INFORME FINAL

SITIO 1.5: BARRIO MIRADOR DE LA ESTANCIA

1. INTRODUCCIÓN

El Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias del Distrito Capital, FOPAE, y la Unidad de Prevención y Atención de Emergencias, UPES, suscribieron con Ingetec S. A el contrato de consultoría No. 1314-110/97, Estudios y Diseños de Estabilidad de Taludes, Control de Erosión y Manejo de Aguas para la Estabilización de Diferentes Sitios en Ciudad Bolívar, Santa Fe de Bogotá. Estos estudios corresponden al Grupo 1 de todos los que fueron contratados en la misma época con diferentes firmas consultoras. En el Plano 1 se muestra la localización general de los ocho sitios de estudio que constituyen dicho grupo.

El presente informe corresponde a los estudios y diseños del Sitio 1.5, denominado Mirador de la Estancia, ubicado en inmediaciones de los barrios Casaloma y La Estancia. El sitio corresponde a una antigua cantera, alrededor de la cual se han construido viviendas para familias de escasos recursos, sin ninguna adecuación urbanística. (Véase sector de estudio en el Plano 2).

Las condiciones propias del sitio tales como la alta pendiente de los taludes, los movimientos de tierra que han obturado el curso natural de las aguas, y los materiales erosionables han generado con el tiempo un proceso de deterioro del sector, el cual, sumado a la amenaza inadecuada de las aguas superficiales y a la construcción no planeada de viviendas en su alrededor, crea una zona de preocupación para el gobierno distrital y de riesgo para sus habitantes.

El presente documento contiene un resumen de los estudios básicos realizados, los diseños de las obras remediales que se proponen para mejorar la seguridad del sector, junto con los planos de construcción, las cantidades de obra y el presupuesto. Las especificaciones técnicas de construcción se presentan en un volumen aparte, aplicables a los ocho sitios de estudios de Ciudad Bolívar, incluidos en el contrato mencionado.

2. RESUMEN DEL DIAGNÓSTICO

2.1 GENERALIDADES

Desde la década del 60, los cerros localizados al suroccidente de la ciudad de Santa Fe de Bogotá, en la zona correspondiente a lo hoy conocido como Ciudad Bolívar (Localidad 19), donde se localiza el sitio Mirador de la Estancia, fueron sometidos a una actividad de explotación minera a cielo abierto, para la obtención de materiales pétreos destinados a la industria de la construcción. Esta actividad extractiva modificó sustancialmente la morfometría original de dichos cerros y alteró su estabilidad natural.

El sitio de estudio, Mirador de la Estancia, corresponde a un antiguo frente de explotación en cuyo costado sur oriental discurría una quebrada, cuyo cauce actual es incierto, dado que éste fue modificado por las excavaciones y rellenos realizados. Después que la explotación de materiales fue abandonada, sin que se realizaran obras de recuperación y adecuación de los cortes efectuados, se conformaron rellenos, en especial en el costado sur y suroccidental, y la cantera y el área aledaña fueron ocupadas para vivienda sin efectuar obras de adecuación e infraestructura para su urbanización.

2.1.1 Información de referencia

La información de referencia consultada y analizada para este estudio se relaciona a continuación:

- Información cartográfica en escala 1:2000, 1:10 000 y 1: 25 000 disponible en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC.

- Información urbana y cartográfica en las bases digitales elaboradas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, y por el Catastro Distrital.

- Cartografía y planos de redes a escala 1:5000, disponibles en la EAAB

- Proyecto de Factibilidad para el Mejoramiento y/o Localización de Asentamientos Humanos Ubicados en Zonas de Alto Riesgo en la Localidad de Ciudad Bolívar, por María de los Ángeles Vargas, 1992.

- Estudio de Investigación Técnica en Áreas de Riesgo en Ciudad Bolívar, Sector Candelaria y Jerusalén, por Javier Pava, 1993.

- Programa de Fortalecimiento y Cualificación del Comité Local de Emergencias en la Localidad de Ciudad Bolívar, por María de los Ángeles Vargas, 1992.

- Estratigrafía y Sedimentología de la Parte Inferior de la Formación Guaduas al sur de la Sabana de Bogotá, por Julivert, 1963.

- Los Rasgos Tectónicos de la Región de la Sabana de Bogotá y los Mecanismos de Formación de las Estructuras, por Julivert, 1963.

- Cartografía geológica general de la zona donde se encuentra el sitio de estudio, Ingeominas.

- Fotografías aéreas del IGAC números 025, 026 y 027 del Vuelo C-1404 del año 1972. Ingeominas.

2.1.2 Condiciones del sector

Ciudad Bolívar es una localidad con grandes problemas ambientales. "Entre los más importantes descuellan la destrucción del suelo por la industria extractiva (canteras y similares), la erosión e inestabilidad de tierras (en parte ligada a la industria extractiva), la degradación del suelo por disposición inadecuada de residuos sólidos, el deterioro de su sistema orográfico (cerros suroccidentales de la ciudad), la insuficiencia de zonas verdes urbanas, la contaminación del agua (río Tunjuelo, quebradas Quiba, Lima y otras), el deterioro de sus cuencas altas, las crecidas e inundaciones y la polución visual y la contaminación del aire por la industria extractiva y el ruido" [1].

La zona de estudio en el barrio Mirador de la Estancia se localiza sobre la ladera occidental de uno de los cerros suroccidentales de Santa Fe de Bogotá, que bordean el extremo sur de la Sabana de Bogotá, con coordenadas aproximadas (origen Bogotá), 99 100 N y 88 850 E y elevación 2635 msnm.

Ante la existencia de fenómenos naturales adversos a los pobladores que habitan en sectores cercanos a los sitios donde es probable su ocurrencia, se decidió declarar éstos como " zonas de riesgo", por su permanente exposición a la amenaza. Entre éstas se encuentra el barrio Mirador de La Estancia

El barrio cuenta con servicios parciales a nivel de alcantarillado de aguas residuales y lluvias, lo cual ocasiona problemas de erosión y contribuye a inestabilidades en la zona. La mayoría de las redes han sido construidas por la propia comunidad con ayuda parcial de la

[1] DAMA "Perfil Ambiental de Santa Fe de Bogotá". Corporación Misión siglo XXI, Página 187, 1996

EAAB. Los servicios de acueducto y energía se cobran mediante facturación provisional correspondientes al estrato 1, puesto que no se han instalado contadores. El servicio de recolección de basuras es muy deficiente y esporádico en razón al difícil acceso a la zona.

La infraestructura social es muy escasa, las vías de acceso se encuentran en muy mal estado y no se cuenta con zonas verdes recreativas ni equipamiento comunal. De otra parte, la zona afectada por la inestabilidad se reporta, según Planeación Distrital, como una zona urbanizable.

2.2 TOPOGRAFÍA

Se ubicaron dos puntos con mojón en concreto y platina metálica, identificados con los nombres de E-1 y E-2, mojones que fueron amarrados en coordenadas y cotas al vértice BOSA-5 Datum Bogotá y a planos cartesianos con origen Bogotá, datos certificados por el IGAC.

Desde estos dos puntos se radiaron los puntos necesarios para detallar la zona requerida para el diseño de las obras. En algunos casos hubo necesidad de colocar puntos auxiliares como complemento por la magnitud de la topografía.

Adicionalmente se ubicaron los paramentos de las manzanas, midiendo los predios correspondientes de cada manzana.

Los datos obtenidos en campo fueron procesados en oficina por medio de programas de computador y la topografía generada con el programa EAGLE-POINT.

En el Anexo 1 se presentan la certificación del IGAC, las coordenadas y cotas de los puntos de referencia y las carteras de campo utilizadas para el levantamiento y en el Plano 2 la topografía respectiva.

2.3 GEOLOGÍA

2.3.1 Estratigrafía

La secuencia litológica presente en la zona de la cantera del Mirador de La Estancia, está conformada por un nivel delgado de suelo, relleno, materiales de deslizamiento y un depósito de coluvión del periodo Cuaternario, y niveles de arenisca y arcillolita de la parte inferior de la Formación Guaduas, cuya edad está comprendida entre los períodos Cretáceo y Terciario. Véanse Planos 3 y 4.

El nivel de suelo es delgado, residual, con espesor del orden de los 0,5 m, pobre en componentes húmicos. Normalmente suprayace el depósito de coluvión, pero también lo hace directamente sobre el nivel de arenisca cuarzosa o muy localmente sobre el nivel de arcillolita superior (que reposa sobre la arenisca cuarzosa) de la Formación Guaduas. Por su poco espesor no se ha cartografiado, ni se diferencia como una unidad.

2.3.1.1 Cuaternario

- **Rellenos (Qre)**

Corresponde a los escombros o material estéril producto de la actividad extractiva, dispuestos sobre el patio y el talud occidental de la cantera. Es un depósito poco consolidado y de espesor variable, cuyo máximo valor es del orden de 10 m.

- **Materiales de deslizamiento (Qd)**

Comprende bloques de arenisca de tamaño variable, desde unos pocos centímetros hasta más de 1 m de diámetro y arcilla. La arcilla embebe algunos de estos fragmentos de arenisca. El espesor del depósito conformado por estos materiales llega a ser del orden de 7,0 m, según el registro de la perforación PT-ME-1, que se presenta en el Anexo 2.

- **Depósito de coluvión (Qc)**

El depósito de coluvión está conformado por bloques de arenisca, soportados en matriz arcillo arenosa; su espesor varía entre 0,8 y 5,0 m y reposa discordantemente sobre las capas de la Formación Guaduas. Este depósito se originó por la meteorización de areniscas y arcillolitas de la Formación Guaduas y el Grupo Guadalupe, que conforman los cerros suroccidentales de Bogotá, y su posterior acumulación sobre sus laderas.

2.3.1.2 Cretáceo - Terciario

- **Formación Guaduas (Tkg)**

La Formación Guaduas suprayace al Grupo Guadalupe y es predominantemente de carácter arcilloso, aunque presenta importantes intercalaciones de arenisca, de las cuales sobresalen las denominadas Arenisca Guía y Arenisca Lajosa. La Arenisca Guía se encuentra unos 65 a 70 m por encima de la base de la formación. Las areniscas de la Formación Guaduas, del

segmento comprendido desde su base hasta la Arenisca Guía inclusive, se caracterizan por ser ortocuarcíticas, semejantes a las del Grupo Guadalupe.

En el sitio de estudio, la Formación Guaduas, de base a techo, está representada por tres niveles de roca; uno inferior con predominio de arcillolita, uno intermedio con predominio de areniscas y uno superior de carácter arcillolítico. El nivel inferior corresponde a una arcillolita marrón y gris, con intercalaciones de capas medias a muy delgadas de arenisca cuarzosa; el espesor de este nivel no se pudo determinar, porque en la cantera no aflora su límite inferior. Suprayaciendo esta arcillolita, se tiene el nivel intermedio o paquete de 7 a 10 m de espesor, conformado por capas gruesas a muy gruesas de arenisca cuarzosa, color amarillo claro, de grano medio a grueso y fino, con matriz arcillosa, de dureza media a baja, siendo por sectores friable y deleznable, con intercalaciones de capas delgadas a muy delgadas de arcillolita gris laminada y limolita arenosa. Sobre las areniscas se dispone por sectores un nivel de arcillolita gris moteada de marrón, con intercalaciones delgadas a muy delgadas de arenisca, denominado "Nivel Superior". Este nivel presenta un espesor variable, máximo de 3 m, que en algunos sitios ha desaparecido por efectos de la erosión.

De esta secuencia se explotó el paquete de arenisca cuarzosa de espesor variable, comprendido entre 10 y 7 m. El mayor espesor de esta arenisca se presenta hacia el costado oriental de la cantera y disminuye progresivamente hacia el costado occidental.

El espesor de la Formación Guaduas es de 700 a 1000 m según Julivert, 1963. Su edad se considera Maestrichtiano (Cretáceo superior) a Paleoceno (Terciario inferior) de acuerdo a estudios palinológicos de Van der Hammen. Esta formación se meteoriza generando una morfología generalmente deprimida de montículos suaves con frecuentes hundimientos.

2.3.2 Geología estructural

En el sitio de estudio, las capas de la Formación Guaduas hacen parte de un monoclinal con buzamiento general hacia el noreste. La orientación general de estas capas es N50°-72°W/15°-36°NE, aunque en gran parte del talud SW se disponen en forma casi horizontal.

En los taludes sur y oriental de la cantera, en el paquete de areniscas, se midieron discontinuidades (diaclasas y estratificación), identificándose tres sistemas de diaclasas en cada talud. En las Figuras 1 y 2, se presentan los diagramas de contornos de densidad de polos de las discontinuidades.

- **Talud oriental**

Estratificación: N69°W/30°NE

Sistema 1: N46°E/87°NW

Sistema 2: N81°E/77°SE
Sistema 3: N85°W/30°NE

Las diaclasas son, en general, discontinuas, próximas a bastante próximas, planas, ligeramente abiertas y cerradas, rugosas, predominantemente sin relleno, aunque localmente con arcilla blanda o en forma de una película de óxidos de hierro en sus paredes.

- **Talud Sur**

Estratificación: N90°W/0° (horizontal)

Sistema 1: N50°E/89°NW
Sistema 2: N47°E/79°SE
Sistema 3: N32°E/19°NW

Las diaclasas son predominantemente continuas, localmente discontinuas y de continuidad media, bastante próximas, planas, ligeramente abiertas y localmente abiertas, rugosas, en general sin relleno, aunque cuando está presente es de arcilla blanda o en forma de una película de óxidos de hierro.

A partir de dichos diagramas se observa que las diaclasas presentan las tres orientaciones preferenciales señaladas, con frecuencia de ocurrencia similares. El Sistema 1 tiene un rumbo normal al rumbo de la estratificación y los Sistemas 2 y 3 son paralelos a éste, sensiblemente paralelos a las paredes del escarpe de la cantera.

Localmente se presenta una pequeña falla de dirección N70°-75°E y EW, vertical, cuyo desplazamiento es bajo y se incrementa hacia el oriente, alcanzando un máximo cercano a los 2 m. Esta falla afecta fundamentalmente las capas del nivel de arenisca que aflora en la cantera. Fue generada por el carácter competente de los estratos de arenisca y un pequeño pliegue que afectó la secuencia litológica del Guaduas presente en este sitio. Al plegarse de esta forma, las capas de arcillolita simplemente se deforman, mientras que las de arenisca se deforman y fracturan. Cabe anotar que esta falla es inactiva, ya que en la zona no se encontraron evidencias de actividad neotectónica.

2.3.3 Geomorfología

La cantera se localiza sobre una de las laderas de los cerros suroccidentales de Santa Fe de Bogotá, en inmediaciones de la margen izquierda del río Tunjuelito. Estos cerros hacen parte de un relieve montañoso estructural plegado-denudacional, en parte conformado por las capas de la Formación Guaduas.

Este cerro presenta su cima aplanada y laderas suavemente inclinadas, con pendientes medias. Ha sido sometido a una fuerte intervención antrópica representada por la explotación minera a cielo abierto para la obtención de materiales de construcción. La actividad minera alteró las características morfométricas de las laderas, introduciendo taludes verticales, donde los procesos morfodinámicos degradativos actúan con mayor intensidad. Las aguas lluvias y servidas que llegan al talud se infiltran disminuyendo la cohesión de los materiales líticos presentes, provocando su falla y la generación de fenómenos de remoción en masa.

2.3.4 Sismología

En el estudio de "Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá" elaborado por INGEOMINAS (1997), se definieron cinco zonas principales. La zona de Ciudad Bolívar, se ubica dentro de la Zona 1 - Cerros, de las establecidas en dicho estudio. La aceleración máxima (Am) establecida para esta zona es de 0,24 g.

Por otra parte, por su entorno geológico, Santa Fe de Bogotá se ubica en una zona de amenaza sísmica intermedia, con un valor de aceleración máxima probable de 0,20 g, según el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia.

Para el presente estudio se adoptó un valor de la aceleración máxima de diseño de 0,24 g.

2.4 GEOTECNIA

2.4.1 Descripción del problema

La explotación de la antigua cantera dejó taludes casi verticales con alturas hasta de 15 m, con un talud central ubicado hacia el sur y dos taludes laterales, hacia el oriente y occidente. La explotación de la cantera se desarrolló en forma irregular a lo largo de un paquete de areniscas que se encuentra sobre el paquete de arcillolita que conforma gran parte del piso de la zona explotada.

Alrededor de la cantera se han desarrollado las urbanizaciones Mirador de La Estancia y Casaloma. Por el costado oriental la cantera limita con otra cantera de tamaño y configuración similares. Hacia el costado sur occidental del área se encuentra otra zona de cantera.

Con anterioridad a las explotaciones, la zona estaba atravesada por una quebrada, cuyo cauce actual es incierto, dado que éste fue modificado por las excavaciones y rellenos efectuados en el área. Dicha quebrada ingresaba a la zona por el costado suroccidental.

En la actualidad, además de las aguas de dicha quebrada, descargan sobre el talud central aguas negras provenientes de las viviendas localizadas en la parte superior del sector, al sur de la calle 62H Bis Sur.

Durante la época lluviosa en 1996, se presentó un deslizamiento en la esquina suroccidental de la cantera, el cual involucró los estratos de arenisca superiores. Después de ocurrido el deslizamiento, el urbanizador llevó a cabo un movimiento de tierras en esta parte de la cantera con el fin de conformar un talud uniforme, con lo cual ocultó buena parte de las evidencias del deslizamiento.

Los taludes verticales de los costados sur y oriental de la cantera conformados en arenisca, no presentan signos de inestabilidad. Estos taludes presentan tan sólo un fenómeno de caída esporádica de bloques, de tamaños máximos del orden de 1 m^3.

La amenaza principal de la zona es, en consecuencia, la posibilidad de un nuevo deslizamiento, o la reactivación del ocurrido anteriormente, que tome características de flujo de tierra y detritos, y que en su desplazamiento pueda provocar daños en las viviendas localizadas en la parte inferior del talud.

Según fotografías aéreas del IGAC, en el año 1972 la cantera se encontraba en explotación. En estas fotografías se aprecia que al talud sur de la cantera tanto en la parte central como en el extremo occidental, estaban llegando las aguas de una pequeña quebrada y de un zanjón de evacuación de aguas negras de unas casas construidas en el patio de otra cantera, localizada un poco más arriba. En fotografías aéreas del IGAC más recientes, tomadas entre los años 1990 y 1991, se aprecia que tanto el borde del talud occidental como el extremo occidental del talud sur retrocedieron como consecuencia de un fenómeno de remoción en masa y que, adicionalmente, se desprendieron bloques de la parte central del talud sur. Se evidencia, además, que el cuerpo deslizado no permaneció estable, sino que falló en dos nuevos pequeños deslizamientos, y que las aguas de la quebrada y el zanjón continuaban escurriendo por el talud sur.

En las recientes visitas se apreció que tanto el patio de la cantera como parte del depósito del talud occidental, fueron reconformados para acondicionar estos terrenos con fines urbanísticos y que sobre la corona del deslizamiento se continúan presentando desprendimientos de “bloques alargados”, conformados por suelo y fragmentos de roca soportados en matriz arcillosa, que hacen parte del depósito de coluvión.

Se realizaron cuatro apiques con profundidad variable entre 0,6 m y 2,5 m y una perforación de 10,40 m sobre el talud occidental para conocer las características del depósito y determinar las características del fenómeno de remoción en masa que afectó el talud.

Con base en la información obtenida a partir de dicha investigación, se determinó que el deslizamiento afectó principalmente el depósito coluvial del nivel de arenisca superior. Su

profundidad es de aproximadamente 6,0 m respecto a la superficie actual del terreno. El deslizamiento tomó lugar sobre la superficie superior del nivel de arcillolita.

De acuerdo con las fotografías del IGAC de los años 1990 - 1991, la reconformación de este terreno ocurrió después del año 1991, incluyendo el patio de la cantera.

Como no se han ejecutado obras de estabilización, tanto el talud como el cuerpo del deslizamiento, e incluso el relleno, pueden fallar y provocar un nuevo fenómeno de remoción en masa.

2.4.2 Zonificación geotécnica

El área de estudio se dividió en cuatro zonas geotécnicas homogéneas, las cuales se muestran en el Plano 3 y se describen a continuación:

- **Talud oriental**

Comprende los escarpes de la antigua cantera que constituyen el talud oriental de la misma. La altura de los cortes varía de 6 m a 16 m, medidos a partir de la cota actual del patio de la cantera con inclinaciones entre 70° y 90° y en algunos casos con pendiente negativa. En este talud se observan depósitos coluviales de espesor variable entre 1 m y 5 m, que descansan sobre bancos de areniscas intercalados con niveles delgados de arcillolita, pertenecientes a la Formación Guaduas. El horizonte de arenisca que aflora en este talud está constituido por roca débilmente meteorizada, moderadamente fracturada, con diaclasas cerradas a ligeramente abiertas, donde ocasionalmente se presenta desprendimiento de bloques.

En esta zona se identificaron procesos de erosión hídrica que afecta los suelos orgánicos superficiales y erosión en cárcavas que afecta el depósito coluvial.

- **Talud sur**

Esta zona incluye el escarpe de la cantera localizado en la zona sur de la misma, donde los cortes alcanzan alturas hasta de 30 m con respecto al patio existente. Se encuentran depósitos coluviales de espesor variable entre 1 m y 5 m; a continuación aparecen areniscas intercaladas con niveles delgados de arcillolitas, pertenecientes a la Formación Guaduas, moderadamente fracturadas, y hacia la base del escarpe de mayor pendiente, se encuentra la arcillolita que conforma el patio actual de la cantera. Los taludes de corte tienen inclinación entre 20° y 40°, en el afloramiento de arcillolita, y entre 70° y 90°, y en algunos casos taludes negativos, en el paquete de arenisca.

El depósito coluvial cubre gran parte del área donde no fueron explotados los niveles de arenisca. Este depósito está constituido por bloques, cantos y gravas de arenisca, en matriz areno limosa; superficialmente, se encuentran bloques y cantos que alcanzan hasta 4 m^3.

Se identificaron procesos de erosión hídrica que afectan los suelos orgánicos superficiales y erosión en cárcavas que afecta localmente el depósito coluvial. En los niveles de arenisca se presentan ocasionalmente desprendimientos de bloques.

Se destaca la presencia de dos escurrimientos de aguas negras y lluvias dentro de esta zona, proveniente de la cuenca alta de la quebrada y de las viviendas que vierten sus aguas servidas sin ningún control a la misma.

- **Talud occidental**

Corresponde al talud occidental de la cantera, donde se han producido inestabilidades, siendo la más reciente la ocurrida a mediados del año 1996, cuando se produjeron desprendimientos de arenisca y, posteriormente, movimientos traslacionales sobre el horizonte de arcillolita. En parte de esta zona, el propietario del predio realizó trabajos de reconformación del talud con la finalidad de urbanizar el lote. La pendiente del terreno oscila entre 15° y 35°.

Los materiales que conforman los rellenos se presentan, en general, en estado suelto a medianamente denso, sometidos a procesos de erosión difusa debido a la falta de protección superficial del mismo. Hacia el costado sur, donde no se efectuaron trabajos de reconformación, hay mayor presencia de bloques superficiales. En la zona intermedia se presenta superficialmente, hasta aproximadamente 2,50 m, un mayor contenido de suelos finos (arcillas). Hacia el costado norte se presentan rellenos conformados con un mayor contenido de gravas, bloques y cantos de arenisca.

Recientemente, se han presentado desprendimientos de bloques de arenisca hacia el extremo sur y la parte central de esta zona, donde se llevan a cabo las excavaciones para el acueducto provisional de este barrio a lo largo de la carretera.

- **Patio**

Corresponde al patio de la antigua cantera, donde se realizó un relleno para uniformizar la topografía del área. Se observan algunos bloques y cantos de areniscas desprendidos de los taludes de las zonas oriental y sur. Esta zona no evidencia procesos de inestabilidad.

No se observaron afloramientos de agua en la base de los taludes de las laderas adyacentes ni en los taludes ladera abajo de este sitio o en áreas aledañas que puedan provenir de la infiltración de las dos corrientes de aguas negras y lluvias existentes en la zona sur.

2.4.3 Exploración geotécnica y ensayos

Para la investigación de las condiciones geológicas y geotécnicas del sitio en estudio, se efectuaron cuatro (4) apiques AP-ME-01 a 04, de sección 1,0 m x 1,5 m, que se llevaron hasta profundidad variable entre 0,6 m y 2,5 m, y la perforación PT-ME-1, con taladro, que se llevó hasta 10,40 m de profundidad. Durante la excavación de los apiques se obtuvieron muestras para clasificación en el laboratorio de los suelos superficiales, en el área afectada por los procesos de inestabilidad. En el Plano 3 se muestra la localización de las exploraciones mencionadas.

En la perforación PT-ME-1 se realizaron ensayos de penetración estándar en los materiales que fueron reconformados para la habilitación del área y en el material removido por el deslizamiento. Los valores de N del ensayo de penetración estándar, medidos en estos suelos, varían en la siguiente forma:

Profundidad (m)		Valor N medido		
de	a	golpes/pies		
0,00	1,45	6	a	12
1,45	4,00	7	a	9
4,00	6,80	11	a	63 y rechazo
6,80	9,50	Rechazo		

El valor de 11 golpes/pie, obtenido a 6,8 m de profundidad, es indicativo de la resistencia del material en la superficie de deslizamiento.

Los registros litológicos de la perforación y de los apiques ejecutados se presentan en el Anexo 2.

2.4.4 Ensayos de laboratorio

Sobre muestras representativas de los materiales del deslizamiento se realizaron ensayos de laboratorio, con el objeto de determinar su composición granulométrica y propiedades índice, para clasificación.

Adicionalmente, se realizó un ensayo de corte directo sobre una muestra tomada con tubo Shelby, con el fin de determinar las propiedades de resistencia de los suelos arcillosos que componen la masa inestable. En la Tabla 1 se resumen los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados. Debido a la heterogeneidad de los materiales encontrados, no fue posible establecer diferencia entre los materiales deslizados y los materiales reconformados. Únicamente se observó que en el apique AP-ME-01 predominan suelos finos, mientras que en los apiques restantes hay mayor contenido de gravas y bloques de arenisca. En la perforación se consideró que los suelos ubicados sobre el nivel de suelos orgánicos corresponden al relleno conformado.

En el apique AP-ME-01 predomina la fracción fina de composición arcillo limosa, arenosa, con trazas de grava. Las propiedades índice presentaron los siguientes valores:

Grava	5 %
Arena	32%
Fracción fina	63%
Límite líquido	40
Índice de plasticidad	13
Humedad natural	21%
Clasificación USC	CL-ML

En los apiques AP-ME-02 y AP-ME-04 predominan los suelos granulares correspondientes a arenas, gravas, bloques y cantos en matriz de composición limosa. Las propiedades índice presentaron los siguientes valores:

Grava	5 %	a	30%
Arena	30%	a	60%
Fracción fina	35%	a	70%
Límite líquido	NL	a	56
Índice de plasticidad	0	a	19
Humedad natural	9%	a	10%
Clasificación USC	MH	a	SM

A partir del ensayo de corte directo Cu, efectuado sobre una muestra de arcilla arenosa inalterada, tomada con tubo Shelby en la perforación a una profundidad de 3,15 m a 3,45, se dedujeron los siguientes valores:

Peso Unitario Húmedo	17,6 kN/m^3	a	18,1 kN/m^3
Peso Unitario Seco	13,8 kN/m^3	a	14,3 kN/m^3
Humedad de ensayo (natural)	7,8%	a	10,2%
Ángulo de fricción interna ϕ	36,5°		
Cohesión C	40 KPa		

En la Figura 3 se presentan los resultados del ensayo de corte directo.

Más adelante se comparan estos valores de los parámetros C y ϕ con los valores deducidos de análisis retrospectivos de estabilidad del talud occidental, con el objeto de determinar los valores más representativos para el material de superficie de falla.

2.5 HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

El ausente o inadecuado manejo de las aguas lluvias y residuales son la causa principal de los problemas de inestabilidad. Las consideraciones principales sobre este aspecto son:

- Los arroyos y quebradas presentes en la zona no han tenido ningún manejo hidráulico ni ambiental. Adicionalmente, las aguas de escorrentía presentan altas velocidades de flujo, causando procesos de erosión que contribuyen a la inestabilidad de la zona.

- El cambio en la cobertura del suelo ha incrementado los caudales de escorrentía y por lo tanto los aportes para los cauces naturales, produciendo insuficiencia en su capacidad hidráulica.

- La falta de planificación para la construcción de viviendas en estos sectores han producido una alteración del drenaje natural, ya que en la actualidad la ronda hidráulica de los cursos ha sido invadida.

- En cuanto al manejo de las aguas residuales, se detectó que en su mayoría descargan directamente sobre la ladera. Algunas de las redes han sido construidas por los habitantes del sector y en muchos casos se instalan defectuosamente, produciendo fugas permanentes de agua, que se infiltran en el terreno y originan saturación de los suelos y subpresiones, las cuales son causa de los problemas de inestabilidad existentes.

2.6 PLANTEAMIENTO DEL ORIGEN DEL PROBLEMA

Las excavaciones realizadas generaron una topografía de pendientes abruptas que interfieren el drenaje natural y dejan expuestas grandes superficies de terreno sin protección. Estas condiciones han dado origen a procesos de erosión hídrica en cárcavas, además de desprendimientos y deslizamientos ocasionales. Una vez poblado el sector, los procesos erosivos se concentraron en las quebradas y zanjones naturales y tomaron mayor intensidad con el inadecuado manejo de aguas lluvias y negras.

La construcción desorganizada de viviendas muy cerca de la corona del talud contribuye a generar y a resaltar la importancia de cualquier fenómeno de inestabilidad y al mismo tiempo incrementan el riesgo que estos implican, por estar ubicadas en sus áreas adyacentes.

La roca en los taludes oriental y sur se presenta moderada a altamente meteorizada, de moderada a intensamente fracturada y de moderadamente dura a blanda. El rumbo de la estratificación oscila, entre N50°-72°E, con buzamientos entre 15° y 36° hacia el NE, en favor de la pendiente del terreno. El plegamiento local de la roca origina una fractura con dirección N70°-75°E y EW. Hacia el costado sur occidental del escarpe, la roca presenta una leve inclinación hacia la excavación, que favorece el deslizamiento de estratos rocosos de areniscas sobre planos arcillosos. Se identificaron tres sistemas principales de diaclasas las cuales son, en general, discontinuas, cerradas, algunas abiertas. Las paredes de las diaclasas son planas y lisas con rellenos de roca triturada; ocasionalmente dan lugar a la formación de bloques de tamaño hasta de 1 m^3 que pueden desprenderse de la superficie del talud.

En el talud occidental de la cantera se presenta una masa potencialmente inestable cuya corona coincide con un escarpe de 0,8 m a 1,5 m de altura. De acuerdo con la evidencia superficial y lo observado en los registros de la perforación y los apiques, la masa de suelos removidos y reconformados se extiende en toda la longitud de este talud y alcanza una profundidad hasta de 10 m. La inestabilidad en este sitio afectó el depósito coluvial superficial y los niveles de arenisca subyacentes. La falla se produjo en el nivel de arcillolita, ocasionado por el fracturamiento del nivel de arenisca y por la saturación del nivel arcilloso, debido a los vertimientos de agua de una tubería del acueducto y a las aguas provenientes de la cantera adyacente localizada ladera arriba.

La relajación de la masa rocosa del escarpe de la cantera puede causar desprendimientos y caída de bloques. Asimismo, puede generarse inestabilidad y caída de bloques en el depósito coluvial que se encuentra sobre el macizo rocoso, debido a la falta de manejo de las aguas superficiales.

3. MEDIDAS CORRECTIVAS

Dadas las condiciones de subnormalidad en que han surgido los desarrollos urbanos del sector, se hace necesario poner en marcha obras y programas de ordenamiento urbano, tendientes a reducir el riesgo de sus habitantes. Para estas obras se realizaron diseños geotécnicos encaminados a reconformar taludes y definir obras de contención, diseños hidráulicos y estructurales para las obras relacionadas con drenajes y manejo de aguas y diseños de obras de urbanismo, paisajismo y usos del suelo. Estos diseños se resumen a continuación:

3.1 DISEÑOS GEOTÉCNICOS

3.1.1 Análisis de estabilidad del talud

Las diferencias geométricas y de composición de los taludes de la cantera hacen necesario revisar por separado la estabilidad de cada uno de ellos.

- Para revisar la estabilidad del talud occidental se efectuó en primer lugar, un análisis retrospectivo de estabilidad, con el fin de determinar el conjunto de parámetros C y ϕ que sean representativos de las propiedades promedio de los materiales en la superficie de falla. Para ello se tomó la Sección C-C mostrada en el Plano 5 y se realizó el análisis por el método de Spencer implementado en el programa Galena, mediante el cual se determinaron los parámetros C y ϕ en la superficie de falla que hacen que la masa potencialmente inestable tenga un factor de seguridad de 1,0, 1,1 y 1,2. Los análisis se realizaron para valores de la relación de presión de poros, r_u, de 0,0, 0,1 y 0,2. En la Figura 4 se muestra la sección de análisis y los resultados obtenidos.

- Como se sabe que existe un flujo continuo de agua sobre el talud y que el deslizamiento se produjo en una época de fuertes lluvias, se puede asumir que en el momento de la falla existió una presión hidrostática alta en el talud, representada por un valor del parámetro r_u de 0,2, en cuyo caso el factor de seguridad es de la unidad. Bajo estas condiciones, asumiendo además que el valor de cohesión en el plano de falla debe ser cercano a cero, el ángulo de fricción debe ser del orden de 27°. Este valor es inferior al valor de 36°, obtenido en el ensayo de corte directo.

- Para los análisis y diseños que se presentan más adelante se asume un valor de 27° para el ángulo de fricción y un valor de cohesión de cero para la superficie de falla y de 20 kPa para el material en su estado natural.

- A partir de los resultados del análisis se deduce que es necesario manejar todas las aguas lluvias y residuales existentes en el sector de manera que se impida su descarga directa al talud, así como un drenaje adecuado de las aguas subsuperficiales. Además, se debe proyectar una obra de contención, que permita aumentar los factores de seguridad actuales a los valores mínimos exigidos en la práctica para este tipo de obras, y reconformar el talud actual con una pendiente uniforme que facilite los trabajos de protección del talud.

Para el caso de los taludes rocosos oriental y sur, la estabilidad se revisó a partir de análisis cinemáticos, mediante proyecciones estereográficas, y análisis del bloque crítico, de acuerdo con el método de Goodman y Shi. En las Figuras 5 y 6 se presentan los resultados de los análisis para los taludes oriental y sur, respectivamente. En estos análisis se ha considerado que las discontinuidades existentes en el macizo de arenisca tienen una resistencia al corte equivalente a un ángulo de fricción de 35°.

Con base en los resultados anteriores se concluye que no existen bloques potencialmente inestables de consideración, que amenacen la estabilidad del escarpe rocoso. Para evitar la erosión de la superficie del escarpe y la eventual caída de bloques, el talud deberá protegerse con concreto neumático, malla metálica y pernos.

3.1.2 Diseño del muro de contención en gaviones

Para mejorar las condiciones de estabilidad del talud occidental y proteger su superficie, se proyectó la construcción de un muro de contención en gaviones en la pata del talud, con una longitud de 52 m y una altura máxima de 4,0 m y la reconformación del talud con pendiente de 2,5 H: 1,0 V, tal como se muestra en el Plano 5.

3.1.2.1 Selección del tipo de muro

Entre las posibles alternativas de muros de contención (concreto reforzado, concreto gravedad, relleno reforzado con geosintéticos) se seleccionó el tipo de muro en gaviones por las siguientes razones:

El muro es suficientemente flexible para acomodarse a eventuales deformaciones que puedan generarse en la arcillolita en la base del talud.

Para su construcción se pueden emplear fragmentos de arenisca que se obtendrían de los bloques que cubren el sector sur del talud y de los que resulten de las labores de desabombe del escarpe rocoso de los taludes sur y oriental de la cantera, contempladas dentro de los trabajos de protección del escarpe.

Por su facilidad constructiva y el bajo costo de los materiales que se emplearían en su construcción, este tipo de muro tiene un menor costo en comparación con otros tipos de muro.

3.1.2.2 Cimentación

Para dimensionar el muro de contención se determinaron los parámetros de la roca que servirá de fundación. El valor de esfuerzo admisible σadm se determinó con la metodología recomendada en el Código Colombiano de Puentes, basado en Hoek, 1983, y los parámetros de resistencia se adoptaron de los resultados de los análisis anteriores. El muro quedará cimentado en arcillolita de la formación Guaduas, moderada a débilmente meteorizada, moderadamente dura y poco fracturada, para la cual se obtuvo rechazo en el ensayo de penetración estándar efectuado en la perforación. Bajo estas condiciones, se adoptó un valor de 2,0 MPa para la compresión uniaxial. Con base en dichos análisis se determinaron los siguientes valores.

C' = 2 kPa
ϕ' = 27°

En la Figura 7 se presentan los cálculos de estos valores.

3.1.2.3 Materiales de relleno

En la conformación del relleno del muro se utilizarán materiales provenientes de los movimientos de tierra para la reconformación del área, constituidos por gravas en matriz arenoarcillosa. Para estos materiales se adoptaron los siguientes parámetros:

C = 0 kPa
ϕ = 32°
γ = 18,6 kN

3.1.2.4 Diseño del muro

En el diseño del muro de contención, para la verificación de la estabilidad se utilizaron los siguientes factores de seguridad:

Al deslizamiento > 1,5
Al volcamiento > 2,0
Por capacidad portante >2,0

En el Anexo 3 se presentan las hojas de cálculo correspondientes al diseño de este muro.

3.1.2.5 Análisis de estabilidad

Utilizando los parámetros de los diferentes materiales que componen el subsuelo, deducidos anteriormente, se analizó la estabilidad del talud sur occidental aplicando el método de las tajadas de Spencer-Wright con superficies no circulares, implementado en el programa Galena.

Para la masa inestable que se localiza en este sitio, se dedujo un valor de fricción de 27° y una cohesión igual a cero. El factor de seguridad del talud actual resulta cercano a la unidad para una relación de presión de poros de 0,20. Se analizó el talud reconformado con una inclinación 2,5H:1,0V (22°) y con el fin de aumentar los factores de seguridad se proyectó un muro en gaviones de 4,0 m de altura, obteniéndose en conjunto un factor de seguridad igual a 1,5, lo cual se considera satisfactorio para su estabilidad. En la Figura 8 se muestra la superficie crítica de deslizamiento.

En el Plano 5 se presentan la planta y secciones con los detalles para la construcción de estas obras.

3.2 DISEÑO DE OBRAS DE MANEJO DE AGUAS

Para el manejo de las aguas lluvias y las aguas residuales se proponen las siguientes medidas estructurales o físicas:

- Cunetas para el manejo de aguas lluvias.
- Un colector principal para el manejo de las aguas residuales.
- Estructuras complementarias para conducir adecuadamente las aguas drenadas hasta los sitios de descarga.

La solución hidráulica se enfocó principalmente a determinar los alineamientos más adecuados de las obras, con el fin de alterar lo menos posible las condiciones existentes. Se prevén las siguientes obras hidráulicas:

- Control de las aguas superficiales, mediante una cuneta interceptora de sección trapezoidal, revestida en concreto; ubicada en la corona del talud
- Manejo de aguas provenientes del talud, mediante cunetas localizadas en las bermas de los mismos

- Para el manejo de las aguas residuales, se propone un colector principal, localizado en la parte alta del talud sobre la vía perimetral en dirección Nor-occidental

Ante la carencia de sitios apropiados o de redes aprobadas por la EAAB, cercanas a la zona del proyecto, se propone realizar un estudio que determine los puntos adecuados de entrega de los sistemas de aguas lluvias y residuales

A continuación se presentan los criterios de diseño y dimensionamiento de las obras de manejo de aguas:

3.2.1 Estudios hidrológicos

3.2.1.1 Lluvias

3.2.1.1.1 Régimen de lluvias

En la zona el régimen de lluvias es bimodal, con dos períodos de lluvias, de abril a mayo y de septiembre a noviembre y dos períodos secos entre los meses de diciembre a marzo y de junio a agosto. Para la determinación del régimen pluvial se tomaron como base los registros históricos de la estación Casa Blanca, operada por la EAAB. [2]. Dichos registros se pueden observar en la Tabla 2 y la Figura 9.

3.2.1.1.2 Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia

Se utilizaron las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia calculadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, adoptando para diseño las ecuaciones correspondientes al sector en estudio.

3.2.1.2 Caudales

Cuando se carece de información hidrométrica, como es el caso de las corrientes que cruzan los sectores en estudio, es factible obtener los caudales máximos mediante un modelo matemático que tiene en cuenta las características hidrológicas y morfométricas propias de cada cuenca y permite relacionar los caudales de drenaje con la precipitación máxima que cae sobre la misma para diferentes períodos de retorno, asumiendo que el caudal así estimado tiene el mismo período de recurrencia que la precipitación que lo genera.

[2] Fuente. Estudios Geotécnicos Barrio Jerusalén, Sector Canteras y Sector Nueva Argentina FASE II - INGEOMINAS, Diciembre de 1995.

Se adoptó el modelo conocido como Método Racional, de muy sencilla aplicación en cuencas o subcuencas con extensión menor o igual a 2,5 km^2, cubriendo así la totalidad de las áreas de drenaje en los sectores del estudio.

3.2.1.3 Período de retorno de diseño

El cálculo de los caudales máximos se realizó para períodos de retorno de 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Se adoptaron para diseño, períodos de retorno de 10 años para cunetas, 25 y 50 años para canales y estructuras de paso y 100 años en canales y pasos ubicados aguas arriba de asentamientos humanos, de acuerdo este último con las Normas vigentes de la EAAB.

3.2.1.4 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es el tiempo que toma el agua en llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de interés.

De las diversas expresiones que se tiene para determinar este tiempo, en el presente estudio se adoptó la propuesta por Kirpich la cual se aplica bastante bien a cuencas pequeñas, y está representada por la siguiente ecuación:

$$Tc = 3{,}9756 \times L^{0{,}77} \times S^{-0{,}385}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración, en minutos
L = Longitud del cauce desde el sitio más alejado de la cuenca hasta el sitio de interés, en kilómetros.
S = Pendiente ponderada del cauce, en (m/m).

Los resultados se presentan en la Tabla 3.

3.2.1.5 Caudales de diseño

La metodología más utilizada en hidrología para generar caudales en cuencas pequeñas o menores donde no existe información hidrométrica, consiste en la estimación del caudal suponiendo una intensidad uniforme de la precipitación para la duración total del evento. De esta forma, el caudal en un punto dado de la cuenca crecerá paulatinamente hasta alcanzar un valor máximo cuando la totalidad de la cuenca esté contribuyendo a la escorrentía en el sitio de concentración de las aguas, y permanecerá constante a partir de ese momento hasta que termine el evento de precipitación.

El procedimiento resultante para calcular el caudal máximo se conoce con el nombre de "Método Racional" y se expresa mediante la relación:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6}$$

Donde:

Q = Caudal máximo, (m^3/s)
C = Coeficiente de escorrentía.
I = Intensidad de la lluvia, (mm/h)
A = Área de drenaje, (km^2)

3.2.1.5.1 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía, es aquel que relaciona el volumen total del agua precipitada con el volumen real de la escorrentía producido después de descontar las pérdidas por almacenamiento, retención e infiltración; es propio de cada cuenca y depende de la morfometría de ella, del tipo de suelo, de la cobertura y de la condición de humedad antecedente.

Para el coeficiente de escorrentía se siguieron los criterios presentados en Applied Hidrology[3] . Con base en las características del suelo y la cobertura vegetal de las cuencas, se adoptó un coeficiente de escorrentía C de 0,80.

3.2.1.5.2 Intensidad

La intensidad se selecciona para una duración igual a la del tiempo de concentración propio de la cuenca y para el período de retorno establecido; consecuentemente, el caudal calculado corresponderá a la creciente con una frecuencia igual a la de la precipitación con la intensidad seleccionada.

La intensidad de la lluvia en mm/h para los diferentes períodos de retorno se obtuvo a partir de las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia, calculadas para el barrio Mirador de La Estancia, obteniéndose los resultados que se indican en la Tabla 4 y en la Figura 10. Se considera que la duración de la lluvia de diseño en cada cuenca es igual al tiempo de concentración.

[3] Applied Hidrology, Ven Te Chow, Mc. Graw Hill. Pág. 498, 1988.

Los valores de los caudales máximos para las diferentes obras de drenaje se presentan en la Tabla 5.

3.2.2 Estudios hidráulicos

3.2.2.1 Alcantarillado de aguas negras

Para el predimensionamiento de los colectores de aguas residuales se adoptaron criterios de diseño de la EAAB. El predimensionamiento cubre únicamente el colector principal hasta conectarse con la red de alcantarillado existente, o en un punto donde posteriormente pueda ser integrado a futuros diseños de la red.

3.2.2.1.1 Criterios generales

La cantidad de aguas residuales considerada para el diseño de cada uno de los colectores principales está integrada por las aguas residuales domésticas generadas en cada uno los sectores en estudio. La estimación de caudales se realizó teniendo en cuenta la población aferente a cada tramo.

3.2.2.1.2 Población de diseño

Para la determinación de caudales se consideró la población de saturación estimada para las áreas aferentes de los sectores en estudio, considerando una densidad de 1000 habitantes por hectárea, resultado obtenido del análisis de desarrollo y proyección socio económica de la población.

3.2.2.1.3 Determinación de caudales

De acuerdo con lo establecido anteriormente se estimó un consumo de agua potable (Dotación) de 190l/hab.día y según las Normas de Alcantarillado de la EAAB se adoptó un coeficiente de retorno del 85%.

A partir del caudal medio diario se estimó el caudal máximo horario del día máximo, aplicando el respectivo coeficiente recomendado por la normas de diseño. Se consideró una tasa de infiltración de 0,02 l/ha-s correspondiente a la zona de infiltración baja y un aporte de caudal por conexiones erradas igual al 20% del caudal pico de aguas negras.

Los colectores se dimensionaron con un caudal de diseño correspondiente a la sumatoria del caudal máximo horario del día máximo, el caudal de infiltración y el caudal por conexiones erradas.

- **Caudal medio diario**

  El caudal medio diario está dado por la expresión:

$$\mathbf{Qmd = (1/86400) \times C \times D \times R \times A}$$

  Donde:

  Qmd: Caudal medio diario de aguas residuales, en l/s
  C: Consumo por habitante, en l/hab.día
  D: Densidad de población, en hab/ha
  R: Coeficiente de retorno
  A: Área residencial bruta, en ha

  Qmd: (1/86400) x 190 l/hab.día x 1000 hab/ha x 0,8 x A
  Qmd: 1,76 l/s.ha x A

  Para los diámetros de las tuberías, véase Tabla 6.

- **Caudal máximo horario**

  El caudal máximo horario del día máximo, Qmáx, es función del Qmd y se determinó mediante la siguiente expresión:

$$\mathbf{Qmáx = C_1 \times Qmd}$$

  Donde: C_1 : Coeficiente que depende del valor del Qmáx.

3.2.2.1.4 Criterios hidráulicos

- Condiciones de velocidad, caudales y pendientes

Se adoptaron los siguientes criterios de velocidad real y caudal a tubo lleno, de acuerdo con la EAAB:

- Velocidad real: Mínimo 0,6 m/s , Máximo 5,0 m/s.

- Relación caudal real / caudal tubo lleno Q/Qo : < = 80%.
- Pendientes: Las pendientes mínimas y máximas para cada colector serán función de la velocidad a tubo lleno.

- Se adoptó un coeficiente de rugosidad de Manning de 0,013 correspondiente a tubería de concreto.

- **Fuerza tractiva**

Se utilizará el concepto de fuerza tractiva, que es la fuerza necesaria para iniciar el movimiento de una partícula, garantizando la auto-limpieza de los colectores. Esta fuerza tractiva se puede definir como:

$$\tau = \gamma \, R \, S$$

Donde:

τ: Fuerza tractiva [Kg./m^2]
γ: Peso específico del agua [Kg./ m^3]
R: Radio hidráulico [m]
S: Pendiente [m/m]

De acuerdo con las normas para colectores de 8" y 10" la fuerza tractiva no debería ser menor de 0,15 Kg./m^2.

- **Perfiles de la tubería**

La profundidad de los colectores se determinó como la diferencia entre la cota rasante de la vía y la cota clave de la tubería. Se procuró minimizar los volúmenes de excavación. El recubrimiento mínimo sobre la cota clave de los colectores adoptado fue de 1,0 m con respecto a la rasante de la vía.

- **Pozos de inspección**

El pozo de inspección típico utilizado para las redes de alcantarillado de aguas residuales, será en ladrillo, con un cono de reducción de 0,80 m de altura variable según cotas de diseño.

En cada pozo de inspección la diferencia de nivel entre la cota batea de entrada y la cota batea de salida se estimó en mínimo 2 cm permitiendo en todo caso que esta caída adoptada no interfiera con el funcionamiento hidráulico del colector. Véase detalle del pozo de inspección en el Plano 7.

- **Cimentación de la tubería e instalación**

Para los colectores se adopta tubería en concreto y se tienen en cuenta las condiciones de cimentación, calculada con base en la carga debido al relleno, carga viva y carga total, el factor de carga y los tipos de relleno. La instalación de la tubería se hará en condición de zanja.

Con respecto al tipo de relleno, se tiene que para la cimentación se utilizará relleno seleccionado tipo Material Granular bien compactado (relleno Tipo 1) y para el resto de la zanja se usarán rellenos Tipo 3 y 5, de acuerdo con lo indicado en el Plano 7.

En general se tiene que para los diámetros de 8" y 10" se utilizará tubería de concreto con un factor de carga de 1,9. El ancho de las zanjas será de 0,65 m para tubería de 8" y de 0,7 m para la de 10".

3.2.2.2 Drenaje de aguas lluvias

Las obras de drenaje de aguas lluvias comprenden: cunetas y estructuras de paso.

- **Metodología general del estudio**

Para el análisis hidrológico e hidráulico de estas estructuras se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Definición de las áreas de drenaje para cada una de las cunetas de drenaje.

- Cálculo del tiempo de concentración.

- Cálculo de la intensidad de los aguaceros para períodos de retorno de 10 años para cunetas, 25 y 50 años para canales y estructuras de paso y 100 años en canales y pasos ubicados aguas arriba de asentamientos humanos, de acuerdo con las curvas de Intensidad- Duración-Frecuencia determinadas para la zonas de estudio.

- Determinación de los caudales de escorrentía máximos para el período de retorno adoptado.

- Predimensionamiento hidráulico de las cunetas y estructuras de paso del sistema general de drenaje para cada uno de los sectores.

- **Criterios hidráulicos de diseño**

– Cunetas

Los cunetas se dimensionaron para un caudal de 100 años mediante la aplicación de la fórmula de Manning de manera que la sección de las cunetas, en la medida que los aspectos constructivos lo permitan, se aproxime a la más eficiente hidráulicamente. La Fórmula de Manning para flujo normal se expresa de la siguiente forma:

$$\mathbf{Q} = \frac{1}{n} \mathbf{A R^{2/3} S^{1/2}}$$

Donde:

n = Coeficiente de rugosidad de Manning
A = Area de agua, en m^2
R = Radio hidráulico, en m
S = Pendiente de la línea de energía, en m/m.

El coeficiente de rugosidad de Manning adoptado para las estructuras en concreto fue de 0,013.

Los caudales de diseño se presentan en la Tabla 5 y el dimensionamiento de las cunetas en la Tabla 7.

En los Planos 6 y 7 se presenta la localización de las obras de manejo de aguas recomendadas para este sitio y en los Planos 8 y 9 se presentan los detalles estructurales de las mismas obras para su construcción.

3.3 VIVIENDAS AFECTADAS

Con base en las medidas de mitigación estructural, es decir de las obras de ingeniería para el manejo del talud que deben minimizar el riesgo, se adoptó como criterio básico causar el menor efecto sobre las familias aledañas y sobre la infraestructura social existente. Dadas las condiciones de vulnerabilidad social, por su grado de Necesidades Básicas Insatisfechas en que vive la población del sector, se pretende proponer una medida que ocasione el menor impacto social en el sentido de traslados involuntarios, atendiendo las políticas del Banco

Mundial y el de la UPES frente a reasentamientos. Se propone remover exclusivamente la población indispensable para construir el muro de contención y dejar un espacio de protección a lo largo de la parte baja del talud.

El único predio afectado es de propiedad de Jorge Fitatá, el cual se localiza en la parte baja de la zona y actualmente se encuentra en proceso de urbanización. En el Anexo 4 se presenta un plano con la localización del predio afectado y la ficha correspondiente de censo.

3.4 OBRAS DE URBANISMO, PAISAJISMO Y USOS DEL SUELO

La propuesta paisajista se orienta principalmente hacia la necesidad de mantener protegidos los taludes por medio de la siembra de cespedones y árboles de especies recomendadas para la estabilidad del terreno y especies de arraigo fácil, determinadas por el tipo de suelo que allí se presente.

El Barrio Mirador de La Estancia se encuentra localizado en la parte alta del cerro, sobre una topografía inclinada y dentro de un sector con un desarrollo incipiente en el cual la densificación de la vivienda está en proceso de crecimiento y cuya dotación de servicios de equipamiento urbano, espacios comunales y servicios públicos es deficiente.

En particular sobre este sitio se plantea la dotación de espacios de recreación pasiva representada en senderos peatonales, plazoletas y un área amplia de zona dura localizada en la parte alta del sitio de estudio, como área de mirador.

En la parte baja se conforma un espacio de topografía plana, en el cual se plantea un área de recreación activa con dos canchas múltiples acompañadas de graderías sobre el pie del talud. Contiguo a las canchas deportivas se sugiere la construcción de una edificación destinada a equipamento de la comunidad.

Esta alternativa tendrá como principal ventaja la implementación de áreas para el servicio de la comunidad, empleando áreas libres que actualmente están destinadas a vivienda, para integrarlas con miras a aportar un mejor desarrollo urbano al sector.

Con el propósito de delimitar las áreas de uso de la comunidad, se plantea un cerramiento y/o barreras para protección de los taludes y áreas de riesgo.

En los Planos 10, 11 y 12 se presentan los diseños y detalles arquitectónicos y paisajísticos.

4. CRONOGRAMA DE OBRAS Y SEÑALAMIENTO DE PRIORIDADES

Con el propósito de mitigar los riesgos existentes en el sector de interés, se establece el siguiente orden de prioridades para la construcción de las obras:

- Restricción en el desarrollo de la urbanización y delineación de las áreas de protección.
- Ordenamiento y manejo de las aguas superficiales en las áreas adyacentes al escarpe y al talud reconformado.
- Obras de estabilidad del talud izquierdo.
- Reconformación y protección de taludes.
- Obras de urbanismo y paisajismo.
- Obras de adecuación del patio actual para uso de la comunidad en parque o centro comunitario.

En la Tabla 8 se presenta el cronograma de obra para la construcción de las obras de estabilización de acuerdo con las prioridades señaladas.

5. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO, SEGUIMIENTO E INSTRUMENTACIÓN

Durante y después de la ejecución de las obras correctivas es importante hacer un seguimiento y/o instrumentación de la zona afectada, con el fin de verificar la estabilidad con el tiempo y/o hacer los correctivos necesarios una vez se detecten los problemas

Los principales parámetros por medir durante la evaluación de la estabilidad son los movimientos superficiales, tanto horizontales como verticales y los caudales de agua captados por los sistemas de drenaje subsuperficiales.

El monitoreo o seguimiento se debe realizar tanto a corto plazo, es decir durante la ejecución de las excavaciones para la realización de las obras correctivas, como a largo plazo, una vez se hayan ejecutado las obras remediales.

Llevar a cabo un programa completo de instrumentación como es lo ideal resulta algo costoso y de difícil mantenimiento, por lo tanto para el seguimiento de estas obras se recomienda un programa muy sencillo y de bajo costo, que requiere un seguimiento periódico para la efectividad de los resultados. Las medidas recomendadas para el seguimiento y monitoreo de las obras son las siguientes:

- Reconocimiento visual periódico de la zona: inspecciones detalladas a la zona cada 90 días como máximo, las cuales se deberán intensificar en periodos de lluvia.

- Medición de movimientos horizontales y verticales: durante la construcción se deben colocar puntos de control topográfico en la superficie del muro y en algunos otros puntos sobre los taludes, los cuales se deben controlar inicialmente con una frecuencia de dos veces al año.

- Mantenimiento de las obras de drenaje superficial, mediante un programa de limpieza de las estructuras.

- Mantenimiento de la protección y revestimiento de las superficies del muro y los taludes.

6. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En el Anexo 5 se presentan los planos de construcción para la ejecución de las obras recomendadas y en el documento UPES-CB-022 se presentan las especificaciones técnicas de construcción. Estas especificaciones se han preparado de manera que puedan aplicarse a los trabajos de construcción previstos para los ocho sitios recomendados a INGETEC S.A.

A continuación se presenta el listado de planos de construcción para este sitio

Plano	Título
1	Localización General
2	Sitio 1.5: Barrio Mirador de La Estancia. Topografía.
3	Sitio 1.5: Barrio Mirador de La Estancia. Geología. Planta.
4	Sitio 1.5: Barrio Mirador de La Estancia. Geología. Secciones.
5	Sitio 1.5: Barrio Mirador de La Estancia. Obras de Estabilización.
6	Sitio 1.5: Barrio Mirador de La Estancia. Localización General de Obras de Manejo de Aguas.
7	Sitio 1.5: Barrio Mirador de La Estancia. Obras de Manejo de Aguas.
8	Obras de Manejo de Aguas. Dimensiones y Refuerzo I.
9	Obras de Manejo de Aguas. Dimensiones y Refuerzo II.
10	Sitio 1.5: Barrio Mirador de La Estancia. Obras Arquitectónicas. Planta.
11	Detalles Arquitectónicos I.
12	Detalles Arquitectónicos I.

7. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

En la Tabla 9 se presentan las cantidades de obra y el presupuesto aproximado de cada una de las obras previstas. Para los precios unitarios se han utilizado las tarifas de Construdata, segun lo acordado con la Interventoria de estos estudios.

INFORME FINAL

SITIO 1.5: BARRIO MIRADOR DE LA ESTANCIA

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 1

2. RESUMEN DEL DIAGNÓSTICO 2
2.1 GENERALIDADES 2
2.1.1 Información de referencia 2
2.1.2 Condiciones del sector 3
2.2 TOPOGRAFÍA 4
2.3 GEOLOGÍA 4
2.3.1 Estratigrafía 4
2.3.1.1 Cuaternario 5
2.3.1.2 Cretáceo - Terciario 5
2.3.2 Geología estructural 6
2.3.3 Geomorfología 7
2.3.4 Sismología 8
2.4 GEOTECNIA 8
2.4.1 Descripción del problema 8
2.4.2 Zonificación geotécnica 10
2.4.3 Exploración geotécnica y ensayos 12
2.4.4 Ensayos de laboratorio 12
2.5 HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA 14
2.6 PLANTEAMIENTO DEL ORIGEN DEL PROBLEMA 14

3. MEDIDAS CORRECTIVAS 16
3.1 DISEÑOS GEOTÉCNICOS 16
3.1.1 Análisis de estabilidad del talud 16
3.1.2 Diseño del muro de contención en gaviones 17
3.1.2.1 Selección del tipo de muro 17
3.1.2.2 Cimentación 18
3.1.2.3 Materiales de relleno 18
3.1.2.4 Diseño del muro 18

3.1.2.5 Análisis de estabilidad 19
3.2 DISEÑO DE OBRAS DE MANEJO DE AGUAS 19
3.2.1 Estudios hidrológicos 20
3.2.1.1 Lluvias 20
3.2.1.2 Caudales 20
3.2.1.3 Período de retorno de diseño 21
3.2.1.4 Tiempo de concentración 21
3.2.1.5 Caudales de diseño 21
3.2.2 Estudios hidráulicos 23
3.2.2.1 Alcantarillado de aguas negras 23
3.2.2.2 Drenaje de aguas lluvias 26
3.3 VIVIENDAS AFECTADAS 27
3.4 OBRAS DE URBANISMO, PAISAJISMO Y USOS DEL SUELO 28

4. CRONOGRAMA DE OBRAS Y SEÑALAMIENTO DE PRIORIDADES 29

5. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO, SEGUIMIENTO E INSTRUMENTACIÓN 30

6. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS 31

7. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO 32

TABLAS
FIGURAS
PLANOS
ANEXOS

LISTA DE TABLAS

1. RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO.

2. REGISTRO HISTÓRICO DE PRECIPITACIÓN MENSUAL. ESTACIÓN CASA BLANCA EAAB.

3. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LAS CUENCAS DE DRENAJE.

4. CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA.

5. DETERMINACIÓN DE CAUDALES.

6. CÁLCULO DEL ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES.

7. CÁLCULO DE DIMENSIONES DE CUNETA.

8. CRONOGRAMA DE LAS OBRAS.

9. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO.

LISTA DE FIGURAS

1. TALUD ORIENTAL. CONTORNOS DE DENSIDAD DE POLOS DE LAS DISCONTINUIDADES.

2. TALUD SUR. CONTORNOS DE DENSIDAD DE POLOS DE LAS DISCONTINUIDADES.

3. ENSAYO DE CORTE DIRECTO.

4. ANÁLISIS RETROSPECTIVO. SECCIÓN C-C.

5. TALUD ORIENTAL. MODOS DE DESLIZAMIENTO DE BLOQUES.

6. TALUD SUR. MODOS DE DESLIZAMIENTO DE BLOQUES.

7. DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE PARA CIMENTACIONES EN ROCA. RQD - ESFUERZO DE CONTACTO ADMISIBLE.

8. MURO EN GAVIONES. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD. SECCIÓN C-C.

9. HISTOGRAMA ESTACIÓN CASA BLANCA.

10. CURVAS INTENSIDAD- DURACIÓN-FRECUENCIA.

LISTA DE ANEXOS

1. TOPOGRAFÍA.

2. INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS.

3. MEMORIAS DE DISEÑO GEOTÉCNICO.

4. PREDIOS CENSADOS.

5. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

LISTA DE PLANOS

1. LOCALIZACIÓN GENERAL

2. SITIO 1.5: BARRIO MIRADOR DE LA ESTANCIA. TOPOGRAFÍA.

3. SITIO 1.5: BARRIO MIRADOR DE LA ESTANCIA. GEOLOGÍA. PLANTA.

4. SITIO 1.5: BARRIO MIRADOR DE LA ESTANCIA. GEOLOGÍA. SECCIONES.

5. SITIO 1.5: BARRIO MIRADOR DE LA ESTANCIA. OBRAS DE ESTABILIZACIÓN.

6. SITIO 1.5: BARRIO MIRADOR DE LA ESTANCIA. LOCALIZACIÓN GENERAL DE OBRAS DE MANEJO DE AGUAS.

7. SITIO 1.5: BARRIO MIRADOR DE LA ESTANCIA. OBRAS DE MANEJO DE AGUAS.

8. OBRAS DE MANEJO DE AGUAS. DIMENSIONES Y REFUERZO I.

9. OBRAS DE MANEJO DE AGUAS. DIMENSIONES Y REFUERZO II.

10. SITIO 1.5: BARRIO MIRADOR DE LA ESTANCIA. OBRAS ARQUITECTÓNICAS - PLANTA.

11. DETALLES ARQUITECTÓNICOS I.

12. DETALLES ARQUITECTÓNICOS II.

ANEXO 1
TOPOGRAFÍA

ANEXO 2
INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS

ANEXO 3
MEMORIAS DE DISEÑO GEOTÉCNICO

ANEXO 4
PREDIOS CENSADOS

ANEXO 5
PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

TABLAS

FIGURAS

ANEXOS

LISTA DE DISTRIBUCIÓN

Copias de este documento han sido entregadas a las siguientes dependencias de la UPES - FOPAE e Ingetec S. A. Las observaciones que resulten de su revisión y aplicación deben ser informadas a la Dirección del Proyecto para proceder a realizar sus modificaciones:

DEPENDENCIA		**No. DE COPIAS**
Copias 1 y 2	- UPES - FOPAE	2
Copia 3	- Ingetec S. A. - Director del Proyecto	1

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Índice Revisión	Sección Modificada	Fecha de Modificación	Observaciones
0		1998-06-30	Versión Original

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Contrato No.:	**1314 - 110 - 97**
Título Documento:	Informe Final Sitio 1.5. Barrio Mirador de la Estancia
Documento No.:	**UPES - CB - 016**

	Número de Revisión		**0**	**1**	**2**	**3**
APROBACIÓN	Responsables por elaboración	Nombre	A. Cubillos			
			G. Gómez			
			B. Díaz			
			M. P. Chávez			
			G. Moreno			
		Firma				
		Fecha	1998 - 06 - 30			
	Vo. Bo. Coordinador Programa de Calidad	Nombre	C. Acero			
		Firma				
		Fecha	1998 - 06 - 30			
	Vo. Bo. Dirección del Proyecto	Nombre	F. Amaya			
		Firma				
		Fecha	1998 - 06 - 30			