

1 GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

La existencia de actividades mineras en el sector del barrio El Espino, ha traído como consecuencias la generación de fenómenos de inestabilidad en el terreno, los cuales se han venido agravando por el intenso proceso de urbanización, con la explotación indiscriminada de materiales de cantera y la disposición de escombros y basuras sin ningún control técnico.

El proceso de urbanización se remonta al último decenio, en tanto que la explotación de materiales y disposición de basuras, viene siendo adelantada en los últimos treinta años por los propietarios del área.

El sector de estudio se encuentra localizado en la parte occidental del barrio Ismael Perdomo, en la localidad de Simón Bolívar, al sur de Bogotá D.C., y está limitada por los barrios San Rafael (Al Norte), La Carbonera (Al Sur), el Espino III (Al Este), y en la parte alta de la ladera por los barrios EL Espino sectores I y II y el Cerro El Diamante (Al Occidente). En los costados norte y sur, se encuentran, respectivamente, las quebradas Santa Rita y Santo Domingo. La extensión total del área de evaluación es de aproximadamente 16,5 Hectáreas. Figura No. 1

Se tienen dos formas de acceso al sitio: una por la parte alta de la ladera, desde la zona de Altos de Cazucá y la otra desde el barrio Ismael Perdomo.

La zona se encuentra poblada en la parte alta (barrio El Espino I Sector), la margen izquierda de la Quebrada Santo Domingo y la parte plana de la llamada Cantera Sur, donde se conforma el barrio El Espino II Sector. La tipología promedio de las viviendas existentes se define como B1 (Tugurios) y B2 (Casas en mampostería o prefabricadas) de bajas especificaciones. Parte de la población de la Quebrada Santa Rita y los sectores próximos a la Quebrada Santo Domingo y a la Cantera Sur fue reubicada por la Dirección, dadas las condiciones de riesgo que representaba su permanencia en las zonas mencionadas, en el momento de llevar a cabo la medida.

Dentro del área no se encuentran edificaciones institucionales gubernamentales o privadas de importancia, que brinden albergue o protección a la comunidad en caso necesario.

Ante la evidente amenaza de los fenómenos de inestabilidad, la Dirección de Atención y prevención de Emergencias DPAE., ha venido trabajando en el sector y es así como se han ejecutado las siguientes acciones :

- Reubicación de familias.
- Contratación de Estudios geotécnicos, evaluación de alternativas de medidas de mitigación y diseños de las obras recomendadas para estabilizar la zona de estudio, con el Consorcio >Civiles Ltda – Hidroconsulta Ltda, el cual forma parte de la información de referencia para la realización del presente informe de monitoreo.
- Contratación del diseño e instalación de la instrumentación geotécnica para el monitoreo y seguimiento de los fenómenos de remoción en masa, con la firma Geotécnia y Cimentaciones S.A., quien ejecutó los trabajos motivo del presente informe.

1.1.1 Topografía

La topografía de la zona muestra pendientes suaves a muy altas en las zonas pobladas y escarpes importantes en los sectores de explotación con superficies irregulares que denotan inestabilidad. La reconformación del terreno para urbanizar algunos sectores como el costado oriental de la cantera sur, se inició a comienzos de los años noventa, sobre trazados por fuera de cualquier método aceptable de planeación, sin aprobación Distrital y sin especificaciones técnicas básicas.

1.1.2 Clima

La climatología del sitio se caracteriza por la baja frecuencia de lluvias, ambiente seco, con vientos leves a moderados y vegetación escasa o de baja altura en algunos sectores. Las temperaturas promedio diarias son similares al resto de la ciudad (14 – 17° C), con elevaciones considerables hacia el medio día.

1.1.3 Geología

Geológicamente, en la zona se ha identificado la presencia de dos conjuntos bien definidos de bloques:

1. *Rocas Sedimentarias*. Las rocas que afloran pertenecen a la Formación La Guía, que hace parte del Grupo Guaduas, compuesta por intercalaciones de estratos delgados y láminas de arenisca y arcillolitas grises.
2. *Depósitos Recientes*. Compuestos por suelos residuales, masas deslizadas, flujo de detritos, botadero de escombros y rellenos para terraplén.
3. Estructura Geológica: El área se caracteriza por estar ubicada sobre una estructura monoclinal, aparentemente sencilla, que buza hacia el nororiente con

inclinación inferior a 25°. Sin embargo, está afectada por tres clases de fallas: Inversa, de tendencia gravitacional y de rumbo.

La zona de estudio presenta en la actualidad ocho (8) fuentes de amenaza, definidas por el estudio geotécnico del Consorcio Civiles Ltda- Hydroconsulta Ltda, correspondientes a los procesos activos actuales, los cuales han sido identificados mediante los levantamientos geológicos y su importancia depende de los volúmenes de material inestable y la cercanía a las viviendas. Estas fuentes de amenaza son:

1. **Fuente de Amenaza # 1:** Deslizamiento de materiales frente al pequeño tanque de distribución de la parte suroccidental alta.
2. **Fuente de amenaza # 2:** Caída de bloques, frente al pequeño tanque de distribución de la parte suroccidental alta.
3. **Fuente de Amenaza # 3:** Deslizamiento latente de bloques en la parte media de la cantera sur.
4. **Fuente de Amenaza # 4:** Deslizamiento de detritos y bloques en el costado norte de la cantera sur .
5. **Fuente de Amenaza # 5:** Deslizamiento de suelo y roca, controlado estructuralmente, entre la parte alta del antiguo frente de explotación de la cantera Santa Rita y la vía de acceso a los barrios de la Zona noroccidental. (F.A. No. 5).
6. **Fuente de Amenaza # 6:** Relleno efectuado de forma poco técnica en la parte oriental de la cantera Santa Rita.
7. **Fuente de Amenaza # 7:** Caída de bloques y falla planar en el talud norte de la quebrada Santa Rita.
8. **Fuente de Amenaza # 8 :** Deslizamiento potencial por falla planar en la ladera localizada al occidente de la vía de acceso a los barrios por la parte noroccidental alta.
9. **Resto de la Ladera # 9 :** Con el propósito de clasificar desde el punto de vista de Amenaza el resto de la ladera que no se encuentra afectada por procesos activos.

1.2 ALCANCES DEL ESTUDIO

El estudio denominado “*Diseño e Instalación de la Instrumentación para el monitoreo y seguimiento de los fenómenos de remoción en masa en el barrio El Espino*”, tiene por objeto realizar un seguimiento a la evolución de los fenómenos, en especial el avance retrogresivo que permita tomar decisiones para realizar diferentes acciones por parte del Distrito.

Los alcances del estudio son:

1. Confirmar la zonificación por áreas de amenaza y tipo de amenaza en la zona de estudio.
2. Establecer, si fuese necesario nuevas zonas y tipos de amenaza.
3. Confirmar los tipos de problemas de inestabilidad que afectan la ladera.
4. Establecer las magnitudes de los movimientos activos presentes en la zona así como su área de afectación.
5. Crear, con la ayuda de los resultados del monitoreo, los programas de alerta y aviso, así como las actividades a realizar en cada uno de los eventos que así lo requieran.
6. Indicar las acciones, ya sean preventivas, correctivas o complementarias a que haya lugar para disminuir en rangos apreciables a los habitantes del sector a los niveles de exposición, originados por los fenómenos de remoción en masa.
7. Evaluar las condiciones de exposición de los habitantes y de sus bienes ante los distintos fenómenos de remoción en masa existentes en la zona. La instrumentación propuesta se constituye en consecuencia, en una segunda fase de identificación de inestabilidades en la cual se cuantificarán las deformaciones presentes en la actualidad.
8. Cuantificar los rangos, tasas y tendencias de deformación, desplazamiento o movimiento sobre puntos de control e instrumentación enterrada, estratégicamente distribuidos, con la finalidad de actualizar los modelos de falla.

1.3 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la instrumentación del proyecto contamos con equipos propios de precisión, cuyos reportes son la base de la valoración cuantitativa y cualitativa requerida. El personal operativo destinado a la labor tiene dedicación específica en el campo de la instrumentación como integrantes del Departamento de Instrumentación de Geotécnica y Cimentaciones S.A..

En términos generales es un procedimiento en campo que consiste en la realización de lecturas periódicas en los aparatos instalados y calibrados, de donde se obtiene información por medio de una consola electrónica sin manipulación directa del operador.

Para los Inclinómetros, una vez se realiza la campaña de instrumentación en campo, los datos son bajados a un computador por medio de un software especializado (DMM Digitilt DataMate), el cual lee los datos y los traduce en deformaciones, que serán graficadas y valoradas de acuerdo con las condiciones geotécnicas dadas por la información recopilada.

En el campo de la topografía, se realizó un levantamiento planimétrico por medio de una poligonal, con altimetría convencional en todos y cada uno de los 70 puntos de control, con base en los BMs de referencia.

El análisis de la instrumentación, su enlace con los estudios realizados y la realidad del estado del suelo en campo a la fecha, se llevó a cabo de acuerdo con los criterios geotécnicos de aceptación general, basados en nuestra experiencia con proyectos similares en la región y buscando nuevas alternativas de estudio que amplíen el espectro de evaluación de los fenómenos de remoción en masa.

Con base en la información se hizo la localización de los puntos de control e instrumentación de modo que una vez aprobada por el Contratante o su representante, se inicie el proceso de perforación e instalación de aparatos. Simultáneamente, se recopilaron las muestras de suelo para realizar los ensayos de laboratorio básicos y aquellos correspondientes de acuerdo al tipo de suelo encontrado.

Los controles se reportaron en los informes mensuales. Sin embargo, a medida que se ejecutaban las lecturas, se elaboró y entregó un informe de seguimiento semanal tanto al Interventor como a la DPAAE, en el cual se informaron los datos significativos obtenidos en las campañas del periodo.

Como resultado final de los trabajos, además del respectivo informe, se elaboró un plano de vectores de desplazamiento, un plano de localización de zonas de amenaza, un plano con las tendencias de movimiento por zonas de amenaza y un plano de resumen general, en el cual se zonificaron los sectores afectados de acuerdo con su grado de amenaza y dirección principal de los movimientos.

Se trata de generar herramientas de juicio útiles a la Dirección para la toma de decisiones en los casos de emergencia que a ella competen.

1.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

Las actividades realizadas durante la ejecución de los trabajos para el seguimiento y monitoreo de los fenómenos mencionados anteriormente, son las que a continuación se describen:

1.4.1 Reconocimiento de Campo

Con la finalidad de complementar la información relacionada con la identificación de los problemas presentes en la zona, e integrar los conceptos generales de diagnóstico por parte de la Dirección, la Interventoría y la Consultoría, el día 27 de Junio de 2000, se llevó a cabo un recorrido de reconocimiento por toda el área del proyecto, del cual se pueden extraer las siguientes conclusiones básicas:

1. Se observaron algunos sitios críticos en los cuales hay un vertimiento continuo de aguas servidas al suelo, cuyo volumen será necesario cuantificar con la finalidad de estimar el aporte de este factor a las condiciones de inestabilidad de la zona. En general, se encuentran sectores con alcantarillado provisional en tubería de gres, canales y cunetas superficiales con deficiencias pero con un funcionamiento aceptable dentro de las posibilidades de la comunidad. Las conducciones de agua potable de la parte alta del Espino I Sector no muestran evidencias apreciables de fuga, mientras las de la parte media, en general artesanales (mangueras a nivel de piso), son más susceptibles de daño, de acuerdo con las reparaciones que se pueden apreciar.
2. Es importante tener en cuenta que a la fecha de la visita no había rastros de lluvia reciente, coincidentalmente con el bajo régimen de pluviosidad que reporta el estudio del Consorcio Civiles – Hidroconsulta.
3. Durante el recorrido se hace evidente que la cartografía y levantamiento topográfico disponibles, son aproximados a las condiciones del sector; las curvas de nivel y la localización de viviendas varían considerablemente en campo. Para el propósito específico de la instrumentación y control topográfico, la información existente se considera como base para el desarrollo de los trabajos.
4. Teniendo en cuenta la zonificación específica para las fuentes de amenaza que plantea el estudio geotécnico y las condiciones observadas en campo, la instrumentación se orientó a monitorear las laderas y en especial los fallos locales. Consecuentemente se aconseja establecer la posible interrelación e influencia entre ellos y la afectación sobre las viviendas existentes.
5. Durante el transcurso del monitoreo y especialmente sobre los meses de noviembre, diciembre y enero, se detectó en la zona de estudio, el uso de explosivos para las excavaciones de la construcción del acueducto y alcantarillado de los barrios el Espino I y II y el Cerro el Diamante. Esta situación puede generar

al corto y mediano plazo, desestabilización y desconfinamiento de la masa de suelo en las zonas de amenaza.

1.4.2 Reconocimiento Geológico

La información reportada en el Plano Geológico del estudio geotécnico elaborado por el consorcio Civiles Ltda – Hidroconsulta Ltda, es en general consistente con los depósitos y afloramientos que se observan en campo, tanto a nivel superficial, como en aquellos estratos subyacentes descubiertos por los escarpes.

Se aprecia el predominio de depósitos pertenecientes a la Formación Guaduas, compuestos principalmente por arcillolitas con intercalaciones de arenisca cuarzosa. El área se caracteriza por presentar una estructura monoclinal sencilla, con fallas y diaclasamiento intenso.

Cabe recordar que el ángulo de fricción interna de los materiales ensayados en el estudio geotécnico, resultó ser similar al del buzamiento de las estructuras geológicas, de donde se establece que en el modelo de estabilidad general prima el factor de cohesión, lo cual no representa un índice de estabilidad favorable, teniendo en cuenta el volumen de material granular involucrado en los procesos de amenaza.

La litología general de las zonas de falla de la estructura geológica, esta compuesta principalmente por suelos residuales, masas deslizadas, detritos, escombros y material de rellenos para terraplén. Así mismo, como factor determinante en la conformación de estos suelos, se identifica una intensa explotación artesanal sin control, el retiro permanente de la capa vegetal y la modificación de cauces y laderas.

Dentro de los mecanismos de falla, se distinguen cuatro clases de fenómenos dentro del proceso de acomodación de los bloques y estratos.

- Fallas inversas
- Fallas gravitacionales
- Fallas de rumbo
- Diaclasas

En la Figura No. 12 del anexo No. 1, se presenta el plano del levantamiento geológico de la zona de estudio, tomado del estudio geotecnico realizado para el DPAE por el consorcio Civiles Ltda – Hydroconsulta Ltda.

1.4.3 Diseño del programa de Instrumentación

El objetivo principal de la instrumentación aquí propuesta es cuantificar las tasas de deformación que a la fecha presente afectan los distintos sectores de interés. Una vez identificadas tales tasas de deformación, desplazamiento y movimiento, se delimitaron los sectores estables, aquellos inestables con sus características y las respectivas zonas de transición. Ver Figura No. 10 del Anexo No.1

Las cantidades y localización general de los aparatos instalados corresponden a la tabla siguiente.

APARATO	CANTIDAD	LOCALIZACION
Inclinómetro	4	Franja intermedia escarpes - viviendas
Piezómetro	2	Franja intermedia escarpes - viviendas
Mojón	33	Toda el area de taludes desde la Cra 88
BM	3	
Niveleta	40	Bocacalles El Espino I - El Diamante - Barrio San Rafael y otros

1.4.3.1 Inclinómetros

Se instalaron cuatro (4) inclinómetros digitales a diferentes profundidades, en función de los conceptos establecidos en el Informe No. 1, las sugerencias de la Interventoría y los materiales encontrados durante el avance de las perforaciones.

La longitud mínima de anclaje en la roca firme es del orden de los 6.0m en el Inclínómetro No. 1, con profundidades muy superiores en los demás aparatos tal como se puede apreciar en los registros de perforación presentados en el Anexo “Registros de Perforación”. Así se garantiza la continuidad del empotramiento para el análisis de los movimientos. Adicionalmente, el control topográfico sobre los aparatos ofrece herramientas para verificar tendencias de deformación o eventuales movimientos en bloques de roca.

Con la finalidad de relacionar el comportamiento de los inclinómetros directamente con el grado de saturación del suelo, se instaló tubería perforada y protegida con geotextil con la finalidad de permitir el paso del agua libre en sitio.

La siguiente Tabla presenta la relación de los inclinómetros instalados:

NOMBRE	INSTALACION	LONGITUD	LECTURA INICIAL
INCO 1	27 de Julio	Longitud: 9.0 m	24 de Agosto
INCO 2	3 de Agosto	Longitud 14.0m	24 de Agosto
INCO 3	9 de agosto	Longitud 16.5m	24 de Agosto
INCO 4	17 de Agosto	Longitud 10.0m	24 de Agosto

1.4.3.2 Piezómetros

A la fecha se encuentran instalados dos (2) piezómetros de tubo abierto, con los cuales se pretende correlacionar el perfil de la tabla de agua en la zona de falla. Se espera que una vez iniciada la temporada de lluvias, este procedimiento reporte alguna tendencia de comportamiento, a pesar del alto grado de fracturamiento de la arenisca encontrada en toda la zona.

Cabe recordar que durante la instalación de los aparatos, el agua empleada para la realización de las perforaciones no retornó a la superficie una vez alcanzado el nivel promedio de los dos (2.0)m de penetración en roca.

Las características generales de estos aparatos se presentan a continuación:

NOMBRE	INSTALACION	LONGITUD	LECTURA INICIAL
PIEZO 1	21 de Agosto	Longitud: 10.0 m	24 de Agosto
PIEZO 2	22 de Agosto	Longitud 7.0m	24 de Agosto

1.4.3.3 Mojones topográficos

El ordenamiento y distribución, basado en el estudio de la firma *Civiles Ltda.*, busca controlar sectores definidos así:

- Trazado de la denominada Carrera 1^a - Calle 5^a.
- Zona del talud superior en la Cantera Santa Rita.
- Primer bloque de casas al borde del talud superior.
- Sector superior del escarpe sobre la Quebrada Santa Rita.

Inicialmente, se instalaron treinta (30) mojones en concreto y se definió la localización de dos (2) BMs de control, con amarre a las coordenadas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Adicionalmente, durante el proceso de monitoreo, se construyeron tres (3) mojones más. Es importante mencionar que las placas de bronce que centran la ubicación del aparato han sido retiradas en al menos diez (10) mojones, sitios en los cuales el control se ha realizado sobre taches metálicos.

1.4.3.4 Niveletas

Estos puntos tienen por objeto registrar variaciones de posición o altura en construcciones y estructuras representativas del sector. Con el objeto de partir de una base homogénea de comparación, se optó por localizar la mayoría de estos puntos en los postes de alumbrado público ubicados en las calles de acceso al sector de El Espino I y el Cerro El Diamante.

La localización en otros sitios como fachadas, o muros no es muy práctica debido a las bajas especificaciones constructivas de las casas del sector (viviendas tipo B1 en su mayoría), y la inexistencia de andenes para circulación peatonal.

1.4.3.5 Control estructural

En conjunto con la Interventoría, se seleccionaron veinte (20) puntos, entre viviendas de aproximada similitud constructiva. Se busca que las casas cumplan con mínimo una cimentación en concreto ciclópeo, con muros en bloque de arcilla confinados y presenten algunas condiciones de acabado exterior que refleje deformaciones o daños en caso presentarse algún fenómeno de inestabilidad.

Las casas escogidas muestran en general buen estado de conservación, teniendo en cuenta que los daños existentes corresponden a deficiencias constructivas. Causas de daño como el deterioro natural de los materiales, no son muy relevantes dado que las construcciones en general tienen una edad promedio de 4 a 10 años y muestran condiciones aceptables a pesar de su construcción artesanal.

CASA No.	LOCALIZACION	ESTADO
1	Calle 55 A No. 87 - 08 Sur	Bueno
2	Calle 55 A No. 87 - 72 Sur	Bueno
3	SN. El Espino I Antonio Perez.	Bueno
4	Calle 55 A No. 88 - 03 Sur	Bueno
5	Carrera 88 No. 56 A 36 Sur	Bueno
6	Carrera 88 No. 54 A 34 Sur	Bueno
7	SN. El Espino I Oscar Garzon	Bueno
8	SN. El Espino I Mariela Rivas	Bueno
9	SN. El Espino I Taller Ornamentación	Bueno
10	Carrera 88 No. 56A-15 Este	Bueno
11	Calle 55A No. 87-08 Sur	Bueno
12	Carrera 89 No. 58-08 Sur	Bueno
13	Carrera 88 No. 55A-15Sur	Bueno
14	Carrera 88 No. 55A-54 Sur	Bueno
15	Carrera 88 No. 55-62 Sur	Bueno
16	Carrera 77 No. 56-06Sur	Bueno
17	Diagonal 66 Sur Bno. 74B-26	Bueno
18	Diagonal 66 Sur 74B-41	Bueno
19	Parte alta Cantera Santa Rita	Bueno
20	Muro cerramiento parque	Bueno

1.4.4 Control de Instrumentación

Para efectos del control de instrumentación del proyecto se ejecutaron 27 campañas de lectura de instrumentación, a intervalos fijos de ocho (8) días entre cada una.

En las Figuras No.4,5,6 y 7 del anexo No.1, se presentan, tanto las fechas como el desarrollo de los movimientos de cada inclinómetro.

1.4.5 Levantamientos Topográficos

Se realizó un levantamiento topográfico inicial del área de estudio, ubicando en este la altimetría y la planimetría tanto del sitio como de los puntos de control y aparatos de instrumentación.

1.4.5.1 Altimetría

Se realizan nivelaciones geométricas con contranivelacion en varios circuitos debido a las altas pendientes del área; se toman lecturas en la mira de 5.0m con graduación al milímetro, con el nivel de precisión automático WILD NA-20 serie No. 565995, el cual ha sido debidamente calibrado en laboratorio, como consta en las certificaciones anexas a la propuesta.

En la primera campaña se emplearon aproximadamente 150 cambios en cuatro circuitos, para poder tomar las lecturas con precisión milimétrica en cada uno de los 30 mojones y 40 niveletas, que en algunos casos fueron tomados como cambios de la poligonal y en otros como vistas intermedias, los cuales se materializaron con la finalidad de cubrir el área de trabajo. Debido a las condiciones topográficas del terreno es prácticamente imposible realizar vistas o cambios de nivel en distancias mayores de 80m. Esta restricción trae como consecuencia la disminución en la precisión del cierre del aparato.

Para realizar el chequeo del instrumento, se localizaron unos puntos de control fuera del área los cuales van a ser leídos antes de iniciar cada campaña, consignando estos datos en la bitácora o récord de obra.

Como datum de elevación origen se tomó el GPS-044, instalado por la empresa *Estudios Técnicos S.A.*, para la EAAB, dentro del plan de delimitación de las rondas de las quebradas Santa Rita y Santo Domingo y se le asignó la cota correspondiente de 2695.159 m.s.n.m. Así mismo se utilizaron los GPS No. 10 y No.44

1.4.5.2 Planimetría

Se realizan radiaciones teniendo como base los GPS-044 y GPS-045 del estudio anteriormente mencionado, los cuales corresponden a las siguientes coordenadas:

GPS	COTA (m.s.n.m.)	COORDENADAS	
		Norte	Este
10	2703.0880	98405.7500	89365.3100
44	2695.1590	98455.6420	89477.9660
45	2676.8540	98789.5610	89143.3600

Se emplea una poligonal de apoyo que consta de ocho cambios, lo cual permite realizar la toma de datos en cada uno de los 33 mojones y 40 niveletas, registrando ángulo vertical con cero en el cenit y ángulos horizontales con ceros en el cambio o referencia anterior y distancia electrónica con precisión milimétrica.

El equipo consta de: Distanciómetro marca WILD DI-4L serie No. 43931 y teodolito WILD T-1 serie No. 213215, con sus accesorios y herramienta menor.

Los trabajos relacionados con los levantamientos topográficos de altimetría y Planimetría están ligados al sistema de coordenadas de tres (3) puntos fijos o BM's. Durante todas las campañas de control de instrumentación se utilizaron los mismos equipos.

Se realizó la toma de cuatro (4) secciones transversales convenientemente ubicadas y definidas en común acuerdo con la Interventoría, tomando como referencia, alineamientos logrados con los puntos de control y los Inclinómetros.

Adicionalmente a este levantamiento inicial, se ejecutaron once (11) campañas adicionales, una cada quince días.

1.4.6 Investigación del Subsuelo

Paralelo al proceso de exploración, en el que se hizo recobro de muestras siempre que fue posible, se llevo a cabo, en cada una de las perforaciones un registro de perforación, con la descripción del perfil estratigráfico encontrado, la ubicación de la cota piezometrica (donde fue posible) y demás características relevantes de los materiales en cada sitio.

Teniendo en cuenta el tipo de muestras recogidas del programa de extracción del subsuelo, se realizaron, como ensayos de laboratorio, dos (2) cortes directos, en los que se verifican las características de ángulo de fricción y cohesión.

En el anexo No.1 Figura No. 13, se presentan los registros de perforación y el resultado de los cortes directos.

1.4.7 Reportes mensuales de seguimiento

En los reportes mensuales de seguimiento se registraron las variaciones en los aparatos de instrumentación ,en los puntos de control de topografía y en las casas de seguimiento estructural.

La frecuencia de las lecturas definida por los Términos de Referencia se cumplió de la siguiente manera:

- Para las lecturas de instrumentación: Se desarrolló una lectura semanal, con reporte parcial semanal e incluidas en el informe mensual.

- Las campañas de topografía, para el control altimétrico y planimétrico, se llevaron a cabo cada quince días.
- Los controles estructurales, se llevaron a cabo cada quince días.

1.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Realizando el análisis de la información de referencia y particularmente en lo que se refiere a los Estudios geotécnicos, evaluación de alternativas de medidas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar la zona de estudio, realizado por el Consorcio Civiles Ltda – Hidroconsulta Ltda, se ha podido determinar, la existencia de nueve (9) fuentes de amenaza, que a continuación se describen:

1.5.1 Fuente No. 1 Deslizamiento de materiales

Se presenta en el sector oriental del barrio El Espino I Sector, hacia la quebrada Santo Domingo. Es un sitio conformado por remanentes de explotación de roca en matriz areno arcillosa. La amenaza esta constituida por desprendimientos de bloques y deslizamientos que afectarían viviendas cercanas y el cauce de la quebrada.

1.5.2 Fuente No. 2 Caída de bloques

Se presenta en un afloramiento de roca ubicado en el sector oriental del barrio El Espino I Sector, y sobre el mismo escarpe. Se han presentado caídas y volcamientos de bloques de roca. A la fecha, se encuentran expuestos algunos salientes cuya estabilidad depende del mínimo confinamiento y cohesión con que se encuentran en sitio. Se caracteriza por caída de bloques y deslizamientos.

Durante el proceso de monitoreo y en conjunto con la Interventoría, se definió que la zona de amenaza No. 1 tenía dos frentes de movimiento, con mecanismos de falla

distintos; uno localizado en el costado sur-este del barrio el Espino sector I, cuyo mecanismo de falla es falla rotacional, el otro frente localizado hacia el costado sur-este de la zona de amenaza No. 8 y caracterizado por desprendimiento y caída de bloques.

Una vez realizados los trabajos de monitoreo hemos concluimos que este segundo frente de la zona de amenaza No. 1 corresponde a una ampliación de la zona de amenaza No. 2.,

La zona de amenaza tiene su principal afectación en las viviendas del sector sur del barrio El Espino I sector, así como el pequeño tanque de almacenamiento de agua y a la vía de entrada al barrio y a la carrera 1^a.

1.5.3 Fuente No. 3 Deslizamiento, caída de bloques y desechos de explotación

Ubicada en el sector occidental de la Cantera Sur, se trata de la inestabilidad de masas de tamaño considerable cargadas de bloques y material fracturado. En el sitio aún se adelantan labores de explotación sin control técnico, generando factores de riesgo sobre las viviendas localizadas en la base del talud.

1.5.4 Fuente No. 4 Deslizamiento, caída de bloques y desechos de explotación

Se encuentra en un punto intermedio entre la Cantera Santa Rita y la Cantera Sur. Se trata de una masa de remanentes de explotación en matriz areno arcillosa de las zonas bajas de cantera cuya estabilidad se ve afectada por el deterioro de las capas más superficiales de material. La Dirección ha llevado a cabo programas de reubicación a los pobladores de la zona y se han cercado los predios para evitar el repoblamiento.

1.5.5 Fuente No. 5 Falla Planar en la cantera Santa Rita.

Esta es la fuente de amenaza mas extensa en cuanto a área de deslizamiento involucrada. Abarca gran parte del sector norte del proyecto y muestra evidencias de actividad continua, con desplazamientos importantes de masa y volcamiento de bloques sobre los estratos subyacentes que han quedado descubiertos.

La importancia de controlar esta fuente de amenaza está en identificar la rata de colapso de la ladera y determinar el carácter retrogresivo de la falla con sus posibles efectos hacia la parte alta donde se encuentra asentada la población.

1.5.6 Fuente No. 6 Amenaza potencial en rellenos de botadero

Es un sector del costado nororiental del proyecto en el cual se ha venido depositando toda clase de materiales de desecho de construcción y excavaciones, sin control, ni especificaciones técnicas. El factor de amenaza lo constituye la inestabilidad que ofrece la heterogeneidad de los depósitos y la posible socavación en la base de los taludes al paso de la Quebrada Santa Rita.

El control por medio de puntos materializados se dificulta debido a la circulación continua de volquetas y el vertimiento de escombros y material por fuera de cualquier programación.

1.5.7 Fuente No. 7 Caída de bloques en el talud norte de la Quebrada Santa Rita

Esta fuente comprende un talud de unos veinte metros de altura promedio, que bordea el área intervenida por la margen izquierda de la Quebrada Santa Rita. La pendiente del corte tiende a ser vertical en la parte alta, con bloques salientes de roca. La parte inferior está recubierta por una matriz arenosa proveniente del arrastre de materiales

granulares más finos por entre las diaclasas y como subproducto de las labores de explotación.

1.5.8 Fuente No. 8 Falla Planar

Este fenómeno está identificado por el Estudio Geotécnico como la inestabilidad del talud en el costado occidental a la vía de acceso a los barrios de la parte noroccidental alta, viniendo del barrio Ismael Perdomo.

Está catalogado como una falla planar originada en el vertimiento de aguas sobre estratos de arcilla y arenisca con buzamientos favorables a la inestabilidad.

1.5.9 Resto de la ladera No. 9

Esta zona corresponde el resto de la ladera que no se encuentra afectada por procesos activos.

La delimitación y las características de cada una de las zonas de amenaza se pueden observar en la Figura No. 10 del anexo No. 1

2 CONTROL TOPOGRAFICO

2.1 JUSTIFICACIÓN

Los mojones de control topográfico, están destinados a materializar puntos de interés para el seguimiento de sectores activos con deformaciones esperadas mayores que aquellas aceptables para el trabajo con equipos de alta sensibilidad.

Estos puntos mostraron la tendencia, orientación y magnitud de movimientos a nivel superficial, de acuerdo con su localización.

Se han definido cuatro sectores principales de control, cuyos resultados mostraron durante el seguimiento los movimientos sectorizados y la interrelación de los procesos activos. Los sectores de control escogidos son:

- Zona habitada en la parte superior de la ladera, en los Barrio El Espino I Sector u Cerro del Diamante.
- Zona habitada al costado sur del proyecto, cerca de la quebrada Santo Domingo.
- Sector de desplazamientos de suelo, en la parte alta de la Cantera Santa Rita.
- Barrio san Rafael.

2.2 CARACTERÍSTICAS Y LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL

De acuerdo a lo estipulado en los Términos de Referencia y atendiendo algunas sugerencias de la Interventoría, las características generales de los puntos de control colocados para el monitoreo en el barrio El Espino, son las siguientes:

2.2.1 Mojones

Los mojones están conformados por pilas de concreto de 0.30x0.30x0.80m excavados y fundidos en sitio. En los sitios en los cuales la excavación encontró roca a profundidades menores de la especificada, se mejoró la integración del mojón con el terreno entabando lajas de piedra angulosa y fundiendo con lechada agua – cemento. En la parte superior de los mojones y de forma centrada, se colocó una placa de bronce, embebida en el concreto, para facilitar las lecturas de control.

2.2.2 Niveletas

Estos puntos tienen por objeto registrar variaciones de posición o altura en construcciones y estructuras representativas de los sectores del Espino I, Cerro El Diamante, San Rafael y la Cantera Sur. Están formados por tachas metálicas (estoperoles) garantizando su permanencia en el sitio de instalación durante el monitoreo y a largo plazo.

La localización de cada uno de los puntos de control anteriormente mencionados se presentan en el anexo No. 1, Figura No.2 Localización de Instrumentación y puntos de control.

2.3 MÉTODO DE TRABAJO

Como objeto principal del control topográfico, se cavaron y fundieron en sitio treinta (30) mojones y posteriormente se implementaron tres mojones más, fabricados en concreto y distribuidos para controlar toda el área en estudio. Se implantaron cuarenta (40) niveletas con tachas metálicas y pintura, debidamente marcadas, elementos a los cuales se les asignaron coordenadas y cotas de acuerdo con el sistema de referencia (*GPS-44 y GPS-45 Estudios Técnicos*), realizando una poligonal radiando todos y cada uno de los puntos incluida la localización de aparatos de precisión.

Para realizar los trabajos se ha utilizado un equipo electrónico WILD D14L con lectura al milímetro y Teodolito WILD T-2 con precisión angular al segundo para la toma de coordenadas y cota trigonométrica.

Para la lectura de cotas geométricas se elaboró una poligonal de nivelación y contranivelación tomando todos los elementos. Se tomaron lecturas para control en dos mojones perfectamente identificados en campo como GPS-44 y GPS-45, pertenecientes al estudio de las rondas de las Quebradas Santo Domingo y Santa Rita,

a cargo de la firma *Estudios Técnicos S. A.*, los cuales colindan con el proyecto y se encuentran localizados fuera del área de influencia.

3 INSTALACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

3.1 JUSTIFICACIÓN

Los inclinómetros se distribuyeron en la franja de transición entre sectores estables e inestables establecida de manera preliminar (y de acuerdo con el estudio geotécnico) por el corredor de la vía de acceso a los barrios de la parte alta viniendo del barrio Ismael Perdomo (Calle 5ª - carrera 1ª).

Adicionalmente, se planteó la necesidad de establecer el grado de estabilidad de la masa que contiene los bloques de roca en el talud de gran altura del costado norte sobre la Quebrada Santa Rita (Fuente de Amenaza No. 7). En este caso, un aparato de precisión revelaría deformaciones tiempo antes de presentarse un desconfinamiento tal que genere la caída de un grupo de bloques o un bloque de tamaño considerable.

3.2 CARACTERÍSTICAS Y LOCALIZACIÓN DE LOS APARATOS INSTALADOS.

Se instalaron cuatro (4) Inclinómetros digitales a diferentes profundidades, en función de los conceptos establecidos en el Informe No. 1, las sugerencias de la Interventoría y los materiales encontrados durante el avance de las perforaciones.

El criterio más importante para la localización de los Inclinómetros se basa en la necesidad de controlar las zonas más susceptibles de movimientos.

El Inclinómetro No. 1, se instaló para controlar los deslizamientos de ladera, en un punto intermedio entre la Cantera Santa Rita y la Cantera Sur. Se trata de una masa de

remanentes de explotación en matriz areno arcillosa de las zonas bajas de cantera cuya estabilidad se ve afectada por el deterioro de las capas más superficiales de material.

El Inclinometro No. 2, se instaló para ejecutar el control de movimientos a la zona de amenaza No. 5, que es la fuente de amenaza más extensa en cuanto a área de deslizamiento involucrada. Abarca gran parte del sector norte del proyecto y muestra evidencias de actividad continua, con desplazamientos importantes de masa y volcamiento de bloques sobre los estratos subyacentes que han quedado descubiertos.

El inclinómetro No.3, se instaló para monitorear la inestabilidad del talud en el costado occidental a la vía de acceso a los barrios de la parte noroccidental alta, viniendo del barrio Ismael Perdomo. Está catalogada como una falla planar originada en el vertimiento de aguas sobre estratos de arcilla y arenisca con buzamientos favorables a la inestabilidad.

El Inclinometro No.4, se instaló para monitorear la parte central de la zona de amenaza No. 3, parte alta de la cantera sur. Está catalogada como una falla de deslizamiento, caída de bloques y desechos de explotación, originada por la explotación indiscriminada y de forma artesanal de la cantera.

3.3 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

3.3.1 Exploración

La exploración del proyecto, se ejecutó mediante la toma de muestras en las perforaciones para los Inclinómetros No.1, No.2, No.3 y No.4, de los cuales se tomó un muestreo continuo. Se utilizó para las perforaciones un equipo de rotación con brocas de diamante, utilizando zapatas NQ con tuberías NQ

3.3.2 Estratigrafía

La descripción de los estratos encontrados se encuentra consignada en el Anexo No.1, Figura No. 11 Registros de perforación.

DESCRIPCION GENERAL DEL SUBSUELO

Registro de perforación Inclinómetro 1	
Muestra	Descripción
0.00 – 3.20 m	Conglomerados en matriz de arcilla, con algo de arena fina, gravas y cantos
3.20 – 9.20 m	Arenisca muy friable con vetas de arcillolita

Registro de perforación Inclinómetro 2	
Muestra	Descripción
0.00 – 0.70 m	Relleno de arcillas gravas y piedras
0.70 – 4.20 m	Conglomerados y gravas en matriz de arcilla habana
4.20 – 7.20 m	Arenisca fina con vetas de arcillolita
7.20 – 7.40 m	Arcillolita habana oscura
7.40 – 10.20 m	Arenisca fina con vetas de arcillolita
10.20 – 10.45 m	Arcillolita
10.45 – 12.00 m	Arenisca fina muy friable
12.00 – 12.20 m	Arcillolita
12.20 – 14.00 m	Arenisca fina muy friable

Registro de perforación Inclinómetro 3	
Muestra	Descripción
0.00 – 1.00 m	Relleno heterogéneo con material orgánico
1.00 – 2.80 m	Conglomerados en matriz de arcilla con arena y gravas
2.80 – 6.20 m	Arenisca fina muy friable
6.20 – 6.50 m	Arcillolita habana oscura

6.50 – 10.50 m	Arenisca fina muy friable
10.50 – 10.80 m	Arcillolita habana oscura, consistencia muy dura
10.80 – 16.80 m	Arenisca fina muy friable

Registro de perforación Inclínómetro 4	
Muestra	Descripción
0.00 – 1.80 m	Relleno de arcillas, gravas y piedras
1.80 – 3.20 m	Conglomerados de Arenisca y mantos de arcillolita
3.20 – 4.00 m	Arenisca con vetas de arcillolita
4.00 – 7.00 m	Arenisca habana con rastros de óxido
7.00 – 10.00 m	Arcillolita habana con vetas de óxido

4 ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Con el objeto de confirmar las condiciones previstas desde el punto de vista de estabilidad en el informe de la referencia y verificar los tipos de falla que están ocurriendo en la zona en estudio, se realizaron los análisis de estabilidad para las nueve (9) zonas de amenazas determinadas.

Con el fin de modelar una falla similar a la encontrada en la zona, se realizaron una serie de retroanálisis, de carácter determinístico. Estos retroanálisis parten de la geometría actual de la zona, teniendo en cuenta la posición de la falla presente sobre la ladera. Para cada caso, se modificaron las propiedades geomecánicas del material hasta alcanzar un factor de seguridad cercano a 1.

Los mecanismos de falla estudiados corresponden a un deslizamiento del tipo falla rotacional (Z.A. No. 1,3 y 4), un deslizamiento a lo largo de la pendiente (Z.A. No.3

y 8), un fenómeno de volteo (Z.A. No. 2 y 7), Falla planar (Z.A. No. 5, y 10) y un posible colapso de la ladera en zona de amenaza No. 6.

Para los mecanismos de falla tipo rotacional se empleó el método simplificado de Janbú para fallas circulares, utilizando el programa de computador PCSTABL (Purdue University). Es de destacar, que para compensar el grado de conservatismo a que da lugar la suposición de despreciar las fuerzas entre dovelas, se utilizó el coeficiente de corrección recomendado por el método. (Ver Bibliografía)

En el caso de deslizamiento a lo largo de la pendiente se siguió la metodología expresada por Lee W. Abramson y Tomas E. Lee en su libro “Slope Stability and Stabilization Methods”. (Ver Bibliografía)

En el mecanismo de falla por volteo, se utilizó la metodología consignada en el libro “Landslides Analysis and Control” del Transportation Research Board National Academy of Sciences. (Ver Bibliografía)

5 CONTROL ESTRUCTURAL

5.1.1 Justificación

El propósito principal de este control es identificar el grado de vulnerabilidad de las construcciones escogidas de acuerdo con su ubicación, determinando las tendencias de desplazamiento y su relación con lo reportado con el resto de la instrumentación.

5.1.2 Características y Localización de los puntos de control

Se seleccionaron veinte (20) viviendas de aproximada similitud constructiva. Se busca que las casas cumplan con mínimo una cimentación en concreto ciclópeo, con muros en bloque de arcilla confinados y presenten algunas condiciones de acabado exterior que refleje deformaciones o daños en caso presentarse algún fenómeno de inestabilidad.

Las casas escogidas muestran en general buen estado de conservación, teniendo en cuenta que los daños existentes corresponden a deficiencias constructivas. Causas de daño como el deterioro natural de los materiales no son muy relevantes dado que las construcciones en general tienen una edad promedio de 4 a 10 años y muestran condiciones aceptables a pesar de su construcción artesanal.

5.1.3 Método de trabajo

El método de trabajo utilizado para los controles estructurales se reduce a las visitas semanales, de nuestro personal de Instrumentación a cada una de las casas, consignando en los formatos los eventos más importante encontrados durante la visita, particularmente en lo que se refiere a grietas, fisuras etc.

6 SISTEMAS DE ALARMA Y PROTOCOLOS DE AVISO

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de las corridas del análisis de estabilidad de los sectores críticos, presentamos a continuación un el diseño del sistema de alerta y aviso, enfocado para cada zona de amenaza y específicamente en los cortes propuestos controlados por inclinómetros y/o niveletas.

6.1 MOJONES Y NIVELETAS

GRADO DE ALERTA	DESPLAZAMIENTO RELATIVO	DESPLAZAMIENTO ACUMULADO
Amarilla	>5 mm/quincena	40 mm
Naranja	5 - 10 mm/quincena	40 - 70 mm
Roja	> 10 mm/quincena	> 70 mm

6.2 INCLINÓMETROS

a. En zonas pobladas

GRADO DE ALERTA	DESPLAZAMIENTO RELATIVO	DESPLAZAMIENTO ACUMULADO
Amarilla	> 5 mm/semana	< 40 mm
Naranja	5 - 10 mm/semana	40 - 70 mm
Roja	> 10 mm/semana	> 70 mm

b. En zonas no pobladas con afectación futura a casas.

GRADO DE ALERTA	DESPLAZAMIENTO RELATIVO	DESPLAZAMIENTO ACUMULADO
Amarilla	> 5 mm/semana	< 100 mm
Naranja	5 - 10 mm/semana	100 - 200 mm
Roja	> 10 mm/semana	> 200 mm

6.3 PIEZÓMETROS

GRADO DE ALERTA	INCREMENTO PRESION DE POROS (SEMANA)	INCREMENTO PRESION DE POROS (MES)
Amarilla	1 m/semana	2 m/mes
Naranja	2 m/semana	3 m/mes
Roja	>2 m/semana	>3 m/mes

6.4 CONTROL ESTRUCTURAL

GRADO DE ALERTA	INCREMENTO ABERTURA GRIETAS (1/2 MES)	INCREMENTO ACUMULADO ABERTURA GRIETAS	LOCALIZACION Y CARACTERÍSTICAS DE LOS DAÑOS
Amarilla	1 mm/quincena	5 mm	Incremento en longitud de grietas
Naranja	3 mm/quincena	10 mm	Incremento en longitud de grietas, afectación de elementos estructurales o portantes

7 RESULTADOS DEL CONTROL TOPOGRAFICO Y CAMPAÑAS DE INSTRUMENTACION

7.1 RESULTADOS DEL CONTROL TOPOGRÁFICO

Hasta la fecha presente, se han realizado once campañas adicionales a la inicial de control topográfico. El resultado, como se puede observar en la Figura 9 y 9A, muestra un comportamiento oscilatorio en los movimientos de todas las estaciones y puntos de control, que en la magnitud de los movimientos totales presentan dos tendencias, una en dirección al movimiento de la cantera Santa Rita y otra en dirección de la Cantera Sur., aun cuando los movimientos presentan variaciones hasta de 1 cm . Ver Figura No. 11 anexo No.1, Tendencias.

Cabe anotar que inicialmente por el carácter errático de los resultados de las lecturas y para descartar posibles errores en la toma de lecturas, se efectuaron chequeos y revisiones tanto al proceso de lectura como manejo de la información y se han encontrado las siguientes observaciones:

- Se ha podido determinar que la precisión en el cierre, para los controles que están dentro del rango de lectura del aparato, es de aproximadamente 5mm en la zona abierta (sin viviendas) valor que se debe tener en cuenta para la interpretación de las lecturas.

- Las zonas que se encuentran con viviendas, implican un mayor número de cambios y al hacer un análisis de las lecturas se definió una precisión de 1.0 cm.
- La verificación de los movimientos de los BM establecidos se efectuó en todos los controles topográficos y se rectificaron con controles de lecturas de GPS entre ellos y un punto externo sobre plaquetas IGAC.

7.1.1 Altimetría

Luego de realizadas las campañas de seguimiento planimétrico del barrio El Espino, se observan algunos cambios representativos, que se describirán a continuación:

Se revisaron los mojones M5, M10, M14 las niveletas NI17, NI31, NI44 y NI2A. Como se puede observar, estos puntos de control reportaron movimientos muy grandes de los cuales no existen evidencias en campo, tales como fisuras, grietas, roturas etc en las inmediaciones de estos. Por lo anterior, consideramos que durante el proceso de la toma de lecturas topográficas, se presentaron saltos en los movimientos, los cuales estadísticamente son puntos que se encuentran fuera de la serie de tendencia del movimiento que se viene presentando y por lo tanto los hemos desechado. Se han ajustado las carteras a los movimientos reales, los cuales si muestran una clara tendencia.

En las 4 últimas campañas de topografía, y en lo que se refiere a la altimetría, las variaciones relativas en los movimientos de los puntos controlados (mojón, niveleta), se han mantenido en valores del orden de 1 a 3mm, observándose relativa estabilidad en casi todos los casos.

Algunos otros puntos aislados muestran una mínima variación, pero no son representativos de desplazamientos relevantes para el propósito de la

instrumentación. En la Figura No. 9 se presentan esquemáticamente los movimientos relativos de cada una de las campañas de topografía en cada uno de los puntos de control y en la Figura No. 9A, se presentan esquemáticamente los movimientos acumulados.

Para observar en mayor detalle, las carteras, movimientos relativos y totales de cada uno de los puntos de control altimétrico, estos se pueden observar en los cuadros 1,2,3 y 4 del anexo No. 2

7.1.2 Planimetría

Con respecto a las variaciones relativas de los puntos, en el último control, se observa una relativa estabilidad, con movimientos en el orden de 2 a 4mm, siendo el MJ27 el punto que más se desplazó, con 4mm. Los datos de desplazamiento medidos en las cabezas de los Inclinómetros, reconfirmaron la magnitud y dirección de los registros de la consola del Inclinómetro con valores entre 4 y 6 cm.

Para observar en mayor detalle, las carteras, movimientos relativos y totales de cada uno de los puntos de control planimétrico, estos se pueden observar en los cuadros 5 y 6 del anexo No. 2

Luego de realizadas las campañas de seguimiento planimétrico del barrio El Espino, se observan algunos cambios representativos, que se describirán a continuación (ver anexo 2, Carteras, cuadros, formatos).

En todos los casos, los movimientos relativos que se presentan en todas las campañas son de carácter muy errático, tanto en su dirección como en sus magnitudes. Es así como en algunos casos, por ejemplo en el MJ4, el movimiento relativo resultante es de 4mm, orientada 41 grados SE, y los movimientos relativos muestran variaciones

tanto en sentido como en orientación. Este mismo comportamiento lo manifiesta el MJ6, localizado sobre la margen derecha de la Quebrada Santa Rita.

Las variaciones acumuladas más importantes al último control, se presentan en MJ12, con 21mm, 66 grados NE, NI3 con un desplazamiento de 19mm a 88 grados NW, la NI10, con un movimiento de 21mm 68 grados NE, la NI28 con 15 mm al E.

Algunos otros puntos aislados muestran una variaciones del orden de 5 a 9mm acumulados, lo que se considera una mínima variación, y no son representativos de desplazamientos relevantes para el propósito de la instrumentación.

En la figura No. 9 se presentan esquemáticamente los movimientos relativos de cada una de las campañas de topografía en cada uno de los puntos de control y en la figura No. 9^a, se presentan esquemáticamente los movimientos acumulados.

7.2 RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE INSTRUMENTACIÓN.

7.2.1 Inclinómetro No. 1

Localizado al costado sur del área de control , en la parte superior de la cantera Santa Rita. El inclinómetro No. 1 presentó en la última lectura el 27 de Febrero un desplazamiento acumulado de 33mm y movimientos relativos entre campañas semanales de 4 a 5mm promedio. Las lecturas se interrumpieron durante tres controles debido a que fue tapado con arenas y gravas. Se hizo la construcción de un apique y se logró la recuperación de este el aparato. (ver figura No. 4 anexo No. 1)

7.2.2 Inclinómetro No. 2

En conjunto con el inclinómetro No 1 esta colocado en la zona superior de la cantera Santa Rita. Presentó a la fecha de la última lectura de control, el día 27 de febrero de 2001, una deformación acumulada de 40mm. La historia de este aparato muestra campañas donde los movimientos han sido del orden de 1 a 2mm pero a partir de la lectura del 29 de diciembre se incrementó en 7 mm y se profundiza la deformación a 13 m; y en la del 4 de enero se deformó 3 mm. y continua presentando deformaciones a profundidad. (ver figura No. 5 anexo No. 1)

Cabe anotar que la zona superior del aparato (2 m) ha sido deformado por causas externas, ya que a partir de la primera semana del mes de enero del 2001, se ha utilizado la zona donde se encuentra localizado este aparato, como vía de tráfico para vehículos de carga y maquinaria pesada.

Para la lectura del 11 de enero se aprecia una deformación relativa de 30mm, pero para efectos de analizar correctamente las tendencias en los desplazamientos, se ha modificado la presentación de las curvas de este aparato, suprimiendo el salto brusco producido por el paso de la maquinaria pesada sobre el aparato. Cabe anotar que el sitio plano donde se ubica este aparato, se continua a la fecha usando como vía de penetración.

7.2.3 Inclinómetro No. 3

Localizado en la parte superior de la ladera, en zona poblada. Continua presentando al igual que los anteriores instrumentos, una clara tendencia de deformación a nivel superficial, en el sentido descendente de la pendiente, el cual a la fecha del último control (febrero 27 del 2001) alcanza los 56mm con tendencia a la profundización en las deformaciones, con lo cual se obtendría una tasa promedio de desplazamiento de

4mm a 5mm por semana, situación que ha sobrepasado los límites de la alerta amarilla, pasando a la alerta naranja. (ver figura No. 6 anexo No. 1)

Esta condición en los movimientos de este instrumento ha generado agrietamientos en el suelo circundante, por lo que se recomienda hacer un estudio para evaluar costos de las medidas de corrección y estabilización contra los costos de reubicación que permitan alejar a la población de cualquier tipo de amenaza.

7.2.4 Inclinómetro No 4

En la Figura 7 del anexo 1, se observa claramente el movimiento progresivo hacia el talud, con una deformación constante promedio de 3mm/semana, acumulando a la fecha del último control (Febrero 27 del 2001), un desplazamiento total de 60mm. (ver figura No. 7 anexo No. 1)

Al igual que el anterior aparato la deformación ha sobrepasado los límites entre el estado de alerta amarilla y el estado de alerta naranja en zonas pobladas y también se recomienda estudiar medidas de prevención para la población.

7.2.5 Piezómetro No. 1

Este piezómetro se ha encontrado seco desde la primera campaña de control.

7.2.6 Piezómetro No. 2

El piezómetro No. 2 se ha encontrado seco desde la primera campaña de control.

7.3 TENDENCIAS O RESULTANTES DE MOVIMIENTOS

7.3.1 Inclinómetro No. 1

Este aparato se encuentra localizado en el centro del área del proyecto, en una parte plana de la zona media de la ladera. Instalado en zona no poblada. Presenta una deformación acumulada de 30mm y relativa de 4 a 5mm/mes, por lo que si se conserva la tasa de deformación mencionada, y teniendo en cuenta los niveles de alerta y aviso, se alcanzara la alerta naranja en aproximadamente 8 meses y alerta roja (desplazamiento de 20 cm) aproximadamente en 2 años.

7.3.2 Inclinómetro No. 2

Este aparato se encuentra localizado en el costado nor-occidental del inclinómetro No. 1, ocupando la misma parte de la zona media de la ladera. Instalado en zona no poblada, y teniendo en cuenta que sus deformaciones son de 3 a 4mm/semana, con un valor acumulado de 40 mm, y con una influencia en el movimiento hasta los 13m de profundidad, se confirman las tendencias de alerta similares al las del inclinómetro anterior, cuando sus deformaciones acumuladas superen los 100mm. (8 meses) Ver Figura No. 5, del anexo No. 1

7.3.3 Inclinómetro No. 3

Localizado en la parte superior de la ladera, en zona poblada. Continua presentando al igual que los anteriores instrumentos, una clara tendencia de deformación a nivel superficial, en el sentido descendente de la pendiente, el cual a la fecha del último control (febrero 17 del 2001) alcanza los 55mm con tendencia a la profundización en las deformaciones, con lo cual se obtendría una tasa promedio de desplazamiento de 4mm a 5mm por semana, situación que ha sobrepasado los límites de la alerta amarilla, pasando a la alerta naranja. Ver Figura No. 6, del anexo No. 1

Al estar ubicado en zona poblada, puede representar la zona con mayor potencial de afectación, los grados de alerta se estimaron en 40 mm para la alerta naranja, valor que ya se supero y que indicaría que aproximadamente en 4 meses se podría alcanzar la alerta roja.

7.3.4 Inclímetro No. 4

El inclinómetro No 4 presentó un movimiento progresivo hacia el talud, con una deformación constante promedio de 3mm/semana, acumulando a la fecha del último control (Febrero 17 del 2001), un desplazamiento total de 58mm.

Al igual que los Inclómetros 1 y 2 la tendencia de deformaciones indicaría que se requieren aproximadamente 6 meses para alcanzar la alerta naranja.. Ver Figura No. 7, del anexo No. 1

7.3.5 Piezómetros

A la fecha y durante todo el proceso de control y monitoreo, los piezómetros se han reportado secos, como se ha visto desde el inicio de los controles. Esta condición evidencia la facilidad que el agua freática y de escorrentía tiene para infiltrarse en el cuerpo del talud y así ayudar a la desestabilización del mismo.

7.4 CONTROL SEGUIMIENTO DE GRIETAS

Los puntos de control definidos por la Interventoría en campo consistieron en dos pares de estacas clavadas a cada lado de la grieta y separadas entre si por una distancia de 1m, instaladas en la parte medio - alta de la zona de amenaza No. 1 .

La instalación de los puntos se realizó el día 18 de enero de 2001, y las lecturas se realizaron los días 25 de enero y 2 de febrero.

Los resultados arrojados por los controles a los dos puntos, se indican en la siguiente tabla. Es de anotar que las lecturas no pudieron continuarse, debido a que fueron arrancadas de su sitio.

ESTACA	LECTURA INICIAL (m)	LECTURA 1 (m) 25/01/2001	LECTURA 2 (m) 2/02/2001
1	1.00	1.008	1.015
2	1.00	1.006	1.012

8 RESULTADOS DEL CONTROL ESTRUCTURAL

Realizados los monitoreos correspondientes a este informe sobre las viviendas escogidas, se observa que no han presentado variaciones en el estado de las mismas. (ver cuadro No. 8, Formatos de control estructural, anexo No. 2).

Se ha llevado a cabo quincenalmente la revisión casa por casa del levantamiento y características identificadas en las fichas de control, sin encontrar evidencia de cambios o deterioro de las edificaciones.

Vale la pena recalcar la importancia de este tipo de control, teniendo en cuenta que dado en sistema constructivo empleado en la mayoría de los casos, las deformaciones eventualmente presentes en la masa de suelo, se reflejarán inmediatamente una vez

vencida la resistencia de la cimentación, la cual normalmente no alcanza un grado de rigidez suficiente para absorber tales esfuerzos .

En los cuadros 7 y 8 del anexo No. 2, se pueden observar, la localización y el reporte final de cada casa.

9 DEFINICION DEL PROGRAMA DE MONITOREO A MEDIANO Y LARGO PLAZO

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos durante todo el proceso de seguimiento y monitoreo a los fenómenos de remoción en masa y monitoreo, se propone el siguiente programa de monitoreo a mediano plazo:

Según lo visto en sitio y de acuerdo a los resultados obtenidos en el Inclímetro No.2, la tendencia general de este sector es a seguir sus desplazamientos hacia el talud, pero aumentando su afectación con los movimientos a profundidad. A la fecha aun se presenta un empotramiento del orden de 1 a 1.5 m, en la medida que los movimientos continúen profundizándose, se propone la colocación de un nuevo Inclímetro No.2, pero con una longitud total promedio de al menos 20m, para garantizar 5m más de empotramiento en roca.

La zona del costado sur-occidental, con las zonas de amenaza 1 y 2 es la que presenta menor información y que podría complementarse con la colocación de Inclínómetros de al menos 20 m de profundidad, para evaluar en detalle la profundidad de afectación del movimiento.

Adicionalmente a la instalación de este aparato, se propone la continuación de los monitoreos por al menos 12 meses más, así:

- Una campaña Quincenal de lectura de aparatos de Instrumentación (Inclinómetros y piezómetros).
- Una campaña mensual de topografía.
- Una campaña mensual de control estructural. En este caso, se propone realizar este seguimiento de una forma más dinámica, esto es, si una casa no presenta movimientos evidentes durante el mes, cambiarla por otra y así podríamos abarcar un numero más elevado de casas.

Para determinar mas detalladamente las características mecánicas del suelo, se propone la ejecución de un Caisson de Investigación en donde se pueda observar la variación de las características de la roca con profundidad, la evaluación de su grado de meteorización , el análisis de la variación de las propiedades de resistencia con el tiempo obteniendo muestras inalteradas. Incluir dentro de la exploración un programa de laboratorio que incluya, clasificación, cortes directos, granulometrías, y en la medida de lo posible un ensayo triaxial.

10 GENERACIÓN Y ANÁLISIS DEL MODELO GEOTÉCNICO Y EVALUACIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN

10.1 GENERACIÓN Y ANÁLISIS DEL MODELO GEOTÉCNICO

Partiendo de las hipótesis de los mecanismos de falla planteados en el informe de evaluación de amenazas y riesgos de Civiles Ltda, y con la información obtenida de los resultados de la instrumentación, se realizó una serie de retroanálisis con el fin de identificar los mecanismos de falla presentes en cada una de las nueve (9) zonas de amenazas determinadas en el estudio geotécnico del proyecto.

A continuación se describe para cada zona los mecanismos de falla evidenciados.

10.1.1 Fuente No. 1

En esta zona se encuentran deslizamientos de remanentes de explotación en la parte alta de la ladera, costado suroccidental de la zona en estudio, frente a un pequeño tanque de distribución de agua.

El estudio geotécnico de referencia (Civiles Ltd – Hidroconsulta Ltda), evalúa dos mecanismos de falla, deslizamiento a lo largo de la pendiente estructural y un deslizamiento debido a una falla rotacional.

La evaluación que se realizó en dicho estudio de esta zona clasificó una amenaza alta en la ocurrencia de un deslizamiento debido a una falla rotacional.

Al realizar los retroanálisis respectivos se obtuvo que el mecanismo de falla presentado se ajusta más a un deslizamiento a lo largo de la pendiente estructural que a una falla por rotación. Para lo anterior, se obtuvieron valores de resistencia del material superior de $c=0.20t/m^2$ y $\phi=30^\circ$. Estos valores se encuentran entre los rangos establecidos en el estudio geotécnico del proyecto.

Como control de instrumentación se instalaron los mojones Nos. 29, 31, 32 y 33 y se llevó un registro fotográfico, como resultado se dieron movimientos con orientación Sur-Este con un valor acumulado de 5 mm. Posibles rebotes con registros de hasta 10mm.

Los movimientos detectados en esta zona, son menores de 1mm/mes en planimetría y de 2mm/mes en altimetría.

Como un caso especial, los mojones 31, 32 y 33 presentaron movimientos del orden de 12, 14 y 22mm respectivamente. Precisamente, la razón por la cual se instalaron

estos mojones, fue para controlar los movimientos del sector, por la aparición de una grieta en la parte medio - alta de la zona de amenaza No.1, la cual ha reflejado en el control de grietas, movimientos acumulados, en dos meses de control de hasta 15mm, reflejando actividad.

Los desprendimientos de bloques y deslizamientos pueden afectar viviendas de la parte sur-occidental (Barrio el Espino I) y a la quebrada Santo Domingo.

10.1.2 Fuente No. 2

Esta zona involucra un mecanismo de falla por volcamiento de los bloques superficiales. Este mecanismo fue confirmado, obteniendo una distancia a la cual caerían los bloques de 10 a 15m de la base del talud.

Se instaló el mojón No 30 y se llevo registro fotográfico y se detectaron movimientos con orientación Sur- este con un valor acumulado de 3mm.

Los movimientos de esta zona pueden llegar a afectar las viviendas ubicadas en la parte alta de la ladera del barrio Santo Domingo, y una posible afectación a la vía de entrada al barrio el Espino y cerro el Diamante.

Como los fenómenos de remoción en masa asociados a esta fuente de amenaza pueden generarse por volcamiento o caída de bloques; de hecho hay evidencias que este movimiento se ha presentado en el pasado, toda vez que hay al menos un bloque de gran tamaño que se desplazó hacia la explanación del costado sur, la cual está habitada actualmente. En consideración a los elementos y antecedentes mencionados y en virtud al tamaño de los bloques que pueden observarse en el escarpe, la actividad puede considerarse alta. (Tomado del informe de Civiles).

10.1.3 Fuente No. 3

De igual manera que para la Fuente No. 1, el estudio geotécnico de referencia evalúa dos mecanismos de falla, deslizamiento a lo largo de la pendiente estructural y un deslizamiento debido a una falla rotacional, teniendo en cuenta que el fenómeno presentado consiste en un deslizamiento de materiales depositados en la parte media de la cantera sur.

Los retroanálisis realizados arrojaron que el fenómeno se ajusta a un deslizamiento a lo largo de la pendiente estructural. Para lo anterior, se obtuvo valores de resistencia del material superior de $c=8.0t/m^2$ y $\phi=30^\circ$. Estos valores son mayores a los utilizados en el estudio referencia, sin embargo, evidencia una mayor susceptibilidad del material para alcanzar el estado crítico.

En esta zona se realizó un control de instrumentación que contó con los mojones Nos. 21, 22, 23, 24 y 26, las niveletas 1B, 2B, 3B, 4B Y 5B. Control estructural de las casas 15, 16, 17 y 18; se instaló el inclinómetro # 4; y se llevo a cabo un registro fotográfico. Esto arroja como resultado movimientos planimetricos acumulados de 1 a 5mm., asentamiento de 21 a 26 mm. Las niveletas localizadas en la zona muestran movimientos horizontales de 4 a 9 mm orientados en general en dirección Nor-Este con movimientos verticales de 1 a 3mm. El inclinómetro # 4, presentó durante el movimiento una tendencia clara hacia el talud, con valores acumulados de hasta 60mm, en donde la tendencia del movimiento se orienta hacia el costado Nor-este de la zona de estudio.

Aunque en los controles topográficos de planimetría y altimetría, se presentan en la zona movimientos de diferente magnitudes, (planimetría 1 a 5mm y altimetría hasta 26mm), en comparación con los registros del Inclinometro No. 3 que presentó un movimiento acumulado de 60mm, hay que anotar que estos últimos reportan

movimientos que combinan los desplazamientos verticales y horizontales con el registro a profundidad, por lo que para este caso, estos no son comparables con los topográficos (altimetría y planimetría) , que si serían confirmatorios del movimiento de la ladera.

En todo caso, el registro tomado con los Inclínometros, para este caso, es el más confiable, en razón a que su margen de precisiones de + o – 1mm y en la topografía hemos encontrado precisiones de hasta 1cm, adicionalmente, se controlan los movimientos a profundidad.

10.1.4 Fuente No. 4

El comportamiento geomecánico de esta zona es similar al anterior, es decir, a la Fuente No. 3.

Los resultados del retroanálisis arrojaron que el fenómeno presenta un comportamiento de deslizamiento a lo largo de la pendiente estructural y que su condición crítica se alcanza cuando el material presenta valores de resistencia menores a $8t/m^2$ para la cohesión y de 30° para el ángulo de fricción.

Para el control de instrumentación se instaló el mojón 20 y se llevó registro fotográfico. El mojon No 20 mostró en la horizontal, estabilidad durante el proceso de monitoreo, arrojando en sus movimientos acumulados rangos de 1 mm. En los movimientos verticales mostró asentamientos de 8 mm.

Se considera que esta zona pueda afectar a las construcciones de las viviendas ubicadas en la parte baja de la Cantera Sur, así como las del barrio el Espino III sector. Posible afectación a la Cantera Sur por desprendimiento de bloques de gran tamaño causadas por inestabilidad de masas de tamaño considerable cargadas de bloques de material fracturado.

Debido a la relativa estabilidad del sector, la rata de movimiento es de menos de 1mm/mes con una dirección hacia el sur-este, afectando inicialmente a las viviendas más cercanas a esta parte de la ladera.

Se considera que de continuar la ocupación de la parte alta del escarpe, de reiniciarse el proceso de explotación del material o de presentarse un sismo de magnitud media (4 – 5° en la escala de Richter), puede presentarse caída de estos bloques.

De lo anteriormente expresado y con el fin de llegar al detalle, sería necesario elaborar un estudio Sísmico, para llegar a determinar tanto el radio en que podría estar el epicentro del movimiento, como las aceleraciones que podrían desestabilizar la ladera, datos que no están dentro de los alcances del presente informe.

10.1.5 Fuente No. 5

Para esta zona se confirmó el mecanismo de falla consignado en el informe geotécnico de la zona, el cual consiste en un falla planar.

La evidencia de los movimientos indica que el potencial de falla es alto y que se debe presentar un deterioro de las características geomecánicas de los materiales que conforman el talud.

Los resultados del retroanálisis arrojaron que la condición crítica se alcanza cuando el material presenta valores de resistencia menores a $9t/m^2$ para la cohesión y de 30° para el ángulo de fricción.

Como consideración adicional, se observa que el comportamiento de los Inclinómetros a profundizar el movimiento hace que la formación de bloques se vaya incrementando con el tiempo y desconfinando materiales mas profundos.

Como control de instrumentación se instalaron los mojones Nos. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 17, 18 y 19, piezómetro 1 y 2, e inclinómetros 1 y 2. Los mojones muestran movimientos acumulados de orden de 6 a 12 mm. Los piezómetro no han presentado ninguna evidencia del nivel freático.

El inclinómetro No. 1 presenta evidencias de movimiento toda vez que durante el periodo de control mostró su tendencia progresiva hacia el talud, con un valor acumulado a la última lectura de 33mm.

El inclinómetro No. 2, presentó sus movimientos en el sentido del talud, con registros acumulados de 40 mm.

Esta zona muestra actividad continua con desplazamientos importantes de masa y volcamiento de bloques sobre los estratos subyacentes que han quedado descubiertos y muy posible afectación a las viviendas ubicadas en la parte baja de la Cantera Santa Rita, así como el posible taponamiento por vertimiento de materiales a la Quebrada Santa Rita. También puede haber extrapolación del movimiento hacia la parte alta, afectando la zona de amenaza # 8.

De lo anterior se confirma la afirmación que se hace en el estudio de Civilis Ltda – Hidroconsulta Ltda, en donde se concluye que el deslizamiento de suelo y roca sobre la parte alta de la cantera Santa Rita se caracteriza por presentar una planta semicircular, con un radio aproximado de unos 60 metros y una alta presencia de grietas de tracción en su cuerpo. Este fenómeno de inestabilidad presenta tendencia retrogresiva que puede extenderse hacia la vía. El deslizamiento de los materiales

corresponde a falla planar, puede causar además un volcamiento de bloques del estrato sobre el cual se presenta el movimiento, incrementando el volumen desplazado en caso de colapso, aproximadamente 81.000m^3 . (Párrafo tomado del estudio de Civiles).

10.1.6 Fuente No. 6

Esta zona, que es un relleno efectuado de forma poco técnica, y se trata de una amenaza potencial de colapso de los materiales depositados.

Como control de instrumentación se llevó a cabo registro fotográfico y se instaló la niveleta 1C que presentó movimientos totales de 5mm con un dirección de desplazamiento Nor - Este.

Para concluir esta es una zona de relleno, emplazada en una depresión que representa una fuente de amenaza potencial, ya que se sigue con el botado de materiales, ya sea en su parte alta o en el fondo.

Como no se ejerce ningún tipo de control sobre la actividad de relleno, los materiales depositados allí son heterogéneos, constituidos por desechos de explotación minera y de construcción.

10.1.7 Fuente No. 7

Al igual que para la Fuente No. 2, en esta zona involucra un mecanismo de falla por volcamiento de los bloques superficiales. Este mecanismo fue confirmado, obteniendo una distancia a la cual caerían los bloques de 10 a 15m de la base del talud.

Como control de instrumentación se instalaron los mojones Nos. 1 y 2, las niveletas 1A, 2A, 3A, 4A Y 5A quedó referenciado el GPS-44.

Los mojones 1 y 2 presentaron movimientos acumulados de 6 a 8mm en dirección Nor-Este. El control estructural de las casas se realizó en las casas # 11, 12 y 20 no mostraron evidencia de movimiento.

Los fenómenos de remoción en masa asociados a esta zona afectarían el cauce de la Quebrada Santa Rita generando taponamiento, afectando las zonas habitadas aguas abajo. Adicionalmente si la zona del relleno es objeto de urbanización se afectarían las viviendas que allí se construyan.

10.1.8 Fuente No. 8

Deslizamiento por falla planar en la ladera localizada al occidente de la vía de acceso a los barrios de la parte noroccidental alta.

Los retroanálisis realizados confirmaron que el fenómeno presentado se ajusta a un deslizamiento a lo largo de la pendiente estructural. Los valores de resistencia críticos son de $9t/m^2$ para la cohesión y de 30° para el ángulo de fricción.

Se confirma con la instrumentación la conformación del mecanismo de falla y su clasificación como zona de amenaza en movimiento.

Se han instalado en esta zona el mayor número de puntos de control y niveletas así: Mojones de control Nos. 10, 11, 13, 14, 15, 16, 28 y 29, El inclinómetro # 3 y las niveletas Nos. 1, 3, 5, 7, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49 y 50.

Se presentaron movimientos de los mojones del orden de 5 a 21mm en dirección Nor-Este siendo el No. 12 el mojón con mayor registro con 21mm.

La amenaza por falla planar se debe a que hay vertimiento de agua sobre estos estratos, esto puede afectar en determinado momento la competencia de la roca, esencialmente de los estratos de arcilla caolinítica que afloran en el sitio. El colapso del macizo tendría carácter retrogresivo, afectando las viviendas construidas sobre él. La zona del corte ha sido aprovechada, además, para depositar desechos de explotación minera, los cuales han sido botados o empleados en nivelar la vía, en la cual es posible observar dos sitios en que se produce apozamiento e infiltración del agua a los estratos inferiores del macizo, toda vez que la profundidad del corte es de unos 20 m. Esta situación ha generado una zona de inestabilidad en la Cantera Santa Rita. (Párrafo tomado del estudio de Civiles)

La Tendencia del movimiento se presenta de dos formas: La parte Sur de la zona de amenaza # 8, constituida por el barrio el Espino I sector presentó un movimiento en las niveletas Sur-Este , con registros de hasta 15 mm. La parte norte de la zona, en el barrio Cerro del Diamante presentó un movimiento dirigido hacia el nor-este con registros de hasta 21mm. El inclinómetro presentó un movimiento acumulado de 56mm.

La disposición estructural de los estratos de arcillolita y arenisca es favorable a la inestabilidad, por lo que esta tiene control estructural. La litología del talud guarda continuidad con los materiales involucrados en la fuente de amenaza No 5. (Párrafo tomado del estudio de Civiles).

10.1.9 Resto de la ladera No. 9

Esta zona corresponde el resto de la ladera que no se encuentra afectada por procesos activos. No presenta movimientos.

10.1.10 Sector No. 10

Consideramos que hay un sector de potencial amenaza y que lo catalogamos como el sector No. 10 y es una combinación de 3 zonas de amenaza.

Está localizada en la parte plana de la zona de la cantera sur, entre las zonas de amenaza No. 3, 4 y 5, y que corresponde a la ampliación de las fallas de tipo planar que están siendo afectadas por la explotación de las canteras y que se terminarán uniéndose.

10.2 EVALUACIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN

De acuerdo con lo obtenido en el numeral anterior, se confirman las hipótesis de falla planteadas en el informe geotécnico de referencia de la firma Civiles, por lo tanto, las medidas que ellos plantearon siguen siendo válidas.

Sin embargo, se recomienda la elaboración de un estudio para evaluar alternativas económicas de estabilización que detengan o retrasen el proceso actualmente activo.

En las zonas donde el mecanismo de falla corresponde a un deslizamiento a lo largo de la pendiente estructural, dada la profundidad del material afectado incluso más de 6 m se considera viable la implementación de soluciones como información a la comunidad, señalizaciones, limpieza y desabombe y recopilar más información de tipo topográfica e incluir un inclinómetro en la zona de amenaza # 1.

También es importante hacer un estudio evaluativo sobre medidas de contención, por lo anterior, las obras a realizar deben involucrar los estratos de material por debajo de la zona en movimiento.

Para lo cual se propone la conformación de muros de contención, caissons de contención o la implementación de anclajes.

Para las zonas donde el mecanismo de falla involucra la caída de bloques, se recomienda la realización de trincheras o zanjas, las cuales sirven de trampa para los bloques. Adicionalmente, se aconseja realizar un retiro de los bloques sueltos y la conformación de un muro de concreto lanzado con pernos, en los sitios más críticos.

Es indispensable realizar programas de información a la comunidad, poner señalizaciones y evaluar alternativas económicas de solución.

11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1 METODOLOGÍA

El estudio se ha realizado basado en un informe preliminar realizado por la firma Civiles y para ello se llevó el siguiente procedimiento:

1. Se hizo un reconocimiento de campo descrito en el numeral 1.4.1, un reconocimiento geológico descrito en el numeral 1.4.2, se implementó un programa de instrumentación el cual constó de 4 inclinómetros colocados en las zonas de amenaza 3, 5 y 8 para verificar el movimiento y se llevó a cabo un seguimiento de toma de lecturas semanalmente. Se colocaron 33 mojones en las

zonas de amenaza 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 8 se realizaban campañas topográficas cada quince días para completar 11 campañas más la inicial.

2. Se realizó un registro fotográfico mensual en todas las zonas de amenaza.
3. Se llevó a cabo un análisis geotécnico donde se verificaron los mecanismos de falla, se identificó un deslizamiento de tipo rotacional para las zonas 1, 3 y 4, un deslizamiento a lo largo de la pendiente en las zonas 3 y 8, un fenómeno de volteo en las zonas 2 y 7 y una falla planar en las zonas 5, 10. Ver numeral 4.
4. Se realizó un control estructural para 20 puntos de los cuales 18 eran viviendas y 2 puntos externos y se llevaba un seguimiento cada 15 días y se comprobó que ninguno de los puntos presentaba movimiento. Ver numeral 5.
5. Durante la realización del monitoreo se implementa junto con la Interventoría un sistema de alarma para medir el posible riesgo de la zona afectada.
6. Como resultado del control topográfico y de instrumentación se detectaron seis zonas de movimiento, cinco de las cuales presentan actividad como se muestra en la figura 11.

11.2 ZONAS DE AMENAZA E INESTABILIDADES:

1. Partiendo de las condiciones encontradas en campo y de la geometría del terreno a la fecha del análisis, se estudiaron diferentes tipos de falla, que confirman las hipótesis del fenómeno planteado en el estudio de evaluación de amenazas elaborado por Civiles Ltda. Ver Figura No. 10 Anexo No. 1

2. De dichos análisis se encontró que el fenómeno de inestabilidad que afecta a todas las zonas de amenaza, se han definido como falla planar, corresponde a una de tipo infinito (donde la longitud de falla es mucho mayor que el espesor de la masa inestable). También se destacan el volcamiento y caída de bloques; y el deslizamiento rotacional.
3. Además de las nueve (9) zonas de amenaza propuesta y que se confirman con este informe, consideramos que existe un nuevo sector, localizado en la parte plana de la zona de la cantera sur, entre las zonas de amenaza No. 3 y 4, y que corresponde a la ampliación de la afectación de la falla planar . Ver Figura No. 10 Anexo No.1
4. A la fecha no se presentan evidencias de daño significativos en ninguna de las viviendas de control estructural. Esto puede deberse a que a hoy la magnitud de los movimientos no alcanza a afectar las vivienda y a que el movimiento presentado es de carácter masivo y las viviendas pueden estar “navegando” sobre el.

11.3 ALTIMETRÍA Y PLANIMETRÍA E INSTRUMENTACIÓN:

1. Se ha llegado a establecer la magnitud, direcciones y tendencias de deformación o movimientos tanto relativos entre campañas como movimientos acumulados de los puntos de control y de los aparatos de instrumentación.. Ver Figura 9 A del anexo No. 1. Como conclusión de este aspecto se presenta en la Figura No. 11 del anexo No. 1 la planta general de tendencias.
2. La clasificación de los movimientos se determinan por la lectura de los Inclínómetros, debido a su buena precisión y se complementa la información con

la puntos de control topográfico para definir su correspondiente área de influencia .

3. Con el fin de confirmar los movimientos presentados durante las campañas de topografía, se realizó un chequeo de las coordenadas de los BM's, utilizando un GPS. Como resultado de este chequeo se obtuvo la verificación de No movimiento de los BMS de control

11.4 SEGUIMIENTO DE GRIETAS

Los resultados que arrojó el seguimiento de las grietas ubicadas en la parte alta de la zona de amenaza, en donde los movimientos de abertura de grietas reportaron rangos de 5 a 8mm/semana. Valores que indican que los movimientos de deslizamiento de los materiales depositados en la zona, ocasionados por la falla rotacional presente, han mantenido su actividad.

Para correlacionar los datos del seguimiento de grietas, se colocaron adicionalmente tres mojones en el sector (No. 31, 32 y 33), que para confirmación de la actividad de la zona, arrojaron movimientos de 12, 14 y 22mm respectivamente, en un lapso de 2 meses.

11.5 SISTEMAS DE ALARMA

Se entrega dentro de presente informe un diseño preliminar del programa de alerta y aviso. Es de destacar que este programa propone, además de entregar los rangos y velocidades de movimiento, algunas recomendaciones de actividades a realizar ante la ocurrencia de cada uno de los eventos (cambios de alerta), actividades estas que pueden ser preventivas, correctivas o complementarias

Debido a que los movimientos mas importantes corresponden a las fallas masivas de tipo planar, las condiciones de alerta se definen principalmente por el comportamiento de ese mecanismo y serán controlados por las lecturas de los Inclínómetros que se consideran mas exactas.

Con base a las definiciones planteadas de los sistemas de alarma se propone lo siguiente:

En zonas pobladas

Alerta Amarilla: (< 4 cm)

Alerta Naranja: (deformaciones mayores de 4 cm y < 10 cm)

Alerta Roja: (Deformaciones mayores de 10 cm y posible afectación estructural a viviendas) Iniciar campañas de capacitación sobre evacuación de viviendas, auto evaluación estructural y monitoreo estructural continuo sobre viviendas cercanas a la zona monitoreada.

En zonas No pobladas

Alerta Amarilla: (< 10 cm) continuar con las lecturas y seguimiento continuo

Alerta Naranja: (deformaciones mayores de 10 cm y < de 20 cm) hacer evaluación de la posibles extensión de las zonas de afectación, y efectuar estudios complementarios sobre medidas preventivas y de control de estabilidad. Se considera conveniente evaluar económica y socialmente las alternativas de estabilización contra reubicación de la población afectada.

Alerta Roja: (Deformaciones mayores de 20 cm y posible afectación estructural de viviendas) Iniciar campañas de capacitación sobre evacuación de viviendas, autoevaluación estructural y monitoreo estructural continuo sobre viviendas cercanas a la zona monitoreada.

Se debe tener en cuenta, que el Inclímetro No. 3 ya ha alcanzado la alerta Naranja y en los próximos 4 a 6 meses se podría estar alcanzando la alerta roja. Sin embargo, para definir el paso de alerta, se tendrán en cuenta las afectaciones a las viviendas cercanas.

11.6 MONITOREO Y ESTUDIOS ADICIONALES

Con los resultados obtenidos se estima que el área de viviendas puede verse afectada de manera significativa en un plazo del orden 8 meses a un año y por lo tanto se sugiere efectuar algunas medidas de control adicional como las siguientes:

- Continuar con el monitoreo por un periodo complementario de al menos 1 año de manera que se confirmen o no las tendencias de movimientos y se alerte con tiempo las diferentes alarmas.
- Completar la información de Inclímetros en la zona de amenaza 1
- En caso que el inclinómetro No. 2 pierda su empotramiento se podrá instalar un nuevo inclinómetro a una profundidad de 20 m para la zona de amenaza No. 5.
- Se recomienda realizar una investigación geotécnica adicional con la excavación de caisson de exploración.

11.7 POSIBLES SOLUCIONES

- Efectuar estudios de posibles alternativas de contención, para evaluar económica y socialmente contra la alternativa de reubicación.
- Realizar programas de información a la comunidad.
- Hacer un programa de señalización en la zona.
- Prohibir la explotación artesanal de la Cantera Sur.
- Limpieza y Desabombe de los taludes de las zonas de amenaza 2, 4, 7 y 8.
- Evaluación de medidas de contención como muros anclados, caissons de exploración entre otros.

12 BIBLIOGRAFIA

- “Slope Stability and Stabilization Methods” por Lee W. Abramson y Tomas E. Lee Wiley-Interscience Publication. 1996.
- Transportation Research Board National Academy of Sciences en su libro “Landslides Analysis and Control”
- Estudios geotécnicos, evaluación de alternativas de medidas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar la zona de estudio, con el Consorcio Civiles Ltda – Hydroconsulta Ltda

13 ANEXOS

Adicionalmente a lo indicado, se presenta a continuación la relación de anexos complementarios:

Anexo 1	Figura 1:	Localización general
	Figura 2:	Localización de instrumentación
	Figura 3:	Localización de instrumentación con topografía
	Figuras 4 a 7:	Gráficas Inclínómetros
	Figura 8:	Cortes
	Figuras 9:	Presentación esquemática de movimientos.
	Figura 9 A:	Presenta desplazamientos acumulados
	Figura 10:	Zonas de amenaza.
	Figura 11:	Tendencias de movimientos
	Figura 12 :	Plano geológico
	Figura 13 :	Perfiles estratigráfico, resultados de laboratorio y perfiles
	Figura 14 :	Resumen General zonas de amenaza.

Anexo 2	Cuadro No 1	Cartera de Topografía – Planimetría.
	Cuadro No. 2	Carteras de topografía – Planimetría.
	Cuadro No. 3	Formatos de seguimiento de campañas – Planimetría.
	Cuadro No. 4	Movimientos Relativos entre campañas. – Planimetría.
	Cuadro No. 5	Formatos de seguimiento de campañas – Altimetría.
	Cuadro No. 6	Movimientos Relativos entre campañas. – Altimetría.
	Cuadro No. 7	Localización puntos de control estructural
	Cuadro No. 8	Formatos de control estructural.
	Cuadro No. 9	Certificados de calibración de aparatos.

DISEÑO INSTALACION Y MONITOREO PARA ZONAS INESTABLES EN EL BARRIO EL ESPINO - CIUDAD BOLIVAR

INFORME FINAL

TABLA DE CONTENIDO

1	GENERALIDADES	1
1.1	ANTECEDENTES DEL PROYECTO	1
1.1.1	<i>Topografía</i>	3
1.1.2	<i>Clima</i>	3
1.1.3	<i>Geología</i>	3
1.2	ALCANCES DEL ESTUDIO	5
1.3	METODOLOGÍA	6
1.4	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS	7
1.4.1	<i>Reconocimiento de Campo</i>	8
1.4.2	<i>Reconocimiento Geológico</i>	9
1.4.3	<i>Diseño del programa de Instrumentación</i>	10
1.4.4	<i>Control de Instrumentación</i>	14
1.4.5	<i>Levantamientos Topográficos</i>	14
1.4.6	<i>Investigación del Subsuelo</i>	17
1.4.7	<i>Reportes mensuales de seguimiento</i>	17
1.5	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	18
1.5.1	<i>Fuente No. 1 Deslizamiento de materiales</i>	18
1.5.2	<i>Fuente No. 2 Caída de bloques</i>	18
1.5.3	<i>Fuente No. 3 Deslizamiento, caída de bloques y desechos de explotación</i>	19
1.5.4	<i>Fuente No. 4 Deslizamiento, caída de bloques y desechos de explotación</i>	19
1.5.5	<i>Fuente No. 5 Falla Planar en la cantera Santa Rita</i>	20
1.5.6	<i>Fuente No. 6 Amenaza potencial en rellenos de botadero</i>	20
1.5.7	<i>Fuente No. 7 Caída de bloques en el talud norte de la Quebrada Santa Rita</i>	20
1.5.8	<i>Fuente No. 8 Falla Planar</i>	21
1.5.9	<i>Resto de la ladera No. 9</i>	21
2	CONTROL TOPOGRAFICO	21
2.1	JUSTIFICACIÓN.....	21
2.2	CARACTERÍSTICAS Y LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL	22
2.2.1	<i>Mojones</i>	22
2.2.2	<i>Niveletas</i>	23
2.3	MÉTODO DE TRABAJO	23
3	INSTALACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN	24
3.1	JUSTIFICACIÓN.....	24
3.2	CARACTERÍSTICAS Y LOCALIZACIÓN DE LOS APARATOS INSTALADOS.....	24
3.3	INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO	25
3.3.1	<i>Exploración</i>	25
3.3.2	<i>Estratigrafía</i>	26

4	ANÁLISIS GEOTÉCNICO.....	27
5	CONTROL ESTRUCTURAL.....	28
5.1.1	<i>Justificación</i>	28
5.1.2	<i>Características y Localización de los puntos de control.....</i>	29
5.1.3	<i>Método de trabajo</i>	29
6	SISTEMAS DE ALARMA Y PROTOCOLOS DE AVISO.....	29
6.1	MOJONES Y NIVELETAS	30
6.2	INCLINÓMETROS	30
6.3	PIEZÓMETROS	30
6.4	CONTROL ESTRUCTURAL.....	31
7	RESULTADOS DEL CONTROL TOPOGRAFICO Y CAMPAÑAS DE INSTRUMENTACION	31
7.1	RESULTADOS DEL CONTROL TOPOGRÁFICO	31
7.1.1	<i>Altimetría.....</i>	32
7.1.2	<i>Planimetría.....</i>	33
7.2	RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE INSTRUMENTACIÓN.	34
7.2.1	<i>Inclinómetro No. 1.....</i>	34
7.2.2	<i>Inclinómetro No. 2.....</i>	35
7.2.3	<i>Inclinómetro No. 3.....</i>	35
7.2.4	<i>Inclinómetro No 4.....</i>	36
7.2.5	<i>Piezómetro No. 1.....</i>	36
7.2.6	<i>Piezómetro No. 2.....</i>	36
7.3	TENDENCIAS O RESULTANTES DE MOVIMIENTOS	37
7.3.1	<i>Inclinometro No. 1.....</i>	37
7.3.2	<i>Inclinómetro No. 2.....</i>	37
7.3.3	<i>Inclinometro No. 3.....</i>	37
7.3.4	<i>Inclinometro No. 4.....</i>	38
7.3.5	<i>Piezómetros</i>	38
7.4	CONTROL SEGUIMIENTO DE GRIETAS.....	38
8	RESULTADOS DEL CONTROL ESTRUCTURAL.....	39
9	DEFINICION DEL PROGRAMA DE MONITOREO A MEDIANO Y LARGO PLAZO	40
10	GENERACIÓN Y ANÁLISIS DEL MODELO GEOTÉCNICO Y EVALUACIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN.....	41
10.1	GENERACIÓN Y ANÁLISIS DEL MODELO GEOTÉCNICO	41
10.1.1	<i>Fuente No. 1.....</i>	42
10.1.2	<i>Fuente No. 2.....</i>	43
10.1.3	<i>Fuente No. 3.....</i>	44
10.1.4	<i>Fuente No. 4.....</i>	45
10.1.5	<i>Fuente No. 5.....</i>	46
10.1.6	<i>Fuente No. 6.....</i>	48
10.1.7	<i>Fuente No. 7.....</i>	48
10.1.8	<i>Fuente No. 8.....</i>	49
10.1.9	<i>Resto de la ladera No. 9.....</i>	51
10.1.10	<i>Sector No. 10.....</i>	51

10.2	EVALUACIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN	51
11	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
11.1	METODOLOGÍA	52
11.2	ZONAS DE AMENAZA E INESTABILIDADES:	53
11.3	ALTIMETRÍA Y PLANIMETRÍA E INSTRUMENTACIÓN:	54
11.4	SEGUIMIENTO DE GRIETAS	55
11.5	SISTEMAS DE ALARMA	55
11.6	MONITOREO Y ESTUDIOS ADICIONALES	57
11.7	POSIBLES SOLUCIONES	57
12	BIBLIOGRAFIA	58
13	ANEXOS	58