

E-157

000001

EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTA - ESP

PROGRAMA SANTAFE I

REDES MENORES DE ACUEDUCTO

ESPECIFICACIONES TECNICAS

1.996

55-

000002



EMPRESA
DE ACUEDUCTO
Y ALCANTARILLADO
DE BOGOTÁ



fonade

PLAN MAESTRO DE ALCANTARILLADO

INTERCEPTOR DEL RIO BOGOTÁ MEMORIAS DE CÁLCULO

PARTE I

ESTUDIOS GEOTECNICOS

Volumen 1 - Conducción

GC-500-79-023

SANTA FE DE BOGOTÁ, SEPTIEMBRE 1993

CONSORCIO

GÓMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA.
INGENIEROS CONSULTORES



MONTGOMERY WATSON

EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTA
PLAN MAESTRO DE ALCANTARILLADO
INTERCEPTOR DEL RIO BOGOTA

INDICE GENERAL

PARTE

RESUMEN

- I. ESTUDIOS GEOTECNICOS
- | | |
|-----------|--------------------------|
| Volumen 1 | CONDUCCION |
| Volumen 2 | ESTACION ELEVADORA TORCA |
| Volumen 3 | TUNEL LA CONEJERA |
- II. DISEÑO ESTRUCTURAL
- III. DISEÑOS GEOMETRICOS, HIDRAULICOS Y SANITARIOS
- IV. TOPOGRAFIA
- V. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

INTERCEPTOR RIO BOGOTA - TRAMO 1

PARTE I

ESTUDIOS GEOTECNICOS

VOLUMEN 1

CONDUCCION

INDICE

CAPITULO	PAGINA
I. GENERALIDADES	1
II. DESCRIPCION DEL PROYECTO	2
III. TRABAJOS EJECUTADOS	3
3.1 Revisión de la Información Existente	3
3.2 Perforaciones	3
3.3 Ensayos de Laboratorio	3
IV. ANALISIS	6
4.1 Estructura de Conexión y Desfogue	6
4.1.1 Descripción del Subsuelo	6
4.1.2 Análisis de Ingeniería	7
4.1.3 Conclusiones y Recomendaciones	8
4.2 Tramo 1 - Cruce Interceptor Bajo Autopista	8
4.2.1 Descripción del Subsuelo	8
4.2.2 Análisis de Ingeniería	9
4.2.3 Conclusiones y Recomendaciones	10
4.3 Tramo 2 - Estación Elevadora Torca - Túnel La Conejera	10
4.3.1 Descripción del Subsuelo	11
4.3.2 Análisis de Ingeniería	11
4.3.3 Conclusiones y Recomendaciones	12
4.4 Tramo 3 - Conexión al Portal de Entrada del Túnel de la Conejera	13
4.4.1 Descripción del Subsuelo	13
4.4.2 Análisis de Ingeniería	14
4.4.3 Conclusiones y Recomendaciones	14

4.5	Tramo 4 - Conexión del Portal de Salida del Túnel de la Conejera	15
4.5.1	Descripción del Subsuelo	15
4.5.2	Análisis de Ingeniería	16
4.5.3	Conclusiones y Recomendaciones	17
4.6	Tramo 5	17
4.6.1	Fuentes de Información	17
4.6.2	Caracterización del Subsuelo	17
4.6.3	Análisis de Ingeniería	18
4.6.4	Resultados	22
4.6.5	Conclusiones y Recomendaciones.	22
V.	LIMITACIONES	33

FIGURAS

3.1	Localización de Perforaciones
4.1	Diagrama de Presión para la Pantalla - Estructura de Conexión y Desfogue
4.2	Diagrama de Presión para Excavación a 5.5 m
4.3	Diagrama de Presión para Excavación a 4.0 m
4.4	Diagrama de Presión para Excavación a 5.0 m
4.5	Diagrama de Presión para Excavación a 6.0 m
4.6	Diagrama de Presión para Excavación a 7.0 m
4.7	Diagrama de Presión para Excavación a 8.0 m
4.8	Diagrama de Presión para Excavación a 9.0 m
4.9	Diagrama de Presión para Excavación a 10 m
4.10	Excavaciones Temporales donde $7m < H_e < 10m$

ANEXO No. 1

- Registros de Perforación
- Cuadros Resumen de Ensayos de Laboratorio
- Memorias de Cálculo

CAPITULO I
GENERALIDADES

Dentro del Contrato de Consultoría No. 157 de 1990 firmado entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y el Consorcio Gómez, Cañas y Asociados Cia. Ltda. y James M. Montgomery, Consulting Engineers Inc., para el desarrollo de los estudios y diseños del Plan Maestro de Alcantarillado de Bogotá, Proyecto Bogotá V, se ha realizado el Estudio Geotécnico para el Interceptor del Río Bogotá - Tramo I.

El informe resume la descripción del proyecto y de los trabajos ejecutados, la caracterización del subsuelo encontrado, los análisis realizados y las recomendaciones geotécnicas para las excavaciones temporales de box-culverts y zanjas para la instalación de tubería.

En razón a la división de los contratos y la diversidad de las obras que constituyen el proyecto del Interceptor Río Bogotá, este informe se dividió en 3 volúmenes como se describe en el Capítulo II, siendo este el primer volumen.

CAPITULO II

DESCRIPCION DEL PROYECTO

El proyecto del Interceptor del Río Bogotá - Tramo I en lo concerniente a la parte geotécnica, comprende los siguientes estudios:

- Estructura de conexión y desfogue de los Interceptores Torca, localizada en la abscisa K0+000 del Sector 1.
- Excavación para la instalación de una tubería en concreto reforzado de 1.8 m de diámetro entre la estructura de conexión y desfogue hasta la abscisa K0+180 (Sector 1).
- Excavación para la construcción de un box-culvert para conectar el K0+150 hasta la Estación Elevadora de Torca.
- Excavación y cimentación para la Estación Elevadora de Torca.
- Excavación para la construcción de un box-culvert con sección de 2.5 m x 3.0 m entre el K0+000 y el portal de entrada al túnel de La Conejera (Sector 2).
- Excavación y soporte para los portales y el Túnel de la Conejera.
- Excavación para la construcción de un box-culvert con sección de 3.0 m x 3.0 m entre el Portal de la salida del túnel de La Conejera y el K0+300 del Sector 4.
- Excavación para la instalación de una tubería en concreto reforzado de 2.15 m de diámetro entre el K0+300 y el K9+776 del Sector 4.

En los Volúmenes II y III se trata la geotecnia concerniente a la conexión de la Estación Elevadora de Torca, la Estación misma y el Túnel de La Conejera, para completar el Interceptor Río Bogotá.

En este primer volumen, se estudian las excavaciones de la conducción.

CAPITULO III

TRABAJOS EJECUTADOS

3.1 REVISION DE LA INFORMACION EXISTENTE

Se consultó el Estudio de Suelos para la Avenida Cundinamarca en el Sector Avenida El Rincón - Avenida Transversal de Suba, realizado en marzo de 1980 por Gómez, Cajiao y Asociados Cia. Ltda., así como información de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá relacionada con los suelos del sector.

3.2 PERFORACIONES

Con el fin de obtener una apropiada descripción de los suelos que se encuentran a lo largo del interceptor, se programaron y ejecutaron 24 barrenos manuales a profundidades variables entre 1 m y 3 m, y 2 perforaciones a profundidades entre 16 m y 17 m. Estos sondeos se hicieron sobre varias rutas preseleccionadas para el IEB, con lo cual se obtuvo una buena información regional.

Durante el avance de cada barreno manual y de cada perforación se identificaron los suelos encontrados, se recuperaron muestras inalteradas con tubo Shelby en el suelo cohesivo, se efectuaron ensayos in situ de torsión con veleta de campo para evaluar la resistencia al corte no drenada de los suelos cohesivos y se observaron los flujos de agua hacia la perforación y los niveles de agua dentro del hueco a fin de estimar de la mejor manera posible la posición del nivel freático en los metros superiores del perfil.

La Figura 3.1 muestra la localización en planta de los barrenos manuales y de las perforaciones con equipo mecánico, y el Anexo 1 presenta los registros de perforación.

3.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Todas las muestras del suelo fueron identificadas visualmente. Se desarrolló un programa de ensayos de laboratorio sobre muestras representativas de los diferentes estratos y niveles del suelo para determinar su clasificación y sus características de resistencia y compresibilidad.

Los ensayos básicos sobre muestras de suelos finos generalmente incluyen pruebas de clasificación (límites de consistencia y ocasionalmente granulometría), pruebas de resistencia (compresión inconfiada) y pruebas indicativas de resistencia y compresibilidad (humedad natural y peso unitario).

Los ensayos básicos sobre suelos granulares incluyeron pruebas de clasificación.

En el Anexo 1 se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio.

CAPITULO IV

ANALISIS

El presente capítulo resume los análisis de ingeniería llevados a cabo para estudiar los diferentes aspectos de las obras que componen el Interceptor Río Bogotá.

Este capítulo se complementa con el Anexo No. 1, el cual presenta las Memorias de Cálculo correspondientes a los diferentes análisis efectuados.

4.1 ESTRUCTURA DE CONEXION Y DESFOGUE

Esta estructura conecta el Interceptor Río Bogotá con los Interceptores Torca. Consiste en un cajón de concreto reforzado con base rectangular de 4 m x 5 m y una altura de 8.8 m aproximadamente, que se encuentra apoyada en la cota 2574.5 y sobresale del terreno 1.5 m.

4.1.1 Descripción del Subsuelo

Para esta estructura se tomó información del subsuelo de una perforación profunda efectuada en el sitio (SI-1 del Estudio para el Interceptor Río Bogotá), que muestra los siguientes datos.

- Relleno

Inicialmente se encuentra un relleno heterogéneo de 1.5 m de espesor, de limo arcilloso y desperdicios de construcción, medianamente compacto.

- Estrato No. 1

De 1.5 m a 4.0 m de profundidad se encuentra un estrato de limo arcilloso negro, orgánico, de consistencia media a blanda.

- Estrato No. 2

De 4.0 m a 6.0 m de profundidad se encuentra un estrato de arcilla limosa gris verdosa, de consistencia media.

- Estrato No. 3

De 6.0 m a 11.5 m de profundidad se encuentra un estrato de limo arcilloso gris, de consistencia blanda hasta 8.5 m y muy blanda de 8.5 m a 11.5 m de profundidad.

4.1.2 Análisis de Ingeniería

Después de analizar la columna estratigráfica del sitio, la variación de las propiedades y parámetros del suelo con la profundidad y los perfiles de resistencia, se obtuvo el perfil de análisis que se describe a continuación:

Profundidad (m)	USC	γ_r (t/m ³)	Resistencia al Corte no drenada (Kg/cm ²)
0 - 1.5	Relleno	1.9	0.20
1.5 - 4.0	MH	1.4	0.20
4.0 - 6.0	CH	1.5	0.25
6.0 - 8.5	MH	1.4	0.25
8.5 - 12.0	MH	1.3	0.15

- Falla de Fondo

Teniendo en cuenta que en el sitio de la estructura se encontraron arcillas de consistencia media a blanda, se evaluó el grado de seguridad contra una falla de fondo a corto plazo de la excavación, para la cual se encontró:

Profundidad de excavación: 7.5 m

Factor de seguridad contra falla de fondo (con sobrecarga al borde de la excavación): 1.06

Factor de Seguridad contra falla de fondo (sin sobrecarga cerca a la excavación): 1.25

- Capacidad Portante

Para una profundidad de cimentación de la estructura de 7.5 m en el estrato de limo arcilloso gris (Estrato No. 3), se encontró una presión de contacto admisible de 8.6 t/m² para un factor de seguridad de 3 ó 13 t/m² para un factor de seguridad de 2.

- Estabilidad de Taludes Temporales

Se analizó la estabilidad para diferentes taludes y geometrías, obteniéndose los siguientes resultados:

Talud	F.S (Falla de Fondo)
½ H: 1V	0.77
1 H: 1V	0.80
1½ H: 1V	0.86
½ H: 1V (Con berma intermedia de 3.0 m)	0.80
½ H: 1V (Con berma intermedia de 3.0 sin sobrecarga)	0.97

4.1.3 Conclusiones y Recomendaciones

- Debido a los bajos factores de seguridad que presentan las excavaciones con diferentes taludes y geometrías, se recomienda efectuar ésta con ayuda de pantallas de concreto, las cuales posteriormente harán parte de la estructura.

Este sistema de pantallas deberá llevarse hasta 4.5 m por debajo del fondo de la excavación, apuntalando internamente por medio de codales temporales que luego deberán ser reemplazados por elementos de la estructura definitiva. El espaciamiento entre codales no deberá ser más de 2.0 m en profundidad, comenzando en el fondo de la excavación.

- Para el cálculo de la pantalla se deberá usar el diagrama de presiones mostrado en la Figura 4.1.
- Se recomienda aplicar una presión de contacto máxima de 13 t/m² en el suelo de fundación de la estructura.

4.2 TRAMO 1 - CRUCE INTERCEPTOR BAJO AUTOPISTA

Este tramo parte de la estructura de conexión y desfogue de los Interceptores Torca (K0+000) y finaliza al cruzar la Autopista Norte (K0+180 aproximadamente). Consiste en un tubo de concreto reforzado de 1.80 m de diámetro que partirá de la cota 2574.5 m aproximadamente.

4.2.1 Descripción del Subsuelo

En este sector se cuenta con información del subsuelo tomada de 3 perforaciones profundas (SI-1 y SI-2 del Estudio para el Interceptor Río Bogotá, y SCT-7 del Estudio Geotécnico Troncal Torca) y de tres

perforaciones hasta de 8.0 m (EMI-1, EMI-2 y BMI-6 del Estudio para el Interceptor Río Bogotá).

La caracterización de los distintos estratos se muestra a continuación:

- Relleno

Inicialmente se encuentra un RELLENO heterogéneo de 0.5 m a 1.5 m de espesor, de limo arcilloso y desperdicios de construcción, medianamente compacto.

- Estrato No. 1

De 1.5 m a 3.5 m de profundidad se encuentra un estrato de limo arcilloso orgánico negro, de consistencia blanda (en el costado occidental de la autopista) y de arcilla gris clara amarillenta de consistencia firme (en el costado oriental de la Autopista).

- Estrato No. 2

De 3.5 m a 6.0 m de profundidad se encuentra un estrato de arcilla limosa gris verdosa, de consistencia blanda a media.

- Estrato No. 3

De 6.0 m a 13.0 m de profundidad se encuentra un estrato de limo arcilloso a arcilla limosa gris carmelita, de consistencia blanda.

- Estrato No. 4

De 13.0 m a 15.5 m de profundidad se encuentra un estrato de turba y limo orgánico negro, con estratificaciones de limo arcilloso carmelito, de consistencia blanda.

- Estrato No. 5

De 15.5 m y hasta por lo menos 17.0 m de profundidad aparece un estrato de arcilla limosa habana oscura, de consistencia media.

4.2.2 Análisis de Ingeniería

Después de analizar la columna estratigráfica del sitio, la variación de las propiedades y parámetros del suelo con la profundidad y los perfiles de resistencia, se obtuvo el perfil de análisis que se describe a continuación: .

Profundidad (m)	USC	γ_T (t/m ³)	Resistencia al Corte no drenada (Kg/cm ²)
0 - 1.5	relleno	1.30	-
1.5 - 3.5	CH-OH/MH	1.35	0.20
3.5 - 6.0	CH-MH	1.70	0.27
6.0 - 8.0	MH/MH-CH	1.30	0.17

- Falla de Fondo

Teniendo en cuenta que en el sitio del proyecto se encontraron arcillas de consistencia media a blanda, se analizó el problema de la falla de fondo con el fin de estudiar una posible rotura a corto plazo que haga fluir la arcilla hacia el interior de la excavación.

Para una profundidad de excavación de 5.5 m en el subsuelo antes descrito, se encontró un factor de seguridad de 1.2 para la falla de fondo.

- Diagramas de Presiones

Se analizó un esquema de excavación entibada para 5.5 m de profundidad.

Se evaluaron las presiones de tierra de diseño para estimar la carga actuante sobre los codales y las cargas aplicadas a los elementos sometidos a flexión; en estos análisis se incorporó el efecto de una sobrecarga (grúa para la colocación de los tubos), simulando una franja de 3 m de ancho, retirada 1 m del borde de la zanja, la cual aplica 2 t/m² de presión promedio vertical, obteniéndose finalmente los diagramas de diseño que se muestran en la Figura 4.2

4.2.3 Conclusiones y Recomendaciones

- Se recomienda llevar a cabo las excavaciones temporales requeridas para la instalación del tubo en este tramo por medio de entibados calculados con las presiones dadas (Figura 4.2).

4.3 TRAMO 2 - ESTACION ELEVADORA TORCA - TUNEL LA CONEJERA

Este tramo que tiene una longitud de 1.550 m, se encuentra localizado entre la Estación Elevadora de Torca (K0+000 del Sector 2) y la abscisa K1+550 del Sector 2. Corresponde a un box culvert de 2.50 m x 3.00 m de sección, apoyado máximo a 4.5 m de profundidad medidos desde el nivel actual del terreno.

4.3.1 Descripción del Subsuelo

En este sector se cuenta con la información del subsuelo proporcionada por dos perforaciones profundas (SI-3 y SI-4 de la Estación Elevadora de Torca) y un barrenó manual (BMI-3 del Estudio para el Interceptor Río Bogotá).

A continuación se muestra la descripción de los estratos encontrados.

- Capa Vegetal

Inicialmente se encuentra una capa vegetal de limo orgánico negro, con raíces, de consistencia firme, con un espesor aproximado de 0.5 m.

- Estrato No. 1

De 0.5 m a 3.0 m de profundidad se encuentra un estrato de arcilla gris clara, de consistencia media a firme.

- Estrato No. 2

De 3.0 m a 5.0 m de profundidad se encuentra un estrato de arcilla limosa gris carmelita, de consistencia media.

- Estrato No. 3

Desde 5.0 m y hasta por lo menos 8.0 m de profundidad se encuentra un estrato de arcilla limosa gris oscura, de consistencia media a blanda.

4.3.2 Análisis de Ingeniería

Después de analizar la columna estratigráfica en cada sitio explorado, la variación de las propiedades y parámetros del suelo con la profundidad y los perfiles de resistencia, se obtuvo el perfil para análisis que se describe a continuación:

Profundidad (m)	USC	γ τ (t/m ³)	Resistencia al Corte no drenada (Kg/cm ²)
0 - 0.5	Capa Veg.	1.7	-
0.5 - 1.5	MH	1.4	0.50
1.5 - 3.0	CH	1.7	0.50
3.0 - 5.0	CH	1.4	0.35
5.0 - 8.5	CH/MH	1.3	0.15

- Estabilidad de Taludes Temporales

Teniendo en cuenta las características de estas obras, se consideró conveniente la construcción de la excavación con taludes.

Se estudió la estabilidad a corto plazo para taludes verticales, $\frac{1}{2}$ H:1V y 1H:1V para una altura de 4.0 m, para los cuales se tienen los siguientes resultados:

Talud	F.S (Falla de Talud)	F.S (Falla de Fondo)	
		B = 3.5	B = 4.5
Vertical "	1.7	1.7	-
$\frac{1}{2}$ H:1V	2.1	1.6	1.5
1 H:1V	2.0	1.5	1.45

- Capacidad Portante

Para una profundidad de cimentación del box culvert de 4.0 m, en el estrato de arcilla limosa gris carmelita (Estrato No. 2), se encontró un factor de seguridad de 3.7 por capacidad portante para la condición más crítica, en la cual se aplica una presión de contacto de 5.8 t/m².

4.3.3 Conclusiones y Recomendaciones

- Para los diagramas de presión de tierras a largo plazo se recomienda utilizar los siguientes parámetros, dependiendo del tipo de relleno a utilizar contra las paredes del box culvert:
 - . Si se emplea relleno granular seleccionado:
 - Coeficiente de presión de tierras en reposo $K_0 = 0.6$
 - Peso unitario del relleno $\gamma_{TR} = 2.1 \text{ t/m}^3$
 - . Si se emplea suelo arcilloso:
 - Coeficiente de presión de tierras en reposo $K_0 = 0.8$
 - Peso unitario del relleno $\gamma_{TR} = 1.8 \text{ t/m}^3$
- Se recomienda usar talud $\frac{1}{2}$ H:1V para las excavaciones temporales del box.
- Aunque el nivel freático se encontró a una profundidad variable entre

3.0 m y 5.0 m, se prevé bombeo durante la excavación y construcción a medida que el box se acerque al Cerro de La Conejera.

- Se recomienda dar la suficiente rigidez a la estructura del box culvert para garantizar un comportamiento satisfactorio ante las deformaciones del subsuelo.

4.4 TRAMO 3 - CONEXION AL PORTAL DE ENTRADA DEL TUNEL DE LA CONEJERA

Este tramo, que tiene una longitud aproximada de 200 m, conecta el box culvert que viene de la Estación Elevadora de Torca, con el portal de entrada del túnel del Cerro de La Conejera (K1+550 del Sector 2 a K1+752.61 del Sector 2). Corresponde a un box culvert de 3.00 m x 3.00 m de sección, apoyado a un máximo 4.5 m de profundidad medidos desde el nivel actual del terreno.

4.4.1 Descripción del Subsuelo

En este sector se cuenta con información del subsuelo tomada de tres barrenos manuales (BMI-3, BMI-14 y BMI-15 del Estudio para el Interceptor Río Bogotá).

A continuación se presenta la caracterización de los estratos encontrados.

- Capa Vegetal

Desde la superficie y hasta 1.0 m de profundidad se encuentra capa vegetal de limo orgánico negro, con raíces, de consistencia firme.

- Estrato No. 1

De 1.0 m a 2.5 m de profundidad se encuentra un estrato de limo arcilloso carmelito oscuro, algo orgánico, de consistencia muy firme.

- Estrato No. 2

De 2.5 m a 4.5 m de profundidad se encuentra un estrato de arcilla limosa gris clara, de consistencia media a firme.

- Estrato No. 3

Desde 4.5 m y hasta por lo menos 8.0 m de profundidad se encuentra un estrato de limo arcilloso a arcilla limosa gris carmelita, de consistencia blanda.

4.4.2 Análisis de Ingeniería

Después de analizar la columna estratigráfica en cada sitio explorado, la variación de las propiedades y parámetros del suelo con la profundidad y los perfiles de resistencia, se obtuvo el perfil para análisis, que se describe a continuación:

Profundidad (m)	GSC	$\gamma \tau$ (t/m ³)	Resistencia al Corte no drenada (Kg/cm ²)
0 - 1.0	Capa Veg.	1.80	-
1.0 - 2.5	MH	1.60	1.10
2.5 - 4.5	CH	1.60	0.30
4.5 - 8.0	MH	1.45	0.15

- Estabilidad de Taludes Temporales

Teniendo en cuenta las características de estas obras, se considera conveniente para su construcción que la excavación se realice con taludes. Se estudió la estabilidad a corto plazo para taludes 1H:1V y $\frac{3}{4}$ H:1V para una altura de 5.0 m, para los cuales se tienen los siguientes resultados:

Talud	F.S (Falla de Talud)	F.S (Falla de Fondo)	
		B = 3,6	B = 4,6
$\frac{3}{4}$ H:1V	1.5	1.2	1.18
1 H:1V	1.7	1.2	1.18

- Capacidad Portante

Para una profundidad de cimentación del box culvert de 5.0 m, en el estrato de limo arcilloso gris carmelito (Estrato No. 3), se encontró un Factor de Seguridad de 3.1 por capacidad portante, para la condición más crítica, en la cual la presión de contacto aplicada es de 5.8 t/m².

4.4.3 Conclusiones y Recomendaciones

- Se recomienda hacer las excavaciones temporales para el box culvert con talud $\frac{3}{4}$ H:1V para alturas de excavación hasta de 3.0 m y talud 1H:1V para alturas de excavación de más de 3.0 m y hasta 5.0 m.

- Se recomienda dar la suficiente rigidez a la estructura del box culvert para garantizar un comportamiento satisfactorio ante las deformaciones del suelo.
- Si se usa relleno granular seleccionado como material para relleno del respaldo de los box culvert, se recomienda emplear un coeficiente de presión de tierras en reposo $K_0=0.6$ y un peso unitario del relleno $\gamma_{TR}=2.1 \text{ t/m}^3$, si se emplea suelo arcilloso como relleno se recomienda usar un coeficiente de presión de tierras en reposo $K_0=0.8$ y un peso unitario del relleno $\gamma_{TR}=1.8 \text{ t/m}^3$.

4.5 TRAMO 4 - CONEXION DEL PORTAL DE SALIDA DEL TUNEL DE LA CONEJERA

Este tramo, que tiene una longitud aproximada de 300 m, conecta el portal de salida del túnel del Cerro de La Conejera con la tubería de concreto reforzado del Sector 4 (K0+000 del Sector 4 a K0+300 del Sector 4). Corresponde a un box culvert de 3.0 m x 3.0 m de sección, apoyado a máximo 5.0 m de profundidad medidos desde el nivel actual del terreno.

4.5.1 Descripción del Subsuelo

En este sector se cuenta con información del subsuelo tomada de dos barrenos manuales (SMI-18 y BMI-19 del Estudio para el Interceptor Fio Bogotá).

A continuación se presenta la caracterización de los distintos estratos encontrados.

- Capa Vegetal

Desde la superficie y hasta 0.5 m de profundidad se encuentra capa vegetal de limo arcilloso carmelito con raíces, de consistencia firme.

- Estrato No. 1

De 0.5 m a 3.5 m de profundidad se encuentra un estrato de arcilla gris clara amarillenta, de consistencia firme.

- Estrato No. 2

De 3.5 m a 6.0 m de profundidad se encuentra un estrato de limo arcilloso a arcilla limosa gris carmelita, de consistencia media a firme.

- Estrato No. 3

Desde 6.0 m y hasta por lo menos 8.0 m de profundidad se encuentra un estrato de limo arcilloso gris carmelito, de consistencia media a blanda.

4.5.2 Análisis de Ingeniería

Después de analizar la columna estratigráfica en cada sitio explorado, la variación de las propiedades y parámetros del suelo con la profundidad y los perfiles de resistencia, se obtuvo el perfil para análisis que se describe a continuación:

Profundidad (m)	USC	γ (t/m ³)	Resistencia al Corte no drenada (Kg/cm ²)
0 - 0.5	Capa Veg.	1.8	-
0.5 - 3.5	CH	1.6	0.6
3.5 - 6.0	CH/MH	1.35	0.3
6.0 - 8.0	CH-MH	1.30	0.2

- Estabilidad de Taludes Temporales

Teniendo en cuenta las características de estas obras, se consideró conveniente para su construcción, que la excavación se realizara con taludes. Se estudió la estabilidad a corto plazo para taludes 1H:1V y $\frac{1}{2}$ H:1V para una altura de 5.0 m, en las cuales se tienen los siguientes resultados:

Talud	F.S (Falla de Talud)	F.S (Falla de Fondo)	
		B = 3,6	B = 4,6
$\frac{1}{2}$ H:1V	1.8	1.5	1.45
1 H:1V	2.0	1.5	1.49

- Capacidad Portante

Para una profundidad de cimentación del box culvert de 5.0 m, en el estrato de limo arcilloso gris carmelito (Estrato No. 3), se encontró un Factor de Seguridad de 3.7 por capacidad portante, para la condición más crítica en la cual la presión aplicada al suelo es de 5.8 t/m².

4.5.3 Conclusiones y Recomendaciones

- Se recomienda efectuar las excavaciones temporales para el box culvert con talud 2H:1V para alturas de excavación hasta de 3.0 m y talud 1H:1V para alturas de excavación de más de 3.0 m y hasta 5.0 m.
- Se recomienda dar suficiente rigidez a la estructura del box culvert, para garantizar un comportamiento satisfactorio ante las deformaciones del suelo.
- Si se usa relleno granular seleccionado como material para relleno del respaldo de los box culvert, se recomienda emplear un coeficiente de presión de tierras en reposo $K_0=0.6$ y un peso unitario del relleno $\gamma_{RR}=2.1 \text{ t/m}^3$, si se usa suelo arcilloso como relleno se recomienda emplear un coeficiente de presión de tierras en reposo $K_0=0.8$ y un peso unitario del relleno $\gamma_{RR}=1.8 \text{ t/m}^3$.

4.6 TRAMO 5

Localizado en el Sector 4 entre las abscisas K0+300 y K9+823.

En este sector, el interceptor será un tubo de concreto reforzado de 2.15 m de diámetro, instalado dentro de una zanja cuya profundidad varía aproximadamente entre 0 y 10 m.

4.6.1 Fuentes de Información

Durante la etapa de diseño, se analizó la información del estudio de Suelos para la Avenida Condinamarca en el Sector Avenida El Pincón - Avenida Transversal de Suba, realizado en marzo de 1990 por Gómez, Cajiao y Asociados Cia. Ltda., así como información existente en la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, con el fin de tener una mejor idea de los suelos del sector.

4.6.2 Caracterización del Subsuelo

Con base en la información obtenida de los barrenos BMI-4 a BMI-13 realizados por el Consorcio y de los sondeos disponibles según las fuentes consultadas, se estableció una caracterización simplificada del subsuelo.

A nivel superficial, se halla un limo orgánico negro que presenta espesores entre 0.4 m y 0.9 m.

Debajo de la anterior capa encontramos arcillas limosas y limos arcillosos grises a carmelitas, de muy alta plasticidad, de consistencia media a firme hasta los 3 m de profundidad y de consistencia media a blanda para profundidades mayores a 3 m.

4.6.3 Análisis de Ingeniería

ii

Del análisis de los datos provenientes de los distintos sondeos, se adoptaron los siguientes parámetros:

Profundidad (m)	USC	γ_r (τ/m^3)	Resistencia al Corte no drenada (Kg/cm^2)
0 - 3	CH-MH	1.70	0.25
3 - 7	CH-MH	1.45	0.25

a. Falla de Fondo

Teniendo en cuenta que en el sitio del proyecto se encontraron arcillas de consistencia media a blanda, se analizó el problema de la falla de fondo con el fin de estudiar una posible rotura a corto plazo que haga fluir la arcilla hacia el interior de la excavación.

Según Bjerrum y Eide (1956), el factor de seguridad para el estudio de esta falla está dado por la siguiente expresión:

$$F.S. = \frac{C N_c}{\tau H + P} \quad \text{en la cual:}$$

C = Resistencia al corte no drenada

N_c = Número de estabilidad

H = Profundidad de la excavación

P = Sobrecarga

Con el suelo antes descrito, se obtuvieron los siguiente factores de seguridad para el estudio de la falla de fondo, considerando una excavación vertical con ancho $D = 4$ m y sobrecarga de 2 t/m².

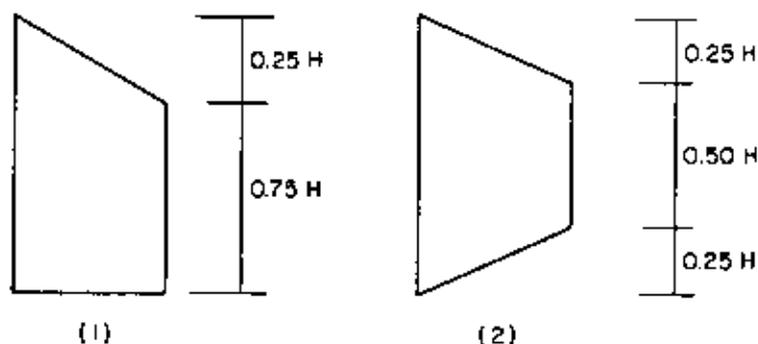
H	H/D	Nc	γ_T (t/m^3)	F.S
4	1.00	6.3	1.62	1.86
5	1.25	6.7	1.59	1.68
6	1.50	6.8	1.57	1.49
7	1.75	6.9	1.55	1.34
8	2.00	7.0	1.54	1.22
9	2.25	7.1	1.53	1.13
10	2.50	7.2	1.52	1.05

Debido a los factores de seguridad tan bajos para las excavaciones más profundas y a consideraciones de tipo constructivo, a partir de los 7 m se adoptan excavaciones verticales de 5m de profundidad, berma de 5m y talud 1H:1V para excavaciones hasta de 8 m; y excavaciones verticales de 6 m de profundidad, berma de 5 m y talud 1H:1V para excavaciones mayores de 8 m.

b. Diagramas de Presiones

- Diagrama de Presión Aparente de Tierra

Para el estudio de las presiones sobre el entibado se utilizaron diagramas de presión aparente de tierras. Los diagramas utilizados (Terzaghi y Peck, 1967) fueron los siguientes:



El diagrama (1) corresponde a una arcilla blanda a media en el cual $K_a = 1 - 4m C/H$, siendo m un factor de reducción que oscila entre 0.4 (cuando grandes movimientos son esperados y la arcilla se profundiza considerablemente) y 1 (generalmente).

El diagrama (2) corresponde a una arcilla firme.

En la determinación de los diagramas de presiones se consideran los siguientes aspectos:

- Si γ_{rH}

$$--- < 6$$

C_0 los movimientos del sistema de apuntalamiento y el levantamiento de la arcilla del fondo son pequeños, por lo cual se pueden utilizar las envolventes de presión aparente.

C_0 = resistencia al corte de la arcilla que yace debajo de la excavación.

- Si γ_{rH}

$$--- = 8$$

C_0 puede ocurrir colapso.

- Si γ_{rH}

$$--- \leq 4$$

C la arcilla del corte es elástica y se adopta el esquema (2). C = Resistencia promedio

- Si γ_{rH}

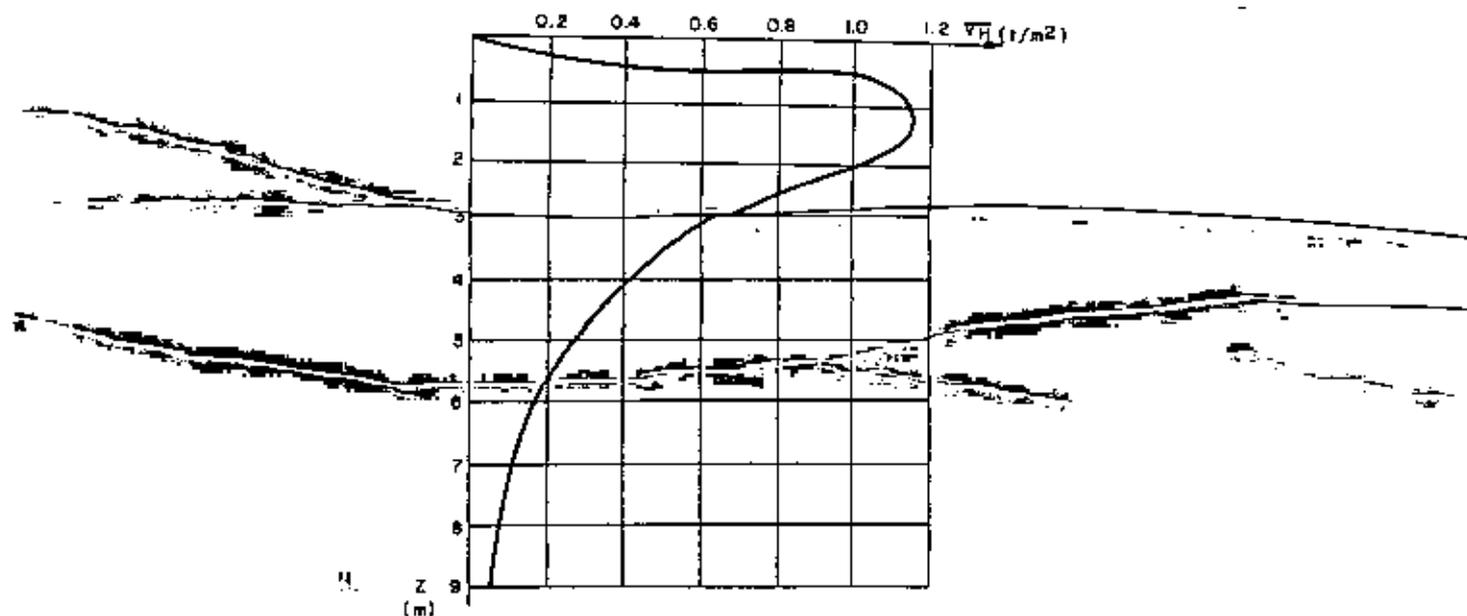
$$--- > 4$$

C se adopta el esquema que de el mayor valor.

- Diagramas de Presión por Sobrecarga

Considerando que durante la construcción se tendrá una grúa al lado de la excavación, se estudió su efecto sobre el entibado; para ello, se empleó la siguiente expresión:

$$\sigma_H = 2w(\beta - \sin\beta \cos 2\alpha) / \pi \quad (\text{Teng y u.s.s})$$



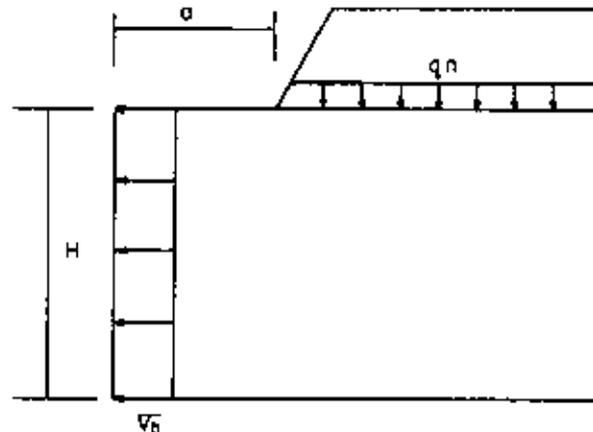
Las presiones calculadas para una sobrecarga de $2t/m^2$ y una posible amplificación de ésta en una y media veces fueron:

Z (m)	θ	α	σ (t/m^2)
0	0	90	0
0.5	19.5	78.7	1.23
1.0	31.0	68.2	1.74
1.5	35.7	59.0	1.73
2.0	36.8	51.3	1.49
2.5	36.2	45.0	1.20
3.0	34.7	39.8	0.96
3.5	32.9	35.5	0.77
4.0	31.0	32.0	0.60
4.5	29.1	29.1	0.48
5.0	27.4	26.6	0.39
5.5	25.7	24.4	0.32
6.0	24.2	22.6	0.26
6.5	22.9	21.0	0.21
7.0	21.6	19.6	0.18
7.5	20.5	18.4	0.15
8.0	19.5	17.4	0.13
8.5	18.5	16.4	0.11
9.0	17.7	15.5	0.09

Con el fin de tener en cuenta la distribución de presiones debidas al talud se hizo un análisis que considera a éste como sobrecarga con base en la siguiente expresión:

$$\sigma_H = 0.5 q_n \left(1 - \frac{a}{1.5 H} \right)$$

- q_n : sobrecarga = γH
 a : distancia del talud a la pared de la excavación vertical
 H : altura de la excavación vertical



4.6.4 Resultados

Después de analizar el problema de la falla de fondo, de analizar las presiones aparentes de tierra y las presiones debidas a sobrecarga, se obtuvieron finalmente los diagramas de diseño para los codales y los elementos a flexión del entibado, mostrados en las Figuras 4.3 a 4.9.

4.6.5 Conclusiones y Recomendaciones

- En principio, se aceptan excavaciones verticales hasta 8 m, pero, teniendo en cuenta dificultades constructivas, éstas solamente se considerarán hasta los 6 m.
- Para excavaciones entre 6 m y 8 m se excavarán 5 m verticalmente, se hará una berma de 5 m y se utilizará un talud 1H:1V para la parte superior (Figura 4.10).
- Para excavaciones mayores a 8 m se excavarán 6 m verticalmente, se hará una berma de 5 m y se utilizará un talud 1H:1V para la parte superior (Figura 4.10).