

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE,
Y DE VIVIENDA Y DESARROLLO URBANO**

**VICEMINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO VIAL**

**MONITOREO DE LOS TALUDES DE LA CARRETERA
CA-1, EN LA ZONA DE LOS CHORROS**

**Elaborado por: Fidel Antonio Blanco Urrutia*, Ing. Civil.
Unidad Técnica.
Depto. Investigación y Desarrollo.**

**Edwin Ricardo Alvarenga, Ing. Civil
Gerente, Depto. Investigación y Desarrollo.**

**Coordinador: Daniel Antonio Hernández Flores, Ing. Civil
Director
Unidad de Investigación y Desarrollo Vial.**

REPUBLICA DE EL SALVADOR, FEBRERO DE 2004.

* Laboró en la Unidad Técnica de Investigación y Desarrollo de la Unidad de Investigación y Desarrollo Vial (UIDV) hasta el mes de Julio de 2007

OBSERVACION

El contenido de este informe refleja las opiniones de los Autores, quienes son responsables de los hechos y la exactitud de los datos presentados. El contenido no refleja necesariamente las opiniones y políticas oficiales del Ministerio de Obras Públicas de El Salvador. Este informe no Constituye una norma, una especificación ni regulación.

INDICE

1.0 INTRODUCCIÓN.....	3
2.0 ANTECEDENTES.....	5
3.0 TÉCNICAS DE MONITOREO IMPLEMENTADAS EN LOS TALUDES DE LA CA-1, EN EL TRAMO DE LOS CHORROS.....	11
3.1 Monitoreo del nivel freático.....	11
3.2 Monitoreo Inclinométrico.....	11
3.3 Monitoreo con base en inspecciones Visuales.....	16
4.0 VISITAS DE CAMPO REALIZADAS.....	17
5.0 ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL MONITOREO.....	19
5.1 Monitoreo del Nivel Freático.....	19
5.2 Monitoreo Inclinométrico.....	19
5.3 Inspecciones Visuales.....	25
6.0 CONCLUSIONES.....	26
7.0 REFERENCIAS.....	27

MONITOREO DE LOS TALUDES DE LA CARRETERA CA-1, EN LA ZONA DE LOS CHORROS, LA LIBERTAD.

RESUMEN

El presente informe trata sobre el monitoreo que actualmente se está efectuando en los taludes de la Carretera CA-1 en la zona de Los Chorros, Departamento de la Libertad, a raíz de los pasados terremotos ocurridos en enero y febrero del 2001, con el objeto de garantizar la seguridad de los usuarios de la vía. Además, se abordan los aspectos más relevantes de las obras de mitigación de deslizamientos, implementadas por el Ministerio de Obras Públicas en dichas zonas.

1.0 INTRODUCCIÓN.

El 13 de enero del 2001, un terremoto de magnitud momento (Mw) de 7.6 afectó todo el territorio salvadoreño, el siniestro ocurrió a las 17:33 hora UTC (11:33 hora local) y se originó como parte del proceso de subducción de las placa de cocos con la placa del Caribe, su epicentro fue localizado en las coordenadas geográficas 12.83° latitud N y 88.79° longitud W, con una profundidad focal de 39 km, aproximadamente a 100 km al sureste del departamento de San Miguel.¹

Posteriormente, el 13 de febrero del mismo año se originó un segundo terremoto que afectó principalmente la parte central del país, este sismo fue de magnitud Mw de 6.6, ocurrió a las 14:22:05 hora UTC (8:22 hora local), con una profundidad focal de 13 km, epicentro con coordenadas geográficas 13.64° latitud N y 88.94° latitud W, y localizado aproximadamente a 30 km al este de San Salvador.²

A consecuencia de dichos terremotos ocurrieron múltiples deslizamientos de tierra, los cuales ocasionaron la muerte de cientos de personas y provocaron que ciertos tramos de la red vial quedaran inhabilitados, entre los deslizamientos de mayor envergadura se encuentran los ocurridos en: Las Colinas, Santa Tecla; Carretera CA-1 en la zona de Los Chorros, La Libertad y en la zona de la Curva La Leona, San Vicente; El río Jíboa y Carretera a Comasagua. (Ver figura 1.0)

¹ United States Geological Survey (USGS).

² Centro de Investigaciones Geotécnicas, Ministerio de Obras Públicas de El Salvador.

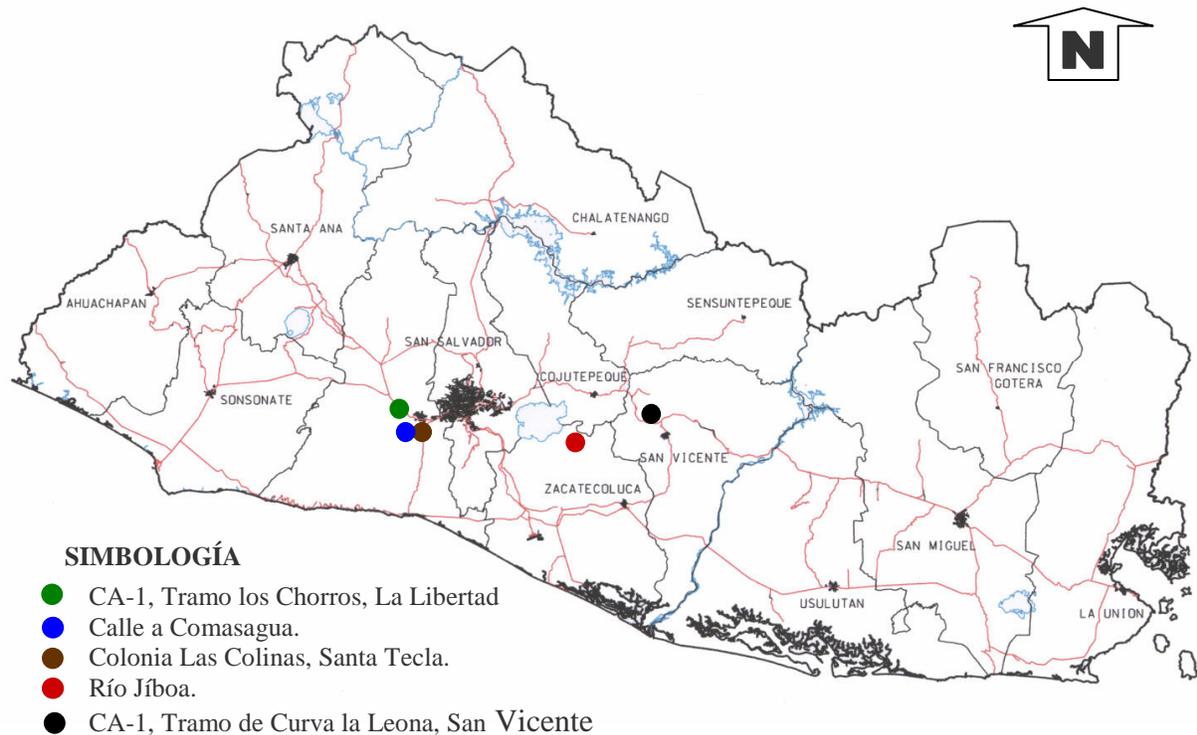


Figura 1.1 Ubicación de los principales deslizamientos ocurridos a raíz de los terremotos de enero y febrero del 2001

Como resultado de estos deslizamientos, y en lo que respecta al ocurrido en la Carretera CA-1, en la zona de los Chorros, Depto. La Libertad, el Ministerio de Obras Públicas llevó a cabo diferentes estudios técnico - científicos orientados a evaluar la estabilidad de los taludes y definir las obras de rehabilitación y mitigación de riesgos necesarias para garantizar la seguridad de los usuarios de la vía. Además, ha implementado un programa de monitoreo continuo en aquellos taludes que presentaron mayores condiciones de inestabilidad, el cual está siendo efectuado por la Unidad de Investigación y Desarrollo Vial (UIDV). Dichas obras de mitigación y técnicas de monitoreos implementadas en la zona son presentadas de manera general en el presente informe técnico, haciendo mayor énfasis en los monitoreos, al igual que los resultados y conclusiones de los mismos.

2.0 ANTECEDENTES.

Durante el terremoto ocurrido el 13 de enero del 2001 se produjeron deslizamientos de tierra y desprendimientos de bloques rocosos en diferentes taludes ubicados a lo largo de la Carretera CA-1, entre las poblaciones de Santa Tecla y Colón, tramo conocido como Los Chorros, departamento de La Libertad. Asimismo, se produjo una avalancha o flujo de lodo en el río Colón, la cual provocó la inundación de buena parte de la vía, ocasionando la muerte de varias personas y la obstrucción parcial de la carretera.

Ante esta situación, el Ministerio de Obras Públicas llevo a cabo las obras de mitigación necesarias para rehabilitar a corto plazo la circulación en la carretera. Entre dichas obras se pueden mencionar la construcción de vías alternas (Ej. carretera Santa Tecla-Quezaltepeque), el desalojo del material producto del desbordamiento del río Colón y encauzamiento del mismo a través de muros gaviones, la remoción de los suelos y rocas inestables, construcción de bermas y muros de retención en los taludes, colocación de mallas de protección, limpieza de drenajes y ampliación de la calzada. (Ver fotografías 2.1 a 2.5)



Fotografía 2.1. Carretera CA-1, zona de Los Chorros, Est. 18+850. Voladura de rocas inestables en taludes rocosos.



Fotografía 2.2 Carretera CA-1, zona de Los Chorros, Est: 14+430. Construcción de bermas para estabilizar los taludes.



Fotografías 2.3. Carretera CA-1, zona de Los Chorros, Est:17+ 600. Colocación de mallas metálicas de triple torsión para controlar la caída de bloques de rocas.



Fotografía 2.4 Carretera CA-1, zona de Los Chorros, Est: 16+530. Construcción de bermas y reforestación del talud para minimizar la erosión.



Fotografía 2.5 Carretera CA-1, zona de Los Chorros, Est: 17+950. Construcción de muros tipo Gavión para controlar la caída de bloques de roca y/o deslizamientos localizados.

A pesar que dichas trabajos de mitigación fueron amplios en cuanto a la cantidad de obras realizadas, se caracterizaban por haber sido efectuadas en calidad de urgencia, Por lo cual, el Ministerio de Obras Públicas, con la finalidad de mejorar las condiciones de seguridad de la misma, contrató los servicios de una firma consultora internacional, para que realizara entre otros aspectos un estudio de las condiciones de estabilidad de los taludes de la zona y propusiera alternativas para garantizar de mejor manera la seguridad de los usuarios.

Dentro de este contexto, la consultora internacional realizó diversos estudios geotécnicos, en los cuales efectuó la evaluación de 20 taludes, identificando en cada caso, tipos de deslizamientos, estructura geológica, litología o estratigrafía de la zona, geometría del talud y propiedades mecánicas de los estratos de suelos y rocas.

Una vez caracterizadas las propiedades mecánicas y geométricas de los taludes se procedió a un análisis detallado de la estabilidad de los mismos, mediante el cálculo de sus factores de seguridad estáticos y dinámicos (Pseudo-estático), los cuales para nuestro país deben ser como mínimo 1.4 y 1.1³ respectivamente, para poder considerar técnicamente estables dichos taludes. Del resultado de estos análisis, se estableció que la mayoría de los taludes cumplían los criterios de estabilidad anteriormente descritos, a excepción de algunos que requerían la implementación de diferentes tipos de refuerzo para alcanzar la estabilidad requerida; entre estos se encontraban los taludes denominados 8 y 10, los cuales son los más críticos por sus bajos factores de seguridad.

A continuación se presentan algunas generalidades de las características geológicas, morfológicas y geotécnicas de dichos taludes, que son causantes de su baja estabilidad:

Talud N° 8

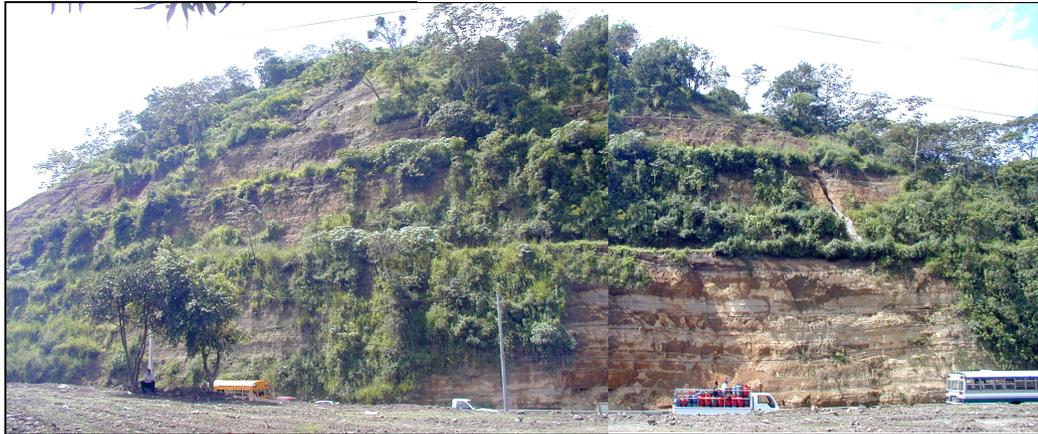
El talud está ubicado entre los estacionamientos km 15 + 410 al km 15 + 610, tiene una altura promedio de 90m, geoméricamente cuenta con dos bermas, el ángulo de inclinación de sus taludes es de aproximadamente 75°. (Fotografías 2.6).

Los materiales que lo conforman pertenecen al grupo **b1** de la formación Bálamo⁴ y se compone de estratos de arenas de grano medio con contenido de limos y limos con apreciable contenido de arena, su color es variado entre café claro a café oscuro. Geotécnicamente está clasificado como una alternancia de capas de arena limosa SM y limo arenosos ML.

³ Normativa Técnica para Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes de El Salvador [MOP 1994].

⁴ Mapa Geológico de la República de El Salvador, IGN. 1964-1970

En las investigaciones de campo, los consultores observaron la presencia de deslizamientos rotacionales entre la segunda berma y la cabecera, así como entre la rasante y la primera berma, además observaron cárcavas en las zonas más altas del talud.



Fotografías 2.6. Carretera CA-1, zona de Los Chorros. Talud N° 8

Talud N° 10

Se ubica entre los estacionamientos km 15 + 900 a km 16 + 150, tiene una altura de 120 m y un ángulo de inclinación de 70°. (Fotografías 2.7 y 2.8).

Geológicamente pertenece al grupo **b1** de la formación Bálamo⁴, y al igual que el talud anterior esta conformado por diversos estratos de arenas limosas SM y limos arenosos ML.

Según informes presentados por los consultores, durante las inspecciones iniciales realizadas al talud, se observaron deslizamientos rotacionales en la cabecera y una distribución generalizadas de cárcavas.

⁴ Mapa Geológico de la República de El Salvador, IGN. 1964-1970



Fotografías 2.7 y 2.8, Carretera CA-1, zona de Los Chorros. Talud N° 10.

Considerando el nivel de riesgo que los taludes 8 y 10 representan, los consultores evaluaron la mejora de su estabilidad mediante la aplicación de medidas de refuerzo convencionales como muros pasivos, muros anclados, mallas de protección, etc, sin embargo, estas alternativas resultaban ser técnicamente ineficiente y sumamente costosas, por tanto, con el objeto de garantizar la seguridad de los usuarios se recomendó entre otros aspectos, la ejecución de un plan de monitoreo integral para los taludes en cuestión, a través de mediciones del nivel freático, Monitoreos Inclinométricos y un análisis continuo de la estabilidad de los taludes. (Ver sección 3.0)

Dentro de las actividades de monitoreo del comportamiento de los taludes 8 y 10, los consultores instalaron en cada talud un pozo inclinométrico y uno para mediciones del nivel freático, los cuales fueron monitoreados durante un mes por la firma consultora.

A partir de los resultados de los monitoreos implementados, la empresa consultora concluyó entre otros aspectos lo siguiente:

- Se detectaron pequeños desplazamientos (13.28mm y -16.65mm para las direcciones A y B), en la tubería inclinométrica del talud 8, a una profundidad de 13.5 m, los cuales fueron asociados a reajustes de la misma.

- En vista que no fue posible determinar el valor de la cohesión de los materiales que conforman los taludes, debido a la imposibilidad de obtener muestras inalteradas que pudieran ser ensayadas en laboratorio, se recomendó obtener dicho parámetro, a partir de correlaciones entre las deformaciones de la tubería inclinométrica y aceleraciones sísmicas.
- La cohesión determinada en base a ábacos desarrollados por el consultor resultó igual a 100 kpa (1.02 kg/cm²), en ambos taludes (Enero 2003), sin embargo, dicho parámetro debe ser calibrado a medida se tengan nuevos registros inclinométricos y sísmicos.
- Los factores de seguridad de los taludes 8 y 10 en condiciones estáticas, fueron 1.28 y 1.07 respectivamente y de 1.07 y 0.89 en condiciones dinámicas (Enero 2003), por lo que no cumplen con los factores de seguridad establecidos por la normativa técnica de estabilidad de taludes de nuestro país.
- En cuanto a las inspecciones del nivel freático no se detectó la presencia del mismo en ninguno de los pozos.

Actualmente, se continua realizando el monitoreo por parte del Ministerio de Obras Publicas, el cual está a cargo del personal Técnico de la Unidad de Investigación y Desarrollo Vial (UIDV), y es presentado en el siguiente capítulo.

3.0 TÉCNICAS DE MONITOREO IMPLEMENTADAS EN LOS TALUDES DE LA CA-1, EN EL TRAMO DE LOS CHORROS.

Los monitoreos geotécnicos de taludes, tienen por objeto recolectar información para predecir el comportamiento de los mismos, de tal manera de poder identificar situaciones de peligro y tomar las medidas correctivas necesarias. Por lo cual, es preciso estudiar los “*agentes*” que pueden desestabilizar un talud, como los movimientos sísmicos y lluvias torrenciales, al igual que los “*efectos inducidos*” en los mismos, tales como deformaciones, aumentos en la presión de poros y cambios en la resistencia y esfuerzos cortantes; con el fin obtener correlaciones entre dichos eventos, que sirvan posteriormente para la predicción del comportamiento de los taludes.

Particularmente en el monitoreo de los taludes de los Chorros, se incluye el estudio de algunos “*efectos inducidos*”, como variaciones del nivel freático y deformaciones profundas. Además, de la inspección de otros factores como apareamiento grietas, erosión, desprendimientos localizados, entre otros.

En relación a los “*agentes*” desencadenantes, se recolecta información sísmica, como aceleraciones del terreno, magnitud del sismo, profundidad focal, etc.

3.1 Monitoreo del nivel freático.

Este monitoreo se realiza con la finalidad de observar posibles cambios en el nivel freático, que indiquen la saturación de los materiales que conforman el talud y a la vez su desestabilización, o bien, la presencia de fallas bajo el talud, al observarse una disminución del mismo. Por tanto se ha perforado un pozo en cada uno de los taludes 8 y 10, en los cuales, se ha instalado una tubería perforada, en la que se introduce una sonda eléctrica para determinar el nivel freático. La ubicación y profundidad de dichos pozos se muestra en las figuras 3.1 y 3.2.

3.2 Monitoreo Inclinométrico.

Este monitoreo consiste en un estudio de deformaciones profundas del talud, en el que se determinan los desplazamientos horizontales a diversas profundidades y se comparan en función del tiempo, con el objeto de detectar la existencia de superficies de fallas. Para lo cual se instalan

tuberías inclinométricas en el cuerpo del talud, a través de las cuales se introduce una sonda especial que mide las deformaciones del talud que son reflejadas en dicha tubería.

En lo que respecta a los taludes 8 y 10, que actualmente están siendo monitoreados con este tipo técnica, se ha requerido de la instalación de una tubería inclinométrica en cada uno de ellos, para efectos de poder llevar a cabo los ensayos inclinométricos. (Ver ubicación y profundidad de los pozos inclinométricos en las figuras 3.1 y 3.2).

La ubicación de dichos pozos, fue definida por los consultores considerando diversos criterios. En relación a la ubicación en planta, se consideraron las zonas donde podrían ocurrir los mayores movimientos de ambos taludes (parte central, según su geometría); igualmente para definir la profundidad de los mismos, se consideró que la tubería debía atravesar la superficie teórica de falla, de tal manera que la longitud de tubería ubicada en la masa deslizante debía igualar a la ubicada en suelo firme. Criterio que resultaba conservador debido a que se tenía incertidumbre en cuanto al valor de cohesión del suelo y por ende en la definición exacta de la posible superficie de falla.

En relación a la determinación del grado de estabilidad de los taludes mediante los factores de seguridad de los mismos, los consultores desarrollaron una metodología basándose en los registros del monitoreo inclinométrico y sísmico. Dicha metodología se desarrolló partiendo de que el factor de seguridad depende, entre otros aspectos, de los *“cambios o decrementos de la resistencia cortante inducidos en el suelo por los movimientos sísmicos”*, es decir, que la resistencia del suelo (cohesión y fricción) disminuye, tendiendo a valores residuales debido a los movimientos inducidos al talud.

En este sentido, los consultores consideraron la cohesión del suelo como una variable, debido a la incertidumbre que existía en cuanto a la magnitud de la misma, la cual debía ser determinada a partir de los movimientos del talud a través de los registros inclinométricos y sísmicos. Considerando lo anterior, estimaron diferentes valores de cohesión para los taludes 8 y 10, y simulaban mediante programas basados en análisis Tenso-deformacionales de elementos finitos (FLAC), las deformaciones esperadas en la cabeza del inclinómetro, ante diferentes magnitudes

de sismo, con el fin de obtener un ábaco que reflejara el comportamiento entre dichas variables. Los ábacos obtenidos para ambos taludes analizados se muestran en las figuras 3.3 y 3.4

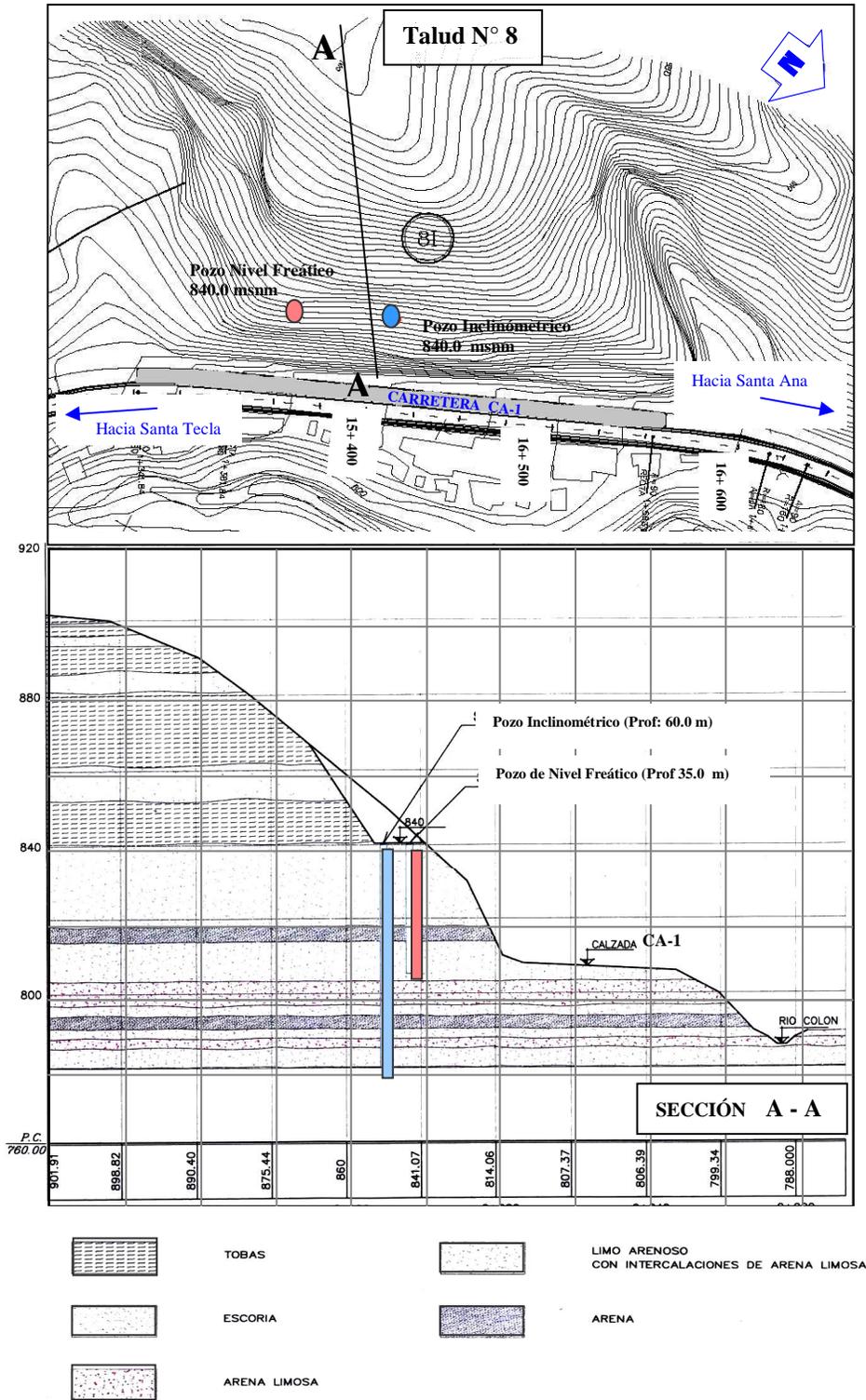


Figura 3.1 Carretera CA-1, zona de Los Chorros. Talud 8. Ubicación en planta y en elevación de los pozos inclinométrico y de nivel freático.

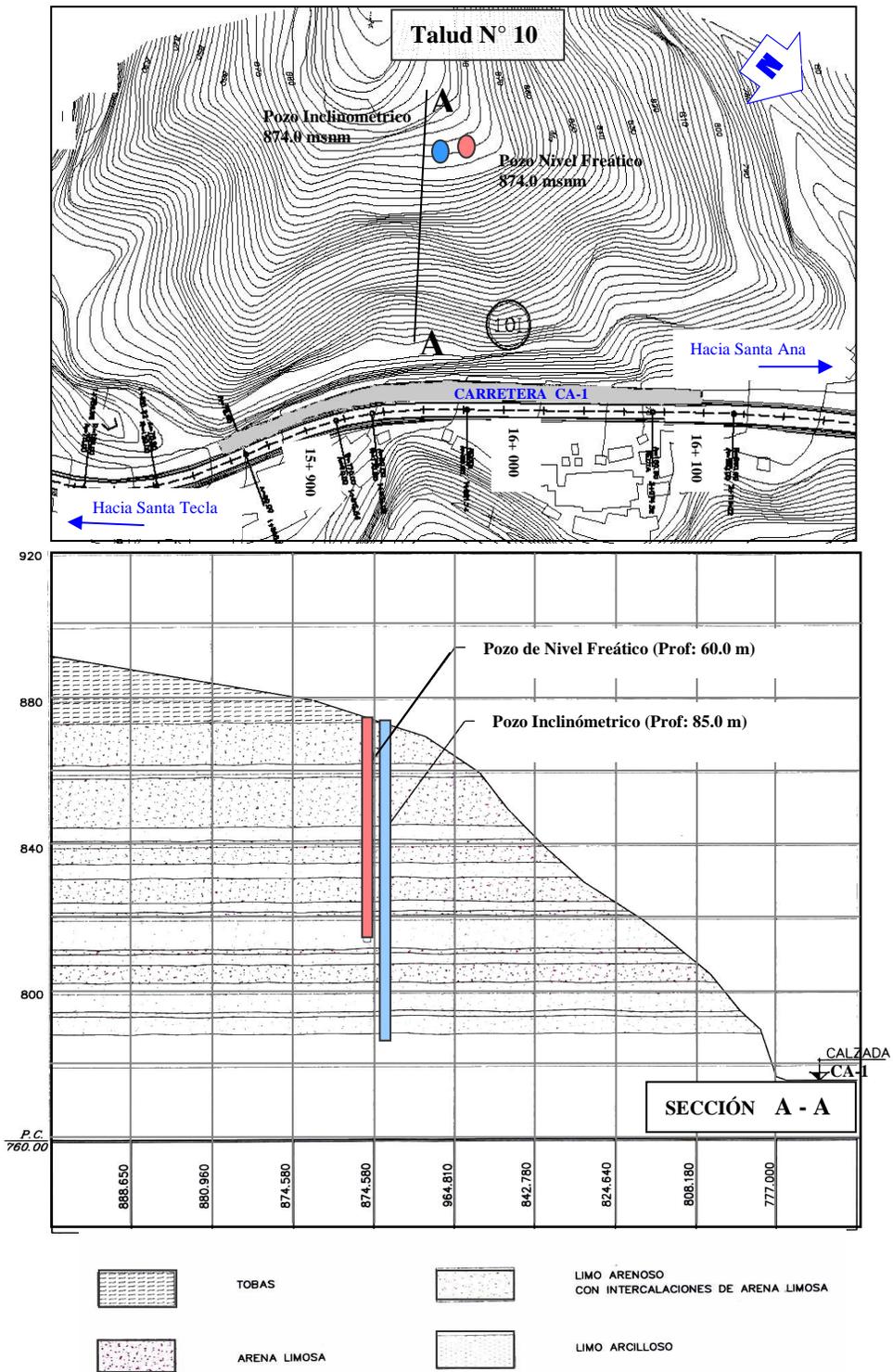


Figura 3.2 Carretera CA-1, zona de Los Chorros. Talud 10.
Ubicación en planta y elevación de los pozos inclinométrico y de nivel freático.

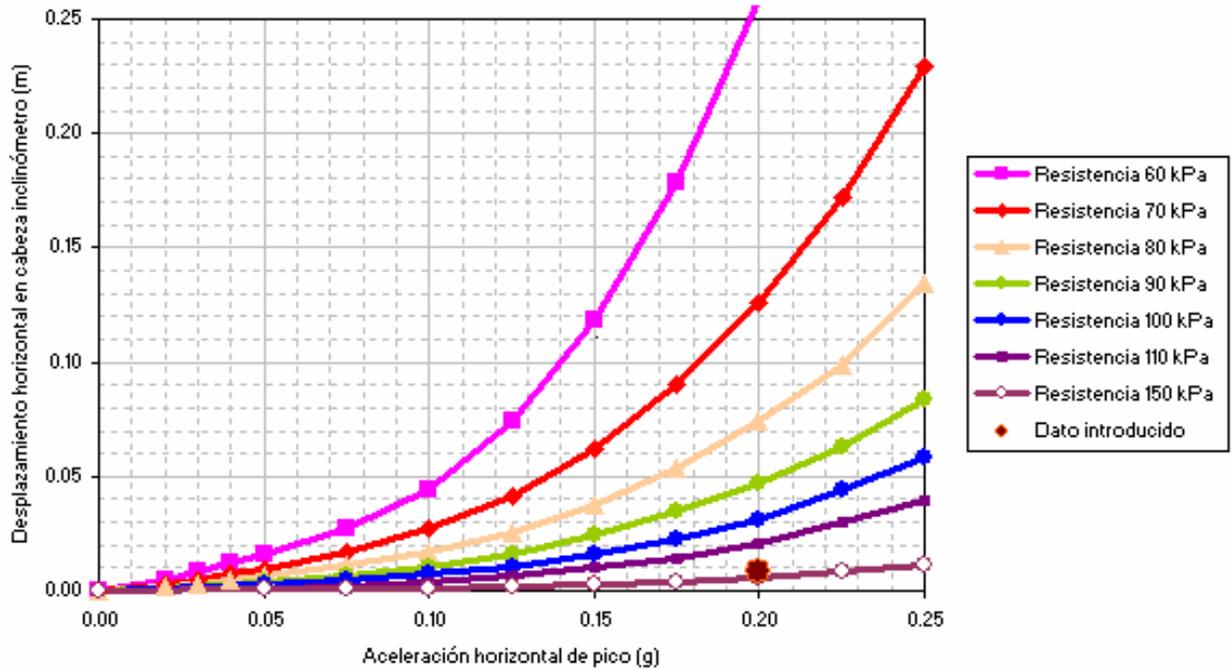


Figura 3.3 Desplazamientos horizontales en la cabeza del inclinómetro del Talud 8, ubicado en Carretera CA-1, zona de Los Chorros para distintas resistencias de cohesión.

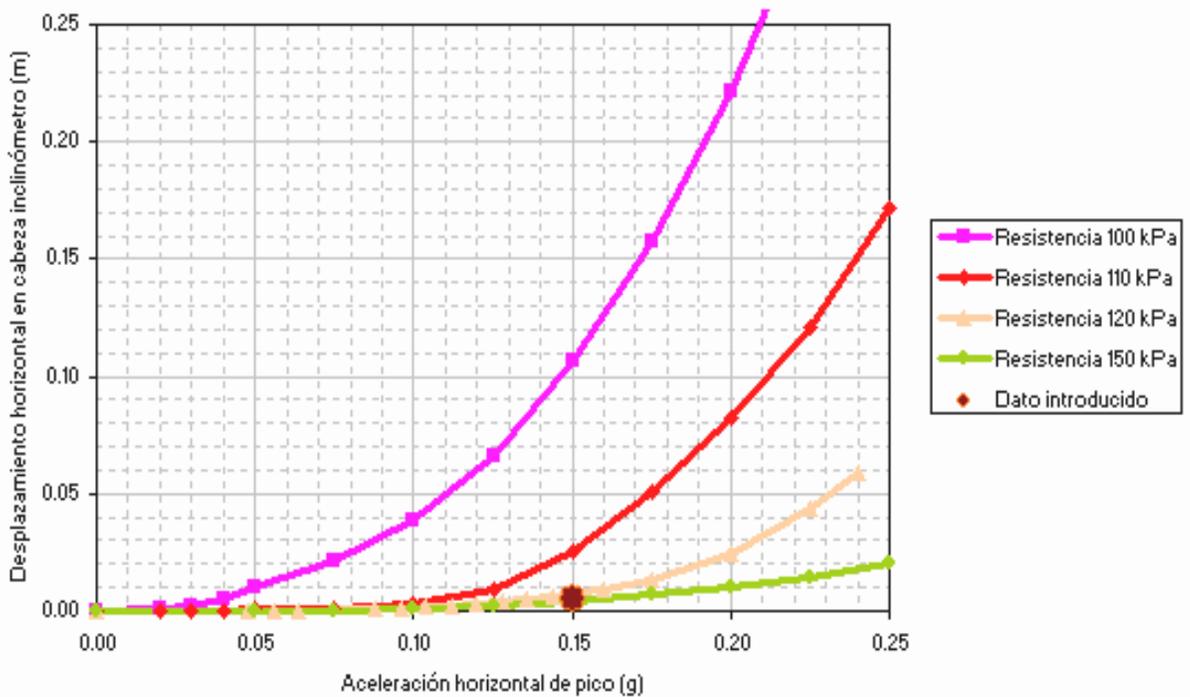


Figura 3.4 Desplazamientos horizontales en la cabeza del inclinómetro del Talud 10, ubicado en Carretera CA-1, zona de Los Chorros para distintas resistencias de cohesión.

Es importante mencionar que a partir de los gráficos anteriores, es posible determinar el valor de cohesión de los materiales que conforman el talud ante una aceleración sísmica y un correspondiente movimiento de la cabeza del inclinómetro, para lo cual el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) proporciona los registros acelerográficos de estaciones cercanas a la zona.

Para la evaluación del factor de seguridad se determinaron correlaciones entre la resistencia del suelo, la máxima aceleración horizontal del terreno y el factor de seguridad del mismo. Estas correlaciones fueron:

$$FS = 0.9023 + 0.0038 R_c - 2.0937 a_h \quad (\text{Ec. Talud 8})$$

$$FS = 0.6642 + 0.0041 R_c - 1.8348 a_h \quad (\text{Ec. Talud 10})$$

Donde:

FS: factor de seguridad.

R_c: Cohesión del suelo en Kpa.

A_h : aceleración horizontal, como fracción de g.

Cabe mencionar que la efectividad de este monitoreo dependerá del agente desestabilizador que ocasione el fallamiento de los taludes, es decir, que ante eventos sísmicos de media a baja intensidad dicho monitoreo será efectivo, puesto que los materiales presentaran un fallamiento lento debido a una pérdida progresiva de sus propiedades mecánicas, lo que permitirá registrar el comportamiento del talud, analizar la información recolectada y de realizar las medidas pertinentes.

3.3 Monitoreo con base en inspecciones Visuales.

Este monitoreo tiene por objeto detectar el apareamiento de grietas o escarpes que reflejen posibles movimientos del talud; así como, problemas de erosión e inestabilidades localizadas que puedan causar inconvenientes a los usuarios de la vía.

4.0 VISITAS DE CAMPO REALIZADAS

Al inicio del proyecto, la toma de datos inclinométricos y mediciones del nivel freático estuvo a cargo por parte de la firma Consultora, durante los meses de octubre y noviembre del 2002; a partir de marzo del 2003, el personal de la Unidad de Investigación y Desarrollo (UIDV) continuó con el monitoreo de los taludes en estudio, a través de ensayos inclinométricos, mediciones del nivel freático e inspecciones visuales.

Las visitas de inspección por parte de la UIDV, son programadas dos veces al mes en período de invierno y una vez en época seca, no obstante, la frecuencia de estas pueden ser incrementadas en caso de sismos de moderada magnitud o ante la ocurrencia de lluvias intensa.

Las visitas llevadas a cabo tanto por el consultor como por la UIDV, para la ejecución de los ensayos inclinométricos, mediciones del nivel freático e inspecciones visuales, se resumen en la siguiente tabla 4.1

Las fechas exactas con las que se cuenta con información inclinométrica e inspecciones del nivel freático, se resumen en tabla 4.2.

FECHAS	NUMERO DE VISITAS REALIZADAS	
	TALUD N° 8	TALUD N° 10
MEDICIONES REALIZADAS POR EL CONSULTOR		
Octubre 2002 ₁	5	3
Noviembre 2002	1	1
Diciembre/Febrero 2002 ₂	-	-
MEDICIONES REALIZADAS POR LA UIDV		
Marzo 2003	2	2
Abril 2003	1	1
Mayo 2003	1	1
Junio 2003	1	1
Julio 2003	2	2
Agosto 2003	2	2
Septiembre 2003	1	1

Octubre 2003	1	1
Noviembre 2003	1	1
Diciembre 2003	1	1
Enero 2004	1	1
TOTAL DE VISITAS	20	18
<p>1 Mayor frecuencia de visitas debido a que durante este mes se definieron los perfiles de instalación de las tuberías inclinométricas. 2 Período de transferencia de información, por lo cual no se cuenta con registros.</p>		

Tabla 4.1 Visitas realizadas a los Taludes 8 y 10 de la carretera CA-1 en la zona de los Chorros.

FECHAS DE VISITAS DE INSPECCIÓN REALIZADAS EN LOS TALUDES 8 Y 10		
Visitas	Talud 8	Talud 10
MEDICIONES REALIZADAS POR EL CONSULTOR		
Línea Base	11-octubre-2002	10-octubre-2002
A	17-octubre-2002	17-octubre-2002
B	25-octubre-2002	24-octubre-2002
C	31-octubre-2002	31-octubre-2002
D	07-noviembre-2002	07-noviembre-2002
MEDICIONES REALIZADAS POR LA UIDV		
1	06-marzo-2003	06-marzo-2003
2	25-marzo-2003	21-marzo-2003
3	10-abril-2003	10-abril-2003
4	07-mayo-03	07-mayo-03
5	02-junio-03	02-junio-03
6	01-julio-03	01-julio-03
7	21-julio-03	21-julio-03
8	13-agosto -03	13-agosto -03
9	27-agosto -03	27-agosto -03
10	17-septiembre-03	16 -septiembre -03
11	15-octubre-03	15 -octubre- 03
12	26-noviembre-03	26-noviembre-03
13	11-diciembre-03	11-diciembre-03
14	13-enero-04	13-enero-04
* Vistas realizadas por la empresa consultora		

Tabla 4.2 Fechas de las inspecciones realizadas en los Taludes 8 y 10 de la Carretera CA-1 en la zona de Los Chorros.

5.0 ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL MONITOREO.

5.1 Monitoreo del Nivel Freático.

En ninguna de las visitas realizadas se ha obtenido registro de la existencia del nivel freático.

5.2 Monitoreo Inclinométrico.

a) Resultados Inclinométricos

Algunos registros correspondientes al monitoreo inclinométrico se indican en la Tabla 5.1, los mismos consisten en una representación gráfica de los desplazamientos y desviaciones horizontales (acumuladas e incrementales), más representativos de todos los ensayos realizados hasta la fecha. *(Se puede acceder a cada gráfico haciendo clip sobre ellos)*

Para facilitar la comprensión de dichos gráficos, se recomienda revisar la sección 3.4 del Informe Técnico *“Monitoreo Inclinométrico de Taludes”*, UIDV-VMOP-2003.

TALUD 8	TALUD 10
Desplazamientos Acumulados	Desplazamientos Acumulados
Desplazamientos Incrementales	Desplazamientos Incrementales
Desviaciones Acumuladas	Desviaciones Acumuladas
Desviaciones Incrementales	Desviaciones Incrementales

Tabla 5.1 Cuadro resumen de los resultados del monitoreo Inclinométrico.

Para efectos de mostrar de una forma más simple, los resultados a los cuales hace mención la tabla anterior, se presenta a continuación, para las dos direcciones de medición del equipo (Direcciones A y B) una serie de gráficos correspondientes a los desplazamientos registrados en los estratos superficiales de cada pozo inclinométrico. Dichos estratos han sido considerados, debido a que los taludes están conformados por materiales arena limosos y limos arenosos, los cuales son susceptibles a amplificaciones de desplazamientos ante las ondas sísmicas, por lo que es de esperar que los mayores movimientos ocurran en la parte superior de los inclinómetros.

Las profundidades de los estratos superficiales a las cuales se realizaron los análisis, fueron seleccionadas considerando la longitud de cada pozo inclinométrico, de manera que estas sean representativas de los movimientos ocurridos en el mismo. Dichas profundidades de análisis corresponden a 0, 13 y 20 metros en el caso del talud 8 y de 0, 15 y 30 para el talud 10, los cuales tiene una longitud de 60.0 m y 85.0 m respectivamente. Particularmente se seleccionó la profundidad de 13 m en el talud 8, debido a las deformaciones localizadas en dicha zona, las cuales fueron interpretadas por el consultor como reacomodo de la tubería.

Es importante mencionar que los rumbos, mostrados en los gráficos de la dirección A de medición del equipo, consisten en la dirección en la que se esperan los mayores movimientos de los taludes (68° S-E y 79° N-E, para los taludes 8 y 10 respectivamente), los cuales fueron determinados del análisis sísmico realizado por los consultores. Consecuentemente los rumbos presentados en los gráficos de la dirección B (22° S-O y 11° S-E), corresponden a los menores desplazamientos esperados.

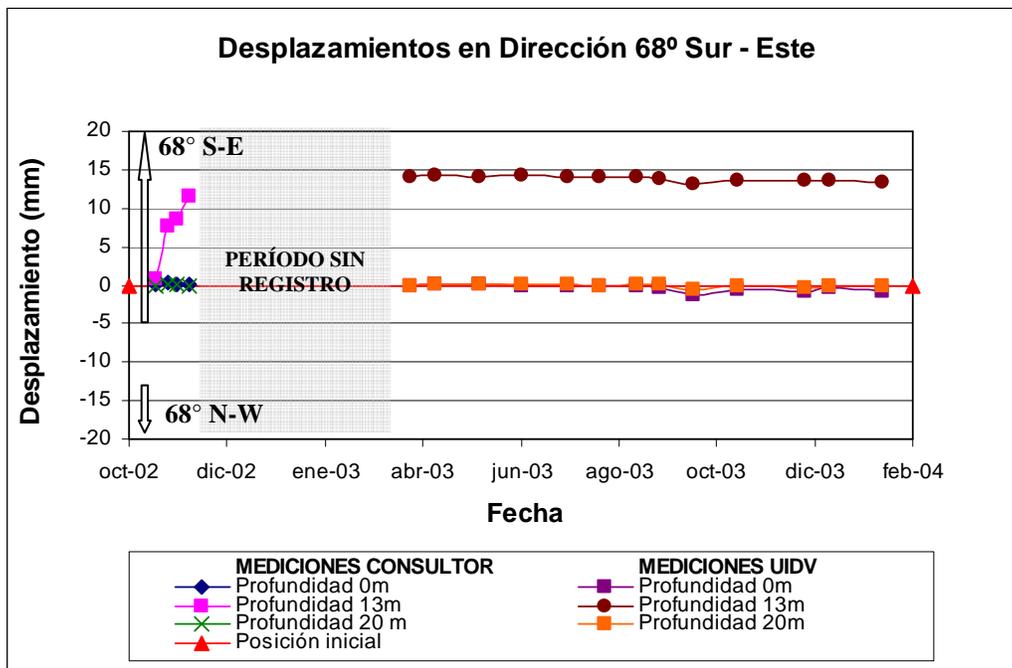


Figura 5.1. Desplazamientos en dirección A del inclinómetro instalado en el Talud 8 de la Carretera CA-1, zona de Los Chorros.

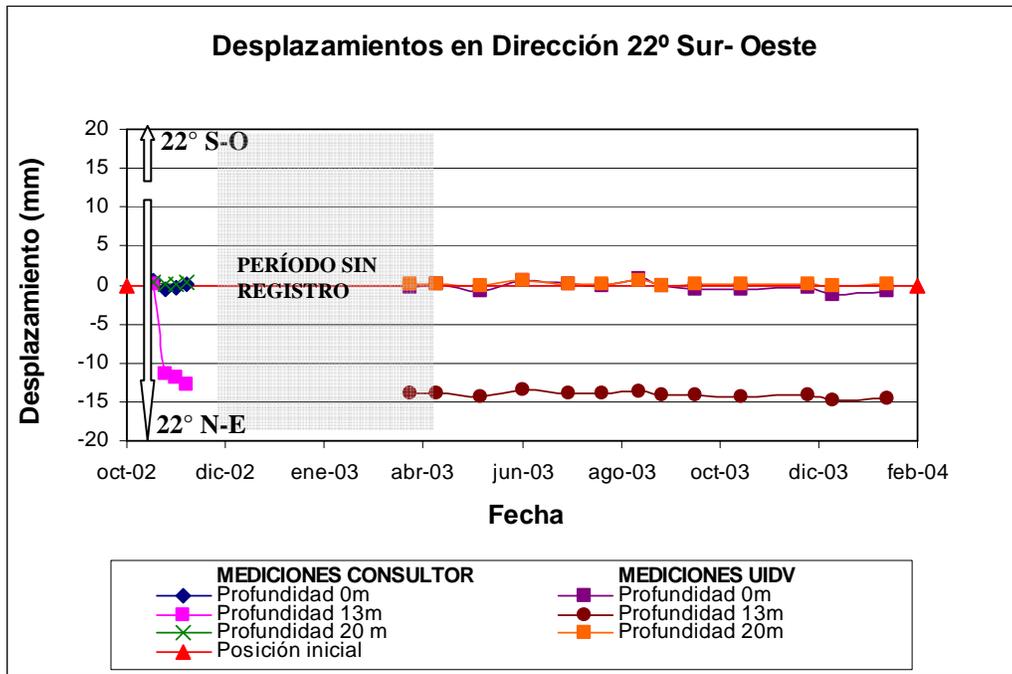


Figura 5.2. Desplazamientos en dirección B del inclinómetro instalado en el Talud 8 de la Carretera CA-1, zona de Los Chorros.

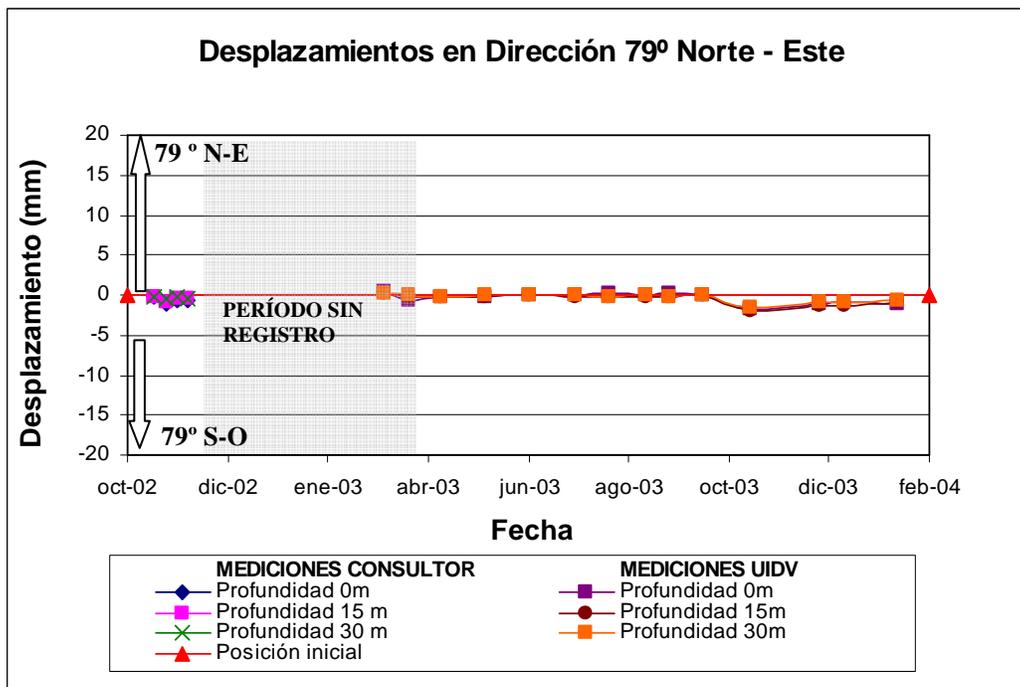


Figura 5.3. Desplazamientos en dirección A del inclinómetro instalado en el Talud 10 de la Carretera CA-1, zona de Los Chorros.

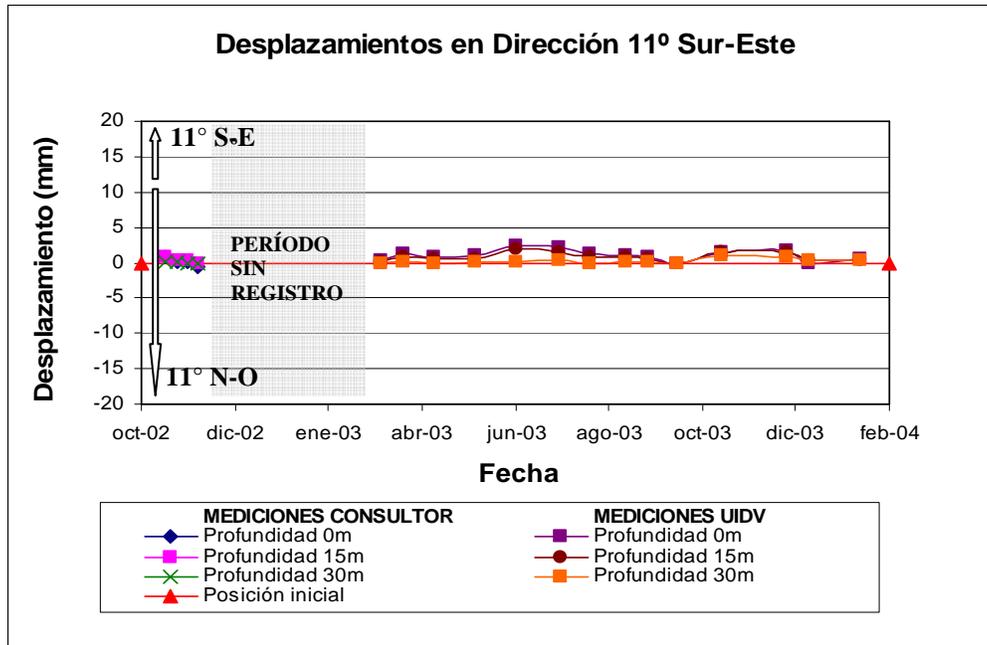


Figura 5.4. Desplazamientos en dirección B del inclinómetro instalado en el Talud 10 de la Carretera CA-1, zona de Los Chorros.

Con base en la información presentada en los gráficos anteriores, se presenta en la tabla 5.2, un resumen de los máximos valores de desplazamientos correspondientes a las direcciones de medición del equipo (A y B), para cada una de las profundidades analizadas de los pozos inclinométricos. En dicha tabla, se resaltan en color rojo los desplazamientos máximos ocurridos durante todo el período de registro, y se observa que las magnitudes de estos son mínimas, ya que son del orden de 1 a 2.5 milímetros, a excepción de algunos desplazamientos registrados en el talud 8 a 13.0 metros de profundidad, que se aproximan a 15 mm.

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS (mm)	TALUD N°8	DIRECCIÓN DE MEDICIÓN	PROFUNDIDAD		
			0.0 m	13.0 m	20.0 m
		+A (68° S-E)	0.23	14.32	0.22
		-A (68° N-O)	-1.16	0.00	-0.52
		+B (22° S-O)	0.85	0.19	0.57
		-B (22° N-E)	-1.31	-14.71	-0.22
DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS (mm)	TALUD N°10	DIRECCIÓN DE MEDICIÓN	PROFUNDIDAD		
			0.0 m	15.0 m	30.0 m
		+A (79° N-E)	0.36	0.22	0.13
		-A (79° S-O)	-1.67	-1.92	-1.47
		+B (11° S-E)	2.49	1.94	1.06
		-B (11° N-O)	-0.58	-0.13	-0.19

Tabla 5.2 Máximos desplazamientos registrados en los pozos inclinométricos, a profundidades de 0, 10, 13 y 20 metros

En relación a deformaciones detectadas a la profundidad de 13.0 m, se observa que a partir del mes de marzo del 2003, dichos desplazamientos no han sufrido mayores variaciones en comparación a las ocurridas inicialmente (octubre y noviembre del 2002), ver figuras 5.1 y 5.2. Lo cual nos lleva a concluir que muy probablemente dichas deformaciones han sido ocasionadas por distorsiones que sufriera la tubería debido a su propio peso y falta de confinamiento lateral, es decir, por la presencia de alguna oquedad entre la tubería y la perforación, en dicha zona.

b) Registros Sísmicos

La información sísmica utilizada al inicio de los análisis de estabilidad de taludes, fue proporcionados por los consultores y pertenecen a la red acelerográfica de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA), específicamente a la estación ubicada en el Hospital San Rafael (aproximadamente a 5 km de los taludes en estudio). La Subsiguiente información, fue proporcionada por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) y pertenecen a las estaciones acelerográficas denominada SNET y MAGT (localizadas a aproximadamente a 8 km de los taludes). Cabe mencionar que los datos sismológicos proporcionados por el SNET, corresponden a sismos en los que se han registrado aceleraciones mayores a 0.005g, lo cual es congruente con los niveles de aceleración mínimo utilizado por los consultores en los análisis de estabilidad.

La información sísmica proporcionada por ambas instituciones se resume en la tabla 5.3

Fecha del sismo	Hora (GMT)	Ubicación		Magnitud	Profundidad focal (km)	Aceleración máxima			PGA
		Latitud Norte (°)	Logitud Oeste (°)			Este	Norte	Vertical	Dirección A
11-Oct-02	13:18	13.066	-89.26	3.5 C	41.6				0.01
14-Oct-02	14:36	14.04	-89.656	2.7 C	5.2				0.006
16-Oct-02	16:37	13.108	-89.32	4.2 C	34.2				0.017
28-Oct-02	11:38	13.63	-90.156	4.0 C	84.5				0.011
01-Nov-02	03:28	13.093	-89.406	3.8 C	60.7				0.01
05-Feb-03	19:01	13.749	-91.079	5.1 C	16.8	0.005	0.007	0.003	0.007
20-Feb-03	06:09	13.197	-89.516	4.2 C	51.5	0.004	0.006	0.003	0.006
20-Mar-03	01:35	13.720	-89.235	4.5 L	9.4	0.021	0.016	-0.020	0.021
25-Ago-03	06:29	13.999	-91.402	6.1L	50.0	0.006	0.005	0.003	0.006

C: Magnitud Coda, L: Magnitud Local

De septiembre 2003 a enero 2004, no se han registrado sismos que ocasionen aceleraciones en el terreno superiores a 0.005g

Tabla 5.3 Información sísmica utilizada para la evaluación de la estabilidad de los Taludes 8 y 10 de la Carretera CA-1 en la zona de los Chorros.

c) Análisis de los registros sísmicos versus resultados inclinométricos.

Con el objeto de poder observar la manera en como se correlacionan los movimientos sísmicos con los correspondientes movimientos de los taludes 8 y 10, se ha realizado un gráfico en el que se representa en el eje de las abscisas, el tiempo, y en el eje de las ordenadas, los movimientos correspondientes a la cabeza de los inclinómetros y las aceleraciones máximas registradas. (ver figura 5.5).

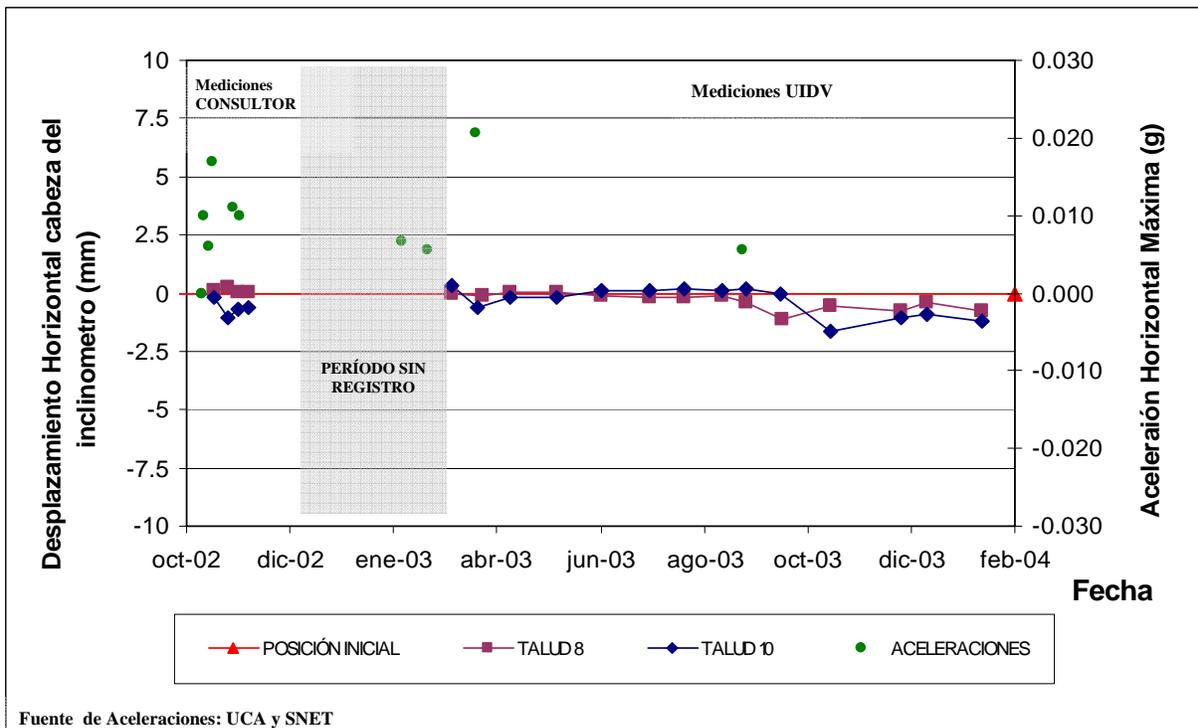


Figura 5.5 Variación en el tiempo de las aceleraciones sísmicas mayores a 0.05g y de los desplazamientos de la cabeza del inclinómetro.

En el gráfico anterior se observa que los movimientos de la cabeza de los inclinómetros han sido mínimos durante todo el período de registro (inferiores a 2.0 mm) y no presentan ninguna correlación con los registros acelerográficos, ya que en el mes de marzo se da una aceleración de 0.021g, la cual no se ve reflejada en movimientos en el terreno, igualmente en los meses de septiembre y octubre se registran desplazamientos que no tienen ninguna aceleración sísmica asociada. Estos últimos desplazamientos poseen signo negativo, lo cual es incongruente, puesto

que el talud no puede moverse en dirección a la masa de suelo, más bien dichos desplazamientos pueden ser efecto de errores sistemáticos o al azar⁵ propios de los equipos inclinométricos.

Lo anterior nos lleva a concluir que los taludes no han presentado movimiento alguno ante los eventos sísmicos ocurridos, por lo cual los valores de cohesión y factores de seguridad calculados por los consultores, para cada talud en estudio, permanecen invariables hasta la fecha. Dichos parámetros se presentan en la tabla siguiente, al igual que las aceleraciones y desplazamientos correspondientes.

Parámetros	Fecha	Talud 8	Talud 10
Aceleración (g)	Ene-03	0.07	0.07
Desplazamiento (mm)	Ene-03	<10	<10
Cohesión (kpa, kg/cm ²)	Ene-03	100.0 (1.02)	100.0 (1.02)
Factor de Seguridad Estático	Ene-03	1.28	1.07
Factor de Seguridad Dinámico	Ene-03	1.07	0.89

Tabla 5.4 Cohesión y factores de seguridad de los Taludes 8 y 10 y parámetros de aceleración, movimientos inclinométricos correspondientes.

5.3 Resultados de Inspecciones Visuales.

De las inspecciones realizadas a los taludes de Los Chorros, se muestra a continuación un resumen de las principales problemáticas observadas.

TIPOS DE PROBLEMATICAS	OBSERVACIONES	
	TALUD 8	TALUD 10
Desprendimiento locales y erosión	Pequeños desprendimientos localizados, originados por las intensas lluvias de la zona. En general, no se observan problemas de erosión, ya que existe abundante vegetación en el talud.	No se observan desprendimientos Nos se observan problemas de erosión, ya que existe abundante vegetación en la zona.
Deslizamientos, grietas o escarpes.	No se observan	No se observan
Estado de los inclinómetros	Daños en los dispositivo de seguridad	Daños en los dispositivo de seguridad

Tabla 5.4. Principales problemáticas observadas en las inspecciones visuales realizadas a los Taludes 8 y 10 de la Carretera CA-1 en la zona de Los Chorros.

⁵ www.slopeindicator.com

6.0 CONCLUSIONES.

- De las gráficas de desplazamientos acumulados del talud 8, se concluye que los desplazamientos horizontales de 14.32 y -14.71 mm, ocurridos en las direcciones A y B respectivamente, fueron originados muy probablemente por la deformación parcial de la tubería a una profundidad de 13.5 m, debido a la falta de confinamiento lateral o deficiencia de relleno en dicha zona; lo cual posiblemente se produjo al momento de la instalación de la tubería.
- Con base a los resultados del monitoreo inclinométrico, se concluye que no han ocurrido movimientos de la masa de los taludes, ni se han generado superficies de falla que provoquen la inestabilidad de los mismos.
- En cuanto las inspecciones de los pozos para las mediciones del nivel freático, se concluye que este no tiene mayor influencia en la estabilidad de los taludes, puesto que no se tiene registro de la presencia del mismo, incluso en períodos de lluvia.
- De las inspecciones visuales realizadas en ambos taludes, se ha constatado la presencia de pequeños desprendimientos localizados, en el Talud 8, los cuales se considera no influyen en su estabilidad global.

7.0 REFERENCIAS

- “*Diseño Final para la Rehabilitación de la Carretera Panamericana CA-1, Tramo Santa Tecla la Cuchilla*”. MONITOREO DE LOS TALUDES 8 Y 10 DE LA CARRETERA CA-1, EN LOS CHORROS. INFRAES, SA - Noviembre de 2002.
- “*Diseño Final para la Rehabilitación de la Carretera Panamericana CA-1, Tramo Santa Tecla la Cuchilla*”. ADENDA AL INFORME FINAL. INFRAES, SA - Enero de 2003
- “*Geotechnical Instrumentation for monitoring field performance*”. John Dunnycliff, Gordon E Green.
- “*Ingeniería Geológica*”. Gonzáles de Vallejo. Pretice Hall. 2002
- “*Monitoreo Inclínométrico de Taludes*”, INFORME TÉCNICO. UIDV-VMOP-2003.
- “*Normativa Técnica para Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes de El Salvador*” [MOP 1994].
- “*Inclinometer Accuracy*” <http://www.slopeindicator.com/training/sample%20chapters.html>
- “*Bias-Shift Errors*” <http://www.slopeindicator.com/training/sample%20chapters.html>

[Pagina Principal](#)

E-Mail: uidv.contacto@mop.gob.sv

