DISEÑO DE LA INSTRUMENTACION PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL DESLIZAMIENTO EN LA CUENCA DE LA QUEBRADA LA CARBONERA LOCALIDAD CIUDAD BOLIVAR

INFORME No. 1

1. INTRODUCCION

En este informe se presenta el diseño de la instrumentación para el monitoreo y seguimiento del deslizamiento en la cuenca de la Quebrada la Carbonera propuesto por la firma INGEMETRICA LTDA. dentro del contrato de consultoría No. CCS –547/99.

La zona de estudio se localiza al sur de Santa Fe de Bogotá y comprende el área entre las quebradas Los Rosales y La Carbonera desde su punto de confluencia hasta la cima de la ladera donde comienza la plataforma que se extiende hacia el sur y occidente. En la zona se han desarrollado los siguientes barrios: San Antonio, Santa Helena, Santo Domingo, Santa Viviana, Vista Hermosa, la Carbonera y Perdomo Alto. En la figura 1 se presenta un esquema de localización general.

En el documento se describen, entre otros, los siguientes aspectos: análisis de la información; predicción de los mecanismos que controlan el comportamiento; programa de instrumentación que incluye: objetivos, parámetros a medir, localización, toma, captura análisis y presentación de la información; modelo y programa de monitoreo estructural y definición preliminar de sistemas de alarmas y protocolos.

Es importante señalar que el diseño se ha efectuado acatando los lineamientos de los términos de referencia.

2. ANALISIS DE LA INFORMACIÓN

En el presente estudio se ha considerado en forma primordial el proyecto realizado por la firma Ingeniería y Geotecnia Ltda, de septiembre de 1999 (ref. 1) cuyo objeto fue el estudio geotécnico, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar la cuenca de la Quebrada la Carbonera. También se han tenido en cuenta los informes y estudios anteriores efectuados por la misma firma, así como la cartografía y fotografías aéreas existentes del lugar.

Conjuntamente con el análisis de la información se hicieron una serie de visitas técnicas al lugar para reconocer, comprender y confirmar la naturaleza de los diferentes problemas de inestabilidad del terreno. A través de ellas también se confirmo la conveniencia de la localización de los diferentes puntos de control topográfico y de la instrumentación.

2.1. CARACTERISITCAS GEOLOGICAS Y GEOTECNICAS

En la referencia 1 se puede encontrar una descripción más detallada de los aspectos tratados en este numeral. Se hace a continuación una síntesis de tal descripción:

La ladera objeto del estudio presenta hacia la parte más alta afloramientos de arenisca tierna (Ksgt) correspondientes a la formación Guadalupe. En contacto normal se encuentra la formación Guaduas (KTg), la cual conforma una pendiente estructural en las intercalaciones de arenitas y arcillolitas de su conjunto inferior (Ktgi), ahora afectado por deslizamientos activos, surcos de erosión y cárcavas. Sobre estas unidades se encuentran depósitos cuaternarios tales como: coluvial (Qcl), fluvio Glacial (Qfg), flujos mixtos (Qfm), depósitos antropicos y paleosuleos orgánicos.

Un aspecto geológico muy desfavorable a la estabilidad es el buzamiento de los estratos el cual coincide con la pendiente topográfica, ambos en general hacia el noreste, agravada por la presencia de materiales débiles sobre firmes y con pendientes cercanas al ángulo de fricción interna

Los depósitos de coluvión están conformados por bloques grandes y medianos, y fragmentos angulares de arenita en una matriz limo arcillosa. Los bloques y fragmentos de roca provienen de la parte superior del grupo Guadalupe. En algunos sitios el coluvion descansa sobre una capa de humus y de nuevo se presenta una delgada capa de coluvión.

Los depósitos mixtos están asociados principalmente al valle de la quebrada Los Rosales, constituidos por materiales mixtos de suelos blandos, de color oscuro y material de relleno que fueron movidos por corrientes.

Los depósitos Fluvio-Glaciares son una mezcla de materiales irregulares donde predomina los bloques grandes angulares de restos del grupo Guadalupe, inmersos en una matriz areno limosa erosionada. Se presentan en el costado sur occidental del área de estudio en la parte alta y cubre parcialmente la formación arenisca tierna (Ksgt), y las arcillolitas del conjunto inferior de la formación Guaduas (KTg) rellenando algunas depresiones.

Los depósitos de escombros de relleno, cubren buena parte del área de estudio donde se encuentran las rocas de la formación Guaduas y están asentados los barrios San Antonio, Vista Hermosa y parcialmente Santa Viviana. Se componen de guijos y cantos angulares de cuarzoarenita de grano fino, dentro de una matriz variable algunas veces areno arcillosa amarilla y otras veces de aspecto terroso color oscuro, mezclado con basura.

Los depósitos antropicos se encuentran en la ladera de la quebrada la carbonera y se componen de desechos no dispuestos técnicamente.

En general los depósitos de ladera debido a su constitución en parte arenosa están bien drenados, son poco cohesivos y en gran parte provienen de erosión y transporte torrencial durante lluvias de alta intensidad. Muestran inestabilidad moderada en sectores del barrio Santo Domingo y acentuada en el barrio Santa Vivviana. Presentan mejores condiciones en el barrio santa Helena y en otros sectores del Santo Domingo.

La estabilidad de estos depósitos y de los suelos presentes en toda el área de estudio está afectada por filtraciones de agua provenientes de los sistemas de acueducto precarios o inexistentes y de las aguas servidas que son conducidas inadecuadamente y en muchos casos descargadas directamente sobre la ladera. Adicionalmente, es de anotar que las antiguas excavaciones efectuadas para la explotación de materiales de cantera son causa fundamental de los problemas de estabilidad que a lo largo del tiempo se han presentado. También ha coadyuvado a la inestabilidad el urbanismo descontrolado de la zona con la consecuente reconformación del terreno.

Teniendo en cuenta que en el estudio reviste un especial interés conocer la naturaleza de los procesos y los mecanismos que controlan su comportamiento se presenta a continuación una descripción de ellos.

- El más importante de los movimientos se registra en el sector de Vista Hermosa, que de acuerdo con el estudio de la ref. 1 tiene una longitud de 200 m y un ancho promedio de 50 m, con dirección noreste y presenta escarpes de 3 a 4 m de altura y grietas de tracción que evolucionan rápidamente con la lluvia y las aguas provenientes de las viviendas. El fenómeno es de carácter retrogresivo ladera arriba con superficie de falla combinada, traslacional en los 2/3 inferiores y rotacional en la parte superior bastante inclinada, generando escarpes casi verticales sobre el material coluvial. La parte inferior de la masa deslizante choca contra las viviendas existentes y se ve sometida al empuje de la masa superior, lo que ha generado el debilitamiento y casi el colapso de estas estructuras y por ende su evacuación. En el tercio medio se presentan levantamientos y hundimientos, grietas longitudinales y transversales y un fuerte escarpe en el flanco del lado de la quebrada la carbonera. De acuerdo con las perforaciones efectuadas en esta zona el material de relleno es en la parte media e inferior de la masa deslizante cercana a los 10 m de espesor y se hace más delgada en la parte superior. Subyace a este deposito las rocas estratificadas de la formación guaduas inferior. Se presume que el deslizamiento se produce a lo largo del contacto entre el coluvión y la roca. La tasa de movimiento asignada a este proceso en el estudio de la ref. 1 es de 1.5 m/mes a 1.5 m/día

- Aledaños al movimiento anterior dentro del mismo barrio Vista Hermosa se presentan una serie de deslizamientos que han afectado las edificaciones causando su demolición y evacuación. En

la parte superior de estos procesos se observan escapes de 1 a 3 m de altura y grietas de tracción tanto atrás del escarpe principal como en el interior del cuerpo deslizante. De acuerdo al mapa de velocidades del estudio de la ref. 1 la tasa de movimiento corresponde a flujo de tierras lento según la escala de velocidades de Varnes(1.5 m/año a 1.5 m/mes)

- En el barrio San Antonio y casi cubriendo toda el área se presenta un problema complejo con predominio de flujo de tierras y con subzonas con diferentes tasas de movimiento. En la parte alta del barrio San Antonio se evidencian grietas de tracción con abertura entre 5 y 20 cm y diferencias de alturas de 15 a 70 cm correspondientes a un antiguo escarpe producido por un frente de explotación de material de cantera y que pone en evidencia un importante movimiento con dirección noreste del material que ha sido reconformado para los procesos de urbanización. Este fenómeno ha afectado a varias viviendas localizadas en las manzanas altas del barrio San Antonio y daños ligeros a aquellas ubicadas en áreas más bajas. Esta zona en el mapa geomorfologico (ref. 1) aparece descrito con la letra J. Ahí se podrá encontrar una descripción más detallada.

- En el barrio Santa Viviana se distinguen zonas en procesos de reptamiento general formados por coluvión de poco espesor. En los sitios en donde se produce infiltración de las aguas el movimiento se intensifica. En el mapa geomorfologico de la ref. 1 se ilustra estos procesos

- En el barrio Santo Domingo se distinguen también diferentes zonas con procesos de reptamiento general (< 6 cm/año) y flujo de tierras muy lento (6 cm a 1.54 m/año) especialmente. También se evidencia hacia el costado occidental del barrio una zona con movimiento caracterizado como flujo de tierras lento (1.5 m/año a 1.5 m/mes) donde existen nacimientos de agua que alimentan la quebrada los rosales.

- Sobre la margen derecha de la quebrada La Carbonera en el barrio Perdomo Alto y cerca de la confluencia con la quebrada Los Rosales se presentan una serie de movimientos con dirección hacia el cauce y hacia uno de los accesos del barrio, afectando algunas viviendas. Estos

movimientos se producen debido al agua proveniente de las edificaciones afectadas y por el desconfinamiento de la ladera producida por el socavamiento de la margen derecha.

Adicional a los procesos anteriormente descritos caracterizados como deslizamientos y flujos, en el área de estudio también se presenta erosión, carcavamientos, socavación y problemas en las corrientes de agua.

La erosión es laminar a concentrada en surcos y carcavamientos ocasionados por la esocorrentia superficial y por daños de alcantarillados y zanjas utilizadas para conducción de aguas negras, proceso que se ve favorecido por la naturaleza de los suelos y rocas presentes.

3. PROGRAMA DE MONITOREO

El programa de monitoreo se ha hecho acatando los lineamientos de los términos de referencia en cuanto a los controles y cuantía de los mismos. La instrumentación contempla:

3.1. CONTROL TOPOGRÁFICO.

El control topográfico considera los siguientes puntos de control:

15 mojones de concreto.
60 puntos en viviendas.
25 puntos en sitios como postes, muros, drenajes existentes, vías, etc.

La localización de los puntos se ilustra en el plano anexo y se ha hecho con base en los siguientes criterios:

Los mojones se localizaron intentando cubrir toda el área de estudio, pero haciendo especial énfasis en los procesos con mas movimiento y que representan una mayor amenaza. De esta forma, se propone materializar por lo menos tres puntos en la zona L (según nomenclatura del mapa

geomorfologico de la referencia 1, distribuidos así: un mojón en la corona detrás del escarpe principal y dos dentro de la masa deslizante, alineados en la dirección del movimiento en la parte media del cuerpo. Con respecto al área del barrio San Antonio se propone un mojón en la subzona J_3, otro en la subzona J_2 y un tercero en la parte intermedia del subproceso j_4. En la zona m_1 se propone un punto, quedando sin controlar los procesos m2 y m3 que también revisten importancia por su movimiento. Para cubrir el área del barrio Santa Viviana se ha considerado un punto en la parte intermedia del subproceso b1 y otro en la parte intermedia del subproceso c_1. En el área del barrio Santo Domingo se ha considerado un mojón en la zona f2, uno en el proceso D, uno en la parte superior del proceso e_3 que afecta también parte del barrio Santa Helena. Adicionalmente, se han considerado dos puntos en zonas potencialmente inestables pero que no presentan actividad: uno localizado en limites del barrio San Antonio cerca al canal transversal y otro en la escuela del barrio Santa Helena. Para efectos de adelantar los trabajos topográficos se sugieren en total 4 puntos de referencia fijos, a partir de los cuales se hará la toma de coordenadas y cotas. Estos puntos quedan fuera del área de estudio en zonas estables y con bastante visibilidad hacia los demás puntos de control topográfico.

Algunos puntos se han ubicado de tal manera que determinen dos secciones transversales con dirección NE-SW, que atraviesan el área de estudio en la parte alta y media tal como se ilustra en el plano adjunto. También se ha pretendido que queden alineados en la dirección de la pendiente topográfica.

Es importante anotar que el numero de mojones es insuficiente para hacer un control riguroso de los fenómenos que se presentan en el área y en general de la ladera en estudio Debe observarse que por las limitaciones no es posible monitorear muchas subzonas presentes en el estudio y que las consideradas se controlarán con un numero insuficiente. Seria conveniente que en cada subzona o subproceso se considerará por lo menos tres mojones.

Con esta información se pretende determinar la tendencia de los movimientos y en la medida de lo posible correlacionarla con otras variables de interés tales como el nivel freático y la lluvia.

Los 60 puntos para el control de las viviendas se localizaron en los sitios indicados en el plano y se distribuyeron teniendo en cuenta los diferentes subprocesos que ocurren, el tipo de vivienda y buscando una distribución conveniente sobre toda el área. Estos puntos se materializarán preferiblemente sobre anden y/o piso de la vivienda con clavos de acero firmemente anclados.
Con el control topográfico de las viviendas se pretende determinar la evolución del fenómeno en forma global (al nivel de edificaciones) y establecer cuales deben ser objeto de medidas o de un control más riguroso.

Los otros 25 puntos se ubicarán en las obras próximas a construir en el sector de Vista Hermosa y en los agrietamientos más importantes para hacer su control.

Los trabajos topográficos se ejecutarán con estación total y nivel de precisión acatando los lineamientos dados en los términos de referencia. La toma de coordenadas y cotas en cada campaña se hará amarrando la información a las coordenadas del IGAC. La información de campo se procesara en oficina mediante programas computarizados y se presentará en cuadros debidamente elaborados. La información primaria que saldrá de cada campaña topográfica serán las coordenadas y cotas de los puntos. A partir de ellas se calcularán los desplazamientos diferenciales y acumulados en cada una de las direcciones, el gradiente y el vector resultante lo cual se mostrará gráficamente y en cuadros.

Es importante anotar que con el control topográfico de las viviendas se intentará medir su desplazamiento, el cual puede ser diferente al que presente el suelo de apoyo. Lo anterior es cierto debido a que el movimiento puede deberse en parte a efectos locales y en parte al proceso de deslizamiento. En conclusión la respuesta de las edificaciones en cuanto al movimiento puede ser muy diferente a la que registre la masa de suelo inestable.

Los puntos sobre las obras proyectadas en el sector de Vista Hermosa se materializarán y monitorearán tan pronto como se construyan.

3.2. CONTROL MEDIANTE INCLINOMETROS.

El proyecto contempla la instalación de cuatro (4) inclinometros. Es de destacar que dada la magnitud, complejidad y extensión de los fenómenos este numero es insuficiente y solo permitirá monitorear en forma parcial uno o dos procesos.

La localización se hizo teniendo en cuenta la amenaza de los diferentes procesos, la vulnerabilidad de la zona de influencia directa, conociendo su naturaleza y buscando monitorear áreas donde los fenómenos ponen en riesgo a los habitantes. Se propone colocar un inclinometro en el deslizamiento activo del barrio Vista Hermosa localizado en el tercio superior del deslizamiento hasta una profundidad que cubra los primeros 3 o 4 m de la roca estratificada de la formación Guadas. El segundo inclinometro se ha localizado detrás de la corona del mismo deslizamiento a unos 80 m en predios que corresponden al barrio Santa Viviana.

El tercer inclinometro esta localizado en la parte alta del barrio San Antonio en un punto intermedio de la subzona j3. El cuarto inclinometro se ubicó en la zona intermedia del proceso e_3 que afecta tanto a la parte central del barrio Santo Domingo como un costado del barrio Santa Helena. Es de anotar, que el primer inclinometro se instalará tan pronto como las obras estén concluidas y que el tercer inclinometro convendría instalarlo después de haber realizado algunas campañas de topografía, cuando se conozca mejor la naturaleza del fenómeno y la velocidad de movimiento. En todos los casos los inclinometros quedarán anclados en roca firme no sujeta a movimiento.

Las lecturas se tomarán cada metro, dependiendo de las observaciones precedentes, empezando del fondo hacia arriba y la frecuencia de las lecturas en los instrumentos será de una por semana por lo menos. En los sitios en donde se evidencie mayores inclinaciones (proximidad a la superficie de falla) las lecturas podrán intensificarse cada 50 cm.

Con las lecturas tomadas se elaborarán gráficas que permitan evaluar puntos de quiebre (donde ocurre la falla) y ritmos de desplazamiento a diferentes niveles en gráficas desplazamiento – lluvia - tiempo.

3.3 CONTROL PIEZOMETRICO

Para el control piezometrico se tiene previsto la instalación de cinco (5) piezometros de tubo abierto tipo casagrande o similar. La ubicación se presenta en el plano anexo.
De acuerdo con las perforaciones efectuadas en el estudio previo (ref1), el nivel freático solo se detectó en el sector de Vista Hermosa a profundidades que variaron entre 2.1 m y 4.20 m de profundidad. En el resto de las perforaciones no se evidenció. En el informe de ingeniería y geotecnia Ltda. (ref. 1) también se destaca que en las trincheras ejecutadas se encontró zonas húmedas o saturadas entre 1 m y 3 m de profundidad o en el manto superficial lo que guarda relación directa con las aguas negras provenientes de casas vecinas. El nivel freático de los sondeos probablemente corresponde a agua infiltrada, ya sea agua lluvia y agua de consumo o principalmente por aguas negras, que tienden a saturar la masa superficial de suelo y el material alterado o zona de meteorización. En la zona f2 se observo bastante humedad con nacimientos de agua que alimentan una pequeña corriente.

Teniendo en cuenta lo anterior y la naturaleza de los fenómenos que ocurren en el área se hace la siguiente distribución de los piezometros: dos (2) piezometros en la masa deslizante L del sector Vista Hermosa, localizados en el tercio inferior y en el tercio superior del cuerpo, uno (1) en la zona m3 en la parte media, uno (1) en la zona f2 y el ultimo en la zona j3 del barrio San Antonio.

Estos piezometros servirán para determinar la presión de poros en un determinado estrato o simplemente para medir la fluctuación del nivel freático a lo largo del tiempo y correlacionarla con variables importantes tales como la lluvia y los movimientos.

Los piezometros que quedan ubicados dentro de las áreas en las cuales se va a construir obras, se instalarán tan pronto como estas se concluyan.

3.4. CONTROL HIDROLOGICO

En el lugar es necesario instalar un pluviómetro para registrar la lluvia diaria. Esta información es muy valiosa para establecer la relación entre las magnitudes de lluvia y las dimensiones de los desplazamientos, evaluando incluso el desfase entre los eventos lluviosos y la respuesta del terreno. También es muy importante establecer la presencia de correlación entre los datos hidrológicos y los niveles de agua en el suelo, lo cual se medirá con el control piezometrico.

Con esta información, para cada punto, grupos de puntos o zonas se elaborará la gráfica lluvia - desplazamiento – tiempo.

Con el análisis de esta información es posible evaluar el grado de amenaza, pues es indudable que este depende de la intensidad de las lluvias. Esta evaluación es una herramienta muy importante para ayudar a tomar las medidas preventivas y para conocer la efectividad de las obras de protección o contención que se construyan.

3.5. CONTROL DE AGRIETAMIENTOS.

En las grietas más importantes, principalmente las ubicadas hacia la corona, se establecerá un monitoreo de aperturas y asentamientos mediante toma periódica de lecturas en puntos materializados debidamente a lado y lado de las grietas.

Los desplazamientos que se sucedan darán la información suficiente para sectorizar las grietas por ritmos de abertura, gratificando las zonas más importantes en coordenadas abertura – lluvia – tiempo. Algunos de los 25 puntos destinados a materializarse en obras se utilizarán en este control

4. MONITOREO ESTRUCTURAL DE LAS VIVIENDAS

Debido al gran numero de viviendas habitadas en el área bajo estudio y al alcance del proyecto no es posible monitorear cada una de ellas. Además, es importante reconocer que la tipología es variable, encontrándose desde construcciones con paredes de tabla y techos de paroy, hasta construcciones en bloque con vigas y pisos de cemento, pasando por las casas prefabricadas que constituyen un porcentaje alto de las construcciones. Según la ref. 1 "existen dos sistemas estructurales que son los que predominan en el sector de la cuenca de la quebrada La Carbonera: el sistema mixto con el 44.4 % y el de recuperación con el 45.4%. Las viviendas prefabricadas ocupan un 7.1% del total de las viviendas evaluadas. Adicionalmente no hay una prevalencia general en cuanto a la estructura de placa del piso de las viviendas pues en algunas existe placa de concreto reforzado, otras están construidas en suelo o en mortero , con porcentajes que varían de sector a sector. En cuanto a la estructura de los techos el material predominante es la madera (92.5%)y como una segunda opción se utiliza el concreto reforzado (5%). La cubierta de los techos es en lamina de zinc (83.2%), asbesto cemento (6.8%) y teja(4.7%)".

De lo anterior se deduce que el comportamiento estructural de las viviendas puede ser muy diferente e incluso su respuesta al nivel de esfuerzos, agrietamientos y deformaciones de sus diferentes elementos estructurales.

Teniendo en cuenta todo lo anterior y en especial su cobertura no es muy representativo efectuar este monitoreo, pero creemos que de hacerse deberá concentrarse en aquellas zonas donde las viviendas presenten mayores daños y estén habitadas, con el propósito de definir el nivel de daño y establecer la posibilidad de evacuación de las familias.

Para el monitoreo se escogerá en cada vivienda un elemento estructural representativo y se hará la medición bien sea del pandeo, verticalidad o grieta. La identificación de las viviendas al igual que el tipo de control se hará en conjunto con la interventoría sobre terreno.

Esta información se presentará mediante cuadros y gráficas en la que se muestre la evolución de la medida a lo largo del tiempo y de campaña a campaña.

5. SISTEMA DE ALARMAS Y PROTOCOLOS DE AVISO

En este apartado solo se presentan unas ideas preliminares acerca del sistema de alarmas y protocolos de aviso a implementar en el área bajo estudio.

Es evidente que el sistema de alarmas deberá estar ligado a la evolución de los procesos, los cuales se intentarán monitorear mediante la instrumentación propuesta en el presente documento. Por lo tanto, la información que se registre en las diferentes campañas de medida será esencial para la definición del grado de alarma. El sistema de alarma deberá diseñarse de tal suerte que alerte a la población y a las instituciones responsables de la seguridad de manera oportuna y permita la aplicación de las medidas de contingencia mas apropiadas.

INGEMETRICA LTDA efectuará cumplidamente las campañas de monitoreo con la periodicidad indicada o aún menor si se considerase necesario e informará oportunamente a la UPES sobre los resultados de tales trabajos y sobre la conveniencia de adoptar medidas tendientes a prevenir la ocurrencia de tragedias. En la medida en que se avancen con los trabajos será posible establecer mejor la naturaleza de los fenómenos y la forma de evolución a lo largo del tiempo y su relación con aspectos tales como la lluvia, el nivel freático y los desplazamientos. Una ves se hallan establecido las correlaciones entre las anteriores variables será posible entrar a predecir el futuro comportamiento del fenómeno y por ende el nivel de peligro.

REFERENCIAS

1. Ingeniería y Geotecnia Ltda. Estudio geotécnico, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas Para Estabilizar La Cuenca de la Quebrada La Carbonera. Sept. 1999.