		20	29
S-30	K18+900		10	30
S-31	K21+000	DH	20	31
S-32	K22+800	DH	30	32
S-33	K23+500		20	33
S-34	K25+200		20	34
S-35	K26+600		20	35
S-36	K28+300	DH	30	36
S-37	K29+900		20	37
S-38	K30+400		20	38
S-39	K30+900	DH	30	39
S-40	K32+000		10	40
S-41	K32+900		10	41

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 3-5 FECHA: 2007-09-19	

SONDEO	ABSCISA	Down Hole	Prof.(m)	CONS
S-14	K6+200	DH	30	14
S-15	K6+500		18.5	15
S-16	K7+700		10	16
S-16A	K8+300		20	17
S-17	K8+700	DH	20	18
S-17A	K9+500		10	19
S-18	K10+800	DH	20	20
S-19	K12+300		10	21
S-20	K12+800	DH	12	22
S-23	K14+300		10	23
S-24	K14+800	DH	20	24
S-25	K15+500	DH	30	25
S-26	K16+200		20	26
S-27	K16+700		10	27
S-28	K17+300	DH	20	28

SONDEO	ABSCISA	Down Hole	Prof.(m)	CONS
S-42	K34+100	DH	30	42
S-42N	K35+400		10	43
S-43	K35+500	DH	50	44
S-44	K36+100	DH	30	45
S-45	K36+500		20	46
S-46	K37+400		20	47
S-47	K39+000		20	48
S-48	K41+600	DH	30	49
S-49	K42+000		20	50
S-50	K42+800	DH	30	51
S-51	K43+300		20	52
S-52	K46+000		20	53
S-53	K46+800		20	54
S-54	K47+400		20	55
S-56	K51+100		20	56
<b>TOTAL</b>			<b>1156.5 m</b>	

### 3.2 EXPLORACION GEOLOGICA Y GEOFISICA

A partir del análisis geológico y geomorfológico realizado a lo largo del trazado de la línea (véase ANEXO 4), se observa que parte del alineamiento de la tubería transcurre por un sector de pendientes fuertes conformado por rocas sedimentarias de edad Cretácea y Terciaria, el Grupo Guadalupe y Formación Guaduas, y otra parte de la tubería esta alineada sobre un

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  <b>SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A.</b> <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2</b> <b>INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y</b> <b>ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 3-6 FECHA: 2007-09-19	

relieve plano conformado por rellenos de arenas, gravas y arcillas con turbas pertenecientes a la Formación Sabana con depósitos que oscilan desde los 15m hasta los 250 m.

La tubería en gran parte está fundada sobre los depósitos de la Formación Sabana, pero en sectores como las vecindades al tanque Alto de Tibitoc, las cercanías a Hatogrande, la zona K7+100 a K8+000 y el sector de Almaviva y La Caro la tubería está fundada en roca o en depósitos de poco espesor.

Las zonas cercanas al piedemonte de los cerros de Tibitoc y vecindades a Hatogrande, así como las cercanías a Almaviva y La Caro, los rellenos de la Sabana no encuentran mayor potencia, estando hasta profundidades que oscilan entre 15 y hasta los 90 m de profundidad.

Debido a las incertidumbres asociadas con la determinación de la profundidad del basamento rocoso en los primeros kilómetros del trazado, y teniendo en cuenta la altísima influencia que presenta este parámetro como elemento de entrada en las modelaciones, fue necesario recurrir a herramientas tales como conceptos de geología y ensayos geofísicos para su determinación. Véase Tabla 1. Se realizó un total de veinte (20) ensayos down-hole (véase registros ensayos de campo en el ANEXO 5), catorce (14) líneas de refracción sísmica de la cuales se realizaron cuatro (4) en dirección perpendicular al eje de la tubería (véase registros ensayos de campo en el ANEXO 6) y nueve (9) sondeos eléctricos verticales a partir de la mayoría de los cuales fue posible definir la profundidad del basamento rocoso o la presencia de un material residual (véase registros ensayos de campo en el ANEXO 7), indicado por la obtención de una alta impedancia o contraste de las velocidades de onda de corte registradas en cada uno de los perfiles investigados.

El informe de prospección sísmica con la interpretación de los ensayos geofísicos (downhole, línea de refracción sísmica y sondeo eléctrico vertical) realizados, el detalle de los equipos, recursos y metodología usada, se presenta en el ANEXO 8.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 4-1 FECHA: 2007-09-19	

## 4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA ESTÁTICA Y DINÁMICA

### 4.1 PROGRAMA DE ENSAYOS DE LABORATORIO

El plan de ensayos de campo y laboratorio estuvo orientado principalmente hacia los siguientes objetivos generales:

1. Caracterización geotécnica general: del corredor por donde pasa la tubería Red Matriz Tibitoc-Casablanca, la cual se basa principalmente, de acuerdo con el tipo de suelo encontrado, en ensayos de laboratorio de clasificación de suelos como contenido de humedad, índice de plasticidad, granulometría, lavado sobre tamiz No.200, contenido de materia orgánica y peso unitario. Esta actividad sirvió como insumo principal para definir el modelo geotécnico general y los análisis geotécnicos estáticos y dinámicos de la tubería.
2. Caracterización geotécnica estática de la estratigrafía encontrada a lo largo del trazado de la tubería en las actividades de exploración del subsuelo, la cual está encaminada a determinar las propiedades mecánicas estáticas y comportamiento esfuerzo-deformación del modelo geotécnico de análisis, mediante la ejecución de ensayos de campo como veleta de corte (VT) y penetración estándar (SPT), y ensayos de laboratorio de compresión inconfiada. Esta actividad será de utilidad para el análisis de estabilidad estática y diseños geotécnicos de la tubería ante cargas y condiciones externas sobre su trazado, o de requerirse obras de estabilización para tramos de la línea; Así mismo, servirá como complemento del modelo de análisis estático y dinámico, teniendo en cuenta que todos los programas numéricos a implementar requieren de parámetros geotécnicos específicos.
3. Caracterización dinámica de los depósitos de suelos más representativos, consistentes en ensayos de laboratorio como triaxial cíclico y bender element (velocidad de onda de corte en laboratorio), y ensayos de campo como dow-nhole y líneas de refracción sísmica. Esta actividad está orientada a determinar el comportamiento dinámico del subsuelo ante la acción de cargas sísmicas, para posteriormente realizar la modelación numérica de respuesta sísmica local e interacción dinámica suelo-tubería.

Para cumplir con los objetivos establecidos de los numerales 1 a 3 se siguió la siguiente metodología general de muestreo y ensayos de campo y laboratorio:

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 4-2 FECHA: 2007-09-19	

- Se realizaron toma de muestras de suelo alteradas (barreno o cuchara partida) o inalteradas (bloque o tubo Shelby), máximo cada 2.0m de avance de la perforación o cuando exista un cambio de estrato. Las muestras inalteradas en tubo Shelby se tomaron con una frecuencia no superior a 4.0m de avance del sondeo, siempre y cuando las condiciones geotécnicas lo permitieron ( $N_{spt} < 8$ ); sin embargo, para profundidades superiores a 20m, el muestreo inalterado se programó para cada 5.0m de avance de la perforación.
- Durante las actividades de exploración del subsuelo se realizaron ensayos de campo de veleta de corte (VT) y penetración estándar (SPT), mínimo cada 2.0m de avance de la perforación o cuando exista un cambio de estrato. Los ensayos de veleta de corte y penetrómetro de bolsillo se realizaron preferencialmente en los estratos de arcillas, turbas y limos de consistencia blanda a media. El ensayo de penetración estándar se ejecutó principalmente en estratos de rellenos heterogéneos, arenas y gravas, así como en arcillas y limos de consistencia muy firme a dura ( $N_{spt} > 15$ ).
- En la etapa de ensayos de laboratorio, se programaron ensayos de clasificación de suelos por lo menos para el 50% de las muestras alteradas e inalteradas obtenidas de la exploración del subsuelo, con el fin de realizar la caracterización geotécnica general del corredor por donde pasa la tubería Red Matriz Tibitoc-Casablanca.

Los ensayos de laboratorio específicos para las actividades de caracterización geotécnica estática y dinámica, se programaron a medida que se presentó un avance en la definición del modelo geotécnico.

El programa de ensayos de laboratorio y los correspondientes resultados de laboratorio obtenidos sobre las muestras de suelos de los sondeos del proyecto, siguiendo las anteriores premisas, se presenta en la Tabla 3.

Adicionalmente, en la Tabla 4, se presenta la ubicación de la muestra, profundidad, presión de cámara y tipo de ensayo dinámico de laboratorio efectuado.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 4-3</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 4-3		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 4-3								
FECHA: 2007-09-19								

**Tabla 3** Resumen de resultados de ensayos de laboratorio estáticos

ID	SONDEO No.	ABSCISA	MUESTRA No.	Profundidad del estrato (m)	%PASA TAMIZ No. 4	% PASA TAMIZ No. 200	Humedad natural (wn)	Peso unit. húmedo (gr/cm3)	L.L. %	L.P. %	I.P. %	qu (kg/cm2)	CLASIF. USC
1	S - 04	K0+200	M-2	3.00 - 3.50	-	76.3	35.90		27.00	14.60	12.40	-	CL
			M-4	6.00 - 6.50	-	-	152.00		109.50	31.00	78.50	-	CH
			M-7	10.50 - 11.00	-	-	251.40		387.40	147.70	239.70	-	MH-OH
			M-9	15.50 - 16.00	-	22.9	23.70		29.40	19.40	10.00	-	SC
2	S - 05A	K0+500	M-1	0,50 - 1,00	-	-	35.6		71.2	27.5	43.6	0.83	CH
			M-3	3,00 - 3,50	-	-	30.1		64.5	19.1	45.4	1.20	CH
			M-7	9,80 - 10,30	-	-	151.2		185.0	89.5	95.4	0.39	MH - OH
			M-9	13.20 - 13.70	-	-	18.2		-	-	-	-	SM
			M-12	19.10 - 19.60	-	97.8	27.0		52.4	17.5	34.9	-	CH
3	S - 05N	K0+650	M-1	0,50 - 1,00	-	-	24.7		57.8	21.3	36.5	1.74	CH
			M-3	3,00 - 3,50	-	-	32.0		55.5	20.8	34.7	0.55	CH
			M-5	6,40 - 6,90	-	-	172.2		252.1	113.3	138.9	-	MH - OH
			M-7	9,80 - 10,40	-	-	40.2	1.77	56.5	23.9	32.6	-	CH
			M-9	13.30 - 13.80	-	97.2	36.8	1.85	48.4	22.3	26.1	-	CL
			M-11	16.70 - 17.20	-	85.8	31.3	1.90	28.0	19.4	8.6	-	CL
			M-13	20.10 - 20.60	-	39.5	103.6	1.41	115.4	49.3	66.1	-	MH - OH
			M-15	23.50 - 24.00	59.0	18.6	23.9		-	-	-	-	GM
M-17	28.50 - 28.70	87.5	45.4	18.2		42.5	19.5	23.0	-	SC			
4	S - 07	K1+000	M-1	1.20 - 1.70	-	-	19.40		56.60	20.80	35.80	-	CH
			M-3	3.60 - 4.10	-	93.2	47.90		40.80	16.70	24.10	-	CL
			M-5	4.60 - 4.90	-	-	148.90		256.50	101.00	155.50	-	MH-OH
			M-7	9.80 - 10.30	-	-	161.10		207.90	78.00	129.90	-	MH-OH
			M-8	12.40 - 12.90	-	-	56.00		67.40	20.70	46.70	-	CH
			M-11	18.00 - 18.50	-	-	216.10		285.50	100.80	184.70	-	MH-OH
5	S - 07A	K1+500	M-2	3,00 - 3,50	-	-	34.5		34.5	64.0	21.6	0.82	CH
			M-6	9,80 - 10,30	-	-	18.7		36.3	20.1	16.2	-	CL
			M-8	12.80 - 13.30	-	-	182.7	1.20	324.3	169.2	173.1	-	MH - OH
			M-10	16.20 - 16.70	-	-	39.8	1.76	62.6	25.6	37.0	-	CH
			M-12	19.20 - 20.00	-	-	91.9	1.38	212.5	150.7	61.8	-	MH - OH
6	S - 08	K2+050	M-1	1,00 - 1,50	-	86.8	16.1	2.05	53.8	23.8	29.7	-	CH
			M-2	3,00 - 3,50	-	92.9	21.0	1.84	35.8	18.8	17.0	-	CL
			M-4	8,30 - 8,70	-	-	197.0	1.04	353.4	268.3	85.1	-	MH - OH
			M-6	13,90 - 14,40	-	-	61.4	1.15	61.4	86.3	50.2	-	MH - OH
			M-8	19,00 - 19,50	-	-	230.4		389.5	182.7	206.3	-	MH -

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 4-4</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 4-4		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 4-4								
FECHA: 2007-09-19								

**Tabla 3** Resumen de resultados de ensayos de laboratorio estáticos

ID	SONDEO No.	ABSCISA	MUESTRA No.	Profundidad del estrato (m)	%PASA TAMIZ No. 4	% PASA TAMIZ No. 200	Humedad natural (wn)	Peso unit. húmedo (gr/cm3)	L.L. %	L.P. %	I.P. %	qu (kg/cm2)	CLASIF. USC
													OH
			M-9	22,00 - 22,70	-	95.9	33.4	1.74	56.8	25.8	31.0	-	CH
			M-10	24,7 - 25,2	-	-	50.0	1.67	67.7	28.6	39.1	-	CH
			M-12	33,40 - 33,90	-	49.0	19.2		17.2	8.3	8.9	-	SC
			M-13	35,9 - 36,4	38.6	31.4	29.3		28.2	16.6	11.6	-	CL
			M-14	38,60 - 39,00	-	92.6	45.3	1.79	22.6	13.1	9.5	-	CL
			M-16	43,50 - 44,00	88.6	26.2	18.6		26.0	14.4	11.6	-	SC
			M-17	46,50 - 47,00	86.1	31.4	15.7		45.5	20.8	24.7	-	SC
7	S - 09	K2+650	M-1	1.20 - 1.70	-	-	18.30		71.60	24.70	46.90	-	CH
			M-3	4.00 - 4.50	-	-	26.50		64.00	20.20	43.80	-	CH
			M-5	8.00 - 8.50	-	-	19.80		250.30	110.60	139.70	-	MH-OH
			M-7	12.30 - 12.80	-	-	116.90		273.00	124.90	148.10	-	MH-OH
			M-9	17.80 - 18.30	-	92.9	27.00		35.20	26.40	8.80	-	CL
8	S - 09 - 1	K3+200	M-1	0.50 - 1.00	-	-	24.8		56.2	23.3	32.9	-	CH
			M-2	3,00 - 3,50	-	-	28.7		68.5	21.2	47.3	-	CH
			M-4	6.00 - 6.50	-	75.0	19.8		68.3	38.3	30.0	-	MH - OH
			M-7	11.90 - 12.40	-	84.5	31.7	1.86	22.9	16.8	6.1	-	CL
			M-9	14.90 - 15.40	-	-	229.9	1.21	219.5	143.1	76.4	-	MH - OH
			M-11	18.30 - 18.80	-	96.8	34.9	1.75	45.4	25.4	20.0	-	CL
			M-13	21.80 - 22.30	-	57.5	28.8		25.6	15.0	10.6	-	CL
			M-14	24.30 - 24.80	-	79.6	51.1	1.67	63.4	27.8	35.6	-	CH
			M-16	27.7 - 28.2	-	77.8	21.7	2.00	31.1	15.4	15.7	-	CL
9	S - 10	K3+500	M-1	0.80 - 1.30	-	93.3	23.70		67.40	22.70	44.70	-	CH
			M-4	5.9 - 6.40	-	83.1	21.80		24.00	14.90	9.10	-	CL
			M-6	9.50 - 10.00	-	-	65.60		124.80	47.10	77.70	-	CH
10	S - 10A	K4+000	M-1	0.90 - 1.40	-	79.7	17.7		17.7	51.8	20.0	-	CH
			M-3	3.80 - 4.00	-	49.1	24.6		24.6	23.4	15.3	-	SC
			M-5	8.00 - 8.50	-	-	72.4		83.5	25.0	47.4	-	CH
			M-7	11.00 - 11.50	-	26.6	24.6		25.0	16.8	8.2	-	SC
			M-9	15.10 - 15.60	-	92.8	51.7		66.4	33.9	32.5	-	MH - OH
11	S - 12	K5+000	M-1	0.50 - 1.00	98.9	14.6	3.80		NL	NP	-	-	SM
			M-3	3.50 - 4.00	-	48.9	21.90		34.60	17.50	17.10	-	SC
			M-4	6.00 - 6.50	-	-	-	1.99	-	-	-	0.50	-
			M-6	9.00 - 9.50	-	10.0	22.50		NL	NP	-	-	SM
12	S - 13	K5+400	M-1	1.00 - 1.50	-	24.9	16.00		28.00	12.40	15.60	-	SC

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 4-5</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 4-5		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 4-5								
FECHA: 2007-09-19								

**Tabla 3** Resumen de resultados de ensayos de laboratorio estáticos

ID	SONDEO No.	ABSCISA	MUESTRA No.	Profundidad del estrato (m)	%PASA TAMIZ No. 4	% PASA TAMIZ No. 200	Humedad natural (wn)	Peso unit. húmedo (gr/cm3)	L.L. %	L.P. %	I.P. %	qu (kg/cm2)	CLASIF. USC	
			M-3	3.50 - 4.00	-	7.0	18.3		NL	NP	-	-	SM	
			M-5	7.00 - 7.50	-	7.5	22.20		NL	NP	-	-	SM	
13	S - 13N	K6+000	M-2	3,00 - 3,50	-	-	40.6		81.7	44.1	37.6	0.77	MH - OH	
			M-4	6,40 - 6,90	-	-	101.6		267.4	140.8	126.6	1.66	MH - OH	
			M-6	9.80 - 10.30	-	97.7	46.0	1.70	56.7	28.5	28.2	-	CH	
			M-8	13.20 - 13.70	-	42.1	26.0		25.0	17.6	7.4	-	SC	
			M-9	15.70 - 16.20	-	97.9	34.9	1.84	30.2	16.0	14.2	-	CL	
			M-10	16.20 - 16.70	-	80.8	24.3		21.1	13.1	8.0	-	CL	
14	S - 14	K6+200	M-2	3.00 - 3.15	61.5	13.9	7.4		33.3	18.7	14.6	-	SC	
			M-4	5.60 - 6.10	-	89.8	25.9		38.0	16.2	21.8	-	CL	
			M-5	5.10 - 8.60	-	-	53.9		92.0	25.7	66.3	-	CH	
			M-11	17.90 - 18.40	-	-	77.9		98.9	45.6	53.3	-	MH - OH	
			M-13	21.30 - 21.80	-	-	209.6	1.32	135.9	60.9	75.0	-	MH - OH	
			M-14	17.90 - 18.40	-	-		1.64						
			M-15	24.70 - 25.20	-	77.1	31.4	1.89	36.7	18.5	18.2	-	CL	
M-17	28.10 - 28.60	-	77.4	33.3	1.78	57.6	22.3	35.3	-	CH				
15	S - 15	K6+550	M-1	1.20 - 1.70	-	95.7	20.00		55.10	16.90	38.20	-	CH	
			M-4	4.20 - 4.80	-	-	59.80		67.40	21.50	45.90	0.28	CH	
			M-6	9.20 - 9.70	-	93.6	25.00		44.90	24.60	20.30	-	CL	
			M-8	14.50 - 15.00	-	-	47.70		44.60	22.70	21.90	-	CL	
			M-10	18.00 - 18.50	-	-	66.80		54.80	34.40	20.40	-	MH	
16	S - 16	K7+700	M-1	0.50 - 1.00	88.3	23.2	5.30		50.10	20.60	29.50	-	SC	
			M-3	3.50 - 4.00	98.1	8.5	17.60		NL	NP	-	-	SM	
			M-5	8.50 - 9.00	-	-	53.40		65.20	21.10	44.10	-	CH	
			M-6	9.50 - 10.00	-	-	-	1.84	-	-	-	-	0.44	-
17	S - 16A	K8+300	M-1	0.50 - 1.00	-	12.6	6.60		21.10	10.20	10.90	-	SC	
			M-3	3.50 - 4.00	95.6	26.2	11.00		20.20	8.50	11.70	-	SC	
			M-5	8.50 - 9.00	-	48.3	20.30		20.90	11.70	9.20	-	SC	
			M-7	13.70 - 14.00	-	62.7	24.40		43.00	17.70	25.30	-	CL	
			M-9	18.50 - 19.00	-	47.2	19.10		33.30	13.70	19.60	-	SC	
18	S - 17	K8+700	M-1	0.50 - 1.00	-	58.0	13.6		32.8	14.6	18.2	-	CL	
			M-2	3.00 - 3.50	-	-	49.9		11.1	26.7	83.4	-	CH	
			M-4	6.40 - 6.90	-	91.6	67.8	1.57	82.4	39.5	42.9	0.56	MH - OH	
			M-6	9.80 - 10.30	-	-	90.6	1.47	126.9	33.9	93.0	-	CH	

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 4-6</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 4-6		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 4-6								
FECHA: 2007-09-19								

**Tabla 3** Resumen de resultados de ensayos de laboratorio estáticos

ID	SONDEO No.	ABSCISA	MUESTRA No.	Profundidad del estrato (m)	%PASA TAMIZ No. 4	% PASA TAMIZ No. 200	Humedad natural (wn)	Peso unit. húmedo (gr/cm3)	L.L. %	L.P. %	I.P. %	qu (kg/cm2)	CLASIF. USC	
			M-8	13.20 - 13.70	-	97.9	25.9	1.95	30.3	20.7	9.6	-	CL	
19	S - 17A	K9+500	M-1	0.50 - 1.00	-	33.3	10.90		21.20	14.30	6.90	-	SC	
			M-3	3.50 - 4.00	-	-	62.00	1.59	88.90	28.10	60.80	-	CH	
			M-4	6.40 - 6.90				1.69						
			M-5	6.90 - 7.40	-	-	51.00		64.30	26.20	38.10	-	CH	
			M-6	9.50 - 10.00	-	-	65.00		75.90	37.00	38.90	-	MH-OH	
20	S - 18	K10+800	M-2	3.00 - 3.50	-	-	38.3		93.7	26.2	67.4	-	CH	
			M-4	6.40 - 6.90	-	-	67.9	1.56	48.6	24.1	24.5	-	CL	
			M-6	9.80 - 10.30	-	97.9	67.5	1.58	111.0	56.8	54.2	-	MH - OH	
			M-8	13.20 - 13.70	-	18.1	33.2		-	-	-	-	SM	
			M-11	18.70 - 19.20	-	73.9	18.9		35.2	19.2	16.0	-	CL	
21	S - 19	K12+300	M-1	1.00 - 1.50	-	63.5	13.80		41.90	17.80	24.10	-	CL	
			M-3	3.50 - 4.00	-	-	22.00		56.60	18.60	38.00	-	CH	
			M-5	6.20 - 6.70	-	95.4	16.00		42.20	16.30	25.90	-	CL	
			M-6	7.70 - 8.00	-	96.2	16.80		46.30	20.10	26.20	-	CL	
22	S - 20	K12+800	M-1	0.50 - 1.00	-	58.9	19.4		32.5	15.2	17.3	-	CL	
			M-2	3.00 - 3.50	-	-	17.2		46.3	18.4	27.9	3.32	CL	
			M-5	6.00 - 6.50	-	81.6	16.0		29.4	12.6	16.8	-	CL	
			M-7	8.50 - 9.00	-	84.6	14.7		27.4	13.4	14.0	-	CL	
			M-9	11.00 - 12.00	-	83.6	9.0		31.4	15.5	15.9	-	CL	
23	S - 23	K14+300	M-1	1.00 - 1.50	-	37.2	10.60		18.50	7.80	10.70	-	SC	
			M-3	3.50 - 4.00	-	-	90.80		88.40	32.80	55.60	-	CH	
			M-4	5.00 - 5.50				1.51					0.39	
			M-5	7.00 - 7.50	-	59.2	108.20		129.90	43.80	86.10	-	CH	
			M-6	9.50 - 10.00	-	63.2	68.70		102.70	33.70	69.00	-	CH	
24	S - 24	K14+800	M-2	3.00 - 3.50	-	-	68.3		116.4	33.7	82.7	-	CH	
			M-4	6.40 - 6.90	-	-	149.3	1.32	198.3	31.9	136.4	-	CH	
			M-6	9.80 - 10.30				1.45						
			M-8	14.20 - 14.70	-	-	101.3	1.45	109.1	35.1	74.0	-	CH	
			M-10	17.60 - 18.10	-	73.4	46.0		92.1	37.7	54.4	-	CH	
25	S - 25	K15+500	M-2	3.00 - 3.50	-	-	86.3		126.1	27.3	98.8	-	CH	
			M-4	6.40 - 6.90	-	97.0	110.1	1.41	195.8	53.8	142.0	-	CH	
			M-6	9.80 - 10.30	-	-	100.6	1.45	116.1	36.4	79.7	-	CH	
			M-8	13.20 - 13.80	-	-	134.1	1.34	110.5	35.5	75.0	-	CH	
			M-10	16.70 - 17.20	-	-	131.3	1.37	199.3	70.7	128.6	-	MH - OH	
			M-12	20.10 - 20.60	-	-	80.7	1.50	116.2	38.7	77.5	-	CH	

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 4-7</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 4-7		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 4-7								
FECHA: 2007-09-19								

**Tabla 3** Resumen de resultados de ensayos de laboratorio estáticos

ID	SONDEO No.	ABSCISA	MUESTRA No.	Profundidad del estrato (m)	%PASA TAMIZ No. 4	% PASA TAMIZ No. 200	Humedad natural (wn)	Peso unit. húmedo (gr/cm3)	L.L. %	L.P. %	I.P. %	qu (kg/cm2)	CLASIF. USC
			M-14	23.50 - 24.00	-	87.6	44.2	1.86	40.4	20.0	20.4	-	CL
			M-16	26.90 - 27.40	-	81.5	29.9		28.8	13.5	15.3	-	CL
			M-17	29.50 - 30.00	-	95.4	44.4		54.0	25.0	29.0	-	CH
26	S - 26	K16+200	M-3	3.50 - 4.00	-	67.9	94.70		124.20	44.60	79.60	-	CH
			M-4	5.80 - 6.30				1.53				0.47	
			M-6	10.20 - 10.70	-	-	192.70	1.27	156.70	54.40	102.30	-	CH
			M-8	14.70 - 15.20	-	-	200.90	1.19	615.80	246.40	369.40	-	MH-OH
			M-10	19.5 - 20	-	-	144.20		223.80	52.90	170.90	-	CH
27	S - 27	K16+700	M-2	1.00 - 1.50	-	-	39.20	1.80	84.90	31.80	53.10	-	CH
			M-3	3.00 - 3.50				1.66				0.68	
			M-5	6.40 - 6.90	-	-	145.10	1.29	166.60	55.80	110.80	-	CH
			M-7	9.50 - 10.00	-	-	270.10	1.08	375.40	180.20	195.20	-	MH-OH
28	S - 28	K17+300	M-1	1.20 - 1.70	-	73.4	69.1		72.9	40.1	32.8	-	MH - OH
			M-3	3.80 - 4.00	-	73.4	78.9		107.8	28.9	78.9	-	CH
			M-5	6.50 - 7.00	-	19.9	39.7		41.4	13.6	27.8	-	SC
			M-7	10.70 - 11.20	-	6.5	26.9		-	-	-	-	SM
			M-9	14.70 - 15.20	-	-	39.7		300.9	104.7	196.2	-	MH - OH
			M-11	19.50 - 20.00	-	67.1	80.8		127.3	36.4	90.9	-	CH
29	S - 29	K18+100	M-1	0.50 - 1.00	-	85.1	45.60		76.10	37.00	39.10	-	MH
			M-2	1.30 - 1.80								0.27	
			M-4	4.30 - 4.80	79.9	25.5	38.50		46.70	21.40	25.30	-	SC
			M-5	6.30 - 6.80								0.29	
			M-6	6.80 - 7.30	-	-	149.80		265.70	66.70	199.00	-	CH
			M-7	9.90 - 10.40	-	-	194.10		271.40	66.00	205.40	0.22	CH
			M-10	14.30 - 14.80	-	-	174.00		294.20	68.60	225.60	-	CH
			M-11	17.00 - 17.80	-	-	158.80		157.50	40.90	116.60	0.25	CH
30	S-30	K18+900	M-3	3.50 - 4.00	-	-	90.40		104.10	43.30	60.80		MH
			M-4	4.00 - 4.60	-	-	58.00	1.48					CH
			M-5	6.70 - 7.20	-	-	167.60		218.50	64.10	154.40		CH
			M-6	7.20 - 7.70	-	-	88.40					0.33	CH
			M-7	9.50 - 10.0	-	-	152.40		215.00	80.70	134.30		CH
30	S - 31	K21+000	M-2	3.00 - 3.50	-	-	85.5		109.1	39.7	69.4	-	CH
			M-4	6.00 - 6.50	-	-	101.1		153.7	62.5	91.2	-	MH - OH
			M-6	10.30 - 10.80	-	-	130.8	1.39	143.8	45.6	98.2	-	CH
			M-8	14.20 - 14.70	-	-	129.4	1.36	172.5	43.9	128.6	-	CH

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 4-8</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 4-8		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 4-8								
FECHA: 2007-09-19								

**Tabla 3** Resumen de resultados de ensayos de laboratorio estáticos

ID	SONDEO No.	ABSCISA	MUESTRA No.	Profundidad del estrato (m)	%PASA TAMIZ No. 4	% PASA TAMIZ No. 200	Humedad natural (wn)	Peso unit. húmedo (gr/cm3)	L.L. %	L.P. %	I.P. %	qu (kg/cm2)	CLASIF. USC
			M-9	16.50 - 17.00	-	-	175.5		269.8	69.3	200.5	-	CH
			M-11	19.50 - 20.20	-	-	75.2		77.4	31.5	45.9	-	CH
31	S - 32	K22+800	M-1	0.50 - 1.00	77.0-	58.6	35.1		57.8	37.8	20.0	-	MH - OH
			M-4	6.40 - 6.90	-	13.9	21.0		-	-	-	-	SM
			M-5	8.90 - 9.40	-	-	128.4	1.35	139.9	47.7	92.2	-	CH
			M-7	12.30 - 12.80	-	-	336.2	1.09	521.5	216.3	305.2	-	MH - OH
			M-9	15.70 - 16.20	-	-	140.8	1.29	164.2	70.9	93.3	-	MH - OH
			M-11	19.00 - 19.50	-	-	99.7	1.43	127.2	37.7	89.5	-	CH
			M-13	22.40 - 22.90	-	-	128.1	1.39	193.8	46.0	147.8	-	CH
			M-15	25.80 - 26.80	-	-	155.8	1.28	229.0	73.1	155.9	-	CH
			M-17	29.20 - 29.70	-	-	77.3	1.59	75.0	25.8	49.2	-	CH
32	S - 33	K23+500	M-1	1.20 - 1.60	-	81.1	154.30		109.20	58.60	50.60	-	MH-OH
			M-4	4.00 - 4.50	-	-	152.10	1.48	192.30	44.40	147.90	0.30	CH
			M-6	8.80 - 9.30	-	-	147.50		200.10	57.00	143.10	-	CH
			M-8	12.00 - 12.50	-	-	179.40		245.70	78.90	166.80	-	CH
			M-10	16.50 - 17.00	-	-	177.50		225.60	62.90	162.70	-	CH
33	S - 34	K25+200	M-2	2.50 - 3.00	73.2	21.2	12.40		24.30	17.40	6.90	-	SC
			M-4	6.00 - 6.50	-	-	104.7		163.70	43.80	119.90	-	CH
			M-6	9.40 - 9.90	-	-	195.30	1.53	242.20	54.50	187.70	0.60	CH
			M-8	12.80 - 13.30	-	-	219.10		175.50	42.50	133.00	-	CH
			M-10	16.20 - 16.70	-	-	144.60		188.50	54.50	134.00	-	CH
34	S - 35	K26+600	M-2	3.00 - 3.40	85.8	60.0	37.30		82.30	51.20	31.10	-	MH-OH
			M-4	5.80 - 6.30	-	-	76.40		123.60	46.90	76.70	-	CH
			M-6	9.00 - 9.50	-	-	175.40		149.60	40.70	108.90	-	CH
			M-8	14.00 - 14.50	-	-	169.00	1.46	192.10	35.50	156.60	0.26	CH
			M-10	17.50 - 18.00	-	-	177.90		232.30	63.20	196.10	-	CH
35	S - 36	K28+300	M-1	0.50 - 1.00	87.6	61.4	37.8		66.6	40.4	26.2	-	MH - OH
			M-4	6.40 - 6.90	-	-	138.6	1.33	128.9	42.1	86.8	-	CH
			M-6	9.80 - 10.30	-	-	156.7	1.31	220.6	54.7	165.9	-	CH
			M-8	13.20 - 13.70	-	-	173.9	1.26	258.5	72.4	186.1	-	CH
			M-11	17.60 - 18.10	-	-	128.1	1.36	131.1	42.1	89.0	-	CH
			M-12	20.50 - 21.00	-	-	124.0	1.35	155.0	47.1	107.9	-	CH
			M-14	23.90 - 24.40	-	-	144.2	1.31	175.7	52.5	123.2	-	CH
			M-16	27.30 - 27.80	-	84.1	196.2	1.20	312.7	95.7	217.0	-	CH

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 4-9</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 4-9		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 4-9								
FECHA: 2007-09-19								

**Tabla 3** Resumen de resultados de ensayos de laboratorio estáticos

ID	SONDEO No.	ABSCISA	MUESTRA No.	Profundidad del estrato (m)	%PASA TAMIZ No. 4	% PASA TAMIZ No. 200	Humedad natural (wn)	Peso unit. húmedo (gr/cm3)	L.L. %	L.P. %	I.P. %	qu (kg/cm2)	CLASIF. USC
36	S - 37	K29+900	M-2	2.50 - 3.00	-	-	59.20		82.00	29.90	52.10	-	CH
			M-4	6.00 - 6.50	-	-	117.5		170.70	43.40	127.30	-	CH
			M-6	9.40 - 9.90	-	-	132.10		158.60	49.00	109.60	-	CH
			M-8	12.80 - 13.30	-	-	162.70		189.70	57.60	132.10	-	CH
			M-10	16.20 - 16.70	-	-	200.20		263.00	70.80	192.20	-	CH
			M-12	19.30 - 19.80	-	-	125.00	1.55	155.50	62.40	93.10	0.64	MH-OH
37	S - 38	K30+400	M-1	1.20 - 1.70	-	-	125.60		146.80	73.60	73.20	-	MH-OH
			M-3	3.50 - 4.00	-	-	112.20		132.80	53.00	79.80	-	MH-OH
			M-5	6.00 - 6.50	-	-	140.00	1.42	155.50	35.20	120.3	0.24	CH
			M-7	10.20 - 10.70	-	-	175.10		131.40	46.70	84.70	-	CH
			M-9	14.70 - 15.20	-	-	160.80		172.40	56.10	116.30	-	CH
			M-11	18.00 - 18.50	-	-	178.00		212.70	57.60	155.10	-	CH
38	S - 39	K30+900	M-1	1.00 - 1.50	78.4	52.5	23.9		55.4	31.7	23.7	-	MH - OH
			M-4	6.10 - 6.50	-	-	56.4		98.1	32.3	65.8	-	CH
			M-5	8.50 - 9.00	-	71.2	58.4	1.66	57.7	20.9	36.8	-	CH
			M-7	11.90 - 12.40	-	-	132.3	1.33	185.3	56.5	128.8	-	CH
			M-9	15.30 - 15.80	-	-	164.0	1.29	190.8	67.2	123.6	-	MH - OH
			M-11	18.80 - 19.30	-	-	105.1	1.42	94.8	36.6	58.2	-	CH
			M-13	22.20 - 22.70	-	-	117.7	1.38	163.5	42.3	121.2	-	CH
			M-15	25.60 - 26.10	-	-	136.7	1.35	167.9	61.6	106.3	-	MH - OH
39	S - 40	K32+000	M-2	2.50 - 3.00	-	-	74.70	1.70	109.30	30.80	78.50	0.63	CH
			M-3	3.00 - 3.50	-	-	100.60		146.40	36.50	109.90	-	CH
			M-5	6.50 - 7.00	-	-	196.50		149.30	37.70	111.60	-	CH
			M-7	9.50 - 10.00	-	-	150.60		218.10	59.60	158.50	-	CH
40	S - 41	K32+900	M-3	2.00 - 2.50	-	95.8	34.60		40.70	21.80	18.90	-	CL
			M-5	5.90 - 6.40	-	-	170.20	1.53	240.60	68.20	172.40	0.64	CH
			M-7	9.30 - 9.80	-	96.4	129.00		166.10	61.20	104.90		MH-OH
41	S - 42	K34+100	M-2	3,00 - 3,50	-	-	129.2		244.0	67.1	176.9	0.62	CH
			M-4	6,40 - 6,90	-	-	161.6		283.2	142.6	140.6	0.52	MH - OH
			M-6	9,80 - 10,30	-	-	86.4		170.6	49.4	121.2	0.55	CH
			M-8	13.20 - 13.70	-	-	165.9	1.29	185.7	61.5	124.2	-	CH
			M-10	16.60 - 17.10	-	-	128.8	1.37	142.6	40.4	102.2	-	CH
			M-12	20.00 - 20.50	-	-	152.2	1.30	176.4	50.2	126.2	-	CH
			M-14	23.40 - 23.90	-	-	70.1	1.57	193.5	53.7	139.8	-	CH

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 4-10</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 4-10		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 4-10								
FECHA: 2007-09-19								

**Tabla 3** Resumen de resultados de ensayos de laboratorio estáticos

ID	SONDEO No.	ABSCISA	MUESTRA No.	Profundidad del estrato (m)	%PASA TAMIZ No. 4	% PASA TAMIZ No. 200	Humedad natural (wn)	Peso unit. húmedo (gr/cm3)	L.L. %	L.P. %	I.P. %	qu (kg/cm2)	CLASIF. USC
			M-16	26.80 -27.3	-	-	135.2	1.33	184.9	50.1	134.8	-	CH
42	S - 42N	k35+400	M-1	0.50 - 1.00	78.8	47.6	19.2		21.1	31.3	47.6	-	SC
			M-3	3,50 - 4,00	-	-	57.9		93.5	36.2	57.3	0.40	CH
			M-4	6,40 - 6,90	-	-	76.4		164.9	38.6	126.3	0.41	CH
			M-6	9,50 - 10,00	-	-	128.3		184.0	46.1	137.9	0.42	CH
43	S - 43	K35+550	M-1	1.50 - 2.00	74.9	46.5	19.8		49.6	25.1	24.5	-	SC
			M-3	5.00 - 5.50	-	83.1	48.2		81.3	34.2	47.1	-	CH
			M-5	10.00 - 10.50	-	-	181.7		211.7	57.1	154.6	-	CH
			M-6	13.3 - 14.00	-	-	170.5	1.25	208.4	63.9	144.5	-	CH
			M-8	19.50 - 20.00	-	-	153.2	1.30	168.1	56.9	11.2	-	CH
			M-10	24,30 - 25,00	-	-	102.4		143.7	36.4	107.3	0.61	CH
			M-12	30.00 - 30.70	-	-	159.6	1.28	225.7	67.6	158.1	-	CH
			M-15	39.00 - 39.5	-	78.7	129.1		152.0	44.6	107.4	-	CH
44	S - 44	K36+100	M-1	1.20 - 1.70	50.2	10.3	9.3		-	-	-	-	GM
			M-4	6.00 - 6.50	-	-	130.3		165.0	47.4	117.6	-	CH
			M-7	13.00 - 13.50	-	-	151.7	1.31	202.3	63.6	138.7	-	CH
			M-9	17.60 - 18.10	-	-	232.9	1.20	375.1	106.4	268.7	-	CH
			M-13	25.00 - 25.50	-	-	132.3	1.32	161.7	35.5	126.2	-	CH
			M-15	29.50 - 30.00	-	-	129.6		156.4	43.8	112.6	-	CH
45	S - 45	K36+500	M-2					1.52				-	
			M-4	6.40 - 6.90	-	-	79.70	1.51	183.70	64.60	119.10	-	CH
			M-6	9.80 - 10.30	-	-	165.50	1.29	145.00	44.70	100.30	-	CH
			M-8	13.20 - 13.80	-	-	115.00	1.34	177.20	54.10	123.10	-	CH
			M-10	16.70 - 18.20	-	-	149.8	1.22	203.2	60.00	143.20	-	CH
46	S - 46	K37+400	M-2	3.00 - 3.50	-	-	122.60		131.50	41.60	89.90	-	CH
			M-4	5.80 - 6.30	-	-	124.80		182.30	43.60	138.70	-	CH
			M-6	10.40 - 10.90	-	-	116.50		214.40	55.80	158.60	-	CH
			M-8	15.10 - 15.60	-	-	151.10	1.52	181.70	36.40	145.30	0.27	CH
			M-10	19.50 - 20.00	-	-	125.40		164.60	50.10	114.50	-	CH
47	S - 47	K39+000	M-2	3.00 - 3.50				1.43				0.39	
			M-4	6.40 - 6.90	-	-	177.50	1.38	180.90	50.90	130.00	-	CH
			M-6	9.80 - 10.30	-	-	142.00	1.33	195.10	59.10	136.00	-	CH
			M-8	13.20 - 13.70	-	-	133.60	1.34	194.40	57.00	137.40	-	CH
			M-10	16.60 - 17.10				1.42					0.34

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 4-11</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 4-11		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 4-11								
FECHA: 2007-09-19								

**Tabla 3** Resumen de resultados de ensayos de laboratorio estáticos

ID	SONDEO No.	ABSCISA	MUESTRA No.	Profundidad del estrato (m)	%PASA TAMIZ No. 4	% PASA TAMIZ No. 200	Humedad natural (wn)	Peso unit. húmedo (gr/cm3)	L.L. %	L.P. %	I.P. %	qu (kg/cm2)	CLASIF. USC	
			M-11	17.10 - 17.60	-	-	134.70		179.80	55.20	124.60	-	CH	
48	S - 48	K41+600	M-1	1.10 - 1.60	-	84.1	39.5		72.5	25.9	46.6	-	CH	
			M-3	3.50 - 4.00	-	-	66.5		108.5	32.6	75.9	-	CH	
			M-4	6.00 - 6.50	-	-	100.0		137.1	41.9	95.2	-	CH	
			M-7	12.80 - 13.30			1.57							
			M-9	17.30 - 17.80	-	-	179.4	1.20	286.0	78.0	208.0	-	CH	
			M-11	22.00 - 22.50	-	-	82.2	1.52	167.3	48.0	119.0	-	CH	
			M-13	26.50 - 27.00	-	-	111.3	1.42	140.5	44.4	96.1	-	CH	
49	S - 49	K42+000	M-3	3.50 - 4.00	-	54.7	29.20		35.90	18.10	17.80	-	CL	
			M-5	8.00 - 8.50	90.5	16.9	16.50		NL	NP	-	-	SM	
			M-7	11.70 - 12.20	90.8	16.1	14.50		24.80	15.10	9.70	-	SC	
			M-10	19.50 - 20.00	-	-	155.00		211.50	55.50	156.00	-	CH	
50	S - 50	K42+800	M-1	1.00 - 1.50	-	70.0	23.4		60.7	24.6	36.1	-	CH	
			M-4	5.70 - 6.20	-	-	52.1		57.9	29.1	28.8	-	CH	
			M-5	8.20 - 8.70	-	-	47.3		79.2	23.1	56.1	-	CH	
			M-9	16.80 - 17.30	-	-	70.9	1.54	160.2	63.9	96.3	-	MH - OH	
			M-11	21.40 - 21.90	-	-	114.7	1.37	169.7	51.0	118.7	-	CH	
			M-13	26.00 - 26.50	-	-	147.2	1.30	174.4	51.3	123.1	-	CH	
51	S - 51	K43+300	M-3	3.50 - 4.00	88.3	51.0	31.40		59.80	39.90	19.90	-	MH-OH	
			M-4	6.00 - 6.50				1.89				1.16		
			M-6	9.40 - 9.90	-	94.5	32.80	1.78	37.60	20.80	16.80	-	CL	
			M-8	18.20 - 13.30				1.95				1.67		
			M-9	13.30 - 13.80	-	85.0	54.70		91.80	37.20	54.60	-	CH	
			M-10	16.20 - 16.70	-	-	101.40	1.39	213.70	85.70	128.00	-	MH-OH	
			M-12	19.50 - 20.00	-	-	97.60		145.80	50.40	95.40	-	CH	
52	S - 52	K46+000	M-1	1.00 - 1.50	-	65.1	10.50		22.80	12.20	10.60	-	CL	
			M-3	3.50 - 4.00	-	52.8	19.90		20.80	11.80	9.00	-	CL	
			M-5	8.00 - 8.50	-	86.9	36.90		53.10	23.60	29.50	-	CH	
			M-7	12.60 - 13.10	-	-	82.80		191.90	60.20	131.70	-	CH	
			M-10	17.00 - 17.50				1.78				1.59		
			M-11	19.50 - 20.00	-	38.9	4.70		20.70	11.30	9.40	-	SC	
53	S - 53	K46+800	M-1	0.50 - 1.00	72.6	34.7	5.70		20.70	11.30	9.40	-	SC	
			M-3	3.50 - 4.00	-	49.6	16.50		23.40	10.90	12.50	-	SC	
			M-5	8.50 - 9.00	-	82.6	32.20		42.50	21.20	21.30	-	CL	
			M-6	11.00 - 11.50				1.79						
			M-8	14.4 - 14.9	-	11.0	22.00		NL	NP	-	-	SM	

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 4-12</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 4-12		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 4-12								
FECHA: 2007-09-19								

**Tabla 3** Resumen de resultados de ensayos de laboratorio estáticos

ID	SONDEO No.	ABSCISA	MUESTRA No.	Profundidad del estrato (m)	%PASA TAMIZ No. 4	% PASA TAMIZ No. 200	Humedad natural (wn)	Peso unit. húmedo (gr/cm3)	L.L. %	L.P. %	I.P. %	qu (kg/cm2)	CLASIF. USC	
			M-10	19.50 - 20.00	-	-	20.90		18.30	10.00	8.30	-	CL	
54	S - 54	K47+400	M-1	1.00 - 1.50	-	-	21.10		51.80	20.20	31.60	-	CH	
			M-3	8.00 - 8.50	-	60.4	13.50		23.70	13.70	10.00	-	CL	
			M-5	8.00 - 8.50	-	89.5	34.90		48.70	22.40	26.30	-	CL	
			M-7	12.80 - 13.30	-	83.4	53.40		43.60	21.30	22.30	-	CL	
			M-10	19.50 - 20.00	-	94.9	35.30		35.40	20.00	15.40	-	CL	
55	S - 56	K51+100	M-1	0.50 - 1.00	-	56.5	8.10		26.20	11.90	14.30	-	CL	
			M-3	3.50 - 4.00	-	73.5	18.60		24.80	14.10	10.70	-	CL	
			M-5	8.50 - 9.00	-	52.8	22.10		24.30	12.10	12.20	-	CL	
			M-7	11.50 - 12.00				1.98				1.72		
			M-9	16.00 - 16.50	-	32.3	18.10	2.08	21.60	11.70	9.90	-	SC	
M-11	19.00 - 19.50		95.3	30.80		44.80	19.30	25.50	-	CL				

**Tabla 4** Programación de ensayos de laboratorio dinámicos

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)	Presión de Confinamiento (kPa)	ID
S-5A	5	6,40 – 6,90	50	1
	11	18,60 – 19,10	100	2
S-7A	4	6,40 – 6,90	50	3
S-8	3	5,00 – 5,70	70	4
	5	10,70 – 11,40	100	5
	7	16,40 – 17,10	130	6
S-9.1	5	8,50 – 9,00	60	7
S-14	7	11,10 – 11,60	60	8
	9	14,50 – 15,00	100	9
S-17	10	16,60 – 17,10	100	10
S-18	9	15,70 – 16,20	100	11
S-43	4	7,30 – 8,00	50	12
	14	35,50 – 36,20	200	13
S-50	7	12,70 – 13,20	70	14

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2</b> <b>INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y</b> <b>ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 4-13 FECHA: 2007-09-19	

## 4.2 PARAMETROS GEOMECANICOS ESTÁTICOS

La ejecución de ensayos estáticos de resistencia (compresión inconfiada, veleta de campo y SPT), y caracterización básica (granulometrías, límites de Atterberg, contenido de humedad, peso unitario, etc), complementarios a la ejecución de ensayos dinámicos, como se realizó en esta investigación geotécnica, pretenden identificar parámetros estáticos que permitan correlacionarlos con su comportamiento dinámico, tal y como Dobry y Vucetic (1991) <sup>(1)</sup> lo hicieron con el índice de plasticidad (IP) de los suelos cohesivos, ó como Seed & Idriss <sup>(2)</sup> asociando la densidad relativa (deducible a partir de N del SPT) de los suelos granulares con la caracterización de su respuesta dinámica.

Si tenemos en cuenta que los suelos de la sabana de Bogotá, se encuentran actualmente sujetos a fenómenos de subsidencia por la extracción de agua subterránea, los cuales afectan su respuesta sísmica de una forma incierta (al cambiar su contenido de agua, relación de vacíos), consideramos necesario caracterizar los materiales con parámetros que resulten sensibles a los cambios físicos del material (cambios en el estado de esfuerzos, nivel piezométrico), como la relación de vacíos ( $e$ ), el contenido de humedad ( $\omega$ ) ó compresibilidad del material (índice de compresión,  $C_c$ ) evaluados en algunos sitios.

Las condiciones típicas de la zona plana del perfil ó suelos lacustres de Bogotá, corresponden a tres formaciones, cuyas características se pueden describir de la siguiente manera.

- 1 - Un espesor pequeño de rellenos y suelos superficiales desecados y sobreconsolidados del orden de 5 m, seguido por
- 2 - Una secuencia de suelos arcillosos de origen lacustre de la Formación Sabana, los cuales han sido divididos para considerar la variación en su rigidez por efectos de confinamiento.
- 3 - Posteriormente se encuentra una secuencia de suelos de origen predominantemente aluvial con presencia de arenas que corresponde a la Formación Subachoque. Estas formaciones tienen espesor variable que aumenta desde los piedemontes de los cerros que bordean la Sabana hacia la parte central de los valles que se forman entre las cadenas montañosas, y además en dirección sur y sur occidental en la misma dirección general de flujo del río Bogotá (Torres, 2005) <sup>(3)</sup>.

## 4.3 PARAMETROS GEOMECANICOS DINÁMICOS

Uno de los pasos mas importantes en este tipo de estudios se relaciona con establecer las propiedades de comportamiento dinámico de los diferentes materiales que conforman el subsuelo, con el fin de estimar en forma aproximada las variaciones del estado de esfuerzos y deformaciones que se generan al ser sometido a una fuerza cíclica, como lo son los sismos.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2</b> <b>INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y</b> <b>ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 4-14 FECHA: 2007-09-19	

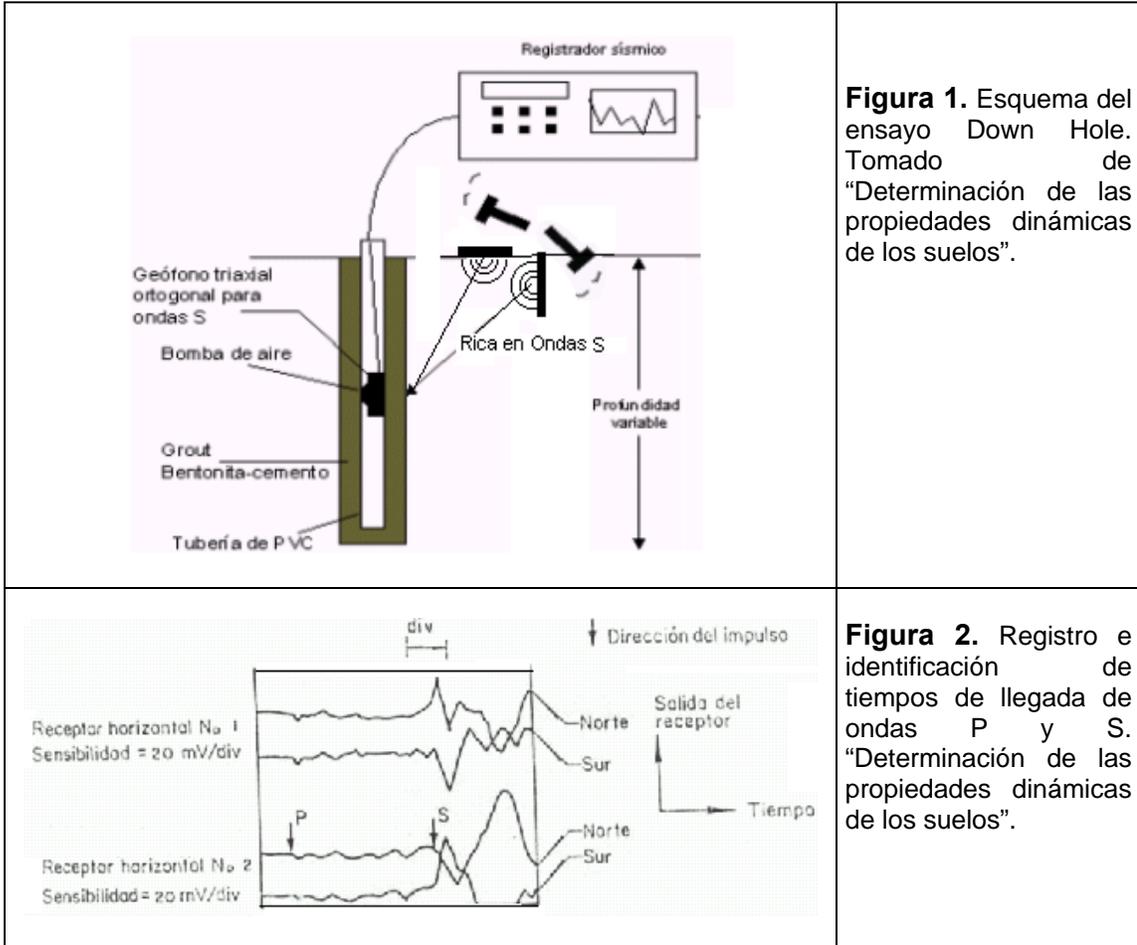
Por lo tanto, se realizaron veinte (20) ensayos Down Hole, catorce (14) Líneas de Refracción Sísmica y nueve (9) Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) en sitios determinados, para evaluar la velocidad de propagación de las ondas sísmicas (compresionales y de corte) y detallar la profundidad del basamento rocoso.

De otro lado, mediante la obtención de muestras inalteradas de los sondeos del proyecto, se realizaron catorce (14) ensayos triaxiales cíclicos programados y otro tanto igual de ensayos de velocidad de onda mediante el Bender Element sobre las mismas muestras de suelo. Los resultados de los análisis de estos ensayos serán incluidos dentro del informe de respuesta sísmica e interacción sísmica suelo tubería (ISST).

#### 4.3.1 Down Hole

El rango de deformaciones de este tipo de ensayos es del orden de  $10^{-1}$  a  $10^{-3}\%$ . El objetivo de este ensayo es medir el tiempo de propagación de las ondas sísmicas (P, S) en los suelos, las cuales viajan desde una fuente de perturbación, F, que se encuentra en la superficie, hasta su registro en un punto R o receptor ubicado en el interior del sondeo, a la profundidad de exploración, de tal forma que las ondas generadas viajan hacia abajo por lo que este ensayo recibe el nombre de Down Hole. Véase Figuras 1 y 2 y ANEXOS 5 y 8.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2 INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 4-15</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 4-15		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 4-15								
FECHA: 2007-09-19								



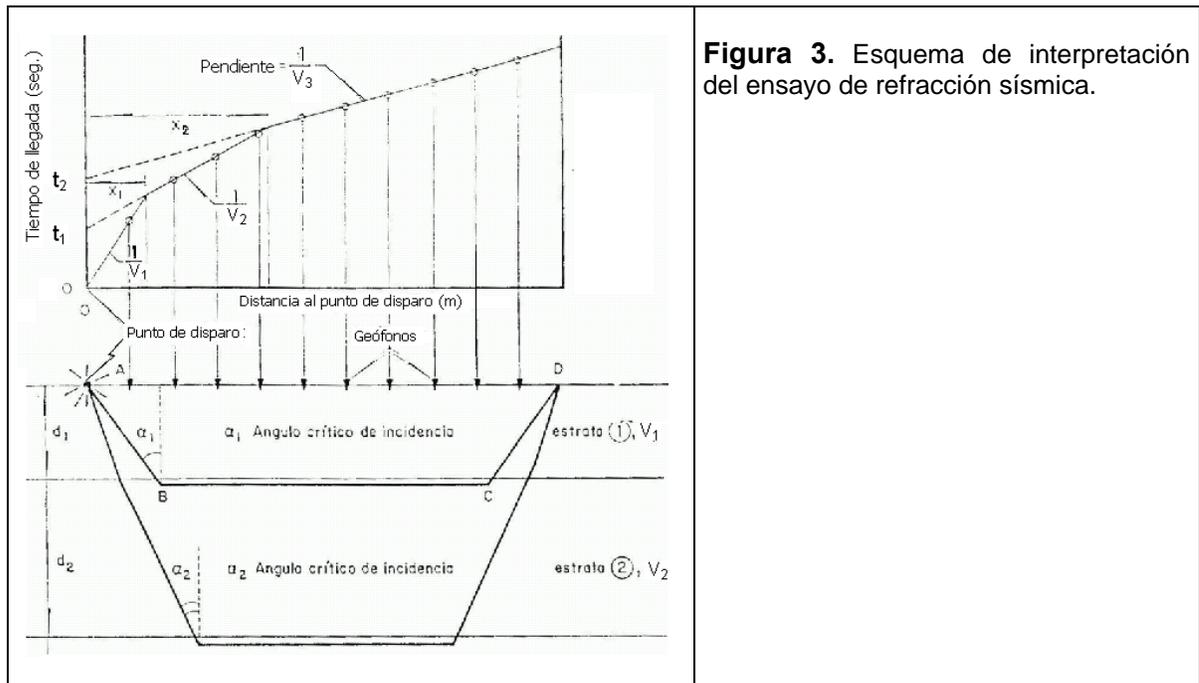
### 4.3.2 Refracción Sísmica

Este ensayo consiste en la medición de la velocidad de propagación de las ondas elásticas generadas en una fuente de vibración por impacto o explosión en la superficie del terreno. La fuente se ubica a una distancia igual a la escogida como separación de una serie de geófonos dispuestos a lo largo de una línea recta sobre la superficie del terreno, mediante los cuales se registra el tiempo de llegada de las ondas generadas a diferentes distancias. Debido a las leyes de refracción de las ondas elásticas, las ondas al pasar de una capa a otra lo hacen bajo un ángulo de refracción que es función de la disparidad de sus propiedades. Mediante la realización de una gráfica distancia vs. tiempo de llegada para todos los geófonos, es posible

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2</b> <b>INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y</b> <b>ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 4-16 FECHA: 2007-09-19	

obtener, como se muestra en la Figura 3, la variación de la velocidad de propagación de las ondas y el espesor de las diferentes capas de suelo con base en este criterio. Véase ANEXO 6.

Para la obtención de resultados confiables, este método se recomienda realizar solo en perfiles de suelo con propiedades de los estratos contrastantes en los que la velocidad de onda aumente con la profundidad. La profundidad de exploración con este método es de aproximadamente 10 veces la longitud del tendido total entre geófonos.



**Figura 3.** Esquema de interpretación del ensayo de refracción sísmica.

### 4.3.3 Triaxial Cíclico

El ensayo triaxial cíclico usualmente consiste en consolidar una muestra de suelo isotrópicamente (ó anisotrópicamente siguiendo la trayectoria  $K_0$  u otra) a un esfuerzo de confinamiento efectivo  $\sigma'_{3c}$ , para posteriormente bajo condiciones no drenadas aplicar a la muestra un incremento del esfuerzo axial en  $\sigma_d/2$ , y una reducción de la presión de cámara en la misma magnitud, de tal forma que en un plano a  $45^\circ$  con la horizontal el valor del esfuerzo normal ( $\sigma'_{3c}$ ) se conserva constante mientras que se desarrolla un esfuerzo cortante de magnitud  $\sigma_d/2$ . Luego, la muestra pasa nuevamente por la condición isotrópica y entra a

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2</b> <b>INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y</b> <b>ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 4-17 FECHA: 2007-09-19	

extensión axial al aplicar un incremento de esfuerzo axial de  $-\sigma_d$ , y un incremento de la presión de cámara de  $\sigma_d$ , originando un cambio de la dirección del esfuerzo cortante en un plano a  $45^\circ$ , lo cual ocurre cíclicamente con la inversión de estos esfuerzos (ciclos de carga y descarga).

Con este procedimiento cíclico se pretende simular la trayectoria de esfuerzos que puede sufrir, en su plano horizontal un elemento de suelo durante la ocurrencia de un sismo. Véase Figura 4 (a). En condiciones no drenadas el aumento del esfuerzo normal es asumido por la presión de poros sin provocar modificaciones en la presión efectiva octaédrica.

Debido a la dificultad en cambiar cíclicamente el valor de la presión de cámara, el ensayo triaxial cíclico se realiza generalmente en forma diferente: manteniendo la presión de confinamiento constante  $\sigma_{3c}$  y variando el esfuerzo axial cíclicamente, con magnitud  $\pm \sigma_d$ , produciendo un estado de esfuerzos en un plano a  $45^\circ$  con la horizontal igual al generado por las condiciones anteriormente expuestas. Véase Figura 4 (b).

El sucesivo incremento y decremento del esfuerzo axial aplicado, hace necesario que el equipo tenga la capacidad de aplicar extensión al cabezal de la muestra, lo que se logra manteniendo unido el pistón al cabezal.

Permite obtener E, G y el amortiguamiento D calculando áreas de los ciclos de histéresis para deformaciones de corte mayores a  $10^{-2}$ :

$$G = E / 2(1 + \nu), \quad \nu = -(\epsilon_{vol} - \epsilon_1) / 2\epsilon_1, \quad \gamma = (1 + \nu) \epsilon_1 \quad \text{Ec. 1}$$

$\epsilon$  = Deformación

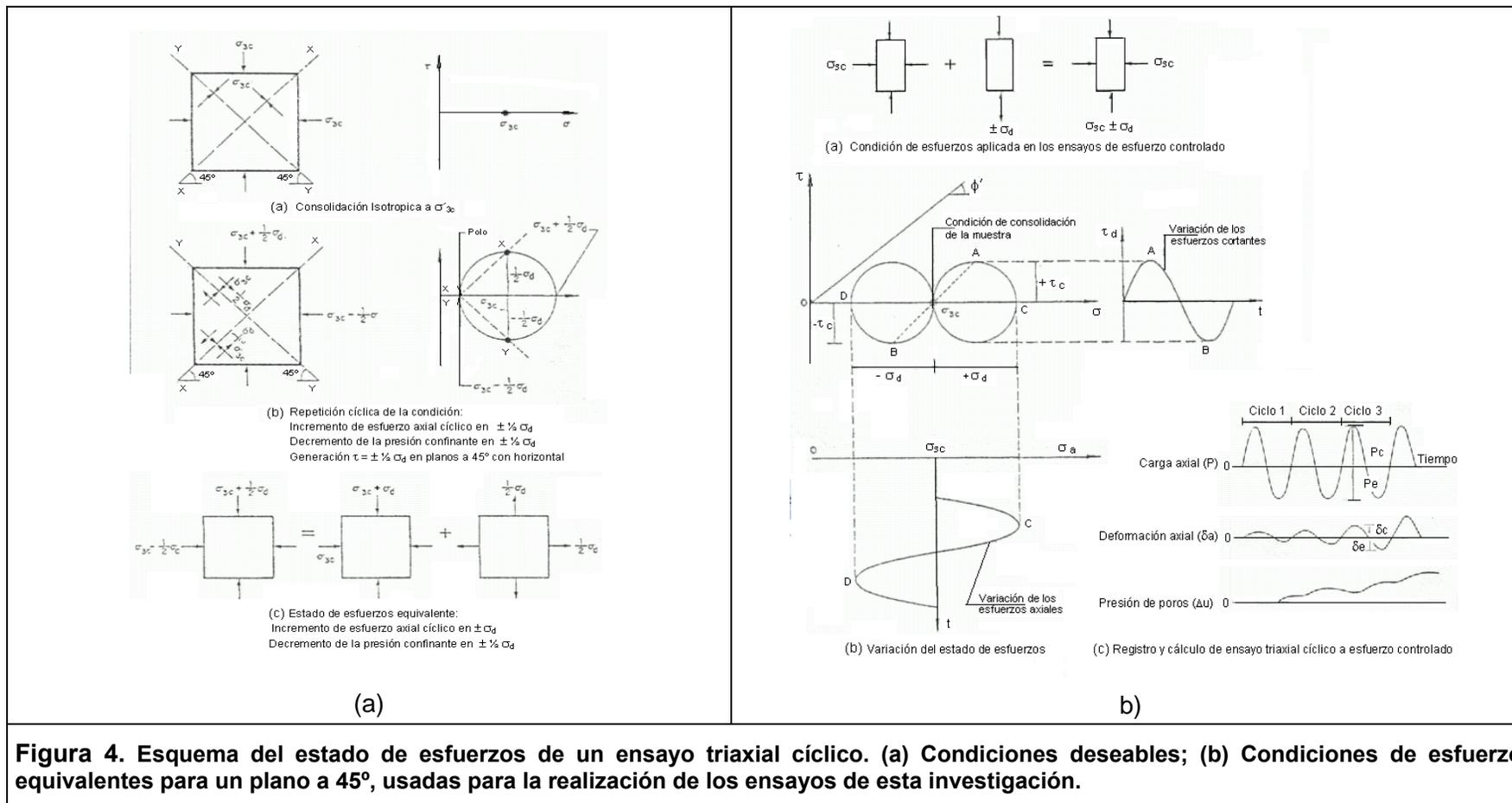
Si la muestra está saturada el valor de  $\nu$  se asume igual a 0.5, quedando que:

$$G = E / 3, \quad \gamma = 1.5 \epsilon_{axial} \quad \text{Ec. 2}$$

Con la información anterior se pueden realizar curvas de la evolución de módulo de corte y el amortiguamiento con la deformación:  $G/G_0 = f(\gamma)$ ,  $\xi = f(\gamma)$ , siendo estas la base del estudio de la respuesta dinámica del suelo considerando una propagación unidimensional de las ondas en la parte plana de la ciudad.

Para evaluar el comportamiento dinámico de algunas muestras de suelo del perfil geotécnico, se escogieron muestras de sondeos en donde también se realizaron ensayos down-hole, muestras a diferentes profundidades y localizaciones. Los ensayos programados se muestran en la Tabla 4.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A.</b> <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2</b> <b>INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y</b> <b>ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 4-18</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 4-18		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 4-18								
FECHA: 2007-09-19								



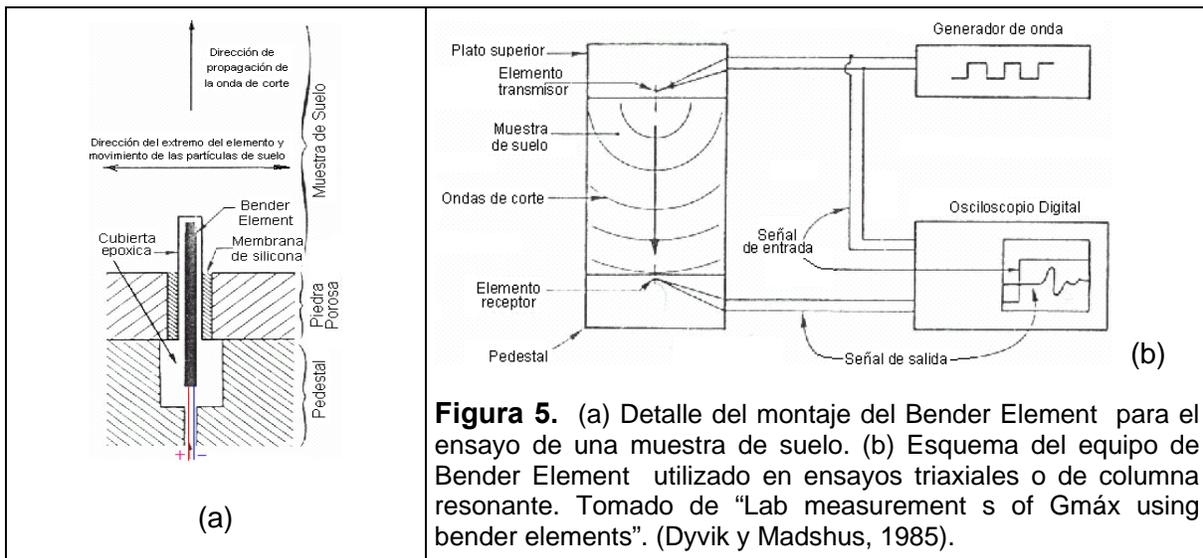
**Figura 4. Esquema del estado de esfuerzos de un ensayo triaxial cíclico. (a) Condiciones deseables; (b) Condiciones de esfuerzo equivalentes para un plano a  $45^\circ$ , usadas para la realización de los ensayos de esta investigación.**

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2</b> <b>INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y</b> <b>ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 4-19</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 4-19		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 4-19								
FECHA: 2007-09-19								

#### 4.3.4 Bender Element

Debido a que en los suelos saturados, la presencia del fluido de poros tiene influencia sobre la velocidad de propagación de las ondas P, el uso de los elementos piezoeléctricos es aplicado solo para generar ondas de corte. Un elemento conformado por el pegado de dos laminas piezoeléctricas entre sí, sujeto a la aplicación de cargas eléctricas opuestas a cada una de sus láminas, negativa a una y positiva a la otra, es obligado a flexionarse por el encogimiento de una de sus láminas y el estiramiento de la otra, generando ondas de corte al ser empotrado en el extremo de una de las muestras. La medición del tiempo de viaje de las ondas de corte es realizada con la colocación en el otro extremo de la muestra de un elemento piezoeléctrico que traduce esa onda de esfuerzo de llegada a una señal eléctrica que es llevada a un osciloscopio para determinar el tiempo de viaje, que junto con la densidad y la longitud de la muestra permite la evaluación del modulo de corte  $G_{máx}$  (debido a que la deformación de corte generada es menor del  $10^{-3} \%$ ).

Un detalle del montaje de los elementos piezoeléctricos colocados en cada extremo de la muestra es mostrado en la Figura 5. Dicho montaje puede realizarse en un aparato triaxial cíclico. Este ensayo además de permitir la determinación de  $G_{max}$ , puede ser usado como un indicador del grado de alteración de las muestras de suelo, y anisotropía (al colocarse radialmente y realizarse el ensayo en varias direcciones). Sin embargo, la determinación de  $G_{max}$  y la relación de amortiguamiento a altos niveles de deformación mediante este método no es confiable, por lo que se emplean entonces métodos alternativos para su obtención, tales como el ensayo de campo down-hole.



**Figura 5.** (a) Detalle del montaje del Bender Element para el ensayo de una muestra de suelo. (b) Esquema del equipo de Bender Element utilizado en ensayos triaxiales o de columna resonante. Tomado de "Lab measurement s of  $G_{máx}$  using bender elements". (Dyvik y Madshus, 1985).

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2</b> <b>INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y</b> <b>ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 4-20 FECHA: 2007-09-19	

#### 4.3.5 Módulo de Corte Máximo, $G_{m\text{Áx}}$

Los valores de  $G_{\text{max}}$  de cada material se determinan con la ecuación:

$$G_{m\text{Áx}} = \rho \cdot V_s^2 \quad \text{Ec. 3.}$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del material,  $\rho = \gamma/g$

$\gamma$ : Peso unitario del material

$g$ : Aceleración de la gravedad

$V_s$ : Velocidad de propagación de la onda de corte en el material

Los valores de  $V_s$  se obtuvieron a partir de los resultados de los ensayos geofísicos down-hole, que midieron directamente las ondas  $V_s$  y  $V_p$ . Adicionalmente, se obtiene de manera indirecta con los resultados de los ensayos de refracción sísmica que miden la velocidad de propagación de las ondas compresionales  $V_p$ .

En general, se busca la determinación de la velocidad de propagación de ondas elásticas a través del terreno. Se puede determinar el módulo secante  $G$ , conociendo la densidad  $\rho$  del suelo y la velocidad de las ondas de corte  $V_s$  que atraviesan el suelo.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 5-1 FECHA: 2007-09-19	

## 5 DEFINICIÓN DEL PERFIL GEOTÉCNICO

### 5.1 DETERMINACION DEL NIVEL DE ROCA BASE

La profundidad del basamento rocoso a lo largo del alineamiento de la tubería se estimó dentro del perímetro urbano y hasta la calle 200 con autopista norte mediante el mapa de espesor de sedimentos del Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá.

En sitios no cubiertos por el anterior estudio, la profundidad del basamento rocoso ó contacto con su material residual fue determinada mediante la información de referencia de sondeos profundos o superficiales donde se reporta el contacto con roca. Véase Tabla 1. Para determinar la profundidad de la roca en el tramo inicial, desde el Tanque Alto de Tibitoc (K-1+100 hasta el K19+500, y en el tramo comprendido entre el K31+700 al K35+000 (en proximidad a los cerros de Suba) se realizaron ensayos geofísicos (down-hole, líneas de refracción sísmica y sondeos eléctricos verticales), que junto con conceptos geológicos específicos (véase ANEXO 4), permitieron definirla.

### 5.2 IDENTIFICACIÓN Y CORRELACIONABILIDAD DE CONJUNTOS ESTRATIGRÁFICOS

#### 5.2.1 Principios de Correlación

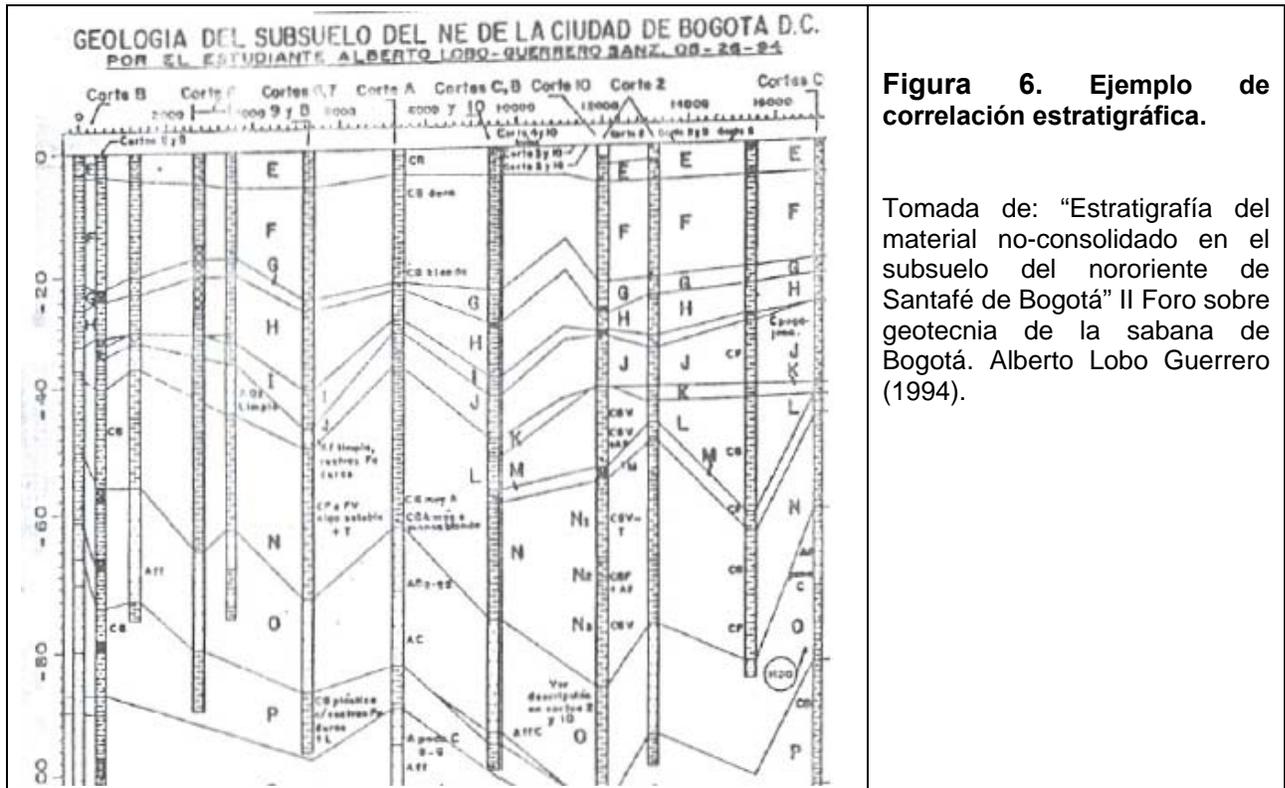
Se usaron como índices de correlación para identificar la continuidad de capas o estratos con comportamientos geotécnicos y sísmicos similares, los siguientes parámetros geotécnicos representativos:

- Índice de plasticidad (IP)
- Peso unitario ( $\gamma$ )
- Velocidad de onda ( $V_s$ )
- Grupo de clasificación del suelo USC
- Descripción estratigráfica (marcadores estratigráficos, arenas, turbas)

Mediante la localización de los sondeos de referencia y del proyecto a lo largo de un perfil que cubre todo el trazado descrito por la tubería, y la diferenciación de las capas de suelo que

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 5-2</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 5-2		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 5-2								
FECHA: 2007-09-19								

constituyen cada uno de los sondeos (mediante sus parámetros geotécnicos y descripción obtenidos de las muestras de suelo del proyecto y las reportadas en la información de referencia), se puede inferir la continuidad de las capas de suelo y de su comportamiento geotécnico, de forma similar como se muestra en la Figura 6.



**Figura 6. Ejemplo de correlación estratigráfica.**

Tomada de: “Estratigrafía del material no-consolidado en el subsuelo del nororiente de Santafé de Bogotá” II Foro sobre geotecnia de la sabana de Bogotá. Alberto Lobo Guerrero (1994).

El principal criterio para generar la secuencia de estratos fue la descripción (visual o basada en ensayos de laboratorio) presentada en todos los sondeos, además se considero no dejar estratos con más de 20 m de espesor aunque no se encuentran muchos así debido a la intercalación de materiales.

Como segundo criterio se tiene el índice de plasticidad, en gran parte de sectores es evidente la clara diferenciación de materiales a partir de esa variable, sobretodo entre las arcillas sobreconsolidadas de la parte superior y las que le subyacen, además con este criterio fue posible localizar adecuadamente algunos de los estratos de turba.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 5-3 FECHA: 2007-09-19	

Finalmente, se uso el peso unitario intentando conservar estratos con valores de peso unitario ( $\gamma$ ) similares para obtener valores de densidad ‘aproximadamente’ similares para el cálculo de los parámetros dinámicos.

En el sector entre el piedemonte del cerro de Suba y el tanque de Casablanca para los estratos más profundos (a profundidades mayores a los 100 m) se usaron los mismos estratos que los que aparecen en el “Modelo geológico - geotécnico de la Sabana de Bogotá” realizado por la Sociedad Colombiana de Geotecnia y el DPAE, 2006. <sup>(4)</sup>

Igualmente se usaron modelos previamente desarrollados entre ellos el modelo geotécnico de la Autopista Norte entre calles 170-129 realizado por el IDU <sup>(5)</sup> y el desarrollado por IGRL para el puente vehicular de la Autopista Sur con Avenida Villavicencio, 2004 <sup>(6)</sup>

Una vez realizada la distribución de estratos, se procedió a corroborarla con los resultados de los ensayos down-hole disponibles en su momento obteniendo una alta correspondencia con el perfil planteado y se procedió a ajustar el modelo en aquellos sitios que presentaban algunas diferencias.

El mayor problema fue con el nivel de roca, para ello el modelo se basó principalmente en el plano de isopropundidades presentado en la microzonificación sísmica de Bogotá, ese plano tiene la limitación que sólo se extiende unos kilómetros al norte por lo cual a partir de allí, donde no se reportó roca en los sondeos recopilados o realizados, se determinó la profundidad del basamento rocoso con la ayuda de ensayos geofísicos y reconocimientos geológicos.

## 5.2.2 Marcadores estratigráficos (Turbas, Arenas)

Las capas de turba encontradas en diferentes perforaciones realizadas y reportadas en los sondeos de referencia sobre la zona plana de Bogotá, se encuentran a ciertas profundidades dominantes que evidencian la ocurrencia de ciertas condiciones paleoclimáticas (ó tectónicas como plantea el Geólogo Alberto Lobo Guerrero) <sup>(7)</sup> favorables para su formación y acumulación, en los ambientes costeros del antiguo lago (en donde se experimentaron cambios de nivel de agua por periodos determinados de tiempo) se formaron depósitos de turba o pantano y horizontes de oxidación (material vegetal de este sector que permaneció más tiempo al descubierto, fue expuesto a los procesos de oxidación y humificación) que constituyen buenos marcadores estratigráficos.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 5-4 FECHA: 2007-09-19	

Con base en la información recopilada, se observa la existencia de tres estratos de turba de gran continuidad, dos de los cuales son superficiales y tienen un espesor promedio de 1.5 m aproximadamente a 7 m y otro a 14 m de profundidad entre el K0+00 al K13+000 los cuales se profundizan ligeramente a 10 m y 20 m de profundidad entre el K16+500 al K24+000 y desaparece parcialmente entre el K34+000 al K49+500 y reaparece el mas superficial en la Zona 2 – Piedemonte (Av. Villavicencio) entre el K49+500 hasta llegar al K52+000 en cercanías al Tanque de Casablanca de la EAAB. El otro estrato de turba de gran continuidad fue localizado entre el K0+500 con una profundidad de 20 m, profundizándose lentamente hasta los 29 m en el K17+500.

La presencia de rastros de turba a 11 m de profundidad entre capas de arcilla limo-arenosa y arenas finas entre el K0+500 al K12+000 y K49+000 al K51+000 y capas de turba a 30 m de profundidad entre capas de arcilla-limo-arenosa entre el K19+000 al K21+000 de profundidad es asociada a niveles del lago bajos a muy bajos que permitieron la depositación de material arenoso (en periodos de régimen de flujo alto) y posteriormente la formación de turba (durante el descenso marcado del nivel del lago).

A partir de la continuidad de capas entre diferentes sondeos establecida mediante la correlación de sus parámetros geotécnicos, descripción estratigráfica, y la ayuda de los marcadores estratigráficos, fue posible conformar un perfil geotécnico coherente.

### 5.2.3 Materiales característicos

A lo largo de todo el perfil, se encontró un espesor pequeño de rellenos y suelos superficiales desecados y sobreconsolidados del orden de 5 m fácilmente identificable por los altos valores de pesos unitarios, bajas plasticidades y altas velocidades de onda, estado generado por los procesos de desecación de los suelos superficiales de la Sabana, el reemplazo de los materiales superficiales por rellenos antrópicos compactados bajo esfuerzos de trabajo de las obras de infraestructura de la ciudad.

Bajo estos suelos se encuentra una secuencia de suelos arcillosos de origen lacustre de la Formación Sabana conformado por arcillas y limos plásticos de color gris oscuro casi uniformes con la profundidad hacia el sector norte y nor-oriental, también se presentan ocasionalmente depósitos de turbas y material orgánico en descomposición. Hacia el sector sur se encuentran suelos limosos, arcillosos y arenosos con interestratificaciones de lentes de arena y grava e intercalaciones de ceniza volcánica. En el piedemonte de los cerros orientales y del sur se presentan depósitos de coluvión, producto de la fracturación, meteorización y erosión de rocas preexistentes que han tenido transporte por acción del agua y de la gravedad y se han depositado en las partes media e inferior de las laderas.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 5-5 FECHA: 2007-09-19	

Para la caracterización de los puntos de las secciones donde no se contaba información de  $V_s$  proveniente de ensayos de down-hole ni con un perfil de propiedades de estado detallado que posibilitara la estimación de un perfil de velocidad de onda según la metodología planteada anteriormente (a profundidades mayores a 100 m), se extrapoló dicho perfil con base en las tendencias generales obtenidas de variación de  $V_s$  con la profundidad en la formación Sabana y Subachoque ( $V_s=AoZ^m$ , Rodríguez, 1994)<sup>(8)</sup> que se reportaron en el Modelo Geotécnico de la Sabana de Bogotá. A continuación se referencia lo anterior.

Un análisis de la tendencia de los valores de  $V_s$  en la forma  $V_s=Ao Z^m$ , permite hacer extrapolaciones razonables en profundidad de los valores de  $V_s$ . Para los suelos arcillosos lacustres de la zona 4 y algunos sectores de la zona 3, los valores de  $Ao$  son del orden de 100 y  $m$  del orden de 0.14 a 0.2. Los bajos valores de  $m$  indican la poca variación de  $V_s$  con la profundidad. Para los suelos aluviales de la formación Subachoque se obtuvieron valores de  $Ao$  del orden de 23 y valores de  $m$  alrededor de 0.6, lo cual es el valor típico de los suelos aluviales naturales. Valores obtenidos en el estudio “Revisión y actualización de los espectros de diseño y zonas definidas en el estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, D.C.” realizado por IGRL a la Sociedad Colombiana de Geotecnia y el DPAE, 2007<sup>(9)</sup>.

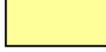
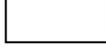
En todos los casos se debe tener en cuenta que los valores de  $V_s$  varían localmente en profundidad. Para los suelos lacustres de la formación Sabana esta variación puede ser de más o menos 10 a 20 m/s. En los suelos arenosos de la formación Subachoque o de la zona 3, se pueden tener variaciones en un rango del orden de 20 a 25 m/s alrededor de la tendencia general. Es importante que en los análisis de respuesta siempre se tenga en cuenta esta variabilidad para identificar los posibles rangos de resultados.

Teniendo en cuenta que el perfil geotécnico será usado para realizar el análisis y evaluación de la respuesta sísmica e interacción dinámica suelo estructura (tubería), se identificaron catorce (14) capas de suelo ó materiales que conforman el perfil geotécnico, capas que por su espesor, continuidad y influencia en la respuesta dinámica definirían la respuesta dinámica del perfil geotécnico encontrado a lo largo de todo el trazado.

Una vez establecidas la continuidad de las capas en el perfil geotécnico (véase ANEXO 9), y teniendo en cuenta que a lo largo del perfil los parámetros geotécnicos de la capa cambian, se determinó un valor medio y un rango de variación de cada uno de los parámetros geotécnicos representativos (índice de plasticidad (IP), el peso unitario ( $\gamma$ ) y la velocidad de onda ( $V_s$ ) de cada uno de los catorce (14) materiales representativos a lo largo de todo el perfil geotécnico, los cuales se presenta en la Tabla 5. El valor de los parámetros de los materiales ha usar en las modelaciones bidimensionales se obtendrá a partir de valores medios obtenidos para cada tramo de estudio o zona cubiertas por los modelos de análisis, estos valores serán más representativos para efectos de análisis que los reportados para el perfil geotécnico total.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-GT-002</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 5-6</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</td> </tr> </table>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1	PÁGINA 5-6		FECHA: 2007-09-19	
RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1							
PÁGINA 5-6								
FECHA: 2007-09-19								

**Tabla 5.** Parámetros de los materiales promedio representativos del perfil geotécnico total

Descripción	Material	Color	IP (%)	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)
Relleno	1		36-106	1.86	180 (140-240)
Arcilla Sobreconsolidada	2		51-188	1.57	181 (118-286)
Arcilla Limosa	3		91	1.40	156 (115-210)
Arena – 1	4			1.76 (1.53-1.96)	182 (125-250)
Limo Arcilloso	5		77-183	1.47	182 (124-240)
Turba – 1	6		95-184	1.33 – 1.58	152 (124-187)
Arena – 2	7			1.75	200 (180-220)
Arena – 3	10			1.86	250 (250-333)
Limo Orgánico	8		14-77	1.72	
Arcilla Gris	9		85 65 - 155	1.46	156 (115-210)
Arcilla Subachoque 1	11			1.5	277
Arcilla Subachoque 2	12			1.62	332
Residual	13			2.1	450
Roca arcillolita	14			2.5	700

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  <b>SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A.</b> <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 5-7 FECHA: 2007-09-19	

### 5.3 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Con base en la información efectivamente procesada se pueden establecer los siguientes sectores, que abarcan trazado total de la línea. En el plano del ANEXO 9, se puede observar el modelo geotécnico.

- El tramo inicial, desde el Tanque Alto de la Planta de Tratamiento (K-1+100) hasta el K0-600. En este sector la tubería atraviesa zonas de cerros.
- El tramo desde el K0-600 al K1+200. En este sector la tubería atraviesa zona de piedemonte, en donde se espera que debido a la poca profundidad del basamento rocoso, es posible que se presenten amplificaciones en la respuesta sísmica.
- K1+200 a K4+250. Es un sector en el cual se presentan intercalaciones entre arenas, arcillas, limos y turbas. En este tramo el trazado de la tubería se aleja de los cerros pero se esperan profundidades de basamento rocoso máximas 90m, por lo tanto el comportamiento sísmico puede asemejarse al de un depósito de piedemonte. Así mismo, la presencia de arenas a poca profundidad sugiere la necesidad de analizar la zona ante posibles fenómenos de licuación. Sin embargo, por encontrarse material orgánico de baja rigidez, se espera una deamplificación en la respuesta dinámica a las profundidades de interés.
- K4+250 a K6+000, K7+500 a K8+750. Se observa la presencia de estratos de arenas a poca profundidad de 5 a 10 m de espesor, y basamento relativamente superficial, donde es posible la ocurrencia de fenómenos de licuación.
- K6+000-K7+500, al K8+750 - K18+500. Se realizaron una gran cantidad de ensayos geofísicos con el fin de resolver incertidumbres relacionadas con la profundidad del basamento rocoso, y se solicitó concepto geológico. Se observa que la geometría del basamento es uno de los factores más relevantes en la respuesta sísmica y, en este caso la roca se encontró variante entre la superficie y los 45 m de profundidad (debido a la posible existencia de antiguos lechos de ríos, quebradas que profundizaron la capa de sedimentos creando microcuencas), por lo que se esperan amplificaciones importantes en los límites de cada una de las microcuencas detectadas. En cuanto a los materiales presentes, se puede diferenciar una capa de aproximadamente 20 m de materiales finos, seguida por intercalaciones de arena, limos y arcillas hasta una profundidad estimada de 45m.
- K18+500-K22+500. Este tramo se encuentra aproximadamente entre calles 280 y 200. El alineamiento va principalmente por zona de humedales en donde se disminuye la presencia de arenas y aumenta la de material fino. En este sector de la Autopista Norte se encuentra la Zona 3 – Lacustre A, hasta llegar a la diagonal 129. Según el mapa de isoespesores de roca

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 5-8 FECHA: 2007-09-19	

de la Microzonificación Sísmica de Bogotá, la profundidad del basamento aumenta inclusive hasta 145 m.

- K22+500-K29+500. En este tramo la tubería se encuentra dentro de la Zona 3 – Lacustre A de la Microzonificación Sísmica de Bogotá, con las configuraciones de materiales comunes en la misma, en donde predominan los materiales finos.
- K29+500-K32+500. Una vez la tubería toma la diagonal 129 hacia occidente, desde la Autopista Norte hasta la Avenida Boyacá con Avenida Suba, existe una transición de la Zona 3 Lacustre a la Zona 2 – Piedemonte del cerro de Suba. En este sector se estimó la profundidad del basamento rocoso mediante ensayos geofísicos y su acercamiento a la superficie produciría amplificaciones en la respuesta sísmica.
- K32+500-K34+500. La línea toma la Avenida Boyacá hacia el sur, desde la diagonal 129 hacia la Avenida Pepe Sierra, y se extiende sobre la Zona 2 – Piedemonte de Suba. En este sector se realizaron ensayos geofísicos con los que se determinó que la profundidad del basamento esta entre los 5 y 20 m de profundidad. La proximidad del basamento rocoso tendrá influencia en la respuesta dinámica del perfil.
- K34+500-K41+500. Desde la Avenida Pepe Sierra hasta aproximadamente la calle 63 con Avenida Boyacá, la tubería pasa por Zona 4 – Lacustre B, para estar luego de nuevo en la Zona 3 hasta llegar el canal San Francisco (calle 31 con Av. Boyacá).
- K41+500-K49+000. Entre el canal San Francisco y la Avenida Primero de Mayo, sobre la Avenida Boyacá, la Línea atraviesa una zona de rellenos de excavación y nuevamente hay presencia de arenas intercaladas con materiales finos, por lo cual será necesario realizar análisis para evaluar la susceptibilidad a la licuación. Se atraviesa por la Zona 5 – Terrazas y conos.
- K49+000-K52+175. Finalmente, la tubería pasa por Zona 2 – Piedemonte (Av. Ciudad de Villavicencio) y sube a Zona 1 de Cerros sur-occidentales, hasta llegar al Tanque de Casablanca de la EAAB. En este tramo predominan los materiales granulares y la profundidad del basamento disminuye drásticamente, por lo cual se esperan amplificaciones en la respuesta y se requiere un análisis de susceptibilidad a la licuación.

#### 5.4 SECCIONES DE ANÁLISIS DE RESPUESTA

A lo largo de todo el perfil geotécnico, se efectuó una caracterización geotécnica, estática y dinámica, con el fin de realizar una posterior modelación numérica utilizando programas de elementos finitos bidimensionales como QUAKE/W, QUAD4M, y FLAC3D, en los cuales,

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 5-9 FECHA: 2007-09-19	

además de representar la geometría de los depósitos cuaternarios, se involucrará la geometría de los Cerros Orientales y Cerros de Suba, junto con la variación en profundidad del basamento rocoso.

Con el fin de tener en cuenta en la respuesta sísmica bidimensional del perfil geotécnico el efecto del cambio de dirección de la tubería y cambio de estratigrafía implícito, el cambio de rigidez de los materiales (módulos de elasticidad, resistencia al corte), cambios topográficos (entre zonas de cerros, piedemonte, zona plana) entre tramos, y las limitaciones del número de nudos de las secciones de análisis, se realizó una sectorización para un total de 16 secciones, y se realizaron la totalidad de las mallas en Autocad con base en el modelo geotécnico, necesarias para la elaboración del modelo de elementos finitos y respuesta dinámica en 2D de las secciones:

No. Sección	Tramo	
	De (Km)	A (Km)
1	K-1+100	K0+000
2	K0+000	K4+400
3	K4+400	K8+800
4	K8+800	K13+200
5	K13+200	K17+375
6	K17+375	K21+550
7	K21+550	K25+750
8	K25+750	K29+900
9	K29+900	K32+400
10	K32+400	K36+350
11	K36+350	K40+300
12	K40+300	K44+250
13	K44+250	K48+050
14	K48+050	K50+400
15	K50+400	K51+700
16	K51+700	K52+175

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 5-10 FECHA: 2007-09-19	

## 5.5 SISMOS DE DISEÑO

De acuerdo con la reunión efectuada el 02 de Agosto de 2007 en las oficinas de la EAAB, cuya Ayuda de Memoria se incluye como ANEXO 10, se verificaron y discutieron los criterios a adoptar para escoger y trabajar con los sismos de diseño sin escalar definidos en un informe interno del DPAE. A continuación, se presentan las características de los sismos sin escalar que se acordaron utilizar para los proyectos para la evaluación de la respuesta sísmica:

Fuente Cercana	Mammoth
	Coalinga
	Umbría
Fuente Intermedia	Mt. Balde
	Deer Canyon
	Okayama
Fuente Lejana	México CUIP
	México CUMV
	México CU01

Adicionalmente, los sismos que se emplearán escalados para un nivel de amenaza para fuente cercana de  $A_{máx}=0.16g$  y para fuente intermedia de  $A_{máx}=0.14g$ , en su orden, son los siguientes:

- Fuente Cercana: Coalinga
- Fuente Intermedia: N. Deer Canyon

La selección se efectuó teniendo en cuenta los espectros tripartita de las señales originales.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 6-1 FECHA: 2007-09-19	

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Adicional a las conclusiones que se han presentado en todo el texto, a continuación se resaltan las siguientes:

- Se obtuvo un perfil geotécnico representativo a lo largo del alineamiento de la tubería desde el Tanque Alto de Tibitoc hasta el Tanque de Casablanca, conformado a partir de la información geotécnica recopilada y de la investigación geotécnica y geofísica realizada para el proyecto, determinando los parámetros geotécnicos estáticos y dinámicos de los 14 materiales encontrados como representativos del perfil.
- La realización de ensayos geofísicos e interpretaciones geológicas en el tramo inicial, desde el Tanque Alto de Tibitoc hasta el K18+000, y en el tramo comprendido entre el K32+700 al K33+700 (en proximidad a los cerros de Suba) permitieron determinar la profundidad y geometría del basamento rocoso.
- La sectorización geotécnica definió doce (12) zonas, las cuales tienen en cuenta el cambio de espesor y propiedades estáticas índice, de compresibilidad y resistencia de los depósitos subyacentes bajo la tubería, y cambios en la profundidad y geometría del basamento rocoso. Se identificaron preliminarmente, zonas susceptibles a licuación y de amplificación de la respuesta dinámica por la poca profundidad del basamento rocoso y su geometría.
- Para caracterizar dinámicamente los materiales del subsuelo es necesario determinar las curvas dinámicas de los materiales característicos a partir de los resultados de los ensayos triaxiales cíclicos, bender element, y down-hole.
- Con el objeto de contar con la mayor cantidad de información, referente a los posibles movimientos de diseño, se realizó una selección de señales recomendadas por el Sistema de Información para Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá (SIRE), las cuales estarán escaladas a los niveles de aceleración indicados. Las señales se deben emplear escaladas de acuerdo a los niveles de amenaza sísmica dados en el numeral 3 del artículo 7 del decreto 193 de 2006 de la siguiente manera: fuente local  $A_{máx}=0.25g$ , fuente intermedia  $A_{máx}=0.2g$  y fuente lejana  $A_{máx}=0.038g$ .

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 7-1 FECHA: 2007-09-19	

## 7 LIMITACIONES

- Como se ha podido evidenciar a lo largo del desarrollo del proyecto, existe una constante carencia de información en grandes zonas de estudio, por lo cual fue necesario realizar un gran número de ensayos geofísicos y una serie de suposiciones (continuidad y parámetros del material bajo los 100 m de profundidad) que inducen algún grado de incertidumbre en los resultados.
- Para la conformación de las secciones aquí presentadas se utilizó como principal referencia el Modelo Geotécnico de la Sabana de Bogotá (arcillas de Subchoque 1 y 2), anteriormente presentado por la Sociedad Colombiana de Geotecnia. Por tal motivo las incertidumbres que allí se presentan también se reflejan en los resultados aquí mostrados.
- Se asume que la información recopilada está acorde con la realidad de las condiciones geotécnicas.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 8-1 FECHA: 2007-09-19	

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- (1) VUCETIC, MLADEN and DOBRY, RICARDO. (1991). *Effect of soil plasticity on cyclic response*. ASCE, JGE; Vol.117, No.1.
- (2) SEED H, IDRIS I *et al*. *Moduli and Damping Factors for Dynamic Analisis of Cohesionless Soils*, Earthquake Engineering Research Center. University of California. Report No UCB/EERC-84/14. Berkeley, Septiembre de 1994.
- (3) TORRES *et al* *Modelo geológico-geotécnico de la Sabana de Bogotá*, 2005
- (4) SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA – DPAE *Modelo geológico-geotécnico de la Sabana de Bogotá*, 2006.
- (5) UNION TEMPORAL PUENTE CALLE 170 – 2002 “*Estudios Dinámicos para el nuevo puente vehicular de la Calle 170*”, Contrato CIF-IDU 212-02. Bogotá, 2002.
- (6) INGENIERIA Y GEORIESGOS, *Estudios de Respuesta Sísmica para los Puentes Vehiculares de la Autopista Sur con Avenida Villavicencio*, 2004.
- (7) LOBO-GUERRERO S., ALBERTO. (1994). *Estratigrafía del material no consolidado en el subsuelo del nororiente de Santafé de Bogotá*. II Foro sobre geotecnia de la Sabana de Bogotá. Pág. 14-36.
- (8) RODRIGUEZ J. (1994). *A new method for interpretation of surface waves measurements in soils*, PhD Dissertation North Carolina State University.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		PÁGINA 8-2 FECHA: 2007-09-19	

(9) SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA – DPAE. *Revisión y actualización de los espectros de diseño y zonas definidas en el Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, D.C. 2007.*

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA AIS *Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente, Bogotá, 1998*

HUDSON, M; IDRIS, I.M. y BEIKAE M. *QUAD4M. A computer program to evaluate the seismic response of soil structures using finite element procedures and incorporating a compliant base.* University of California. 1994.

MORENO C., RODRÍGUEZ E. *Comportamiento dinámico de turbas de Bogotá y su efecto en la propagación de las ondas sísmicas,* Universidad Nacional de Colombia, 2004

INGENIERIA Y GEORIESGOS. *Estudios de Respuesta Sísmica para el Puente Vehicular de la Avenida NQS por Calle 72, 2002.*

INGEOMINAS. *Inventario de datos hidrogeológicos en la zona centro-occidental de la Sabana de Bogotá, 1986*

IDU - PSI S.A. *Estudios de Revisión y Actualización Sísmica y Diseño de las soluciones de 5 puentes vehiculares Grado 5 en Bogotá – Puente Vehicular de la Avenida NQS por Avenida Calle 72, Bogotá, 2000.*

SIRE. *Sistema de Información para Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá y base de datos de estudios geotécnicos de la DPAE*

SISGEO. *Registros del sistema de información geotécnico de la EAAB.*

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  <b>SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A.</b> <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		FECHA: 2007-09-19	

## ANEXO 1

### REGISTROS DE PERFORACIÓN INFORMACIÓN DE REFERENCIA RECOPIADA

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  <b>SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A.</b> <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		FECHA: 2007-09-19	

**ANEXO 2**

**REGISTROS DE PERFORACIÓN DEL PROYECTO Y ENSAYOS DE LABORATORIO**

	<p style="text-align: center;"><b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b></p>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<p style="text-align: center;">CONTRATO 1-02-25400-514-2006</p>	<p style="text-align: center;"><b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b></p>	<p style="text-align: center;">RTC-IF-GT-002</p>	<p style="text-align: center;">VERSIÓN: 1</p>
		<p style="text-align: center;">FECHA: 2007-09-19</p>	

### ANEXO 3

#### LOCALIZACIÓN PLANTA-PERFIL PERFORACIONES RECOPIADAS Y DEL PROYECTO

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		FECHA: 2007-09-19	

**ANEXO 4**

**INFORME DE RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO**

	<p align="center"><b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b></p>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<p align="center"><b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006</p>	<p align="center"><b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b></p>	<p align="center">RTC-IF-GT-002</p>	<p align="center">VERSIÓN: 1</p>
		<p align="center">FECHA: 2007-09-19</p>	

**ANEXO 5**

**ENSAYOS DE CAMPO DOWNHOLE**

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  <b>SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A.</b> <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		FECHA: 2007-09-19	

**ANEXO 6**

**REGISTROS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA**

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		FECHA: 2007-09-19	

**ANEXO 7**

**SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEVs)**

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  <b>SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A.</b> <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		FECHA: 2007-09-19	

**ANEXO 8**

**INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA**

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  <b>SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A.</b> <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		FECHA: 2007-09-19	

**ANEXO 9**

**MODELO GEOTÉCNICO**

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> 1-02-25400-514-2006	<b>PRODUCTO 2. INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	RTC-IF-GT-002	VERSIÓN: 1
		FECHA: 2007-09-19	

**ANEXO 10**

**AYUDA DE MEMORIA REUNIÓN AGOSTO 2 DE 2007**