

E 24

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS

ESTUDIO GEOTECNICO DE LA ZONA INESTABLE DEL BARRIO SAN JOSE SUR
ORIENTAL

TOMO I

INFORME PRINCIPAL

JORGE PUERTO

INGENIERO CIVIL - Ph.D.

CONSULTOR

BOGOTA, MARZO DE 1990

CONTENIDO

	página
INTRODUCCION	1
I. INFORMACION GENERAL	3
1.1. Localización	3
1.2. Topografía	3
1.3. Hidrología	4
1.4. Agrietamientos y desplazamientos	6
1.5. Estado de viviendas y obras de acueducto y alcantarillado.	9
II. GEOLOGIA .	12
2.1. Metodología	12
2.2. Geomorfología	13
2.3. Geología de superficie	13
2.4. Geología del subsuelo	14
2.4.1. Sondeo geoelectrico S.E.V	14
2.4.2. Perforaciones con barrenó de mano	16
2.4.3. Perforaciones con taladro mecánico	16
2.4.4. Apique	17
2.5. Aguas subterráneas	18
2.5.1. Características generales	18
2.5.2. Análisis de agua	19
2.6. Interpretación geológica	20

III. PROPIEDADES GEOTECNICAS DEL SUELO	23
3.1. Muestreo y descripción de las perforaciones TSJ-1 y TSJ-2	23
3.2. Propiedades fisico-mecánicas del suelo	24
3.2.1. Humedad natural	24
3.2.2. Peso unitario	25
3.2.3. Penetración standar	26
3.2.4. Resistencia a la compresión inconfiada	28
3.2.5. Clasificación del suelo	29
3.2.6. Parámetros de corte del suelo	31
IV. ANALISIS DE ESTABILIDAD	
4.1. Definición de parámetros	33
4.2. Cálculo de estabilidad	34
4.3. Análisis de resultados y medidas de estabilización	36
V. OBRAS DE ESTABILIZACION	39
5.1. Cambios de tuberías de alcantarillado	39
5.2. Construcción de drenajes	40
5.3. Obras de contención	40
5.3.1. Terraplén compactado	41
5.3.2. Reforzamiento del muro	42
5.4. Presupuesto	43
5.5. Tiempos de ejecución de obras	44
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45

BIBLIOGRAFIA

12

CUADROS

FIGURAS

PLANOS

LISTA DE CUADROS

- 3.1. Propiedades geotécnicas de la perforación TSJ-1
- 3.2. Propiedades geotécnicas de la perforación TSJ-2
- 4.1. Análisis de estabilidad. Sección D-D'. Suelo saturado
- 4.2. Análisis de estabilidad. Sección D-D'. Nivel freático a 1.0m
- 4.3. Análisis de estabilidad. Sección D-D'. Nivel freático a 2.0m
- 4.4. Análisis de estabilidad. Sección D-D'. Nivel freático a 3.0m
- 4.5. Análisis de estabilidad. Sección D-D'. Suelo no saturado
- 5.1. Análisis de estabilidad. Sección C-C'. Con terraplén
- 5.2. Presupuesto de cambio de tuberías de alcantarillado
- 5.3. Presupuesto de construcción de drenajes
- 5.4. Presupuesto de terraplén
- 5.5. Presupuesto para reforzamiento del muro
- 5.6. Cronograma para ejecución de obras

LISTA DE FIGURAS.

- 1.1. Localización general
- 1.2. Histograma de lluvias de Vitelma
- 1.3. Histograma de lluvias de El Bosque
- 1.4. Histograma de lluvias de La Ficota
- 1.5. Histograma de lluvias de Usme
- 1.6. Agrietamientos y dirección de desplazamiento
- 1.7. Localización de viviendas
- 2.1. Localización de sondeos y perfiles geológicos
- 2.2. Resultados del sondeo geoelectrico SEV No 1.
- 2.3. Perfil geológico típico. Sección A-A'
- 2.4. Perfil geológico típico. Sección C-C'
- 3.1. Ensayo de corte directo. TSJ-1 (4.75 - 5.35m)
- 3.2. Ensayo de corte directo. TSJ-2 (8.80 - 9.40m)
- 4.1. Perfil geotécnico. Sección A-A'
- 4.2. Perfil geotécnico. Sección B-B'
- 4.3. Perfil geotécnico. Sección C-C'
- 4.4. Perfil geotécnico. Sección D-D'
- 4.5. Perfil geotécnico. Sección E-E'

LISTA DE PLANOS

1. Levantamiento topográfico
2. Cambios de tuberías de alcantarillado
3. Drenajes
4. Terraplén compactado
- 4A. Terraplén. Perfiles, secciones y detalles
5. Muro de contención con refuerzos de anclajes.

INTRODUCCION

La secretaría de Obras Públicas del Distrito Especial de Bogotá, en cumplimiento de su programa de adecuación de zonas inestables de la capital, contrató con el ingeniero Jorge Puerto la ejecución de los estudios geológicos y geotécnicos tendientes a conocer las causas de inestabilidad y la formulación de medidas preventivas y correctivas necesarias para restablecer la estabilidad de una zona correspondiente al barrio San José Sur Oriental.

Para tal efecto, y en cumplimiento de la metodología establecida, se hizo una recopilación de información disponible tanto oral como escrita y se procedió a examinar la zona, investigando aspectos topográficos, geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos, geotécnicos evaluación del estado de edificaciones y tuberías de conducción de aguas, etc.

El estudio Geológico se encaminó a establecer las causas que originaran los movimientos del terreno investigando las características de la masa y los flujos de aguas subterráneas. Se levantaron los perfiles geológicos característicos y se localizaron los agrietamientos producidos por efecto de los movimientos:

El estudio Geotécnico estuvo enfocado hacia el conocimiento de las propiedades físico - mecánicas de los suelos, con los que se efectuaron análisis de estabilidad de la ladera y se establecieron sus grados de seguridad.

En base a toda la información recolectada se formularon y diseñaron las medidas preventivas y correctivas que detendrán los movimientos y proporcionarán la estabilidad del terreno con seguridad para los habitantes.

En este informe se consigna toda la información obtenida, lo mismo que los análisis efectuados, con los cálculos, esquemas, planos de las obras de protección, presupuestos y tiempos de ejecución de trabajos.

I. INFORMACION GENERAL

1.1 LOCALIZACION

La zona inestable del barrio San José Sur Oriental se encuentra localizada hacia la margen derecha de la carretera Bogotá - Villavicencio entre las calles 41A Sur y 42 Sur con carrera 10 Este.

Geográficamente la zona se localiza en la plancha L-60 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi entre las coordenadas X: 94.570 a 94.640 y Y: 98.790 a 98.870; con cotas de 2.818 a 2.832 m.

El área inestable tiene una extensión aproximada de 4.200 m² involucrandose una masa deslizante alrededor de 20.000 M³ de suelo. Sobre la zona inestable se encuentran 17 casas y una guardería, esta última construida para el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, pero que se encuentra desocupada debido a los agrietamientos que se presentaron en las paredes y piso, incluso antes de su inauguración.

La población afectada asciende aproximadamente a 80 personas con vivienda permanente y otros 80 niños que sufren la falta de la guardería.

La localización general de la zona se puede apreciar en la Fig.1.1.

1.2 TOPOGRAFIA

La zona inestable del barrio San José sur oriental se encuentra ubicada en una ladera con pendiente media del 26%, siendo ésta más pronunciada en el sector de la Guardería, donde alcanza valores del 45% y menos pronunciada hacia el extremo oriental donde la pendiente tiene cifras cercanas al 15%.

El terreno se localiza en la margen izquierda de un antiguo caño que ahora se encuentra entubado y que da origen a lo que más abajo se denomina como quebrada Puente Colorado.

Teniendo en cuenta la necesidad de disponer de un plano topográfico actualizado, el trabajo de estudio se inició con un levantamiento topográfico, representado en un plano a escala 1:250, con curvas de nivel cada 0.5 m y detalle de ubicación de casas, muros, servicios comunales y demás elementos que constituyen parte fundamental de la zona y alrededores. También fueron localizados los agrietamientos visibles.

Puesto que cerca de la zona inestable no fue posible encontrar puntos de control topográfico de alguna entidad oficial, el plano se orientó con el azimut magnético y las cotas se asumieron a partir de un BM arbitrario. La topografía detallada se puede observar en el plano 1.

1.3 HIDROLOGIA

La hidrología de la zona inestable encaja dentro de las condiciones hidrológicas del área sur-oriental de Bogotá. Para estudiar este aspecto, en el Himat fueron obtenidos los datos de

lluvias de las estaciones pluviométricas más próximas y cuyos valores se encuentran en el anexo A. Estas estaciones son : El Bosque, Vitelma, La Picota y Usme. Dentro de estas estaciones la más cercana es la de Vitelma, la cual se encuentran aproximadamente a unos 3 Kms al Nor-este.

Observando los histogramas de las figuras 1.2, 1.3, 1.4, y 1.5 se puede apreciar que en el año se presentan dos máximos y dos mínimos de lluvia:

El primer máximo del año se presenta entre los meses de abril y julio y el segundo entre los meses de octubre y noviembre. Los valores máximos de lluvia han alcanzado cifras de 511 mms, presentado en el mes de noviembre de 1965. El valor medio anual de lluvia en el área oriental de Bogotá oscila entre 648 y 1600 mms., valores relativamente bajos en comparación con otras regiones del país.

El primer mínimo de lluvia se presenta en enero y febrero y el segundo en agosto y septiembre.

Puesto que la estabilidad de la zona en estudio depende en un alto grado del régimen de lluvias que se presenta, es de suponer, y así lo han confirmado las informaciones orales de los habitantes locales, que los mayores movimientos del terreno ocurren durante el periodo de invierno, esto es, entre abril y julio y en los meses de octubre y noviembre. En los periodos secos la ladera puede tener algunos movimientos pero estos son de poco significado.

Conociendo los periodos de lluvia, es recomendable emprender los trabajos de estabilización en el periodo de verano y adelantar estudio de observación en los periodos de invierno, sobre todo al final de éste o sea en los meses de julio y noviembre, cuando se pueden presentar los máximos desplazamientos del terreno dado el alto saturamiento del suelo.

1.4 AGRIETAMIENTOS Y DESPLAZAMIENTOS

Según lo manifiestan los habitantes del sector, algunos de ellos con antigüedades como residentes de cerca de 30 años; hace aproximadamente 6 años se empezaron a manifestar agrietamientos en el terreno y en las paredes de sus casas. Estos agrietamientos fueron aumentando con el tiempo tanto en magnitud de apertura como en cantidad.

Como se puede apreciar en la figura 1.6, el levantamiento topográfico de los mayores agrietamientos permite visualizar una corona que delimita la masa en movimiento y donde se presentan escarpes en el terreno. En varios puntos se aprecian afloramientos de agua en forma de manantiales que aportan caudales, los cuales van desde goteo rápido hasta humedad permanente.

En las casas de la carrera 10 este, que se encuentran dentro de la masa inestable, se pueden apreciar agrietamientos y asentamientos que han descuadrado las puertas y ventanas de las

edificaciones. Estos agrietamientos tienen magnitudes desde fracciones de milímetro en algunos sitios hasta cerca de 30 cms en otros, (véase anexo D de fotografías).

En la guardería los agrietamientos son evidentes en las paredes y piso. En la pared oriental de la edificación hay agrietamientos con magnitud hasta de 30 cms. La guardería se encuentra en la parte superior de un talud que llega hasta la margen derecha de la carretera a Villavicencio, la cual se encuentra protegida con un muro en concreto ciclópeo 2.0 m de altura. Este muro manifiesta los rigores de la carga del talud, apareciendo agrietamientos verticales y cabeceos que se notan por hinchamientos del pavimento de la vía y fraccionamiento del muro.

Según la conformación de la corona principal de la zona inestable y la dirección de la pendiente topográfica natural, se puede deducir que el movimiento de la masa tiene tendencia hacia la vía a Villavicencio, con azimut cercano al norte.

De acuerdo con consultas llevadas a cabo con un Ingeniero del Ministerio de Obras Públicas que trabajó en la construcción de la carretera a Villavicencio en el sector de San José Sur Oriental hace aproximadamente 25 años, se deduce que en ese sector hubo afloramientos importantes de agua del talud que actualmente ocupa la guardería del Bienestar Familiar, lo que se manifestó con presencia de material blando y motivó posteriormente la construcción del muro de concreto ciclópeo que no resistió las cargas y se encuentra agrietado. El muro no tiene drenajes y

según se informa por parte de los habitantes del barrio, la fundación se encuentra aproximadamente a 0.5 m por debajo del de la vía. Esto se confirma con el hecho de que la parte superior de la zapata es visible en la vía.

En la parte norte del terreno que actualmente ocupa la guardería del Bienestar Familiar, funcionaba hasta hace unos 15 años un chircal, del que extraían arcilla del lugar. Posteriormente, para efectos de urbanización se llenaron los huecos donde se extrajo arcilla.

La Guardería del Bienestar Familiar se empezó a construir en mayo de 1980 y se terminó en mayo de 1981. A finales de la construcción se empezaron a manifestar agrietamientos que posteriormente se hicieron más evidentes y preocupantes, motivo por el cual el edificio no se ocupó e incluso no se inauguró.

Según lo manifestado por personal que estuvo vinculado a la construcción de la Guardería, durante la excavación para cimientos se detectaron niveles freáticos altos.

En toda el área del talud se presentan manantiales de agua, observándose que el de la casa No 11 (ver fig. 1.7) presenta espuma y olor fétido, lo que hace pensar sobre la rotura de tuberías de alcantarillado en las casas en las casas que se encuentran en la parte alta. Debido al avance de los agrietamientos de las casas y a la presencia de un invierno particularmente fuerte, en el año 85 hubo alarma en la zona y las autoridades distritales ordenaron evacuar las casas. Esta orden

no se cumplió y los habitantes continúan ocupando las viviendas. En una de las casas que colinda con la guardería se encuentra en producción una cría de puercos, donde los animales son alimentados de tal forma que producen una continua saturación del terreno, pues no se dispone de evacuación de aguas de desecho por tubería ni piso cementado.

Como nos podemos dar cuenta, los agrietamientos de las edificaciones se empezaron a manifestar en la guardería en mayo de 1981, lo cual indica que los movimientos de la masa tienen una antigüedad aproximada de 9 años. Si tenemos en cuenta que en ese período ha habido agrietamientos de la corona con apertura aproximada de 0.3 m, encontramos que el movimiento de la masa inestable tiene una velocidad promedio de 0.03 m/año catalogada como extremadamente lenta según la clasificación de David Varnes /5/.

Sin embargo, lo anterior no significa que el movimiento se realice a ese promedio siempre y no se descarta que se acelere en cualquier momento si no se toman las medidas del caso.

De otro lado, aunque el movimiento se efectúe a la misma velocidad media extremadamente lenta, subsiste el peligro para los habitantes pues las casas cada vez están más deterioradas y por lo tanto pueden llegar a destruirse.

1.5 ESTADO DE VIVIENDAS Y OBRAS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO

Según se informa por parte de los habitantes del sector, en el año de 1974 o sea hace 16 años se instalaron las redes de

acueducto y alcantarillado. Las redes de alcantarillado se construyeron en tubería de gres y abarcan todas las vías del barrio incluyendo la calle 42 Sur, calle 41A Sur, carrera 8A Este, carrera 10 Este y carrera 10A Este.

Las redes del acueducto se instalaron también en todas las vías del lugar y se emplearon tubos de asbesto cemento a excepción de la tubería de la carrera 10 Este, la cual hace dos años la cambiaron por tubería de PVC, pues se notaron fugas de la antigua tubería debido a los movimientos del terreno que se presentaron.

Por dificultades obvias no fue posible examinar el estado de las tuberías de alcantarillado y acueducto, sobre todo aquellas que podrían influir más significativamente en la estabilidad de la zona en caso de escapes o sea las de la carrera 10 Este y calle 42 Sur entre carreras 8A Este y 10A Este.

Sin embargo, se pudo comprobar por inspección visual exterior que de la tubería del acueducto de la calle 42 Sur hay una fuga permanente de agua en el sitio donde se capta esta del acueducto para la guardería del Bienestar Familiar. Esta agua se infiltra en la ladera y según la información de los vecinos, esta fuga se ha presentado desde hace varios años. Es lógico que el agua se percola por debajo de la guardería y ayuda al saturamiento de la zona inestable en ese lugar.

Especial análisis debe hacerse a la tubería de alcantarillado de la carrera 10 Este, la cual se encuentra dentro de la masa de terreno que se está moviendo. Si se tiene en cuenta que en el

curso del tiempo en que el terreno se ha desplazado, se han presentado grietas hasta de 30 cms, es lógico suponer que la tubería de alcantarillado público de esta carrea se ha roto o se ha desencajado y por lo tanto se deben estar presentando escapes de agua hacia la masa inestable. Es probable que el mayor daño en la tubería se esté presentando allí donde en el terreno se presenta la corona del deslizamiento o sea donde aflora la superficie principal de falla. La rotura de la tubería en este punto tiene una gravedad especial, pues la superficie de deslizamiento se está lubricando permanentemente con el agua de alcantarillado que escapa.

Teniendo en cuenta este planteamiento, resulta sensato solicitar a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá el cambio de la tubería de gres por una plástica o metálica completamente sellada, de tal manera que pueda permitir desplazamiento sin romperse.

Con el fin de particularizar los daños que se presentan en las diferentes casas se llevó a cabo un inventario de deterioros por casa, observando a la vez el estado de las tuberías tanto de alcantarillado como del agua. Para tal efecto se diseñó un formulario de encuesta y los resultados se presentan en el anexo B. Las casas encuestadas se encuentran en la zona inestable y se numeran tal como se indica en la Fig. 1.7.

II. GEOLOGIA.

2.1 METODOLOGIA

En la zona inestable del barrio San José Sur Oriental aflora un material arcilloso semi - consolidado del cual es imposible obtener información estructural en superficie. .

Para definir la posición del plano de falla y la profundidad del nivel freático, así como el marco geológico que controla el movimiento de la masa que involucra varias viviendas del lugar, se adelantaron investigaciones del subsuelo que incluyeron 5 perforaciones con barrenos de mano (para un total de 19,78m); 2 perforaciones con taladro (para un total de 14,58m), la excavación de un apique de 1.50 m de profundidad y la ejecución de un sondeo eléctrico vertical de 60 m de profundidad teórica de investigación. Adicionalmente y para complementar la investigación, se tomaron muestras de agua de un punto de fuga en una vivienda del barrio y se ejecutaron análisis químico y bacteriológico en el laboratorio.

Para la interpretación geológica se diseñaron y realizaron varias secciones de correlación en las que se incluyó toda la información litológica, de niveles de agua, grados de alteración y los intervalos blandos por efectos del agua. Especial atención mereció la determinación de la continuidad lateral de los horizontes atravesados en las perforaciones e interpretados en el sondeo eléctrico y la descripción y ubicación de aquellas zonas

que por sus características pudieran corresponder con eventuales planos de falla. La elaboración de secciones geológicas permitió definir la posición de los posibles planos de falla y la continuidad de los diferentes horizontes descritos en las excavaciones de investigación.

2.2 GEOMORFOLOGIA

La interacción entre las diferentes litologías, los eventos tectónicos y los cambios climáticos han sido el origen de los procesos exógenos que han dado como resultado la expresión morfológica actual del área. En ésta se presenta un relieve ondulado característico de niveles blandos arcillosos que se encuentran limitados al Oriente por geoformas escarpadas lineales, en dirección aproximada N-S, características de los niveles duros.

(*) 2.3 GEOLOGIA DE SUPERFICIE

La secuencia litológica observada en la zona consiste de arcilla gris clara a oscura moteada de amarillo, rojo y verde, plástica, con lentes de carbón, que suprayacen arcillolitas limosas rojizas, duras.

Por sus características litológicas, morfológicas y por su contenido de carbón en sectores cercanos al área de estudio, las arcillolitas que afloran en esta zona pertenecen al nivel medio de la Formación Guaduas.

De acuerdo con estudios anteriores desarrollados en la sabana de Bogotá, por entidades del estado o por particulares, la Formación Guaduas está en contacto fallado con las rocas del Grupo Guadalupe que conforman los cerros abruptos del oriente de Bogotá.

2.4 GEOLOGIA DEL SUBSUELO.

La exploración del subsuelo se adelantó mediante la ejecución de un sondeo geoelectrico (SEV), cinco perforaciones con barreno de mano, denominadas SJ-1, SJ-2, SJ-3, SJ-4 y SJ-5 ; dos perforaciones con taladro mecánico, denominadas TSJ-1 y TSJ-2 y la excavación de un apique. La localización de estos sondeos se encuentra indicada en la Fig 2.1.

2.4.1 Sondeo Geoelectrico S.E.V.

Para obtener información del subsuelo en la parte baja de la zona donde no se ejecutaron perforaciones y aprovechando a la vez la morfología relativamente plana de este sector, se programó y ejecutó un sondeo eléctrico vertical (SEV), con una profundidad teórica de investigación de 60 mts. De acuerdo con los contrastes de resistividad de las diferentes capas litológicas al ser atravesadas por la corriente eléctrica, se hizo una diferenciación de los materiales del subsuelo hasta la profundidad investigada. La curva del sondeo y su respectiva correlación se muestran en la figura 2.2.

NCO
 2-5

21

En el siguiente cuadro se resumen los resultados obtenidos, los cuales coinciden en gran parte con los de las excavaciones:

CAPA	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (ohm/m)	CORRELACION
1	2.9	53	Nivel de arcilla con cantos de arenisca.
2	4.8	28	Nivel de arcilla limosa.
3	21.0	10	Nivel de arcilla blanda.
4	>21.0	13	Basamento geoelectrico.

En la figura 2.4 se presenta la correlación entre la perforación TSJ-1 y el SEV.

2.4.2 Perforaciones con Barreno de Mano.

Se realizaron las perforaciones SJ-1 (6.0 m), SJ-2 (2.45 m), SJ-3 (5.0 m), SJ-4 (3.5 m) y SJ-5 (2.83 m) para una longitud total perforada de 19.78 m, y su localización se da en la figura 2.1.

La descripción de estas perforaciones es la siguiente:

- Perforación SJ-1: Atravesó un horizonte de limo orgánico y material de relleno en su parte más superficial, posteriormente aparece un horizonte de arcilla y arcilla limosa gris moteada de amarillo, hasta el final de la perforación. Con el avance se observó un progresivo aumento en la humedad. En el tramo comprendido entre 5.0 y 5.80 m. se detectó la zona más blanda,

constituida por arcilla gris oscura completamente saturada

- Perforación SJ-2: Después de atravesar el nivel Superior con guijos angulares de arenisca, se encontró desde 1.90 mts de profundidad y hasta el final de la perforación, un nivel de arcilla limosa muy dura, gris moteada de rojo, seca.

- Perforación SJ-3: En los 5 m de profundidad alcanzados, se encontraron los mismos dos horizontes de la perforación SJ-1. A partir de los 0.20 m se detectó la arcilla gris, morada, roja, verde y amarilla, con lentes de carbón, cuya humedad aumenta con la profundidad.

- Perforación SJ-4: Hasta 0,50 mts. se perforó material de relleno, de 0.50 a 2.40 mts. se encontró un horizonte blando de arcilla gris moteada de amarillo, rojo y verde y desde 2.40 mts. hasta el final de la perforación a 3.50 mts, se atravesó una arcillolita limosa abigarrada, con algunos guijos de arenisca. Se midió nivel de agua en esta perforación a la profundidad de 1.20 m. Al finalizar la perforación éste nivel quedó a 1.8 m.

- Perforación SJ-5: Se perforó el mismo material de la perforación anterior. Al encontrarse un bloque de arenisca muy dura, sólo fue posible perforar hasta 2.83 m. El contenido de humedad en la arcilla aumentaba a medida que se profundizaba. En el anexo C se pueden apreciar los registros geológicos de estas perforaciones.

2.4.3 Perforaciones con Taladro Mecánico.

Se ejecutaron las perforaciones TSJ-1 (11.53 m) y TSJ-2 (4.00 m)

para una longitud total perforada de 14.58 m.

Su localización puede observarse en la Fig. 2.1 y su registro detallado en el anexo C. La descripción de dichas perforaciones es como sigue:

- Perforación TSJ-1: Se profundizó hasta 11.53 m ; a los 4.95 m se detectó una superficie de falla en arcilla húmeda. La secuencia litológica tiene correspondencia con la misma descrita para las perforaciones con barreno de mano.

Entre 6.40 m y 7.30 m de profundidad, se recuperaron trozos de madera. A los 9.50 m de perforación salieron fragmentos de ladrillo. Las anteriores evidencias se interpretan como la demostración de que al menos en este sitio se desarrolló en años anteriores un depósito antrópico, véase figura 2.3.

- Perforación TSJ-2: Se perforó en la parte más superficial, un horizonte de fragmentos de arenisca y arcilla, después una zona de arcilla gris oscura muy blanda en donde no fue posible recobrar y por último, un nivel de arcilla limosa, gris - rojiza, muy dura.

2.4.4 Apique.

Su localización se observa en la figura 2.1 y su descripción detallada en el anexo C. Con la excavación de este apique se pretendía encontrar la huella del plano de falla en el subsuelo y definir la posición del agua subterránea en la zona de la corona del deslizamiento. Hasta la profundidad alcanzada, no se observó

ninguna evidencia que permitiera localizar el plano de falla, ni tampoco apareció el nivel freático. El hecho de no manifestarse el plano de falla obedeció posiblemente al comportamiento del material arcilloso ante las herramientas de excavación que retrabajan y enmascaran el real estado de las paredes del apique. La litología encontrada consiste en arcilla gris y amarilla mezclada con cantos y guijos de arenisca e intercalaciones de material carbonoso, véanse las fotografías 8,9,10 y 11 del Anexo D.

2.5 AGUAS SUBTERRANEAS

2.5.1 Características Generales.

Por las características granulométricas de las arcillolitas de la Formación Guaduas, este material tiene alto grado de retención y muy bajo grado de porosidad efectiva. Es decir, que puede almacenar el agua pero no tiene la capacidad de transmitirla, lo que descarta que sea esta formación la fuente de aporte de las diferentes manifestaciones de emisión de agua proveniente del subsuelo que se localizaron en desarrollo de este trabajo, véase figura 2.3.

En consecuencia, para explicar el origen de las aguas cuyos niveles se midieron en las perforaciones TSJ-1 (1.10 m) y SJ-4 (1.80 m), y de las infiltraciones inventariadas en algunas de las viviendas, se debe pensar en aportes por pérdidas de los sistemas de acueducto y alcantarillado o en recarga proveniente de las

rocas del Guadalupe. Con tal fin, se realizó un muestreo de agua para analizar la posibilidad de aportes por daños en las tuberías enterradas para conducir las aguas servidas y no servidas.

2.5.2 Análisis de Agua.

Se tomaron 3 muestras de agua en la casa del señor Alvaro Rodríguez, denominada con el número 15 en la figura 1.7. Dos muestras de un afloramiento de agua en el patio de la casa y otra muestra del grifo del acueducto. Todas se transportaron hasta el laboratorio, en recipientes esterilizados.

Con estos análisis se pretendía establecer la similitud de las muestras con las aguas del acueducto o del alcantarillado de aguas negras y así definir que unas u otras fueran las aportantes del agua a la masa sometida a movimiento. Con tal fin, se ordenaron ensayos físico-químicos estándar y bacteriológicos. Con el primero se pueden conocer los parámetros de potabilidad que deben tener las aguas para consumo y con el segundo se determina el índice de contaminación bacteriana, el cual es propio de las aguas negras. Del análisis comparativo de aguas se concluye lo siguiente:

- 1) Todos los parámetros de la muestra del acueducto se enmarcan dentro de los parámetros de potabilidad.
- 2) En la muestra del afloramiento hay parámetros que salen claramente del rango de potabilidad como son el olor y el P.H.

26

Por tanto la muestra de la fuga no corresponde a las características de la del acueducto. Por el contrario, sus características químicas y su olor indican que puede tratarse de aguas negras diluidas o débiles.

3) El recuento total de bacterias por 1 c.c. de la muestra de agua del afloramiento, da un total de 22.000. Lo anterior significa que dicha muestra presenta alto grado de contaminación bacteriana que produce un olor pútrido y que la saca de los rangos de potabilidad. Corresponde a aguas negras débiles.

4) Las anteriores razones llevan a deducir que la recarga proviene del alcantarillado de aguas negras o del caño que infiltra agua desde puntos más altos en su recorrido.

2.6 INTERPRETACION GEOLOGICA

Las secciones de las figuras 2.3 y 2.4 indican que dentro de la masa motivo de estudio, hay 3 horizontes bien definidos y con las siguientes características:

1) Horizonte A: Constituido por cantos y fragmentos de arenisca en matriz arcillosa. Con continuidad lateral.

2) Horizonte B: Constituido por arcilla gris, amarilla y roja. En este horizonte se encuentran los niveles de arcilla saturada descrito en algunas de las perforaciones v.gr. SJ-1, SJ-4, TSJ-1 y TSJ-2. Con continuidad lateral.

3) Horizonte C: Constituido por fragmentos de arenisca dura, arcilla, restos de madera y trozos de ladrillo. Por haberse

atravesado solamente en la perforación TSJ-1 no se tiene la certeza acerca de su continuidad o discontinuidad lateral. En cualquier caso, por las características que ofrece, este horizonte se formó por la acción del hombre en tiempos pasados. Hasta hace pocos años sectores de la comunidad que han vivido por varias generaciones en esta zona de la capital, derivaban su sustento de su dedicación a la fabricación de ladrillos en los denominados chircales, de lo cual hoy quedan algunas huellas en las cercanías de la guardería. Se ha comprobado que las arcillolitas de la Formación Guaduas reúnen las propiedades más adecuadas para suplir la materia prima para esta industria. Seguramente como resultado de la explotación intensiva de este material por varias décadas, se conformaron diferentes patios a cotas más altas que la del nivel de base de las corrientes ocasionales o permanentes que por entonces corrían por allí. Al ser abandonada la fabricación de ladrillos, ésta área fue posteriormente utilizado por las gentes como botadero de residuos sólidos.

En el proceso de conformación de su actual valle, las corrientes superficiales depositaron sedimentos finos provenientes de la erosión a lo largo de su curso, de las arcillolitas del Guaduas, los que se acumularon en ambas márgenes después de la conformación del depósito antrópico. De esta manera, en la actualidad se encuentran arcillas, arcillolitas y cantos de arenisca sobre los restos de madera y ladrillo como los

28

encontrados en la perforación TSJ-1.

Las superficies de falla asociadas a intervalos de alta saturación, fueron determinadas en las perforaciones en zonas cercanas al contacto entre el relleno antrópico y el material que lo recubre, por ser el camino preferencial para el flujo del agua infiltrada en la masa.

III. PROPIEDADES GEOTECNICAS DEL SUELO.

Con el fin de caracterizar el terreno se tomaron muestras de arcilla provenientes de las dos perforaciones ejecutadas con taladro mecánico TSJ-1 y TSJ-2. Se seleccionaron las muestras de estas perforaciones porque eran las menos remoldeadas de todas las tomadas.

Sin embargo, dado que la masa inestable se ubica en un relleno relativamente reciente, es evidente que los materiales componentes han sido remoldeados. Además de esto, como se trata es de determinar las propiedades físico - mecánicas del suelo en la superficie de falla y sus alrededores, es lógico que allí también la arcilla ha sufrido un remoldeo.

Por tal motivo en la ejecución de los ensayos para determinar los parámetros de corte, se recurrió al remoldeo de la muestra y luego compactarla al peso unitario inicial para acomodarla a los anillos de la máquina.

Durante la ejecución de las perforaciones también se determinaron en el terreno pruebas de resistencia a la penetración Estándar.

3.1 MUESTREO Y DESCRIPCION DE LAS PERFORACIONES TSJ-1 Y TSJ-2.

Las perforaciones con taladro se iniciaron el 7 de febrero de 1990 y se terminaron el día 10 de febrero del mismo año. Se empleó para tal fin un equipo mediano marca Petty con motor de 16 H.P. avanzando a percusión y rotación con lavado.

Durante la perforación se determinó en el terreno la resistencia

a la penetración estandar contabilizando el número de golpes necesarios para introducir en el terreno el tubo "Split" un pie, mediante una pesa o martillo de 140 libras, dejándolo caer libremente desde una altura de 76 cm.

En cada una de las perforaciones, a cada metro de profundidad, se tomaron muestras del suelo extraídas en tubos Shellby y Split, empacándolas en una envoltura plástica y sellándolas debidamente para poder conservar las condiciones de humedad natural. En esa forma fueron transportadas las muestras al laboratorio para la ejecución de los ensayos.

Según se pudo comprobar, en la perforación TSJ-1 se captó a 4.95 metros de profundidad una superficie de falla en la muestra. Sin embargo, puede no ser la principal, pues a mayores profundidades se encontraron zonas altamente saturadas, las cuales fácilmente se constituyen en superficie de falla dadas sus bajas propiedades mecánicas, principalmente de la cohesión y ángulo de fricción interna.

3.2 PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DEL SUELO.

3.2.1. Humedad Natural

Este ensayo se llevó a cabo siguiendo los procedimientos normales que para tal efecto existen, determinándose el contenido de agua a diferentes profundidades. Como se puede apreciar en el cuadro 3.1, en la perforación TSJ-1 la humedad varía de tal forma que

21

cerca de la superficie es de más del 40%, luego disminuye hasta menos del 10% y posteriormente aumenta hasta encontrar una zona saturada a 6 metros de profundidad, donde no fue posible recuperar muestras para hacer ensayos. A partir de donde termina la zona saturada la humedad del suelo disminuye consistentemente hasta encontrarse a 12 metros de profundidad una humedad de solo el 10%.

La perforación TSJ-2 (ver cuadro 3.2) muestra una humedad cercana al 20% en superficie, pero a solo 90 cms de profundidad se encontró una zona saturada donde no fue posible recuperar muestras para análisis de laboratorio. A partir de la zona saturada, aunque la arcilla mejora sus propiedades mecánicas, se nota que la humedad varía en forma inconsistente e incluso se aumenta en cercanías de los 4.0 metros hasta valores superiores a 30%.

Llama la atención en las perforaciones la presencia de zonas saturadas, donde la arcilla muy probablemente ha superado la humedad de su límite líquido. En estas zonas, donde el material disminuye sustancialmente sus propiedades mecánicas debido a la saturación, se presenta una alta posibilidad de que se constituya en superficie de falla del deslizamiento.

Si tenemos en cuenta que luego de las zonas saturadas el terreno mejora sus cualidades mecánicas, es lógico suponer que la superficie de falla pase por la zona saturada.

3.2.2. Peso Unitario.

A todas las muestras tomadas en la perforación se les hicieron ensayos para determinar el peso unitario. Según se puede observar en los resultados que se presentan en los cuadros 3.1 y 3.2 el peso unitario del suelo humedo varia entre 1.57 y 2.17 T/M3.

En la perforación TSJ-1 se distinguen perfectamente dos rangos de valores. A profundidad inferior a 5.95 el peso unitario varia entre 1.57 y 1.93, en tanto que a profundidades mayores el peso unitario es más homogéneo ubicandose en un valor entre 2.01 y 2.13 T/M3.

Aquí, se nota perfectamente la diferencia de materiales que se presenta por debajo y por encima de la supuesta superficie de falla de la zona saturada. Esto también da indicio para ubicar la superficie de falla en el sitio antes mencionado.

En la perforación TSJ-2 la variación del peso unitario no es tan marcada y su valor varia entre 1.88 y 2.17 T/M3. Por encima de la zona saturada solo se presenta un valor con magnitud de 1.98 T/m3.

En ambas perforaciones se nota que en las vecindades de la zona saturada el peso unitario es similar y oscila entre 1.93 y 1.98 T/M3. Para efecto de análisis de estabilidad se tomará para el suelo saturado el valor promedio o sea 1.96 T/M3. Para el suelo no saturado se toma el promedio de los valores restantes presentados por encima de la zona saturada o sea 1.72 T/M3.

3.2.3 Penetración Estándar.

Los ensayos de penetración estándar se ejecutaron en las

perforaciones antes mencionadas y sus resultados se muestran en los cuadros 3.1 y 3.2.

Analizando el gráfico de la perforación TSJ-1 encontramos que hasta una profundidad de 6.85 m la penetración estándar arroja resultados más o menos similares con valores entre 3 y 5 golpes por 6". A partir de esta profundidad la penetración estándar aumenta considerablemente a valores de 84 y 22 golpes por 6" lo que indica que las propiedades mecánicas del terreno se mejoran sustancialmente.

En la perforación TSJ-2 encontramos que hasta 2.20 metros de profundidad el ensayo arroja 4 golpes por 6" en tanto que de 2.70 metros hacia abajo la penetración estándar arroja resultados de 39 a 48 golpes por 6", situación esta que indica un sustancial mejoramiento de las propiedades mecánicas del material.

De acuerdo con estos resultados, podemos también por este ensayo localizar la superficie de falla en la zona saturada, pues aproximadamente en esa profundidad las propiedades mecánicas cambian considerablemente.

Recordemos que la zona saturada se ubica entre 6.0 y 6.5 metros en la TSJ-1 y entre 0.90 y 1.50m en la TSJ-2. Según los ensayos de penetración estándar los cambios de material ocurren a 6.85 en la TSJ-1 y a 2.22m en la TSJ-1.

Puesto que en la zona saturada es donde se presenta la mayor debilidad del material, resulta razonable ubicar la superficie de falla en la zona saturada y no en los puntos donde cambian los

valores del ensayo de penetración estándar.

3.2.4 Resistencia a la Compresión Inconfinada.

El ensayo de compresión inconfinada se ejecutó en 7 muestras de la perforación TSJ-1 (ver cuadro 3.1) y 7 muestras de la perforación TSJ-2 (ver cuadro 3.2).

Los resultados variaron en la perforación TSJ-1 entre 0.47 y 1.96 Kg/cm². Si consideramos que la resistencia al corte varía entre 30% y el 50% de la resistencia a la compresión inconfinada, podemos decir que la resistencia al corte de esta arcilla puede estar entre 0.14 y 0.98 Kg/cm².

En la perforación TSJ-2 se presentan valores de resistencia a la compresión inconfinada de 0.43 a 1.47 Kg/cm² (exceptuando un valor de 3.15 Kg/cm² el cual se aleja sustancialmente de los demás valores). Haciendo las mismas consideraciones hechas para la TSJ-1, se encuentra que la resistencia al corte puede variar entre 0.13 y 0.74 Kg/cm².

En lo referente a variaciones de la resistencia a la compresión inconfinada a lo largo de la perforación, encontramos que en la TSJ-1, las magnitudes por encima de la zona saturada son de 0.97 Kg/cm² en promedio, mientras por debajo de esta el valor medio aumenta a 1.25 Kg/cm².

En la TSJ-2 vemos que la resistencia a la compresión inconfinada en la parte superior de la zona saturada es de 0.73 Kg/cm² en promedio, mientras en la parte inferior es de 1.20 Kg/cm².

En este caso tambien se nota la diferencia de calidad entre los materiales que suprayacen la superficie de falla y los materiales que infrayacen, notandose similitud de comportamiento en las dos perforaciones.

3.2.5 Clasificación del Suelo

Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, el material de la zona inestable se ubica en el límite entre CL y ML, identificandose como una arcilla limosa de plasticidad media /3/.

Dado el contenido de suelo encontrado en la perforación TSJ-1, donde aparecieron fragmentos de madera a profundidades entre 6.40 7.30 metros, lo mismo que pedazos de ladrillo entre 9.40 y 10.15 metros, se puede decir que la masa inestable corresponde a un relleno.

Teniendo en cuenta que los materiales tienen diferentes características fisico-mecánicas por encima y por debajo de la supuesta superficie de falla, (las propiedades son mejores en la parte inferior) se puede deducir que en el relleno se presentan diferentes grados de compactación. Si se considera que tradicionalmente esta parte de Bogotá ha sido utilizada como fuentes de materiales para el desarrollo de la ciudad, es muy probable que hace muchos años de aqui se hubiera obtenido arcilla para la fabricación de ladrillo y posteriormente el hueco se hubiera tapado para urbanizar el terreno.

Los grados de compactación diferentes se pueden explicar considerando que la explotación de arcilla se inició allí donde se encuentra la arcilla dura o arcillolita a una profundidad de 11.25 metros y posteriormente con el transcurso de los años de explotación se fué conformando un relleno hasta llegar a la profundidad de 6.40m cuando probablemente se suspendió la explotación y se procedió a rellenar en corto tiempo.

En dialogo con los habitantes de la zona inestable, los cuales residen allí desde hace más o menos 30 años, dicen que cuando compraron los lotes el terreno estaba con vegetación y que recuerdan una explotación de arcilla que funcionaba en la parte norte de lo que ahora es la Guardería del Bienestar Familiar. Esto indica que la explotación de arcilla ocurrió alrededor de los años 40 - 50 y en esta forma el relleno tiene más de 40 años en la parte de las casas de la carrera 10 Este y menos de 30 años en la parte norte de la Guardería.

La formación de la superficie de falla tiene que ver con la presencia de agua subterránea que actuó insistentemente en el límite de las zonas de diferente compactación, llegando a una recarga tal que hizo subir la presión de poros más allá de los límites de equilibrio y comenzó el desplazamiento de la masa superior menos compactada.

3.2.6 Parametros de Corte del Suelo.

Puesto que el estado de equilibrio de una ladera depende en alto grado de los parametros "C" (cohesión) y " ϕ " (ángulo de fricción interna del suelo), se programaron ensayos de corte directo en muestras de arcillas tomadas de la perforación TSJ-1. Teniendo en cuenta que las arcillas forman parte de un relleno y por lo tanto son remoldeadas, el ensayo se programó remoldeando la muestra para ajustarla al anillo de ensayo y compactandola al peso unitario inicial. Además de esto las muestras se saturaron antes y durante el ensayo sumergiendolas en agua 2 días antes. En esta forma se logró obtener los parámetros de corte más desfavorables, tratando de semejar las condiciones de la arcilla en la superficie de falla.

En estas condiciones se obtuvieron los resultados que se presentan en las figuras 3.1, para arcilla por encima de la superficie de falla o muy cerca a esta, y 3.2 para arcilla por debajo de la superficie de falla en el relleno más compactado. Para los dos casos se obtuvo una cohesión de 0.065 Kg/cm² considerada muy baja y apropiada para arcillas fluyentes /4/.

El ángulo de fricción tuvo variaciones entre 16.5° y 22.5° considerado por Lambe /3/ como alto para arcillas, pero aceptable para arcillas limosas medianamente plasticas, que es el caso que nos ocupa.

Para efecto del análisis de estabilidad se tomó un valor de

cohesión (C) igual a 0.65 T/m^2 y un ángulo de fricción (ϕ) igual a 16.5° (el mínimo presentado).

IV. ANALISIS DE ESTABILIDAD.

Una vez conocidas las propiedades geotécnicas del material involucrado en la zona inestable, definida la superficie de falla y los factores geológicos e hidrológicos que intervienen, se procede a evaluar la estabilidad de la ladera, investigando particularmente los márgenes de seguridad que se tienen en las peores condiciones que se presentan; o sea durante la época de invierno, cuando se supone el talud está completamente saturado. En este análisis se obtendrá como resultado la magnitud de las fuerzas que se presentan y con ello las medidas correctivas más apropiadas para contrarrestar las fuerzas que contribuyen a deslizar el terreno.

4.1 DEFINICION DE PARAMETROS.

En lo referente a características físico-mecánicas del suelo, de acuerdo con los resultados de laboratorio y planteamientos hechos en el capítulo III, se tomaron las siguientes magnitudes:

Cohesión, $c = 0.065 \text{ Kg/cm}^2$ (0.65 T/m^2)

Angulo de fricción Interna, $\phi = 16.5^\circ$

Peso Unitario saturado, $\gamma = 1.96 \text{ T/M}^3$

Peso Unitario no Saturado, $\gamma = 1.72 \text{ T/M}^3$.

Con el fin de analizar el grado de inestabilidad de la masa se establecieron 5 secciones, las cuales se indican en la fig. 2.1.

Cada una de estas secciones se buscó que pasara mínimo por uno de los sondeos que se hicieron para investigar el terreno. Además

de esto, se proyectó en cada sección la perforación TSJ-1, utilizando como criterio la misma cota de terreno de la perforación.

A la sección D-D' que no pasó por ninguna perforación, hubo necesidad de proyectarle la más próxima (TSJ-2) que se encuentra a 6 metros, empleando el mismo criterio que se utilizó para proyectar la TSJ-1.

En cada una de las secciones se localizan: 1) La corona del deslizamiento, la cual es visible en el terreno y se levantó topográficamente, donde esto fué posible. 2) La pata del deslizamiento, la cual es visible en el terreno en algunos sitios como la carretera a Villavicencio, y en otras aunque no es visible se infiere en el punto donde termina la ladera. 3) Uno o dos puntos de una perforación o proyección donde se ubica la geología y donde se señalan los puntos que sirven de superficie de falla.

4.2 CALCULOS DE ESTABILIDAD.

Como continuación de lo expuesto anteriormente, se localizaron en cada sección diferentes superficies de falla probables y se hizo el análisis de estabilidad de acuerdo con el método de las dovelas o tajadas, tal como lo recomiendan diferentes autores /3,4,5/. Teniendo en cuenta que las peores condiciones de inestabilidad se presentan cuando el suelo se satura en época de invierno, se hace el análisis considerando esta situación y

obteniendo en cada caso el factor de seguridad (FS). Entre las diferentes superficies de falla que se consideran hay también variaciones de FS y se toma como más probable la que da el mínimo valor de FS.

En las figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 se aprecian los perfiles geotécnicos de las secciones antes indicadas, señalando las superficies de falla consideradas y resaltando la más probable por tener el mínimo FS.

Es evidente, como se puede observar en las diferentes secciones que el FS de la superficie de falla más probable varía, pues los grados de inestabilidad de un deslizamiento no es igual en todos los puntos.

El rango de FS varía de 0.83, obtenido en el sector de la guardería de Bienestar Familiar en el extremo occidental, hasta 1.21 en la parte oriental.

Este resultado es lógico si se tiene en cuenta que en la guardería se presentan los mayores agrietamientos de toda la zona inestable, y además, hacia la guardería las pendientes del terreno son más pronunciadas.

Por las magnitudes del FS se ratifica en la teoría que la masa de terreno es inestable, pues los valores obtenidos para el período de invierno son en general menores de 1.

Con el fin de analizar la incidencia de los niveles de agua subterránea, se evalúa la sección D-D tomada en la guardería y que presentó el menor valor de FS, disminuyendo metro a metro

los niveles de agua y obteniendo en cada caso el FS. Los resultados detallados de estos cálculos se muestran en los cuadros 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5.

4.3 ANALISIS DE RESULTADOS Y MEDIDAS DE ESTABILIZACION

Todas las evidencias teóricas y prácticas indican que la ladera es inestable y su estabilidad se mejora en época de verano cuando el nivel freático del suelo tiene tendencia a la baja.

Análizando los resultados del cálculo de estabilidad de la sección D-D' encontramos que cuando el terreno está completamente saturado y el nivel freático está a ras de superficie, el FS es de 0.83; cuando el nivel freático disminuye 1 metro el FS aumenta a 0.94 pero el terreno sigue inestable. Si el nivel freático disminuye 2 metros el FS sube a 1.06 considerándose ya estable teóricamente. Si el nivel freático baja a 3 metros el FS aumenta a 1.18. Esto indica que por cada metro que disminuye el nivel freático se obtiene un aumento del FS aproximadamente en el 13%. Si el talud estuviera completamente seco el FS sería de 1.57. De acuerdo con el criterio de Gedney y Weber en E.U. /5/ el FS de un talud debe variar entre 1.25 y 1.50 dependiendo del grado de información que se tenga y de la importancia del talud; Maslov en la URSS /4/ opina que también dependiendo de dichos factores el FS puede variar entre 1.20 y 1.25, aunque algunos constructores lo hacen variar entre 1.05 y 1.5 e incluso hasta 2. Costet y Sanglerat en Francia/1/ opinan que el cálculo del FS

debe hacerse con parámetros y métodos de buena exactitud, considerando un FS de 1.05 a 1.10.

Para el caso que nos ocupa, donde hay sobre la ladera inestable 15 casas habitadas y además los parámetros adoptados pueden no ser exactos, se considera razonable tomar un FS alto o sea de 1.50.

En este orden de ideas y según los cálculos hechos anteriormente, se nota que una de las medidas que se deben tomar para estabilizar la ladera es disminuir los niveles de agua subterránea. Esta disminución de niveles de agua subterránea se hace, en primer término, suspendiendo las causas que pueden originar la saturación del talud, o sea reparando todas las tuberías rígidas de la zona inestable, que sin duda están aportando agua al terreno. En segundo lugar se debe recurrir a drenajes en forma de perforaciones horizontales o en forma de filtros.

Aunque los drenajes deben contribuir a la estabilización, estos deben analizarse detalladamente, sobre todo en arcilla, donde la permeabilidad es muy baja y para que los drenajes sean efectivos estos se deben hacer unos muy cerca de otros. Así por ejemplo, los drenajes en forma de filtros con tubería o material filtrante difícilmente se pueden profundizar a más de dos metros, y según los cálculos hechos, una disminución del nivel freático en dos metros solo aumenta en 26% la estabilidad de la masa. Este

aumento de estabilidad es insuficiente por que el FS está muy por debajo de 1.5 aunque es ligeramente superior a 1. En estas condiciones, los drenajes colaboran en la estabilización pero estas medidas no son suficientes, teniendo que recurrir a medidas de fuerza para que detengan a la masa que puede continuar deslizandose despues de hacer los drenajes. Estas medidas pueden consistir en muros o rellenos en la pata del deslizamiento para contrarrestar las fuerzas activas que hacen deslizar la masa. Todas las medidas contempladas deben proporcionar una estabilidad a la ladera con un FS mínimo de 1.5.

Sin embargo las medidas de estabilización pueden ser implementadas por etapas, observando instrumentalmente el efecto que cada uno de estas obras causan en la masa inestable.

La instrumentación para esta zona inestable debe consistir en el control tanto en cota como es desplazamiento horizontal de mojones que formen parte de una poligonal cerrada en la que algunos de los puntos se encuentren en terreno firme y otras en la masa inestable. Este sistema de instrumentación debe iniciarse antes que se empiece a construir las obras. Si mediante la instrumentación se nota que la masa se ha estabilizado con algunas de las obras construidas, se pueden descartar los trabajos restantes.

aumento de estabilidad es insuficiente por que el FS está muy por debajo de 1.5 aunque es ligeramente superior a 1. En estas condiciones, los drenajes colaboran en la estabilización pero estas medidas no son suficientes, teniendo que recurrir a medidas de fuerza para que detengan a la masa que puede continuar deslizando despues de hacer los drenajes. Estas medidas pueden consistir en muros o rellenos en la pata del deslizamiento para contrarestar las fuerzas activas que hacen deslizar la masa. Todas las medidas contempladas deben proporcionar una estabilidad a la ladera con un FS mínimo de 1.5.

V. OBRAS DE ESTABILIZACION.

Las medidas para controlar la zona inestable comprenden:

- 1) Cambio de tuberías de alcantarillado.
- 2) Construcción de drenajes.
- 3) Obras de contención.

Estas obras se deben construir por etapas instrumentando la masa.

5.1 CAMBIO DE TUBERIAS DE ALCANTARILLADO.

Esta obra tiene especial importancia para cortar los suministros locales de agua subterránea y consiste en el cambio de las tuberías rígidas que actualmente existen por unas flexibles de material plástico.

En primer termino se debe cambiar la tubería de alcantarillado de ϕ 12" de la carrera 10 Este entre las calles 41A y 42 sur, luego deben cambiarse todas las tuberías domiciliars de 6" de diámetro de todas las casas de la misma carrera o sea las casas: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 (fig. 1.7). Posteriormente se debe proceder al cambio de tuberías internas de todas las casas que se encuentren dentro de la zona inestable y algunas fuera de esta. Esta medida debe ejecutarse en las siguientes casas numeradas, como se indica Fig. 1.7: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 22, 23, 24, 26.

En el plano 2 se pueden apreciar los detalles correspondientes a esta obra.

Dentro de estas medidas también es necesario suspender definitivamente la cría de cerdos en cualquiera de las casas del

V. OBRAS DE ESTABILIZACION.

Las medidas para controlar la zona inestable comprenden:

- 1) Cambio de tuberías de alcantarillado.
- 2) Construcción de drenajes.
- 3) Obras de contención.

5.1 CAMBIO DE TUBERIAS DE ALCANTARILLADO.

Esta obra tiene especial importancia para cortar los suministros locales de agua subterránea y consiste en el cambio de las tuberías rígidas que actualmente existen por unas flexibles de material plástico.

En primer termino se debe cambiar la tubería de alcantarillado de ϕ 12" de la carrera 10 Este entre las calles 41A y 42 sur, luego deben cambiarse todas las tuberías domociliares de 6" de diámetro de todas las casas de la misma carrera o sea las casas: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 (fig. 1.7). Posteriormente se debe proceder al cambio de tuberías internas de todas las casas que se encuentren dentro de la zona inestable y algunas fuera de esta. Esta medida debe ejecutarse en las siguientes casas numeradas, como se indica Fig. 1.7: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 22, 23, 24, 26.

En el plano 2 se pueden apreciar los detalles correspondientes a esta obra.

Dentro de estas medidas también es necesario suspender definitivamente la cría de cerdos en cualquiera de las casas del

sector para evitar infiltraciones de agua a la masa del suelo. En otro aspecto de las medidas de protección, es necesario reparar inmediatamente la toma domiciliaria del acueducto de la Guardería, la cual está aportando actualmente agua al talud.

Si en las dimensiones de tuberías y zanjas de alcantarillado que se muestran en el plano 2 hay discrepancias con las normas de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, deben adoptarse las dimensiones dadas por esta última Entidad.

5.2 CONSTRUCCION DE DRENAJES.

Los drenajes son necesarios para evacuar aguas subterráneas y permitir la salidad parcial de estas. Estos drenajes deben construirse en forma filtro y su localización se hace fuera de zonas de propiedad privada. En estas condiciones, los únicos sitios donde se diseñan drenajes son las vías públicas y la Guardería del Bienestar Familiar.

El diseño y distribución de drenajes se muestran en el plano 3.

El filtro se compone fundamentalmente de un tubo de material flexible perforado con relleno exterior de gravas y geotextil, tal como se construyera en varios países /2/.

5.3 OBRAS DE CONTENCIÓN.

Las obras de contención necesarias para estabilizar la ladera se dividen en dos: 1) Un terraplén compactado construido en la Calle 41A Sur, 2) Un reforzamiento del muro actualmente construido en

la margen de la carretera a Villavicencio, empleando anclajes.

5.3.1 Terraplen Compactado.

Con el terraplen compactado la ladera en la zona de la carrera 10 Este aumenta su factor de seguridad a 1.49 (ver cuadro 5.1) en lugar de 0.88, lo que indica que su estabilidad aumenta en el 69% a márgenes aceptables para el caso que nos ocupa.

Los detalles del terraplén se pueden ver en el plano 4.

Para la construcción del terraplén es necesario demoler las dos casas más próximas a la calle 41A Sur o sea las marcadas con los números 8 y 16 de la figura 1.7.

El terraplén debe construirse sobre una capa de gravilla de tamaño 3/4", con lo que se busca drenar la base conduciendo el agua hacia el filtro de la calle 41A sur.

La calle 41A Sur se interrumpe en la margen de la carretera a Villavicencio pero el acceso se hace por la carrera 10 Este, la cual queda con salida a la carretera a Villavicencio.

Con el fin de evitar la erosión del terraplén en época de invierno, cuando las aguas vayan con alta velocidad por la calle 41A sur, es necesario hacerle protección ASFALTANDO la vía. Como complemento a esto es necesario construir sardineles y andenes para encausar las aguas hacia los sumideros.

Esta obra, que es la más complicada, puede no ser necesaria si la instrumentación de la zona inestable indica que con las demás obras la masa ya se ha estabilizado.

la margen de la carretera a Villavicencio, empleando anclajes.

5.3.1 Terraplen Compactado.

Con el terraplen compactado la ladera en la zona de la carrera 10 Este aumenta su factor de seguridad a 1.49 (ver cuadro 5.1) en lugar de 0.88, lo que indica que su estabilidad aumenta en el 69% a márgenes aceptables para el caso que nos ocupa.

Los detalles del terraplén se pueden ver en el plano 4.

Para la construcción del terraplén es necesario demoler las dos casas más próximas a la calle 41A Sur o sea las marcadas con los números 8 y 16 de la figura 1.7.

El terraplén debe construirse sobre una capa de gravilla de tamaño 3/4", con lo que se busca drenar la base conduciendo el agua hacia el filtro de la calle 41A sur.

La calle 41A Sur se interrumpe en la margen de la carretera a Villavicencio pero el acceso se hace por la carrera 10 Este, la cual queda con salida a la carretera a Villavicencio.

Con el fin de evitar la erosión del terraplén en época de invierno, cuando las aguas bajan con alta velocidad por la calle 41A sur, es necesario hacerle protección asphaltando la vía. Como complemento a esto es necesario construir sardineles y andenes para encausar las aguas hacia los sumidercos.

5.3.2 Reforzamiento del Muro.

El muro de concreto ciclópeo construido en la margen de la carretera a Villavicencio puede recuperarse, poniendolo a trabajar mediante anclajes, los cuales deben atravesar la arcilla de la base y profundizarse en la roca.

Como se puede ver en el anexo G de memorias de cálculo el muro esta trabajando con factores de seguridad menores de 1 y momentos resistentes que pueden oscilar entre 8.51 y 10.72 ton-m; mientras los momentos actuantes varían entre 11.15 y 29.40 ton-m. Los anclajes colocados cada metro con varilla de ϕ 1" y resistencia de 60.000 psi pueden contribuir con momento resistente en un mínimo de 14 ton-m (para el caso de considerar 10 ton por anclaje o sea el 50% de la resistencia de la varilla) y un máximo de 28 Ton-m (para el caso de considerar 20 ton para anclaje o sea la resistencia de la varilla), dándole al muro la estabilidad requerida con factores de seguridad apropiados.

Además de esto, es necesario perforarle al muro drenajes con el fin de aliviar las cargas sobre este.

Las obras de estabilización deben ser ejecutadas de acuerdo con la siguiente secuencia:

- 1) Cambio de tuberías de alcantarillado con el fin de eliminar en primer termino las fuentes de suministro de agua subterránea.

El cambio de tuberías en las casas puede tropezar con dificultades debido a problemas económicos de los propietarios,

correspondiendo a la Administración Distrital encontrar los mecanismos necesarios para colaborar (incluso económicamente) y obligar a los propietarios a llevar adelante tales trabajos.

2) Construcción de drenajes: Esta obra debe ejecutarse simultáneamente con la anterior o inmediatamente después de la anterior.

3) Obras de contención: La ejecución de todos estos trabajos es necesario hacerla luego de haber hecho las anteriores. El reforzamiento del muro se puede hacer simultáneamente con las demás obras y el terráplen se debe construir solo si las demás obras no estabilizan la masa, de acuerdo con los resultados de la instrumentación implementada.

5.4 PRESUPUESTO

Para cada una de las obras propuestas se ha calculado el siguiente presupuesto, de acuerdo con las cantidades de obra tomadas de los planos y precios unitarios obtenidos de obras similares con actualización de precios a 31 de Marzo de 1990:

1) Cambio de Tuberías de Alcantarillado

Los costos considerados se encuentran discriminados en el cuadro 5.2, donde se aprecia que esta obra cuesta \$ 3'940.418.

2) Construcción de Drenajes

Estos se describen en el cuadro 5.3. Según esto la obra cuesta \$4'136.487.

correspondiendo a la Administración Distrital encontrar los mecanismos necesarios para colaborar (incluso económicamente) y obligar a los propietarios a llevar adelante tales trabajos.

2) Construcción de drenajes: Esta obra debe ejecutarse simultáneamente con la anterior o inmediatamente después de la anterior.

3) Obras de contención: La ejecución de todos estos trabajos es necesario hacerla luego de haber hecho las anteriores. El reforzamiento del muro se puede hacer simultáneamente con el terraplén, aunque podría ejecutarse durante la construcción de drenajes pero puede haber interferencias con la construcción de drenajes de la guardería

5.4 PRESUPUESTO

Para cada una de las obras propuestas se ha calculado el siguiente presupuesto, de acuerdo con las cantidades de obra tomadas de los planos y precios unitarios obtenidos de obras similares con actualización de precios a 31 de Marzo de 1990:

1) Cambio de Tuberías de Alcantarillado

Los costos considerados se encuentran discriminados en el cuadro 5.2, donde se aprecia que esta obra cuesta \$ 3'940.418.

2) Construcción de Drenajes

Estos se describen en el cuadro 5.3. Según esto la obra cuesta \$ 4'136.487.

54

3) Construcción de Terraplén

La construcción del terraplén sobre la calle 41A sur cuesta \$ 29,328.430 de acuerdo con la discriminación que se presenta en el cuadro 5.4.

4) Reforzamiento del Muro

El reforzamiento del muro con anclajes de 9 metros de longitud cuesta \$ 6'384.422 discriminados tal como se presenta en el cuadro 5.5.

En total las obras para estabilización de la zona inestable del barrio San José Sur Oriental cuestan \$ 43'789.757 , producto de sumar todos los costos parciales indicados anteriormente. Sin embargo, si la construcción del terráplen no se hace por que con las demás obras es suficiente para estabilizar la masa, el costo total de las obras es de \$ 14'461.327.

5.5 TIEMPOS DE EJECUCION DE OBRAS

Las obras en su totalidad pueden ser ejecutadas en cuatro meses, tal como se indica en el cronograma del cuadro 5.6:

Como se puede ver, las obras se deben construir en la secuencia indicada anteriormente y es necesario, en lo posible, llevar adelante los trabajos en época de verano. La ejecución de trabajos en invierno conlleva aumento de tiempos de construcción por las dificultades que se presentan, sobretodo en las excavaciones de zanjas.

3) Construcción de Terraplén

La construcción del terraplén sobre la calle 41A sur cuesta \$ 29,328.430 de acuerdo con la discriminación que se presenta en el cuadro 5.4.

4) Reforzamiento del Muro

El reforzamiento del muro con anclajes de 9 metros de longitud cuesta \$ 6'384.422 discriminados tal como se presenta en el cuadro 5.5.

En total las obras para estabilización de la zona inestable del barrio San José Sur Oriental cuestan \$ 43'789.757, producto de sumar todos los costos parciales indicados anteriormente.

5.5 TIEMPOS DE EJECUCION DE OBRAS

Las obras en su totalidad pueden ser ejecutadas en cuatro meses, tal como se indica en el cronograma del cuadro 5.6.

Como se puede ver, las obras se deben construir en la secuencia indicada anteriormente y es necesario, en lo posible, llevar adelante los trabajos en época de verano. La ejecución de trabajos en invierno conlleva aumento de tiempos de construcción por las dificultades que se presentan sobretodo en las excavaciones de zanjas.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Los estudios llevados a cabo en la zona inestable del barrio San Jose Sur Oriental permiten formular las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1. La mencionada zona inestable se ubica en los cerros sur orientales de Bogotá sobre la carretera a Villavicencio donde los barrios se ubican en terrenos arcillosos con pendientes fuertes, motivo por el cual los problemas de inestabilidad del terreno son frecuentes.
2. Los problemas de inestabilidad del barrio San Jose Sur Oriental se agudizan y pueden adquirir caracter alarmante durante los periodos de invierno y sobretodo al final de estos, es decir en los meses de julio y noviembre, cuando el suelo ha adquirido su máxima saturación.
3. La masa inestable hasta la fecha no ha sido instrumentada y por lo tanto no se puede establecer con exactitud cual es la velocidad de desplazamiento ni su dirección. Sin embargo, a juzgar por la información oral de los habitantes locales y el comportamiento de los agrietamientos se puede decir que la masa del suelo se desplaza hacia la carretera a Villavicencio y calle 41A sur, en el sentido de la pendiente del terreno, a una velocidad media de 0.03 m/año considerada como extremadamente lenta, pero que causa deterioro de las casas que se encuentran

sobre el terreno y que podrían destruirse poniendo en peligro la integridad de sus moradores.

4. En este como en la mayoría de los terrenos inestables, el agua subterránea aporta una gran responsabilidad en las causas de inestabilidad. En el caso del barrio San Jose Sur Oriental, la presencia de tuberías de alcantarillado frágiles en un terreno que se desplaza, y además el afloramiento de aguas fétidas, permite conceptuar que los ductos deben estar rotos o desencajados constituyéndose esta tubería en una de las principales fuentes de agua subterránea. Los ductos de zonas inestables deben ser de material plástico o flexible para que no se rompan fácilmente.

5. Geológicamente la masa inestable se caracteriza como un depósito antrópico conformado por arcilla proveniente de la Formación Guaduas con cantos de arenisca y resto de ladrillo y madera.

6. Los resultados obtenidos en las perforaciones y los análisis de ensayos de laboratorio permiten concluir que la masa inestable se desliza sobre una superficie de falla localizada en el lindero entre dos rellenos de diferente grado de compactación, localizado a uno ó metros en la parte más profunda.

7. El análisis de estabilidad permite concluir que en el terreno se presentan diferentes factores de seguridad, encontrándose que

el más crítico está en la margen derecha de la carretera a Villavicencio en el sector de la guardería del Bienestar Familiar y el menos crítico hacia la calle 41A sur.

8. Una completa estabilización de la masa se puede obtener mediante la ejecución de obras que comprenden:

obtener mediante la ejecución de obras que comprenden:

a-. Cambio de tuberías de alcantarillado.

b-. Construcción de drenajes

c-. Obras de contención.

9. La ejecución de las obras indicadas en el punto anterior debe emprenderse a la mayor brevedad posible. Mientras se termina la ejecución de las obras se debe implementar lo más pronto posible un sistema de instrumentación consistente en una línea topográfica poligonal cerrada, la cual debe trazarse por la carrera 10 Este, calle 41A sur, carretera a Villavicencio, guardería, calle 42 sur y cerrar de nuevo en la carrera 10 Este. Esta poligonal debe tener por lo menos 16 puntos a los que se les debe tomar lectura en planta y nivel una vez por semana en invierno y dos veces por mes en verano. Mediante esta instrumentación se podrá determinar exactamente la velocidad y dirección de los movimientos, registrándose la incidencia de cada una de las obras propuestas si se decide ejecutar las obras por etapas. Esta última alternativa se puede adoptar sólo con el sistema de instrumentación propuesto, ejecutando en su orden: 1)

Cambio de tuberías de alcantarillado, 2) Construcción de drenajes, 3) Reforzamiento del muro, 4) Terraplén.

10. Mientras no se compruebe la completa estabilización de la masa inestable deben evacuarse por lo menos 3 casas que se encuentran con el mayor grado de deterioro hasta la fecha, pues sus moradores corren peligro sobre todo en invierno. Estas casas son, según la numeración de la figura 1.7, las señaladas con los números 3, 11 y 16.

BIBLIOGRAFIA

1. Costet J. Sanglerat G.
Cours pratique de mécanique des sols. Paris, Bordas, 1975.
2. Eggelsmann R.
Drainanleitung. Fur Land bau, Ingenieurbau und Landschaftsbau.
Hamburg, Wasser und Boden Axel Lindow & Co. 1973.
3. Lambe W.T., Whitman R.V.
Mecánica de suelos. Mexico. Edit. Limusa, 1984.
4. Maslov N.N.
Condiciones de estabilidad de laderas y taludes en la
construcción hidroenergética. Moscú, Energoizdat, 1955.
5. Schuster R.L, Krizek R.J.
Landslides. Analysis and control. Special Report 176.
Washington, D.C. 1978.

CUADROS

ANALISIS DE ESTABILIDAD BARRIO SAN JOSE SECCION D-D Cuadro 4.1

OVL LA Nº	BASE m	ALTURA		VOLUMEN		PESO		ϕ°	λ (m)	E Wson λ (Ton)	U Bwhw (Ton/m)	Uλ (Ton)	N Wcos λ (Ton)	N' N-Uλ (Ton)	F1 N·Tonϕ (Ton)	F2 cλ (Ton)	T F1+F2 (Ton)
		No saturado (m)	Saturado (m)	No saturado (m³)	Saturado (m³)	No saturado (Ton)	Saturado (Ton)										
1	1.8	-	2.8	3.0	-	5.22	-	10.23	1.80	0.18	2.90	5.22	10.23	5.01	1.48	1.17	2.65
2	2	-	3.0	4.3	-	7.30	-	14.31	2	0.50	3.65	7.31	14.30	6.99	2.07	1.30	3.37
3	4	-	4.3	6.0	-	20.60	-	40.38	4	2.82	5.15	20.65	40.28	19.63	5.81	2.61	8.42
4	4	-	6.0	6.5	-	25.00	-	49.00	7.5	6.40	6.25	25.21	48.58	23.37	6.92	2.62	9.54
5	4	-	6.5	6.4	-	25.80	-	50.57	8.0	7.04	6.45	26.06	50.08	24.02	7.12	2.62	9.74
6	4	-	6.4	6.5	-	25.80	-	50.57	8.5	7.47	6.45	26.08	50.01	23.93	7.09	2.63	9.72
7	4	-	6.5	6.4	-	25.80	-	50.57	9	7.91	6.45	26.12	49.94	23.82	7.06	2.63	9.69
8	4	-	6.4	6.7	-	24.20	-	47.43	10	8.24	6.05	24.57	46.71	22.14	6.56	2.64	9.20
9	4	-	5.7	5.1	-	21.60	-	42.34	12	8.80	5.40	22.08	41.41	19.33	5.73	2.65	8.38
10	4	-	5.1	6.8	-	23.80	-	46.65	13.5	10.89	5.95	24.48	45.36	20.88	6.20	2.66	8.86
11	4	-	6.8	7.3	-	28.20	-	55.27	17.5	16.62	7.05	29.56	52.71	23.15	6.85	2.73	9.58
12	4	-	7.3	5.7	-	26.00	-	50.96	29	24.71	6.50	29.73	44.57	14.84	4.40	2.97	7.37
13	2	-	5.7	4.2	-	9.90	-	19.40	37	11.68	4.95	12.40	15.50	3.10	0.92	1.63	2.55
14	1.5	-	4.2	2.3	-	4.88	-	9.56	81	7.48	3.25	7.74	8.01	-1.73	-0.51	1.55	1.04
15	.70	-	2.3	0	-	0.81	-	1.58	72	1.50	1.15	2.61	0.49	-2.12	-0.63	1.47	0.84

$C = 0.65 \text{ T/m}^2$ $\Sigma E = 122.19$
 $\phi = 16.5^\circ$ $\Sigma T = 100.95$
 $\text{BSTAT} = 1.96 \text{ T/m}^2$ $\text{F.S.} = \frac{\Sigma T}{\Sigma E} = 0.83$
 $\text{BNOBAT} = 1.72 \text{ T/m}^2$

OBSERVACIONES: Suelo totalmente saturado

ANALISIS DE ESTABILIDAD BARRIO SAN JOSE SECCION D-D Cuadro 4.2

OVL LA NP	BASE m	ALTURA		VOLUMEN		PESO		l (m)	E Wsen (Ton)	U Bwhw (Ton/m²)	N Wcos d (Ton)	N' N-Ul (Ton)	F ₁ N.Tanφ (Ton)	F ₂ cφ (Ton)	T F ₁ +F ₂ (Ton)		
		No saturada		Saturada		No saturada										Saturada	
		h ₁ (m)	h ₂ (m)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	h ₁ (m³)	h ₂ (m³)									h ₁ (Ton)	h ₂ (Ton)
1	1.8	1	1.8	2.0	1.80	3.42	3.10	6.70	9.80	1.90	9.80	6.38	1.89	1.17	3.06		
2	2	1	2.0	2.3	2.00	5.30	3.44	10.39	13.83	2.65	13.82	8.52	2.52	1.30	3.82		
3	4	1	3.3	5.0	4.00	16.60	6.88	32.54	39.42	4.15	39.32	22.68	6.71	2.61	9.32		
4	4	1	5.0	5.5	4.00	21.00	6.88	41.16	48.04	5.25	47.63	28.45	7.83	2.62	10.45		
5	4	1	5.5	5.4	4.00	21.80	6.88	42.73	49.61	5.45	49.13	27.11	8.03	2.63	10.66		
6	4	1	5.4	5.5	4.00	21.80	6.88	42.73	49.61	5.45	49.06	27.02	8.00	2.63	10.63		
7	4	1	5.5	5.4	4.00	21.80	6.88	42.73	49.61	5.45	49.00	26.93	7.98	2.63	10.61		
8	4	1	5.4	4.7	4.00	20.20	6.88	39.59	46.47	5.05	45.77	25.25	7.48	2.64	10.12		
9	4	1	4.7	4.7	4.00	17.60	6.88	34.50	41.38	4.40	40.47	22.48	6.66	2.66	9.32		
10	4	1	4.1	5.8	4.00	19.80	6.88	38.81	45.69	4.95	44.43	24.06	7.13	2.67	9.80		
11	4	1	5.8	6.3	4.00	24.20	6.88	47.43	54.31	6.05	51.80	28.42	7.83	2.72	10.55		
12	4	1	6.3	4.7	4.00	22.00	6.88	43.12	50.00	5.50	43.73	18.58	5.50	2.97	8.47		
13	2	1	4.7	3.2	2.00	7.90	3.44	15.48	18.92	3.95	15.11	5.22	1.55	1.63	3.18		
14	1.5	1	3.2	1.3	1.50	3.38	2.58	6.62	9.20	2.25	5.79	0.42	0.13	1.55	1.68		
15	.70	1	0	1.3	0.35	0.46	0.60	0.89	1.49	0.65	0.46	-1.01	-0.30	1.47	1.17		

$C = 0.65 \text{ Ton/m}^2$ $\sum E = 119.53$
 $\phi = 16.8^\circ$ $\sum T = 118.84$
 $W_{SAT} = 1.96 \text{ T/m}^3$ $F.S. = \frac{\sum T}{\sum E} = 0.94$
 $W_{NO SAT} = 1.72 \text{ T/m}^3$

OBSERVACIONES: Zona no saturada 1.00 m. por debajo del terreno superficial.

ANALISIS DE ESTABILIDAD BARRIO SAN JOSE SECCION D-D Cuadro 4.3

OVL LA Nº	BASE m	ALTURA		VOLUMEN		PESO			α°	l (m)	E Wegen d (Ton)	U Bwhw (Ton/m²)	U l (Ton)	N Woods d (Ton)	N' N-U (Ton)	F ₁ N'Tan φ (Ton)	F ₂ cφ (Ton)	T F ₁ +F ₂ (Ton)	
		No saturada		Saturada		No saturada		Saturada											
		h ₁ (m)	h ₂ (m)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	(Ton)	(Ton)	(Ton)											(Ton)
1	1.80	2	2	0.80	1.00	3.60	1.62	6.19	3.18	9.37	0.16	0.90	1.62	9.37	7.75	2.29	1.17	3.46	
2	2	2	2	1.00	2.30	4.00	3.30	6.88	6.47	13.35	0.47	1.65	3.30	13.34	10.04	2.97	1.30	4.27	
3	4	2	2	2.30	4.00	8.00	12.60	13.76	24.70	38.46	2.68	3.15	12.63	38.36	25.73	7.62	2.61	10.23	
4	4	2	2	4.00	4.50	8.00	17.00	13.76	33.32	47.08	6.15	4.25	17.15	46.68	29.53	8.75	2.62	11.37	
5	4	2	2	4.50	4.40	8.00	17.80	13.76	34.89	48.65	6.77	4.45	17.97	48.17	30.20	8.95	2.63	11.57	
6	4	2	2	4.40	4.50	8.00	17.80	13.76	34.89	48.65	7.19	4.45	17.99	48.11	30.12	8.92	2.63	11.55	
7	4	2	2	4.50	4.40	8.00	17.80	13.76	34.89	48.65	7.61	4.45	18.02	48.05	30.03	8.89	2.64	11.53	
8	4	2	2	4.40	3.70	8.00	16.20	13.76	31.75	45.51	7.90	4.06	16.46	44.82	28.37	8.40	2.64	11.04	
9	4	2	2	3.70	3.10	8.00	13.60	13.76	26.66	40.42	8.40	3.40	13.90	39.53	25.83	7.59	2.66	10.25	
10	4	2	2	3.10	4.80	8.00	15.80	13.76	30.97	44.73	10.44	3.95	16.25	43.49	27.24	8.07	2.67	10.74	
11	4	2	2	4.80	5.30	8.00	20.20	13.76	39.59	53.35	16.04	5.05	21.18	50.88	29.70	8.80	2.73	11.53	
12	4	2	2	5.30	3.70	8.00	18.00	13.76	35.28	49.04	23.78	4.50	20.58	42.89	22.31	6.61	2.97	9.58	
13	2	2	2	3.70	2.20	4.00	5.90	6.88	11.56	18.44	11.10	2.96	7.39	14.73	7.34	2.17	1.63	3.80	
14	1.5	2	2	1.30	2.20	2.48	2.40	4.26	4.70	8.96	6.96	1.60	3.81	5.64	1.83	0.54	1.55	2.09	
15	0.70	2	2	0	1.00	0.46	0.35	0.78	0.69	1.47	1.40	0.50	1.13	0.45	-0.68	-0.20	1.47	1.27	

$$C = 0.65 \text{ Ton/m}^2 \quad \Sigma E = 117.05$$

$$\phi = 16.5^\circ \quad \Sigma T = 124.28$$

$$\text{SAT} = 196 \text{ T/m}^3 \quad \text{F.S.} = \frac{\Sigma T}{\Sigma E} = 1.06$$

$$\text{UNO SAT} = 172 \text{ T/m}^3$$

OBSERVACIONES: Zona no saturada 2.00m. por debajo del terreno superficial

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD BARRIO SAN JOSE SECCION D-D Cuadro 4.4

OVE. LA Nº	BASE m	ALTURA				VOLUMEN		PESO			φ ^o	f (m)	E Wsen α (Ton)	U bwhw (Ton/m²)	U _p (Ton)	N Wcos α (Ton)	N' N-u _p (Ton)	F ₁ N'Ton φ (Ton)	F ₂ c _f (Ton)	T F ₁ +F ₂ (Ton)
		No saturado		Saturado		No saturado (Ton)	Saturado (Ton)	TOTAL (Ton)												
		h ₁ (m)	h ₂ (m)	h ₁ (m)	h ₂ (m)															
1	1.80	2.8	3	0	0	5.22	0	8.98	0	8.98	1	1.80	0.16	0	8.98	8.98	2.66	1.17	3.83	
2	2	3	3	0	1.3	6.00	1.30	12.87	2.55	12.87	2	2.00	0.45	1.30	12.86	11.56	3.42	1.30	4.72	
3	4	3	3	1.3	3.0	12.00	8.60	37.50	16.86	37.50	4	4.01	2.62	8.62	37.40	28.78	8.52	2.61	11.13	
4	4	3	3	3.0	3.5	12.00	13.00	46.12	25.48	46.12	7.5	4.03	6.02	13.12	48.73	32.61	9.66	2.62	12.28	
5	4	3	3	3.5	3.4	12.00	13.80	47.69	27.05	47.69	8	4.04	6.64	13.93	47.22	33.29	9.88	2.63	12.49	
6	4	3	3	3.4	3.5	12.00	13.80	47.69	27.05	47.69	8.5	4.04	7.05	13.95	47.16	33.21	9.84	2.63	12.47	
7	4	3	3	3.5	3.4	12.00	13.80	47.69	27.05	47.69	9	4.05	7.46	13.97	47.10	33.13	9.81	2.63	12.44	
8	4	3	3	3.4	2.7	12.00	12.20	44.85	23.91	44.85	10	4.06	7.74	12.39	43.88	31.49	9.33	2.64	11.97	
9	4	3	3	2.7	2.1	12.00	9.60	39.46	18.82	39.46	12	4.09	8.20	9.81	38.59	28.78	8.52	2.66	11.18	
10	4	3	3	3.8	3.8	12.00	11.80	43.77	23.13	43.77	13.5	4.11	10.22	12.14	42.56	30.42	9.02	2.67	11.69	
11	4	3	3	3.8	4.3	12.00	16.20	52.39	31.75	52.39	17.5	4.19	15.75	16.99	49.97	32.98	9.77	2.73	12.50	
12	4	3	3	4.3	2.7	12.00	14.00	48.08	27.44	48.08	29	4.57	23.31	16.01	42.05	26.04	7.71	2.97	10.68	
13	2	3	2.8	2.7	1.40	5.80	4.10	18.01	8.03	18.01	37	2.50	10.84	2.05	14.38	9.25	2.74	1.63	4.37	
14	1.50	2.8	1.60	1.40	0.70	3.80	1.58	6.77	3.09	6.77	51	2.38	6.81	1.05	5.51	3.01	0.89	1.55	2.44	
15	0.70	1.60	0	0.70	0	0.56	0.25	1.44	0.48	1.44	72	2.27	1.37	0.35	0.44	-0.35	-0.10	1.47	1.37	

$$C = 0.65 \text{ Ton/m}^2 \quad \Sigma E = 114.64$$

$$\phi = 16.5^\circ$$

$$\text{SAT} = 196 \text{ Ton/m}^3 \quad \Sigma T = 135.56$$

$$\text{GNOSATE} = 1.72 \text{ Ton/m} \quad \text{F.S.} = \frac{\Sigma T}{\Sigma E} = 1.18$$

OBSERVACIONES: Zona no saturada 3.00 m. por debajo del terreno superficial

ANALISIS DE ESTABILIDAD BARRIO SAN JOSE SECCION D-D Cuadro 4.5

OVE LA Nº	BASE .m	ALTURA				VOLUMEN		PESO		∠ (m)	E Wisen (Ton)	U BWHW (Ton/m)	U (Ton)	N Wisen (Ton)	N' N-U (Ton)	Fi N'Ton (Ton)	Fg c (Ton)	T R+Fg (Ton)
		No saturado		Saturado		No saturado (m³)	Saturado (m³)	No saturado (Ton)	Saturado (Ton)									
		h1 (m)	h2 (m)	h1 (m)	h2 (m)													
1	1.8	2.80	3.0	-	-	5.22	-	8.98	-	1.80	0.16	-	8.98	8.98	2.66	1.17	3.83	
2	2	3.0	4.3	-	-	7.30	-	12.56	-	2.00	0.44	-	12.55	12.55	3.72	1.30	5.02	
3	4	4.3	6.0	-	-	20.60	-	35.43	-	4.01	2.47	-	35.35	35.35	10.47	2.61	13.08	
4	4	6.0	6.5	-	-	25.00	-	43.00	-	4.03	5.61	-	42.63	42.63	12.63	2.62	15.25	
5	4	6.5	6.4	-	-	25.80	-	44.38	-	4.04	6.18	-	43.94	43.94	13.01	2.63	15.64	
6	4	6.4	6.5	-	-	25.80	-	44.38	-	4.04	6.56	-	43.89	43.89	13.00	2.63	15.63	
7	4	6.5	6.4	-	-	25.80	-	44.38	-	4.05	6.94	-	43.83	43.83	12.98	2.63	15.61	
8	4	6.4	5.7	-	-	24.20	-	41.62	-	4.06	7.23	-	40.99	40.99	12.14	2.64	14.78	
9	4	5.7	5.1	-	-	21.60	-	37.15	-	4.09	7.72	-	36.34	36.34	10.76	2.66	13.42	
10	4	5.1	6.8	-	-	23.80	-	40.94	-	4.11	9.56	-	39.80	39.80	11.79	2.67	14.46	
11	4	6.8	7.3	-	-	28.20	-	48.50	-	4.19	14.59	-	46.26	46.26	13.70	2.73	16.43	
12	4	7.3	5.7	-	-	26.00	-	44.72	-	4.57	21.68	-	39.11	39.11	11.59	2.97	14.56	
13	2	5.7	4.2	-	-	9.90	-	17.03	-	2.50	10.25	-	13.60	13.60	4.03	1.63	5.66	
14	1.5	4.2	2.3	-	-	4.88	-	8.39	-	2.38	6.52	-	5.28	5.28	1.56	1.55	3.11	
15	.70	2.3	0	-	-	0.81	-	1.38	-	2.27	1.32	-	0.43	0.43	0.13	1.47	1.60	

$$C = 0.65 T/m^2 \quad \Sigma E = 107.23$$

$$\phi = 16.5^\circ \quad \Sigma T = 168.08$$

$$U_{SAT} = 1.96 T/m^3$$

$$U_{NO SAT} = 1.72 T/m^3 \quad F.S. = \frac{\Sigma T}{\Sigma E} = 1.57$$

OBSERVACIONES: Suelo totalmente seco

ZONA INESTABLE DEL BARRIO SAN JOSE SURORIENTAL

PRESUPUESTO DE CAMBIO DE TUBERIAS DE ALCANTARILLADO

CUADRO 5.2

ITEM No.	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO TOTAL \$
1	Excavación para recuperacion de tuberias de 12", con entibado	M3	120	3,677	441,240
2	Excavación para recuperacion de tuberias de 6", sin entibado	M3	30	2,831	84,930
3	Recuperacion de tuberias de Diam. 12"	ML	80	600	48,000
4	Recuperacion de tuberias de Diam. 6"	ML	50	400	20,000
5	Suministro y colocacion de tuberia de PVC de Diam. 12"	ML	80	18,600	1,488,000
6	Suministro y colocacion de tuberia de PVC de Diam. 6"	ML	76	6,753	513,228
7	Relleno compactado sobre tuberias	M3	150	1,742	261,300
8	Reparacion de pozos de alcantarillado	Global			100,000
9	Auxilio para cambio de tuberias internas en las casas (entrega de tuberias y pegantes)	Global			500,000
10	Suaidero	UN.	1	100,000	100,000
11	Nivelacion del pozo	Global			25,500
	SUBTOTAL				3,582,198
	IMPREVISTOS (10%)				358,220
	TOTAL				3,940,418

70

ZONA INESTABLE DEL BARRIO SAN JOSE SURORIENTAL

PRESUPUESTO DE CONSTRUCCION DE DRENAJES

CUADRO 5.3

ITEM No.	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO TOTAL \$
1	Excavación de zanjas con entibado	M3	113	3,677	415,501
2	Excavación de zanjas sin entibado	M3	112	2,831	317,072
3	Suministro y colocación de tubería de PVC de Diám. 4" perforada	ML	225	5,100	1,147,500
4	Filtros en grava de 1"	M3	68	10,350	703,800
5	Filtros en gravilla de 3/4"	M3	68	10,350	703,800
6	Geotextil	M2	495	480	237,600
7	Relleno compactado sobre filtro	M3	135	1,742	235,170
	SUBTOTAL				3,760,443
	IMPREVISTOS (10%)				376,044
	TOTAL				4,136,487

71

ZONA INESTABLE DEL BARRIO SAN JOSE SURORIENTAL

PRESUPUESTO DEL TERRAPLEN

CUADRO 5.4

ITEM No.	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO TOTAL \$
1	Filtro de gravilla	M3	46	10,350	476,100
2	Terrapien compactado	M3	2,800	619	1,733,200
3	Empadizado	M2	700	1,500	1,050,000
4	Pavimento asfáltico	M2	1,190	5,146	6,123,740
5	Sardineles en concreto de 210 Kg/cm ²	ML	423	8,408	3,556,584
6	Andenes, e=8 cm	M2	413	4,040	1,668,520
7	Tubería de drenaje de 3", en PVC	ML	8	2,777	22,216
8	Descapote	M3	91	350	31,850
	SUBTOTAL				14,662,210
	Adquisición de 2 casas IMPREVISTOS (10%)	UN.	2	6,000,000	12,000,000
					2,666,221
	TOTAL				29,328,431

72.

ZONA INESTABLE DEL BARRIO SAN JOSE SURORIENTAL

PRESUPUESTO PARA REFORZAMIENTO DEL MURO

CUADRO 5.5

ITEM No.	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO TOTAL \$
1	Anclajes con varilla de Diam. 1", 60.000 psi	ML	342	14,852	5,079,384
2	Perforacion de lagrimales de Diam. 1 1/2"	UNIT.	19	30,244	574,636
3	Reparacion de agrietamientos del muro	Global			150,000

					SUBTOTAL 5,804,020
					IMPREVISTOS (10%) 580,402

					TOTAL 6,384,422
					=====

73

ZONA INESTABLE DEL BARRIO SAN JOSE SUR ORIENTAL

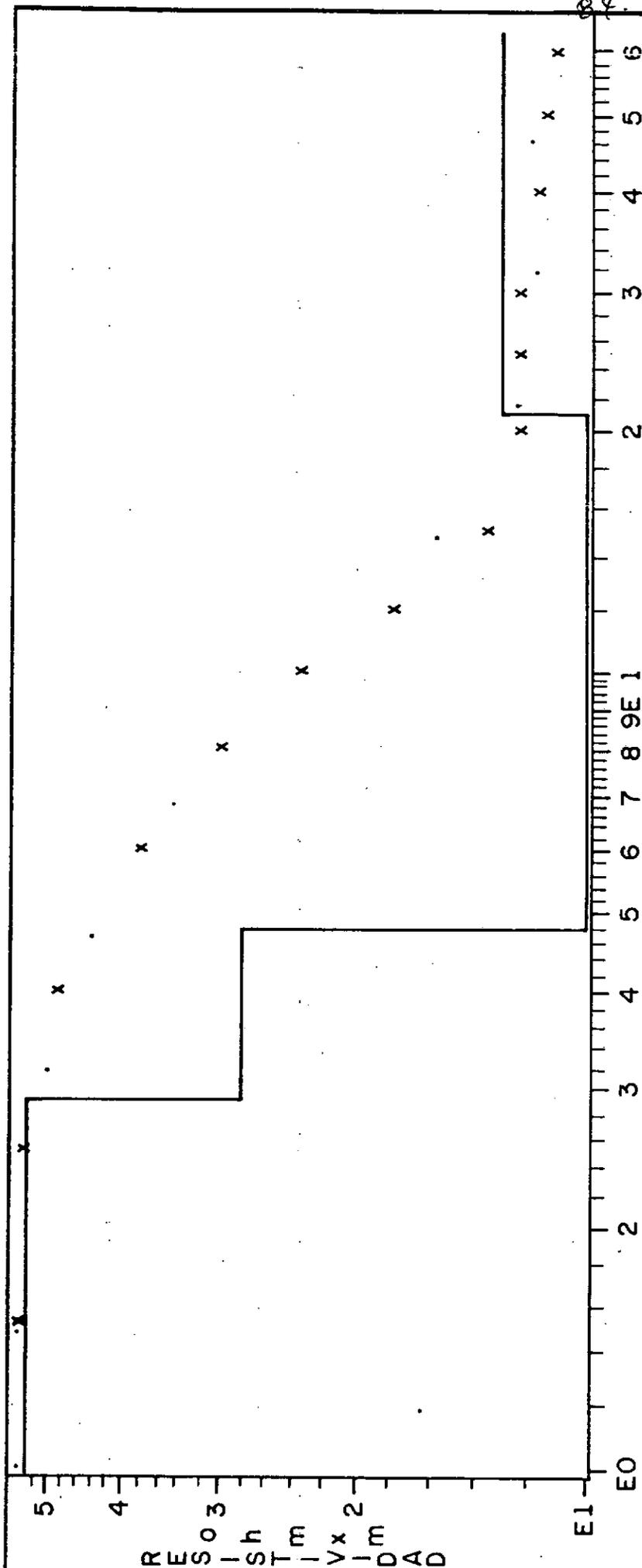
CRONOGRAMA DE EJECUCION DE OBRAS

CUADRO 5.6

N°	ACTIVIDAD	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Cambio de tuberías de alcantarillado	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX													
2	Construcción de filtros			XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX									
3	Reforzamiento del muro									XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX				
4	Terraplen													XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX

75

F I G U R A S



PROFUNDIDAD mts.

CAPA N°	PROF. (m.)	RESIST. (ohm-m)	CORRELACION
1	2.9	53	Nivel de arcilla seca y bloques
2	4.8	28	Nivel de arcilla-limosa saturada
3	21.0	10	Nivel de arcilla blanda
4	>21.0	13	Basamento geoelectrico arcilloso

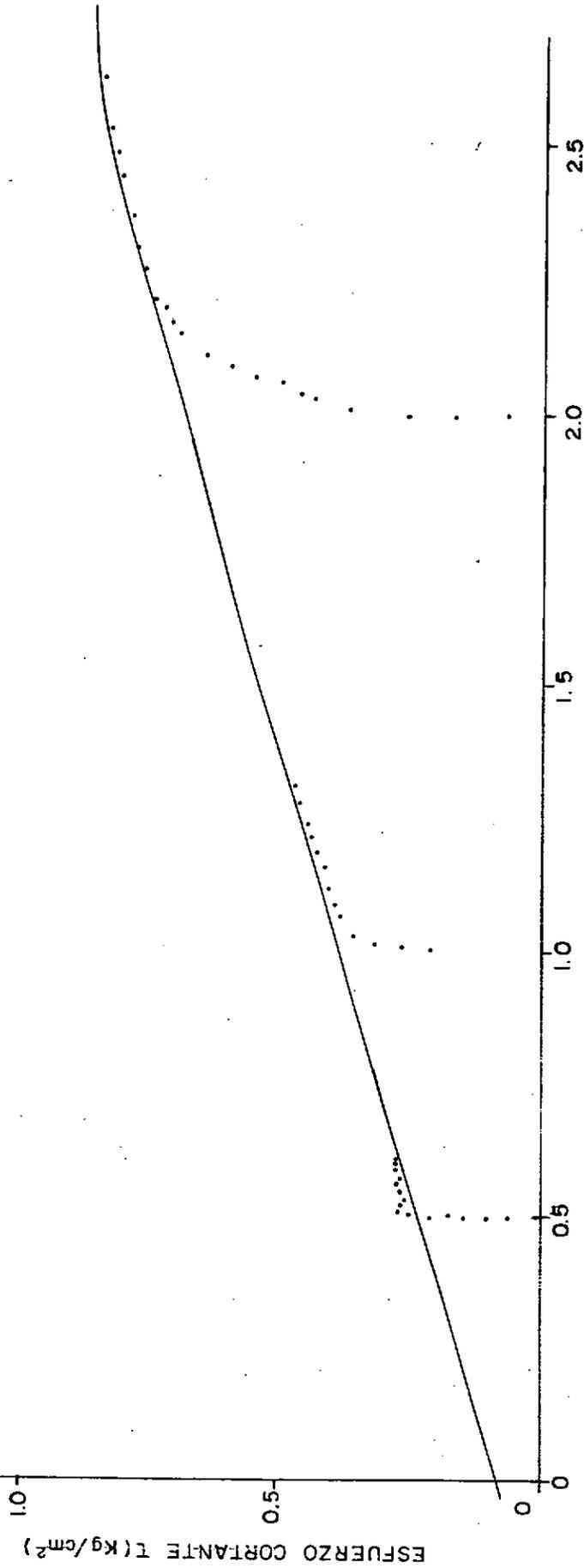
x Curva de campo
 . Curva interpretada

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS BOGOTA D.E.	
ZONA INESTABLE BARRIO SAN JOSE SUR ORIENTAL	
RESULTADOS DEL SONDEO GEOELECTRICO SEV. N° 1	
JORGE PUERTO Ingeniero P.H.D Consultor	Fecha: Marzo de 1990 Esc: Fig 2.2

IEI - LAB. SUELOS U.N.
 ENVOLVENTE DE RESISTENCIA
 material remoldeado
 arcilla gris claro

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Esfuerzo normal (Kg/cm ²)	0.50	1.00	2.00
Humedad (%)	33.53	33.64	32.82
Peso unitario total (gr/cm ³)	1.818	1.793	1.734
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1.361	1.341	1.305

C = 0.65 Ton/m (0.065 Kg/cm²)
 Ø = 16.50



ESFUERZO NORMAL ó (Kg/cm²)

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS
 BOGOTA D.E.

ZONA INESTABLE
 BARRIO SAN JOSE SURORIENTAL

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO
 TSJ-1 (4.75-5.35m)

JORGE PUERTO
 INGENIERO CIVIL - Ph. D.
 CONSULTOR

FECHA: MARZO DE 1990

FIG. 3.1

IEI - LAB. SUELOS U.N.
 ENVOLVENTE DE RESISTENCIA
 San José - Material remoldado
 Arcilla gris rojiza algo ilmosa

	Ensayo 1	Ensayo 2
Esfuerzo normal (Kg/cm ²)	0.75	1.50
Humedad (%)	20.87	20.87
Peso Unitario Total (gr/cm ³)	2.012	2.024
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1.664	1.674

ESFUERZO CORTANTE τ (Kg/cm²)

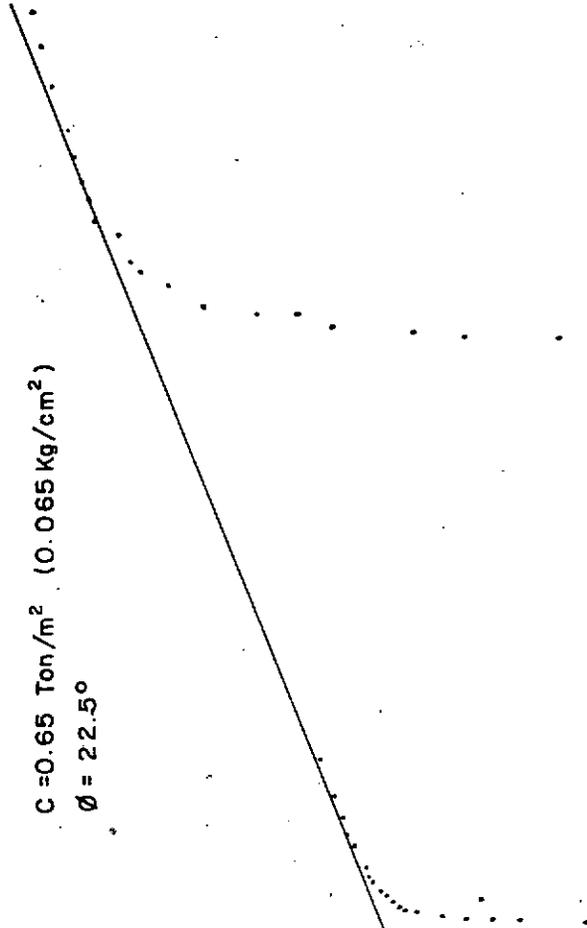
1.0

0.5

0

$C = 0.65 \text{ Ton/m}^2 \text{ (} 0.065 \text{ Kg/cm}^2 \text{)}$

$\phi = 22.5^\circ$



0.5 1.0 1.5 2.0

ESFUERZO NORMAL σ (Kg/cm²)

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS
 BOGOTA D.E.

ZONA INESTABLE
 BARRIO SAN JOSE SUR ORIENTAL

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO
 TSJ-1 (8.8.-9.4m)

JORGE PUERTO
 INGENIERO CIVIL - Ph. D.
 CONSULTOR

FECHA: MARZO DE 1990

FIG. 3-2