# INFORME FINAL

# SITIO 1.3: BARRIO JERUSALÉN - SECTOR CANTERAS Y NUEVA ARGENTINA

## 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 de 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 se relaciona con el estudio del Sitio 1.3, denominado Barrio Jerusalén Sector Canteras y Nueva Argentina localizado en la parte baja del barrio Jerusalén, en el costado sur oriental de la intersección Avenida Ciudad de Villavicencio con la avenida Jorge Gaitán Cortés. El sitio corresponde a una antigua cantera de materiales para la industria de la construcción. En el patio de esta cantera y alrededor de sus límites, familias de escasos recursos han construido allí sus viviendas sin una apropiada planeación. (Ver localización de la zona de estudio en el Plano 2).

Las condiciones propias del sitio no recuperado, tales como la alta pendiente y gran altura de los taludes, el carácter erosionable de los materiales que los constituyen, la falta de un control y manejo adecuado de las aguas lluvias y negras, y la disposición inadecuada de las basuras han generado con el tiempo un proceso de deterioro del sector, lo que ha creado 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 bajo el contrato mencionado, los diseños de las obras remediales que se proponen para mejorar la seguridad del sector, y las medidas de solución, junto con los planos de construcción, las cantidades de obra y el presupuesto. Las especificaciones técnicas de construcción se presentan en un volumen aparte, aplicable a los ocho sitios de estudio incluidos en dicho contrato.

# 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 corresponidente a la hoy conocida Ciudad Bolívar (localidad 19), donde se localiza el barrio Jerusalén, 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, corresponde a un antiguo frente de explotación en el cual discurren dos quebradas, Canteras y Nueva Argentina, en el que se conformaron taludes verticales hasta de 28 m de altura.

Después de abandonada la explotación, en la zona del patio y la parte superior aledaña a los taludes, se construyeron viviendas por parte de familias de escasos recursos, sin que se hubieran realizado previamente obras de recuperación y adecuación de los taludes, ni de infraestructura para su urbanización.

Esta situación dió lugar con el tiempo al desarrollo de fenómenos de inestabilidad y a la formación de una zona de riesgo para los habitantes.

### 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 a escala 1:5000 números 061 a 063 de vuelo C-1414 de 1972 y números 302 y 303 del vuelo R-1131 de 1991.

- Estudio geológico y geotécnico, Barrio Jerusalén; por J.D. Bateman, 1991, para la Alcaldía Mayor de Bogotá - Secretaría de Obras Públicas.

- Estudio Geotécnico, Barrio Jerusalén - Sectores Canteras y Nueva Argentina - Fase II; INGEOMINAS, 1995.

### 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. Otros problemas significativos son la contaminación del aire por la industria extractiva y el ruido" [1].

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

La zona de estudio, correspondiente a los sectores Canteras y Nueva Argentina del barrio Jerusalén, se localiza sobre la ladera oriental de uno de los cerros suroccidentales de Santa Fe de Bogotá, que bordean el extremo sur de la Sabana de Bogotá, con coordenadas (origen Bogotá) N97 800 y E90 800 y elevación 2590 msnm. Ante la existencia de fenómenos naturales adversos a los pobladores que habitan el sector, esta zona ha sido declarada como "zona de riesgo", para lo cual se requiere ejecutar planes para la prevención y mitigación de los riesgos, la reubicación de las familias afectadas, y la ampliación y mejoramiento de la infraestructura social, vial recreativa y de servicios públicos.

El sector presenta una cobertura total de servicio de acueducto, que se abastece de los sistemas Wiesner, Tibitó y Vitelma, mientras el servicio de alcantarillado de aguas servidas y lluvias es deficiente o no existe. La prestación de servicios básicos está dada por las redes de acueducto (alcantarillado en forma parcial) energía y teléfonos. Los servicios de acueducto y energía se facturan a la tarifa básica de estrato 1 y el de telefonía, a la de estrato 2. En la parte alta del talud en el sector de Santa Rosita, existe un alcantarillado de aguas residuales no legalizado construido por la comunidad. Hay un colector de aguas lluvias en la parte baja del sector.

En general, los cauces de las quebradas presentan altos índices de contaminación, resultado del vertimiento directo de aguas servidas de las viviendas y de la disposición de residuos sólidos domésticos a lo largo del mismo. La ausencia de la red de alcantarillado pluvial configura condiciones propicias para la generación de frentes erosivos y ablandamiento de los materiales superficiales.

La red vial no obedece a ninguna planificación urbana y es el resultado de necesidades inmediatas de la comunidad para lograr accesibilidad. Las vías existentes no cuentan con los parámetros geométricos propios de este tipo de vías ni de un sistema de drenaje que encauce las aguas de escorrentía superficial.

El servicio de recolección de basuras se presta con alguna regularidad. Sin embargo, en algunos sitios se presenta acumulación de grandes cantidades, principalmente en las laderas de los cerros, laderas y caños. La deficiencia en la prestación del servicio obedece al difícil acceso y al mal estado de las vías.

El sector cuenta con un jardín infantil y una escuela localizados en la parte occidental del área, muy cerca al talud vertical donde éste tiene su máxima altura. El jardín infantil Nuevos Valores cuenta con el apoyo financiero del ICBF y tiene una cobertura de 80 cupos, atendiendo desde niños de salacuna hasta pre-escolar, siendo de los pocos lugares donde las madres trabajadoras pueden dejar a sus hijos. Por su parte, la escuela Canteras tiene los niveles de primaria y secundaria hasta grado séptimo, con proyecciones a avanzar año a año, hasta convertirse en colegio, y posesionándolo como un centro educativo indispensable en el sector, por la escasez de oportunidades educativas. Lo anterior hace que la posibilidad de

traslado de esta infraestructura educativa y recreativa sea difícil por el traumatismo social que genera tal propuesta y porque no existen terrenos disponibles para su relocalización. Por lo tanto, las medidas de adecuación y mitigación de los riesgos, envuelve la preservación de esta infraestructura social y en caso de necesidad, solo se harán evacuaciones de tipo temporal.

## 2.2 TOPOGRAFÍA

Se ubicaron dos puntos con mojón en concreto y platina metálica, identificados con los nombres de J-3 y J-4 mojones que fueron amarrados en coordenadas y cotas al vértice BOSA-5 Datum Bogotá y 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 a cada manzana.

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

## 2.3 GEOLOGÍA

### 2.3.1 Estratigrafía

La secuencia litológica en el sector Canteras y Nueva Argentina del barrio Jerusalén, referenciada de la más reciente a la más antigua, corresponde a un delgado nivel de suelo, rellenos, 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 del período Cretáceo-Terciario. Véanse los Planos 3 y 4.

Sobre el nivel de arcillolita de la Formación Guaduas se presenta un suelo residual, con espesor del orden de los 0,5 m, pobre en componentes húmicos, que por su escaso espesor, no se diferencia como una unidad, ni se cartografía, para no enmascarar parte de la geología del sector. Se incluyen los rellenos de escombros y materiales estériles existentes que aparecen cubriendo en algunos sectores los depósitos coluviales y la superficie de roca.

### 2.3.1.1 Cuaternario

- **Rellenos (Qre)**

Corresponde a los depósitos de escombros y material estéril producto de la actividad extractiva que se desarrolló en este sitio. Estos rellenos están conformados por fragmentos y bloques de arenisca y material arcilloarenoso, en los cuales, los fragmentos y bloques están dispuestos en forma caótica y soportados por el material arcilloarenoso. Estos depósitos son poco consolidados y de espesor variable alcanzando un máximo cercano a los 5 m. Se localizan bordeando la parte inferior del talud, sobre el patio de la antigua cantera y sobre las zonas aledañas a la corona del talud.

- **Materiales de deslizamiento (Qd)**

Son los materiales involucrados en los fenómenos de remoción en masa, los cuales están constituidos por arcillas arenosas y fragmentos y bloques de arenisca. Sobre la base y parte media del talud del sector de la quebrada Nueva Argentina, se presentan principalmente conos truncados conformados por material arcilloarenoso inconsolidado y algunos bloques pequeños de arenisca, producto de flujos de detritos y un deslizamiento que afectaron el nivel de arcillolita y la parte superior del nivel de arenisca infrayacente. En el sector de la quebrada Canteras se encuentran pequeñas acumulaciones de bloques o bloques aislados desprendidos del nivel de arenisca.

- **Depósito de coluvión (Qc)**

Está conformado por bloques de arenisca, soportados en matriz arcillloarenosa. Su espesor es variable, alcanzando un máximo de 3 m en el sector de la quebrada Nueva Argentina. Suprayace discordantemente un nivel de arcillolita de la Formación Guaduas.

### 2.3.1.2 Cretáceo-Terciario

- **Formación Guaduas (Tkg)**

La Formación Guaduas, que 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 la zona de estudio aflora un segmento del Nivel Arenisca Guía de la parte inferior de la Formación Guaduas, conformado de abajo hacia arriba por arenisca cuarzosa color amarillo claro, de grano medio a muy grueso, en capas delgadas a muy gruesas de 0,30 a 3,00 m de espesor, con intercalaciones de arcillolita gris en capas delgadas de 10 a 30 cm de espesor. Suprayaciendo el nivel de arenisca se encuentra un nivel de arcillolita gris y amarillo, con intercalaciones de arenisca cuarzosa de grano fino, de estratificación delgada.

El espesor de la Formación Guaduas es de 700 a 1000 m según Hubach (1967; en 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

Las capas de la Formación Guaduas hacen parte del flanco occidental del Sinclinal Usme, aunque localmente estas capas están plegadas suavemente y afectadas por tres fallas locales, presentando orientaciones un poco diferentes al patrón regional. La estratificación en el talud occidental presenta orientaciones de N-S/10°W en el sector sur y de N22°-75°E/10-30°NW en los sectores central y norte; en el talud sur de N45°-70°W/10°-13°SW y en el talud suroccidental de N30°-43°E/12°-15°NW. Esta disposición indica que las capas de la Formación Guaduas en este sitio hacen parte del cierre sur de un suave pliegue anticlinal cuyo eje debe tener una dirección aproximada N25°E, siguiendo el curso de la quebrada Nueva Argentina. La parte central y/o extremo norte de este pliegue están cubiertas por depósitos del Cuaternario. (Véase Plano 4).

El macizo rocoso se encuentra moderadamente fracturado, presentando los siguientes sistemas de diaclasas:

- **Talud occidental**

| | |
|---|---|
| Estratificación | N48°E/14°NW |
| Sistema 1: | N76°W/81°NE |
| Sistema 2: | N34°W/81°NE |
| Sistema 3: | N52°E/67°SE |
| Sistema 4: | NS/87°W |

Sistema 5A: N29°E/28°NW
Sistema 5B: N04°E/50°NW

- **Talud sur**

Estratificación N59°W/12°SW

Sistema 1: N54°W/71°NE
Sistema 2: N6°W/77°NE
Sistema 3: N52°E/57°SE
Sistema 4: N26°E/90°NW
Sistema 5: N57°E/78°NW

En las Figuras 1 y 2 se presentan los diagramas de contornos de densidad de polos de las discontinuidades en los taludes occidental y sur respectivamente.

En general, las diaclasas son de continuidad media y discontinuas, bastante próximas a próximas, planas, ligeramente abiertas y localmente abiertas, rugosas y con las paredes cubiertas por películas de óxidos de hierro.

Adicionalmente, se distinguen tres fallas locales verticales, de poco desplazamiento, localizadas una en el sector de la quebrada Canteras y dos en el sector de la quebrada Nueva Argentina. La falla del sector de la quebrada Canteras presenta dirección N35°-40°E y su trazo puede apreciarse en la parte sur del talud, frente a la Escuela Plan Canteras. Las del sector de la quebrada Nueva Argentina presentan orientación NS y N0°-10°E, apreciándose sus trazos sobre el talud, entre dos quebradas y sobre su extremo oriental. (Véanse Planos 3 y 4).

### 2.3.3 Geomorfología

La cantera de Jerusalén se localiza sobre una de las laderas de los cerros suroccidentales de Santa Fe de Bogotá, que bordean el extremo sur de la Sabana 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.

Los cerros suroccidentales de Santa Fe de Bogotá presentan cimas aplanadas y laderas suavemente inclinadas, con pendientes medias a altas. Estos cerros han sido sometidos a una fuerte intervención antrópica representada por la explotación minera a cielo abierto para la obtención de materiales de construcción. La actividad minera ha alterado las

características morfométricas de las laderas, introduciendo taludes verticales, donde los procesos morfodinámicos degradativos actúan con mayor intensidad.

Sobre el talud de la antigua cantera se presentan procesos de erosión hídrica concentrada que han generado surcos y cárcavas poco a medianamente profundos; deslizamientos traslacionales, caída de bloques y flujos de detritos de pequeña a moderada magnitud que han dado forma a conos de sección truncada sobre la cara del talud. Los flujos de detritos provienen del nivel de arcillolita y la parte superior del nivel de arenisca.

### 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

El barrio Jerusalén está localizado en un terreno abandonado por una antigua explotación de materiales de construcción. El barrio está dividido en dos partes, una alta y otra baja, por un talud vertical en roca con una altura máxima de 28 m, que constituía el frente de la antigua zona de explotación. El talud tiene una orientación aproximadamente, N-S en su costado occidental, N35°W en su parte suroccidental, y, N40°E, en su costado sur, siendo el sector occidental, el que presenta las mayores alturas. Al talud llegan las aguas de dos quebradas denominadas Canteras y Nueva Argentina. La quebrada Canteras separa los sectores occidental y suroccidental del talud; mientras que la quebrada Nueva Argentina separa los sectores suroccidental y sur del mismo. Los taludes están conformados en roca, arenisca y arcillolita, de la Formación Guaduas.

La parte superior del talud está conformada en arcillolita localmente suprayacida por un depósito de coluvión. El espesor de este nivel es variable por la disposición estructural de los estratos y la presencia de tres fallas verticales de carácter normal y salto de falla bajo.

Por debajo del nivel de arcillolita el talud se halla conformado fundamentalmente por arenisca.

En el sector sur y suroccidental se han presentado desprendimientos de arcillolita meteorizada a manera de flujo de detritos y un deslizamiento sobre el nivel de arcillolita que han formado conos de sección truncada. Estos movimientos han sido generados por el alto grado de meteorización de la roca, la alta pendiente del talud y la saturación esporádica del material con agua meteórica después de períodos de resequedad.

En el sector occidental se han presentado algunos desprendimientos pequeños de fragmentos y bloques de roca, los cuales se han acumulado en forma desordenada sobre la base del talud, consecuencia de la conjugación de los principales sistemas de diaclasas que generan bloques, que al quedar desligados del resto del macizo rocoso se vuelcan y caen. Adicionalmente, el talud presenta grietas, lo cual indica que el macizo rocoso ha sufrido un proceso de relajación. Debido a las continuas caídas de bloques, este talud constituye una amenaza grande para la escuela y el jardín infantil localizado en la parte inferior, muy cerca de su pata. En la parte superior, existen algunas viviendas ubicadas muy cerca al escarpe, las cuales se encuentran igualmente en riesgo ante un eventual deslizamiento del talud.

El talud suroccidental, que tiene una altura media de 20 m, presenta en su superficie algunos rellenos y depósitos de materiales y basuras. Este talud presenta evidencias de inestabilidades que involucran los depósitos recientes y las capas superiores de arcillolita, en forma de flujos de detritos, movimientos rotacionales y problemas de erosión y carcavamiento.

Por su parte, el talud sur, con alturas menores de 20 m, presenta una condición de inestabilidad similar al talud del sector suroccidental, donde el principal fenómeno de inestabilidad se localiza hacia la margen derecha de la quebrada Nueva Argentina.

La presencia de viviendas cercanas a la pata de los taludes constituye el principal riesgo para el sector.

En los cauces de las quebradas antes mencionadas se presentan fenómenos de erosión y socavación. Asimismo, la falta de alcantarillado o fallas en éste en algunos sectores permite que las aguas negras y lluvias discurran libremente sobre los taludes generando problemas de erosión.

### 2.4.2 Zonificación geotécnica

Se evaluó la composición del subsuelo diferenciando los tipos de suelo según sus características geológicas, tipo de suelo, grado de meteorización de la roca, grado de

fracturamiento y las condiciones particulares de drenaje y estabilidad que se observaron en las inspecciones del terreno y en los reconocimientos geológicos y geotécnicos

El talud de estudio se dividió en cuatro zonas geotécnicas homogéneas, las cuales se describen a continuación:

- **Talud sur**

Comprende el escarpe del sector sur de la antigua cantera hasta la quebrada Nueva Argentina. La altura de los cortes oscila entre 9 m y 23 m, medidos a partir de la cota actual del patio de la cantera, donde se localizan algunas viviendas. En parte de este talud se observan depósitos coluviales de espesor variable entre 1 m y 3 m, bajo las cuales aparece arcillolita de color amarillento y gris, intercalada con niveles delgados de areniscas, con un espesor que oscila entre 10 m y 13 m. Subyaciendo el nivel anterior hasta la base de los taludes, se presentan areniscas de grano medio a fino con intercalaciones delgadas de arcillolita. La roca se presenta moderadamente fracturada. Hacia la base del talud de la cantera se encuentran conos de material deslizado y se observó un derrumbe cercano al cauce de la quebrada Nueva Argentina. Los taludes de corte tienen inclinación entre 70° y 90° y en algunos casos se presentan taludes negativos.

Los niveles de roca presentan diferentes grados de meteorización. En el horizonte de arcillolita, que se localiza superficialmente, se presenta suelo residual de poco espesor, entre 0,30 m y 0,50 m, y a continuación roca moderada a débilmente meteorizada. En esta capa se produjo un deslizamiento de tipo rotacional en cercanía a la quebrada Nueva Argentina. El horizonte de arenisca que aflora en este talud se presenta débilmente meteorizada en el cual se observan diaclasas cerradas a ligeramente abiertas, que dan lugar al desprendimiento ocasional 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 que han dado origen a los conos de materiales deslizados que se observan en la base del talud.

- **Talud suroccidental**

Esta zona comprende el escarpe de la cantera en el interfluvio entre las quebradas Nueva Argentina y Canteras. El corte alcanza una altura hasta de 18 m con respecto a la cota del patio existente.

En la parte alta del talud se encuentran depósitos coluviales de espesor variable entre 1 m y 2 m y rellenos conformados para la vía de acceso, donde quedaron cimentadas algunas viviendas. A continuación, en el talud de corte de la cantera aparece arcillolita de color

amarillento y gris, de espesor entre 10 m y 13 m, intercalada con niveles delgados de areniscas, subyacentes se encuentran areniscas de grano medio a fino, con intercalaciones delgadas de arcillolita. La roca se presenta moderadamente fracturada. Los taludes de corte tienen inclinación entre 60 ° y 80° y en el nivel de arcillolita se observan taludes desde 45° hasta verticales.

Los niveles de roca presentan diferentes grados de meteorización. En el horizonte de arcillolita, que se localiza superficialmente, se presenta suelo residual de poco espesor entre 0,30 m y 0,50 m. El horizonte de arenisca que aflora en este talud se presenta débilmente meteorizada y se observan diaclasas cerradas a ligeramente abiertas, ocasionando el desprendimiento esporádico de bloques.

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

- **Talud occidental**

Corresponde al talud del costado occidental de la cantera, a partir de la quebrada Canteras. La altura de los cortes oscila entre 5 m y 28 m, medidos a partir de la cota actual del patio de la cantera, donde se localiza la escuela del barrio. En todo el talud aparece un nivel de arcillolita de color amarillento y gris, de espesor entre 5 m y 10 m, dentro de la cual se intercalan niveles delgados de areniscas. Bajo el nivel anterior afloran areniscas de grano medio a fino con intercalaciones delgadas de arcillolita. La roca se presenta moderadamente fracturada. Los taludes de corte tienen inclinación entre 70° y 90° y en algunos casos se presentan taludes negativos.

Los niveles de roca presentan diferentes grados de meteorización. En el horizonte de arcillolita, que se localiza superficialmente, se presenta suelo residual de poco espesor, entre 0,30 m y 0,50 m. A continuación, aparece roca moderadamente meteorizada de poco espesor y, finalmente, se encuentra roca débilmente meteorizada. Sobre los materiales superficiales se presenta erosión hídrica laminar que generó el arrastre de la capa vegetal y sobre el talud se presenta erosión hídrica con cárcavas que afecta el nivel de arcillolita.

El nivel de arenisca que aflora en este talud está constituido por roca débilmente meteorizada. Se observan diaclasas ligeramente abiertas a abiertas, donde se presenta desprendimiento de bloques. Asimismo, se presenta erosión hídrica con cárcavas, que afecta los niveles mas blandos de arcillolita y que en conjunto contribuye con la desestabilización del talud.

- **Patio**

Corresponde al patio de la antigua cantera frente a las zonas, descritas anteriormente, donde se realizó un relleno para uniformizar la topografía del área para urbanizarla y donde actualmente se encuentran viviendas, una escuela y un jardín infantil. Se observan algunos bloques y cantos originados por el desprendimiento de arenisca. 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 aguas en la parte superior del talud.

### 2.4.3 Exploración del subsuelo

En los estudios anteriores realizados por J.D. Bateman en 1991 e Ingeominas en 1995, se efectuaron investigaciones geotécnicas que consistieron en apiques y ensayos de laboratorio. En el estudio de J.D. Bateman se efectuaron cuatro apiques denominados AP-1 a AP-4 localizados a lo largo de la corona del escarpe de la cantera, estos apiques alcanzaron hasta 2,50 m de profundidad. En el estudio de Ingeominas, las investigaciones consistieron en tres apiques denominados AP-20, AP-21 y AP-22, localizados el primero en la corona del escarpe de la zona central y los dos restantes a lo largo del cauce de la quebrada Nueva Argentina. Los resultados de estos trabajos se presentan en el Anexo 2.

En el presente estudio, con el fin de complementar las investigaciones geológicas y geotécnicas se excavó un apique, AP-JE-01, de sección 1,0 m x 1,0 m que se llevó hasta 0,60 m profundidad, donde se obtuvieron muestras para los ensayos de laboratorio.

En el Plano 3, se muestra la localización de las exploraciones mencionadas. El registro del apique efectuado se presenta en el Anexo 2.

### 2.4.4 Ensayos de laboratorio

En los estudios anteriores, sobre muestras de los materiales encontrados se realizaron ensayos de laboratorio con el objeto de determinar su composición granulométrica y propiedades índice para clasificación. Se determinaron los limites de consistencia que se resumen en la Tabla 1. En el Anexo 2 se incluye la información correspondiente a estos ensayos de laboratorio.

En el estudio de Ingeominas, se efectuaron ensayos de carga puntual, los cuales se utilizaron en el presente estudio para determinar los parámetros de la masa rocosa. Los resultados de los ensayos se incluyen en el Anexo 2.

En el presente estudio se efectuó un ensayo de corte directo sobre la muestra de arcillolita débilmente meteorizada obtenida en el apique AP-JE-01 y se realizaron ensayos de clasificación sobre esta muestra.

A continuación se describen los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio:

- En los estudios de Ingeominas de 1993, en los fragmentos de arenisca de la Formación Guaduas, de grano fino, color habano amarillento, que presenta algo de oxidación, se obtuvieron valores de resistencia en el ensayo de carga puntual $Is_{50}$ entre 0,5 MPa y 4,5 MPa.

  En este mismo estudio, para la arcillolita de la Formación Guaduas, los valores de resistencia en el ensayo de carga puntual $Is_{50}$ oscilaron entre 0,5 MPa y 0,6 MPa y las propiedades índice en los ensayos de clasificación de la arcillolita presentaron los siguientes valores:

| | |
|---|---|
| Límite líquido | 35% |
| Índice de plasticidad | 12% |
| Humedad natural | 8% |
| Clasificación USC | CL |

- En estudios de Ingetec sobre una muestra inalterada de arcillolita débilmente meteorizada, tomada el apique AP-JE-01 se realizó un ensayo de corte directo UU, con superficie de falla a lo largo del plano de la estratificación, en condiciones de humedad natural, en el cual se obtuvieron los siguientes valores:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Peso Unitario Húmedo | 21,1 kN/m$^2$ | a | 22,6 kN/m$^2$ |
| Peso Unitario Seco | 19,6 kN/m$^2$ | a | 20,5 kN/m$^2$ |
| Humedad de ensayo | 7,8% | a | 8,2% |
| Ángulo de fricción interna | 72° | | |
| Cohesión | 53 kPa | | |

  No fue posible efectuar ensayos de corte directo sobre muestras en condiciones saturadas debido a que el material se deshace durante la saturación al sumergirse en agua.

- En las investigaciones adelantadas por Bateman (1991) e Ingeominas (1993) se efectuaron algunos ensayos sobre los depósitos coluviales que aparecen sobre el talud de la cantera. Los resultados son los siguientes:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Límite líquido | 19% | a | 45% |
| Índice de plasticidad | 10% | a | 27% |
| Humedad natural | 4% | a | 27,3% |
| Clasificación USC | CL | a | CL-ML |

En los suelos que conforman la zona de deslizamiento en la margen derecha de la quebrada Nueva Argentina, los resultados de los ensayos de clasificación son los siguientes:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Límite líquido | 50% | | |
| Índice de plasticidad | 34% | | |
| Humedad natural | 8% | a | 23% |
| Clasificación USC | CH | | |

En los materiales de relleno conformados para la construcción de vías y terraplenes para viviendas se obtuvieron los siguientes valores:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Límite líquido | 54 % | a | 56 |
| Índice de plasticidad | 21% | a | 36 |
| Humedad natural | 6% | a | 21% |
| Clasificación USC | CH | | |

## 2.5 HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

La falta de manejo de las aguas lluvias y residuales son la causa detonante de los problemas de inestabilidad. Las consideraciones principales sobre este aspecto son:

- Las quebradas Canteras y Nueva Argentina en el sector estudiado no han tenido ningún manejo de tipo hidráulico y ambiental, por lo tanto se presentan en ocasiones deslizamientos a lo largo de su recorrido como consecuencia de las altas velocidades de

flujo y la erosión en el pie de los mismos, contribuyendo a la inestabilidad de la zona aledaña a las canteras.

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

- La falta de planificación para la construcción de viviendas en estos sectores ha 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 de la zona, se detectó que la mayoría de las redes existentes son construidas por los habitantes del sector y en muchos casos se instalaron defectuosamente y sin tener en cuenta las normas técnicas de la EAAB, lo cual ocasiona el deterioro temprano de algunas tuberías por las cuales drena el agua que posteriormente va al terreno natural, causando problemas de estabilidad de laderas.

## 2.6 PLANTEAMIENTO DEL ORIGEN PROBLEMA

Las labores de explotación de la arenisca en la cantera de Jerusalén, se efectuaron sin una técnica adecuada, generando un escarpe de más de 400 m de longitud, alturas hasta de 30 m y pendientes cercanas a la vertical. Después de abandonada la explotación, se efectuaron trabajos de reconformación en el patio de la cantera, construyendo rellenos sin ningún tipo de control, habilitando así la zona para su ocupación posterior con viviendas, una escuela y un jardín infantil.

La explotación interfirió el drenaje natural, constituido por las quebradas Canteras y Nueva Argentina. Hacia aguas arriba, las márgenes de las quebradas fueron ocupadas para urbanización y los procesos erosivos y de socavación se concentraron en el cauce y márgenes de las dos quebradas, tomando mayor intensidad por el inadecuado manejo de aguas lluvias y negras. Los caudales actuales superan la capacidad de las estructuras de cruce de la vía en la quebrada Canteras y han dado origen a procesos de erosión hídrica y en cárcavas en las dos quebradas y profundización en el cauce de la quebrada Nueva Argentina.

Los cortes efectuados para la explotación del nivel de arenisca dejaron expuesto un nivel de arcillolita en su parte superior, la cual se encuentra cubierta parcialmente por un coluvión, y cuyo espesor varía de un sector a otro de la cantera. La arcillolita en su consideración original corresponde a una roca moderadamente dura y con buenas condiciones de estabilidad, que al estar sometida a procesos de humedecimiento y secado pierde gran parte de su resistencia, convirtiéndose en corto tiempo en un suelo arcilloso de baja resistencia. Este proceso de meteorización de la masa de arcillolita ha sido la causa principal de la mayoría de los fenómenos de inestabilidad en que ha estado involucrada dicha masa. Estos

fenómenos son de mayor magnitud en los sectores del talud, donde el nivel de arcillolita tiene su mayor espesor, ésto es, en los sectores sur y suroccidental del talud.

En el talud occidental, conformado en su mayor parte por arenisca, se presentan desprendimientos de bloques de tamaño hasta 1 $m^3$, los cuales son originados por las discontinuidades de la roca y adicionalmente por erosión diferencial sobre niveles más blandos de la misma o sobre las intercalaciones de arcillolita. En la base y zona media de este talud se observa agrietamiento de la roca, debido a la relajación del macizo.

# 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 y proteger taludes, diseños hidráulicos para la canalización de las quebradas y obras de drenaje y manejo de aguas, definición de los límites de afectación y diseño de obras de urbanismo, paisajismo y usos del suelo. Estos diseños se resumen a continuación:

## 3.1 DISEÑOS GEOTÉCNICOS

### 3.1.1 Estabilidad de los taludes

Las diferencias geométricas y de composición existentes en el talud de interés del barrio Jerusalén hacen necesario revisar independientemente cada una de las zonas en que se subdividió éste.

- En el caso de los taludes conformados en arenisca, su estabilidad está gobernada por la posición y orientación de sus discontinuidades que dan lugar a la formación de cuñas y bloques de roca. Para estudiar la posibilidad de que dichas cuñas y bloques de roca sean potencialmente inestables, se llevó a cabo un análisis cinemático mediante la representación de los distintos planos de discontinuidad sobre una proyección estereográfica. En las Figuras 3 y 4 se presenta la proyección de los distintos planos de discontinuidad y sus intersecciones y su relación con los planos de los taludes, para los sectores occidental y sur.

  En el talud sur, la intersección de las discontinuidades origina la posibilidad de formación de algunos bloques de falla que por el alto ángulo de las discontinuidades que los forman, son poco frecuentes y de tamaño reducido. En el caso del talud occidental, la presencia de la discontinuidad 3 con una inclinación media de 67°, da lugar a la formación de bloques de roca potencialmente inestables de regular tamaño, los cuales, son los causantes de la frecuente caída de bloques y el deterioro progresivo del talud.

- Los taludes conformados en arcillolita son estables en condiciones secas permitiendo taludes verticales con alturas hasta de 10 m. Sin embargo, ante la presencia de agua, la masa rocosa de arcillolita experimenta una meteorización fuerte y rápida que convierte la

masa rocosa en suelo con características de resistencia muy inferiores. Por ello existe un riesgo alto de falla de la parte alta de los taludes, conformada por arcillolita, fenómeno que ha venido ocurriendo en algunos sectores de los taludes sur y suroccidental.

Dada la condición de inestabilidad potencial, que presenta la parte superior de los taludes, conformada en arcillolita, lo cual representa un riesgo alto para la escuela y el jardín infantil ubicados en la parte inferior del talud occidental y para algunas viviendas de la parte superior del mismo talud, se hace necesario diseñar un sistema de refuerzo y protección de los taludes que permita garantizar su estabilidad y facilitar su adecuada protección. Para ello se efectuó, en primera instancia, un análisis retrospectivo de la estabilidad de los taludes en su condición inicial observada actualmente en el talud occidental y en algunos sectores de los taludes sur y suroccidental, ésto es, con una inclinación vertical y sin presiones de agua dentro del talud. La altura del talud se tomó igual a 10 m que corresponde al máximo espesor observado en los taludes. Estos análisis y los que se describen más adelante se realizaron con el método de Spencer-Wright implementado en el programa Galena, el cual permite determinar en forma automática, la superficie potencial de deslizamiento, con menor factor de seguridad. En la Figura 5 se presenta la variación de los parámetros C y $\phi$, para factores de seguridad de 1,0, 1,1 y 1,2. Entre los posibles parámetros que mejor representan las propiedades de resistencia de la masa de arcillolita, se tomaron los parámetros: $\phi = 28°$ y C = 31 kPa. Con estos parámetros el factor de seguridad del talud vertical es de 1,0.

A manera de comparación, se efectuó un análisis para determinar los parámetros de resistencia de acuerdo con el método de Hoek, en el cual se emplearon los resultados de los ensayos de carga puntual ejecutados por INGEOMINAS (1995) para determinar la resistencia uniaxial de la roca. Véase Figura 6.

A partir de estos análisis se deduce que el ángulo de fricción de la masa rocosa puede estar entre 35° y 29° y la cohesión entre 0,1 y 0,2 MPa. Estos valores son algo superiores a los encontrados a partir de los análisis retrospectivos. Para los subsecuentes análisis se emplearon los parámetros de resistencia deducidos de los análisis retrospectivos.

Con base en los parámetros anteriormente establecidos se efectuaron análisis de estabilidad en los cuales se varió la pendiente del talud a 0,3H : 1,0V, 0,6H : 1,0V y 1,0H : 1,0V. Los resultados de estos análisis se presentan en las Figuras 7 y 8, donde se aprecia que el factor de seguridad aumenta de 1,0, en el caso del talud vertical, a 2,2 en el caso del talud con pendiente 1,0H : 1,0V. Al considerar la fuerza debida al sismo de diseño, el factor de seguridad se reduce a 0,96, 1,25 y 1,44, para los casos, respectivamente, de los taludes 0,3H : 1,0V, 0,6H : 1,0V y 1,0H : 1,0V.

### 3.1.2 Diseño de la protección de los taludes

Las obras de protección de los taludes comprenden la reconformación del talud y su protección con pasto o concreto neumático, malla metálica y pernos. A continuación se presentan dichos diseños:

- **Taludes conformados en arenisca**

Para prevenir la caída de bloques en el talud occidental, adyacente a la escuela, se ha previsto la colocación de concreto neumático, malla metálica y pernos en la superficie del talud, previa una labor de desabombe que remueva los bloques sueltos o que se encuentren en peligro inminente de caerse.

Para dimensionar el sistema de refuerzo con pernos, se efectuó un análisis de estabilidad, a partir del cual se determinó la fuerza necesaria para producir en un bloque de 5 m de altura un incremento del factor de seguridad a un valor mínimo de 2,0 en condiciones estáticas y de 1,3 en condiciones de sismo.

Esta fuerza está representada por un sistema de pernos de 3,5 m de longitud, colocados en dirección normal al talud con una inclinación hacia abajo de 10° y un espaciamiento de 2,0 m en ambas direcciones. En la Figura 9 se presenta un esquema que ilustra el bloque crítico y su sistema de refuerzo, y las tablas de resultado para las consideraciones de carga consideradas. En el predimensionamiento de este refuerzo se ha considerado un esfuerzo de trabajo de adherencia lechada-roca de 300 kPa.

Para los taludes sur y suroccidental, la parte del talud conformada en arenisca se protegerá, igualmente, con una capa de concreto neumático, malla y pernos de anclaje, dispuestos de manera similar a lo establecido para el talud sur, pero con una longitud menor, de 2,0 m, en razón al menor tamaño de los bloques de roca potencialmente inestables.

Adicionalmente, antes de iniciar las obras de protección de los taludes, se construirá un muro en gaviones de dos metros de altura, con la finalidad de proteger a los habitantes de esta zona contra los desprendimientos de material que se causen durante construcción.

- **Taludes conformados en arcillolita**

La parte superior de los taludes, conformada en arcillolita, se reconfomará con pendiente 1,0H : 1,0V, para la cual los análisis de estabilidad señalan que el factor de seguridad en condiciones estáticas es del orden de 2,2 y en condiciones de carga sísmica, de 1,4 (Véase Figura 7). A pesar de que estos factores de seguridad son relativamente altos, se considera apropiado disponer de un margen de seguridad amplio, que tenga en cuenta la alta

sensibilidad de la arcillolita a la presencia de agua en los taludes. Como medida de protección del talud se prevé el cubrimiento de su superficie con pasto.

La solución anterior implica que en un pequeño sector del talud suroccidental sea necesario evacuar y demoler siete viviendas de la parte superior del talud. Con el fin de evitar la demolición de estas viviendas, el talud en dicho sector se conformaría con una pendiente de 0,3 H : 1,0V, para lo cual será necesario instalar un sistema de refuerzo compuesto por pernos de 6,0 m de longitud, instalados en dirección normal al talud y una inclinación de 15° hacia abajo, separados 1,5 m en ambas direcciones. En la Figura 8 se presentan los resultados de los análisis de estabilidad del talud sin refuerzo y después de aplicado éste. El factor de seguridad del talud reforzado es de 1,8 en condiciones de carga estática y de 1,2, en condiciones de carga sísmica. La superficie del talud en este sector se debe proteger con una capa de concreto neumático y malla. Para el diseño del refuerzo se consideró un esfuerzo de trabajo de adherencia lechada-roca de 60 kPa.

En los Planos 5 y 6 se presenta la planta y secciones de las excavaciones y obras de estabilización previstas.

## 3.2 DISEÑO DE OBRAS DE MANEJO DE AGUAS

El sistema de drenaje de aguas lluvias y residuales se estudió en forma cuidadosa en el sector, debido a la no uniformidad del desarrollo urbanístico, lo que dificulta el trazado adecuado de las obras de manejo de las aguas de excedencia. Véanse Planos 7 y 8.

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

- Canalización de los cauces naturales.
- Cunetas para el manejo de aguas lluvias.
- Estructuras de paso por vías, consistente en box-culvert.
- Colectores principales para el manejo de las aguas residuales.

Como alternativa de manejo de las aguas lluvias y aguas residuales para el control de la estabilización de los taludes y mejoramiento de la seguridad física de los habitantes en el sector, se propone la utilización de estructuras que controlen dichas aguas permitiendo el encausamiento adecuado a sistemas existentes en el caso de las aguas residuales y una adecuada entrega a los cauces naturales en el caso de las aguas de escorrentía.

Los sistemas de aguas lluvias y aguas residuales deben operar separadamente para evitar problemas de contaminación en las fuentes naturales, que conlleven a deficiencias en el saneamiento para la población en el sector en estudio.

Para el barrio Jerusalén - sector Canteras y Nueva Argentina se proponen específicamente las siguientes obras:

- Canalización con canales de pantallas deflectoras, para las quebradas Canteras y Nueva Argentina, en los tramos localizados dentro del sector en estudio que permitan recobrar la sección hidráulica conveniente para el manejo de los caudales calculados para un período de retorno de 100 años; período de retorno definido con base en las Normas de la EAAB y considerando que los canales están ubicados en zonas de alta densidad poblacional.

- Construcción de cunetas, ubicadas en la parte alta de los taludes y en la base de los mismos.

- Se plantea la construcción de estructuras de paso con box-culvert para las quebradas Canteras y Nueva Argentina en su intersección con las vías en el sector en estudio.

- Se plantea la construcción de los colectores principales para el manejo de las aguas residuales, en el sector donde las descargas afecten directamente la estabilidad de los taludes, dejando prevista su entrega a la red existente, ubicada en la transversal 49D Bis.

### 3.2.1 Estudios hidrológicos

Sobre el plano base del sector, (Véase Plano 7) se delimitaron las cuencas de drenaje y se determinaron los parámetros morfométricos como área de drenaje, longitud de recorrido del agua y pendiente del drenaje. Información utilizada posteriormente en el cálculo de los caudales máximos.

#### 3.2.1.1 Lluvias

##### 3.2.1.1.1 Régimen de lluvias

En la zona el régimen de lluvias es bimodal presentándose 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 tomó como base

los registros históricos de la estación Casa Blanca operada por la EAAB. [2], los cuales se presentan en la Tabla 2 y la Figura 10.

#### 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 el sector 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.

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, cunetas 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.

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

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 ó 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:

$$Q = \frac{C.I.A}{3{,}6}$$

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, 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 Hydrology[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 diferente períodos de retorno se obtuvo a partir de las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia, calculadas para el barrio Jerusalén; obteniéndose los resultados que se indican en la Tabla 4 y en la Figura 11. Se considera que la duración de la lluvia de diseño en cada cuenca es igual al tiempo de concentración.

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 residuales

Para el predimensionamiento de los colectores de aguas residuales se adoptaron criterios de diseño de la EAAB. El predimensionamiento cubre únicamente el diseño del colector principal hasta conectarse con la red de alcantarillado existente de la transversal 49D Bis.

#### 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 por el sector en

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

estudio. La estimación de caudales se realizó teniendo en cuenta la población aferente a cada tramo.

### 3.2.2.2 Población de diseño

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

### 3.2.2.3 Determinación de caudales

De acuerdo con lo establecido anteriormente se estimó un consumo de agua potable (Dotación ) de 190 l/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:

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

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 las 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.

#### 3.2.2.3.1 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:

$$\tau = \gamma \, \mathbf{R} \, \mathbf{S}$$

Donde:

$\tau$: Fuerza tractiva [ Kg./$m^2$ ]
$\gamma$: 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, y se procuró en lo posible 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 8.

- **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 Tipo 5. De acuerdo con lo indicado en el Plano 8.

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".

### 3.2.2.4 Drenaje de aguas lluvias

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

- **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 obras.

- 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 los canales, cunetas, estructuras de paso y estructuras de disipación del sistema general de drenaje para el sector.

- **Criterios hidráulicos de diseño**

– Canales y cunetas

Los canales y cunetas se dimensionaron para un caudal de 100 años mediante la aplicación de la fórmula de Manning de manera que la sección de los canales y cunetas en la medida que los aspectos constructivos lo permitan, se aproxime a la más eficiente hidráulicamente. La Formula 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.

- **Canal con pantallas deflectoras**

Las pantallas deflectoras disipan energía por el efecto de los impactos del flujo contra las pantallas y la alta turbulencia que se produce, adicionalmente controlan la aceleración del flujo en tramos largos de pendiente pronunciada. La forma del canal con un voladizo en la parte superior impide el salpicamiento del agua por fuera del mismo.

Las ecuaciones que rigen el dimensionamiento del canal son las siguientes[4] :

$$bp = bm\left[\frac{Qp}{Qm}\right]^{0,4}$$

[4] Ramírez Giraldo, Jorge. III Seminario Nacional de Hidráulica. Canal con pantallas deflectoras.

$$Vp = Vm\left[\frac{Qp}{Qm}\right]^{0,2}$$

Siendo:

$h_p$ = 0,6 bp
z = 0,2 bp
a = 0,1 bp
bm = 0,1 m

Donde:

bp = Ancho del canal en el prototipo, en metros.
bm = Ancho del canal en el modelo, 0,10 metros.
Qp = Caudal en el prototipo, en $m^3/s$.
Qm = Caudal en el modelo, en $m^3/s$.
Vp = Velocidad de flujo en el prototipo, en m/s.
Vm = Velocidad del flujo en el modelo, en m/s.

$h_p$ = Altura libre del canal, en metros.
z = Altura de las pantallas, en metros.
a = Ancho del voladizo del canal que impide el salpicamiento de agua, en metros.

En la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos y la sección del canal con pantallas deflectoras se muestra en el Plano 10.

## 3.3 PREDIOS AFECTADOS

En el diseño de las obras geotécnicas, hidráulicas y de manejo de aguas, se tuvo como criterio el de causar el mínimo efecto a familias asentadas en los bordes del talud y a la infraestructura social existente. Dadas las condiciones de vulnerabilidad social, por su grado de Necesidades Básicas Insatisfechas en que vive la población del sector, las medidas propuestas que ocasionan el menor impacto social en el sentido de traslados involuntarios de familias, de otro lado, atendiendo las políticas del Banco Mundial y de la UPES frente a reasentamientos, se evitarán afectaciones a los habitantes, razón por la cual no habrá reubicación de familias y se preservará la infraestructura social y las viviendas existentes.

## 3.4 OBRAS DE URBANISMO, PAISAJISMO Y USOS DEL SUELO

Para el planteamiento de las propuestas arquitectónicas relacionadas con el urbanismo y el paisajismo de los diferentes puntos de estudio, se han tomado como referencia las determinantes técnicas de ingeniería sobre el tratamiento de los taludes y el manejo de aguas, un inventario general de la infraestructura comunal y de servicios, y los estudios sociales de la población del área.

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.

La localización de los árboles se hará a lo largo de las vías vehiculares y senderos peatonales en grupo de tres unidades cada seis metros aproximadamente. Otro grupo de seis árboles enmarcará las zonas duras de plazoletas que serán descritas más adelante. Finalmente se dispondrá de grupos de ocho unidades distribuidos según las características particulares de la topografía del terreno y de las posibilidades de mantener la seguridad de la ciudadanía.

Se crearán nuevos ejes de circulación sobre la áreas de taludes, conservando los caminos ya existentes y planeando futuras circulaciones que se puedan desarrollar por la transformación de las pendientes de los nuevos taludes. Estos ejes formarán recorridos y circuitos unidos por áreas de zonas duras denominadas plazoletas, dotadas de bancas, lámparas de iluminación, canecas, vallas de información, árboles, etc.

Dependiendo de la disponibilidad de las áreas libres fuera de riesgo y de la topografía del sitio, se destinarán espacios para recreación activa mediante la construcción de canchas múltiples y parques infantiles.

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

El área de trabajo está localizada en un sector en donde la vivienda forma barrios de alta ocupación. Dichos barrios están ubicados en la parte alta y baja de la antigua cantera. En el área baja se encuentran edificaciones de uso comunal las cuales se encuentran en peligro latente, ya que están localizadas muy próximas al talud vertical, el cual ha presentado anteriormente desprendimientos de material.

En la parte baja se conservarán las edificaciones comunales como la escuela, el jardín infantil y la cancha deportiva. Se realizarán tendido y protección de taludes en el área cercana a dichas instalaciones.

El planteamiento para Jerusalén está formado por zonas de recreación pasiva plasmados en elementos como senderos peatonales y plazoletas y recreación activa representadas en canchas deportivas, parques infantiles y circuitos deportivos para bicicleta ó trote.

En el aspecto de urbanismo se propone la recuperación de espacios públicos como la ronda de la quebradas, la definición de los andenes y zonas libres determinadas por la conformación de las vías, la construcción de zonas duras sobre los puntos de acceso a la escuela, el jardín y la cancha múltiple, protegiéndolas del paso vehicular mediante barreras.

En los Planos 15, 16 y 17 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 área de interés en el sector Canteras y Nueva Argentina del barrio Jersualén se establece el siguiente orden de prioridades para la construcción de las obras.

- Delimitación de las áreas con restricción en el uso del suelo, negociación de predios y declaratoria de utilidad pública de éstos.

- Construcción de las obras de canalización de las quebradas Canteras y Nueva Argentina y de los los colectores, cunetas y demás obras para manejo de las aguas superficiales.

- Reconformación y protección de los taludes.

- Obras de paisajismo y urbanismo.

En la Tabla 9 se presenta el cronograma de obra a ejecutar 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 de los canales y en la corona de los taludes, los cuales deben controlarse con una frecuencia mínima de dos veces al año.

- Mantenimiento de las protecciones de los taludes.

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

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

# 6. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En el Anexo 3 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 encomendados a Ingetec S.A.

A continuación se presenta el listado de planos de construcción para este sector.

| Plano | Título |
|---|---|
| 1 | Localización General |
| 2 | Sitio 1.3: Barrio Jerusalén - Sector Canteras y Nueva Argentina. Topografía. |
| 3 | Sitio 1.3: Barrio Jerusalén - Sector Canteras y Nueva Argentina. Geología - Planta. |
| 4 | Sitio 1.3: Barrio Jerusalén - Sector Canteras y Nueva Argentina. Geología - Secciones. |
| 5 | Sitio 1.3: Barrio Jerusalén - Sector Canteras y Nueva Argentina. Obras de Estabilización- Planta. |
| 6 | Sitio 1.3: Barrio Jerusalén - Sector Canteras y Nueva Argentina. Obras de Estabilización - Secciones. |
| 7 | Sitio 1.3: Barrio Jerusalén - Sector Canteras y Nueva Argentina. Localización General de Obras de Manejo de Aguas. |
| 8 | Sitio 1.3: Barrio Jerusalén - Sector Canteras y Nueva Argentina. Obras de Manejo de Aguas. |
| 9 | Sitio 1.3: Barrio Jerusalén - Sector Canteras y Nueva Argentina. Canales - Localización General. |
| 10 | Sitio 1.3: Barrio Jerusalén - Sector Canteras y Nueva Argentina. Perfiles - Canales. |
| 11 | Sitio 1.3: Barrio Jerusalén - Sector Canteras y Nueva Argentina. Estructuras Para Rápidas - Dimensiones y Refuerzo. |
| 12 | Sitio 1.3: Barrio Jerusalén - Sector Canteras y Nueva Argentina. Estructuras Para Box-Culverts - Dimensiones y Refuerzo. |
| 13 | Obras de Manejo de Aguas - Dimensiones y Refuerzo I. |
| 14 | Obras de Manejo de Aguas - Dimensiones y Refuerzo II. |
| 15 | Sitio 1.3: Barrio Jerusalén - Sector Canteras y Nueva Argentina. Obras Arquitectónicas. Planta. |
| 16 | Detalles Arquitectónicos I. |
| 17 | Detalles Arquitectónicos II. |

# 7. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

En la Tabla 10 se presentan las cantidades de obra y presupuesto aproximado de cada una de las obras previstas.

Para los precios unitarios se han utilizado las tarifas de Construdata, según lo acordado con la Interventoría de los estudios.

# INFORME FINAL

# SITIO 1.3: BARRIO JERUSALÉN - SECTOR CANTERAS Y NUEVA ARGENTINA

## 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 ..... 5
2.3 GEOLOGÍA ..... 5
2.3.1 Estratigrafía ..... 5
2.3.1.1 Cuaternario ..... 6
2.3.1.2 Cretáceo-Terciario ..... 6
2.3.2 Geología estructural ..... 7
2.3.3 Geomorfología ..... 8
2.3.4 Sismología ..... 9
2.4 GEOTECNIA ..... 9
2.4.1 Descripción del problema ..... 9
2.4.2 Zonificación geotécnica ..... 10
2.4.3 Exploración del subsuelo ..... 13
2.4.4 Ensayos de laboratorio ..... 13
2.5 HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA ..... 15
2.6 PLANTEAMIENTO DEL ORIGEN PROBLEMA ..... 16

3. MEDIDAS CORRECTIVAS ..... 18
3.1 DISEÑOS GEOTÉCNICOS ..... 18
3.1.1 Estabilidad de los taludes ..... 18
3.1.2 Diseño de la protección de los taludes ..... 20
3.2 DISEÑO DE OBRAS DE MANEJO DE AGUAS ..... 21
3.2.1 Estudios hidrológicos ..... 22
3.2.1.1 Lluvias ..... 22

3.2.1.2 Caudales ..... 23
3.2.1.3 Período de retorno de diseño ..... 23
3.2.1.4 Tiempo de concentración ..... 23
3.2.1.5 Caudales de diseño ..... 24
3.2.2 Estudios hidráulicos ..... 25
3.2.2.1 Alcantarillado de aguas residuales ..... 25
3.2.2.2 Población de diseño ..... 26
3.2.2.3 Determinación de caudales ..... 26
3.2.2.4 Drenaje de aguas lluvias ..... 29
3.3 PREDIOS AFECTADOS ..... 31
3.4 OBRAS DE URBANISMO, PAISAJISMO Y USOS DEL SUELO ..... 32

4. CRONOGRAMA DE OBRAS Y SEÑALAMIENTO DE PRIORIDADES ..... 34

5. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO, SEGUIMIENTO E INSTRUMENTACIÓN ..... 35

6. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ..... 36

7. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO ..... 37

TABLAS
FIGURAS
ANEXOS
PLANOS

# LISTA DE TABLAS

1. 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. DIMENSIONAMIENTO DEL ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES.

7. CÁLCULO DIMENSIONES DE CUNETAS.

8. CÁLCULO DIMENSIONES DE CANALES CON PANTALLAS DEFLECTORAS.

9. CRONOGRAMA DE LAS OBRAS.

10. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO.

# LISTA DE FIGURAS

1. CONTORNOS DE DENSIDAD DE POLOS DE LAS DISCONTINUIDADES - TALUD OCCIDENTAL.

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

3. MODOS DE DESLIZAMIENTO DE BLOQUES - TALUD OCCIDENTAL.

4. MODOS DE DESLIZAMIENTO DE BLOQUES - TALUD SUR.

5. ANÁLISIS RETROSPECTIVO - TALUD VERTICAL

6. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA MASAS DE ROCA FRACTURADA. ARCILLOLITA.

7. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD. TALUDES 0,6H : 1,0V y 1,0H : 1,0V.

8. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD. TALUD 0,3H : 1,0V.

9. REFUERZO DEL TALUD OCCIDENTAL

10. HISTOGRAMA ESTACIÓN CASA BLANCA.

11. CURVAS INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA

# LISTA DE ANEXOS

1. TOPOGRAFÍA.

2. INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS.

3. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN.

# LISTA DE PLANOS

1. LOCALIZACIÓN GENERAL

2. SITIO 1.3: BARRIO JERUSALÉN - SECTOR CANTERAS Y NUEVA ARGENTINA. TOPOGRAFÍA.

3. SITIO 1.3: BARRIO JERUSALÉN - SECTOR CANTERAS Y NUEVA ARGENTINA. GEOLOGÍA - PLANTA.

4. SITIO 1.3: BARRIO JERUSALÉN - SECTOR CANTERAS Y NUEVA ARGENTINA. GEOLOGÍA - SECCIONES.

5. SITIO 1.3: BARRIO JERUSALÉN - SECTOR CANTERAS Y NUEVA ARGENTINA. OBRAS DE ESTABILIZACIÓN- PLANTA.

6. SITIO 1.3: BARRIO JERUSALÉN - SECTOR CANTERAS Y NUEVA ARGENTINA. OBRAS DE ESTABILIZACIÓN - SECCIONES.

7. SITIO 1.3: BARRIO JERUSALÉN - SECTOR CANTERAS Y NUEVA ARGENTINA. LOCALIZACIÓN GENERAL DE OBRAS DE MANEJO DE AGUAS.

8. SITIO 1.3: BARRIO JERUSALÉN - SECTOR CANTERAS Y NUEVA ARGENTINA. OBRAS DE MANEJO DE AGUAS.

9. SITIO 1.3: BARRIO JERUSALÉN - SECTOR CANTERAS Y NUEVA ARGENTINA. CANALES - LOCALIZACIÓN GENERAL.

10. SITIO 1.3: BARRIO JERUSALÉN - SECTOR CANTERAS Y NUEVA ARGENTINA. PERFILES - CANALES.

11. SITIO 1.3: BARRIO JERUSALÉN - SECTOR CANTERAS Y NUEVA ARGENTINA. CANALES - ESTRUCTURAS PARA RÁPIDAS - DIMENSIONES Y REFUERZO.

12. SITIO 1.3: BARRIO JERUSALÉN - SECTOR CANTERAS Y NUEVA ARGENTINA. ESTRUCTURAS PARA BOX-CULVERTS - DIMENSIONES Y REFUERZO.

13. OBRAS DE MANEJO DE AGUAS - DIMENSIONES Y REFUERZO I.

14. OBRAS DE MANEJO DE AGUAS - DIMENSIONES Y REFUERZO II.

15. SITIO 1.3: BARRIO JERUSALÉN - SECTOR CANTERAS Y NUEVA ARGENTINA. OBRAS ARQUITECTÓNICAS. PLANTA.

16. DETALLES ARQUITECTÓNICOS I.

17. DETALLES ARQUITECTÓNICOS II.

# ANEXO 1
# TOPOGRAFÍA

# ANEXO 2
# INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS

# ANEXO 3
# PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

# TABLAS

# FIGURAS

# ANEXOS

# INGEOMINAS
# BARRIO JERUSALÉN
# FASE II - DICIEMBRE 1995

# INGEOMINAS
# BARRIO JERUSALÉN - SECTOR NUEVA GRANADA
# FASE II - DICIEMBRE 1995

# SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS
# INGENIERO JAIME A. BATEMAN DURÁN
# BARRIO JERUSALÉN
# ENERO 1991

## 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 1.3. Barrio Jerusalén - Sector Canteras y Nueva Granada |
| Documento No.: | **UPES - CB - 015** |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **APROBACIÓN** | **Número de Revisión** | | **0** | **1** | **2** | **3** |
| | 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 | | | |