

**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
LA CURVA LA LEONA**

**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, SEPTIEMBRE DE 2003.

* 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 documento refleja opiniones de los autores, quienes son responsables de los hechos y de 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 documento no constituye una norma, especificación ni regulación.

INDICE

1.0 INTRODUCCIÓN.....	3
2.0 ANTECEDENTES.	5
3.0 TÉCNICAS DE MONITOREO IMPLEMENTADAS EN LOS TALUDES DE LA CURVA LA LEONA.....	10
3.1 Monitoreo inclinométrico.....	11
3.2 Monitoreo del nivel Freático.	11
3.3 Monitoreo a base de inspecciones Visuales.	13
3.4 Monitoreo Superficial.	13
4.0 VISITAS DE CAMPO REALIZADAS.....	14
5.0 ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL MONITOREO.....	17
5.1 Resultados del Monitoreo Inclinométrico.	17
5.2 Resultados del Monitoreo del Nivel Freático.....	23
5.3 Resultados del Monitoreo Superficial.	24
5.4 Resultados de Inspecciones Visuales	24
6.0 CONCLUSIONES.....	26
7.0 REFERENCIAS.	28

MONITOREO DE LOS TALUDES DE LA CARRETERA CA-1, EN LA ZONA DE LA CURVA LA LEONA

RESUMEN

El presente informe trata sobre las técnicas de monitoreos que actualmente se están efectuando en los taludes de la Carretera CA-1 en la zona de la curva de La Leona, Departamento de San Vicente, 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 dicha zona.

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 la 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.

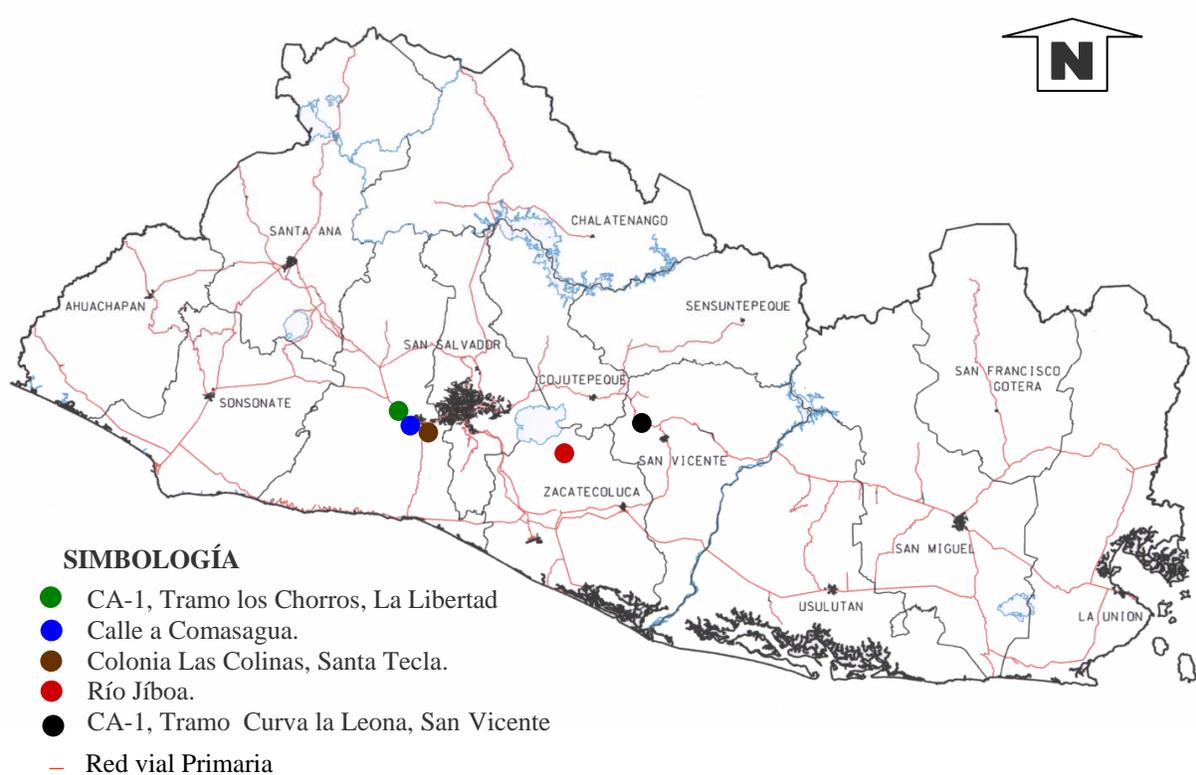


Figura 1.1 Ubicación de los principales deslizamientos ocurridos a raíz de los terremotos de enero y febrero del 2001

Como resultado de estos deslizamientos, y en lo que respecta al ocurrido en la Curva La Leona, 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 en los resultados y conclusiones de los mismos.

2.0 ANTECEDENTES.

A consecuencia de los terremotos de enero y febrero del 2001, en el tramo de la Carretera Panamericana comprendido entre los Km 50+860 y km 55+280, zona conocida como Curva La Leona, se produjeron serios daños en la estructura del pavimento y múltiples deslizamientos de tierra en varios de sus taludes, siendo el más crítico de estos, el ocurrido entre los km 53+060 a km 53+280, donde se produjo un deslizamiento de aproximadamente 400,000 m³ que obstruyó completamente la carretera y causó la pérdida de vidas humanas.

Como una respuesta inmediata para rehabilitar el paso vehicular en la Carretera CA-1, desde y hacia el Oriente del país, el Ministerio de Obras Públicas habilitó temporalmente la antigua carretera Panamericana; mientras se realizaba el desalojo de los materiales producto de los deslizamientos, las reparaciones de la carretera y las obras de mitigación necesarias. Además, se contrató los servicios de una empresa Consultora para que llevara a cabo, entre otros aspectos, un Diagnóstico y presentara alternativas para estabilizar las zonas afectadas.

Como parte de los trabajos de Consultoría, se llevaron a cabo estudios geotécnicos preliminares de dichas zonas, en el cual se realizó un diagnóstico acerca del estado de 36 taludes que presentaron diversos tipos de inestabilidades, como deslizamiento de tierra, caídas de rocas y desprendimientos parciales. El diagnóstico reveló que los taludes donde ocurrieron los mayores deslizamientos (denominados taludes 1, 2 y 3) presentaban un alto riesgo, por lo cual, fueron objeto de un estudio geotécnico más detallado para poder definir las medidas de mitigación necesarias mediante análisis estáticos, pseudo-estáticos y tenso-deformacionales de estabilidad de taludes.

Dentro del estudio geotécnico, se realizaron diversas investigaciones in-situ con el fin de obtener las características mecánicas de los estratos de rocas y suelo, entre estos se pueden mencionar: sondeos profundos, ensayos de Penetración Standard (SPT) y extracciones inalteradas de muestras de suelo. Adicionalmente, debido a la magnitud del deslizamiento y las condiciones de estabilidad que presentaba el talud N° 3, se realizaron estudios de prospección geofísica (refracción sísmica y resistividad eléctrica).

Por otra parte, paralelamente a los análisis de estabilidad orientados a definir las obras de mitigación del talud más crítico (Talud N°3), se instalaron en dicho zona, tuberías inclinométricas, tuberías para medir del nivel freático y mojones topográficos, con el objeto monitorear el comportamiento del mismo y evaluar la necesidad de mayores obras de mitigación.

Sobre las obras de mitigación realizadas en los taludes 1, 2 y 3, así como generalidades de los deslizamientos ocurridos, las características geológicas y morfológicas de la zona, se resume lo siguiente:

▪ **Talud No. 1.**

El talud posee una altura de aproximadamente 30 metros y está ubicado en la zona comprendida entre el km 50+860 y km 51+060. Los materiales que lo conforman pertenecen a la formación Cuscatlán, miembro c1³ y básicamente son tobas masivas y compactas con fragmentos líticos de naturaleza andesítica y pumítica así como fragmentos de escoria oxidada y vidrio hialino.

Geotécnicamente, los materiales de la base del talud se clasifican como arenas bien graduadas (SW), seguidas de arenas limosas (SM) y limos de alta plasticidad (MH) en los estratos superiores.

Por efectos del terremoto de febrero del 2001, se produjo en la mitad superior del talud un deslizamiento traslacional de aproximadamente 45,000 m³ que interrumpió el tráfico en uno de los carriles de la vía (ver fotografía 2.1 a), ante lo cual el MOP realizó los trabajos de desalojo y obras de mitigación, tales como la construcción de bermas, contracunetas e instaló mallas biodegradables de fibra de coco para favorecer el crecimiento de la vegetación y minimizar la erosión del material que conforma los taludes (ver fotografía 2.1 b).

³ Mapa Geológico de la República de El Salvador, IGN. 1964-1970



a) Deslizamiento producto del terremoto del 13 de febrero del 2001.



b) Obras de mitigación realizadas por el Ministerio de Obras Públicas.

Fotografías 2.1 (a) y (b). Deslizamiento y obras de mitigación realizadas en el Talud N°1, ubicado en Carretera Panamericana, Km 50+860 – 51+060.

▪ Talud No. 2.

El talud posee una altura de aproximadamente 50 metros y está ubicado en la zona comprendida entre el km 51+340 y el km 51+420. Los materiales que lo conforman pertenecen a la formación Cuscatlan, miembro c1⁴ y consisten desde la base hasta los estratos superiores, en tobas compactas color pardo grisáceo, cenizas poco compactas de color blanco – amarillento y material piroclástico de tamaño variado (5 a 15cm) en una matriz de ceniza volcánica. Geotécnicamente estos materiales se describen como una alternancia de arenas pobremente graduadas (SP), gravas bien graduadas (GW), arenas limosas (SM), gravas limosas (GM), arenas limosas (SM) y limos de alta plasticidad (MH) en el estrato superior.

Por efecto del terremoto del 13 de enero de 2001, ocurrió un deslizamiento rotacional de aproximadamente 8,000 m³ (ver fotografía 2.2 a) y posteriormente, el terremoto del 13 de febrero provocó derrumbes adicionales en la parte superior del mismo, ante lo cual el MOP realizó el desalojo de materiales, construyó bermas, contracunetas e instaló mallas biodegradables de fibra de coco, con el objeto de favorecer el crecimiento de vegetación y minimizar la erosión del material que conforma el talud (ver fotografía 2.2 b).

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



a) Deslizamiento Producto del terremoto del 13 de enero del 2001. b) Obras de mitigación realizadas por el Ministerio de Obras Públicas.

Fotografías 2.2 (a) y (b). Deslizamiento y obras de mitigación realizadas en el Talud N°2, ubicado en Carretera Panamericana, Km 51+340 – 51+420

▪ Talud No. 3.

El talud posee una altura de aproximadamente de 150 metros y está ubicado en la zona comprendida entre los km 53+060 y 53+280. Los materiales que lo conforman pertenecen a la formación Cuscatlan, miembro c1⁵ y está conformado por diferentes estratos entre los cuales se encuentra un nivel lávico de composición andesítica en la base, un nivel de material piroclástico masivo y estratos de toba masiva en la parte superior. Geotécnicamente esta formado por estratos alternos de arenas limosa (SM), arenas pobremente graduadas (SP), gravas pobremente graduadas con un porcentaje de finos entre 5% y 12% (GP-GM), estratos de rocas fracturadas y limos de baja plasticidad (ML).

A raíz del terremoto del 13 de enero de 2001, ocurrió un deslizamiento traslacional de aproximadamente 400,000 m³ (ver fotografía 2.3 a), siendo éste el mayor deslizamiento en la zona; posteriormente a causa del terremoto del 13 de febrero de 2001 se produjo un deslizamiento rotacional de aproximadamente 10,000 m³ en la parte superior del talud.

⁵ Mapa Geológico de la República de El Salvador, IGN. 1964-1970

Para mejorar las condiciones de estabilidad del talud, el Ministerio de Obras Públicas realizó la construcción de bermas, contracunetas e instaló mallas biodegradables de fibra de coco, para favorecer el crecimiento de vegetación y minimizar la erosión en los materiales del talud (ver fotografía 2.3 b).

Dentro de las actividades de monitoreo del comportamiento del talud N°3, los consultores instalaron cuatro pozos para monitoreos inclinométricos, a medida se realizaron las obras de mitigación. Además, se instaló un pozo para medición del nivel freático y veinticuatro mojones topográficos para el monitoreo superficial.



a) Deslizamiento Producto del terremoto del 13 de enero del 2001.



b) Obras de mitigación realizadas por el Ministerio de Obras públicas.

Fotografías 2.3 (a) y (b). Deslizamiento y obras de mitigación realizadas en el Talud N°3, ubicado en Carretera Panamericana, Km 51+060 – 51+280.

Luego de realizadas las anteriores medidas de mitigación y de analizar los resultados de los monitoreos implementados, la empresa consultora concluyó entre otros aspectos lo siguiente ⁶:

- a) Los valores del factor de seguridad estático y dinámico, determinados en los taludes No. 1 y No.2 ubicados en la zona de Curvas de La Leona, se encuentran por encima de los valores mínimos requeridos en la Norma Técnica para Diseño de Cimentaciones y

⁶ MOPTDV. Diseño y Documentos de Licitación para el Proyecto de Rehabilitación de la Carretera CA-1, Tramo Curva La Leona, Km 53, Dañada por los Terremotos del 13 de enero y 13 de febrero del 2001. INFORME FINAL. VOLUMEN II. Enero de 2002

Estabilidad de Taludes de El Salvador, por lo que la Consultora concluyó que dichos taludes se encuentran en condición estable.

- b) A partir de las lecturas de los inclinómetros del talud N°3, se detectaron pequeños movimientos, los cuales fueron relacionados al aumento de peso de la masa de suelo, ocasionadas por las precipitaciones, así también por reacomodos de la tubería inclinométrica.
- c) En relación a las mediciones del nivel freático se determinó que éste se encuentra por debajo del nivel de la carretera.
- d) Respecto al monitoreo superficial de mojones topográficos, no se observaron movimientos relevantes en dos meses de estudio del talud N° 3.
- e) Del análisis de estabilidad Tenso-deformacional, se pudo determinar que la aceleración horizontal mínima del terreno, que ocasionaría la falla del talud en condiciones seca y saturada son 0.31g y 0.306g respectivamente, para las cuales resultarían deformaciones permanentes en el talud de 6.3cm y 7.21cm
- f) Las soluciones implementadas en el Talud No.3, se consideran satisfactorias debido a que los resultados del monitoreo no detectan mayores desplazamientos del talud y los análisis de estabilidad, arrojan factores de seguridad estático y dinámico aceptables. Sin embargo, se recomendó al Ministerio de Obras Públicas continuar con el monitoreo inclinométrico en dicho talud, para verificar el comportamiento de este en el transcurso del tiempo.

Dentro de este contexto, la Unidad de Investigación y Desarrollo Vial (UIDV), del Ministerio de Obras Públicas, realiza actualmente el monitoreo de los taludes ubicados en la zona de la Curvas de La Leona.

3.0 TÉCNICAS DE MONITOREO IMPLEMENTADAS EN LOS TALUDES DE LA CURVA LA LEONA.

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 las 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.

En el caso del monitoreo de los taludes de la Leona, se incluye el estudio de algunos de estos “efectos inducidos”, como estudios de deformaciones profundas y superficiales, variaciones del nivel freático e inspecciones visuales.

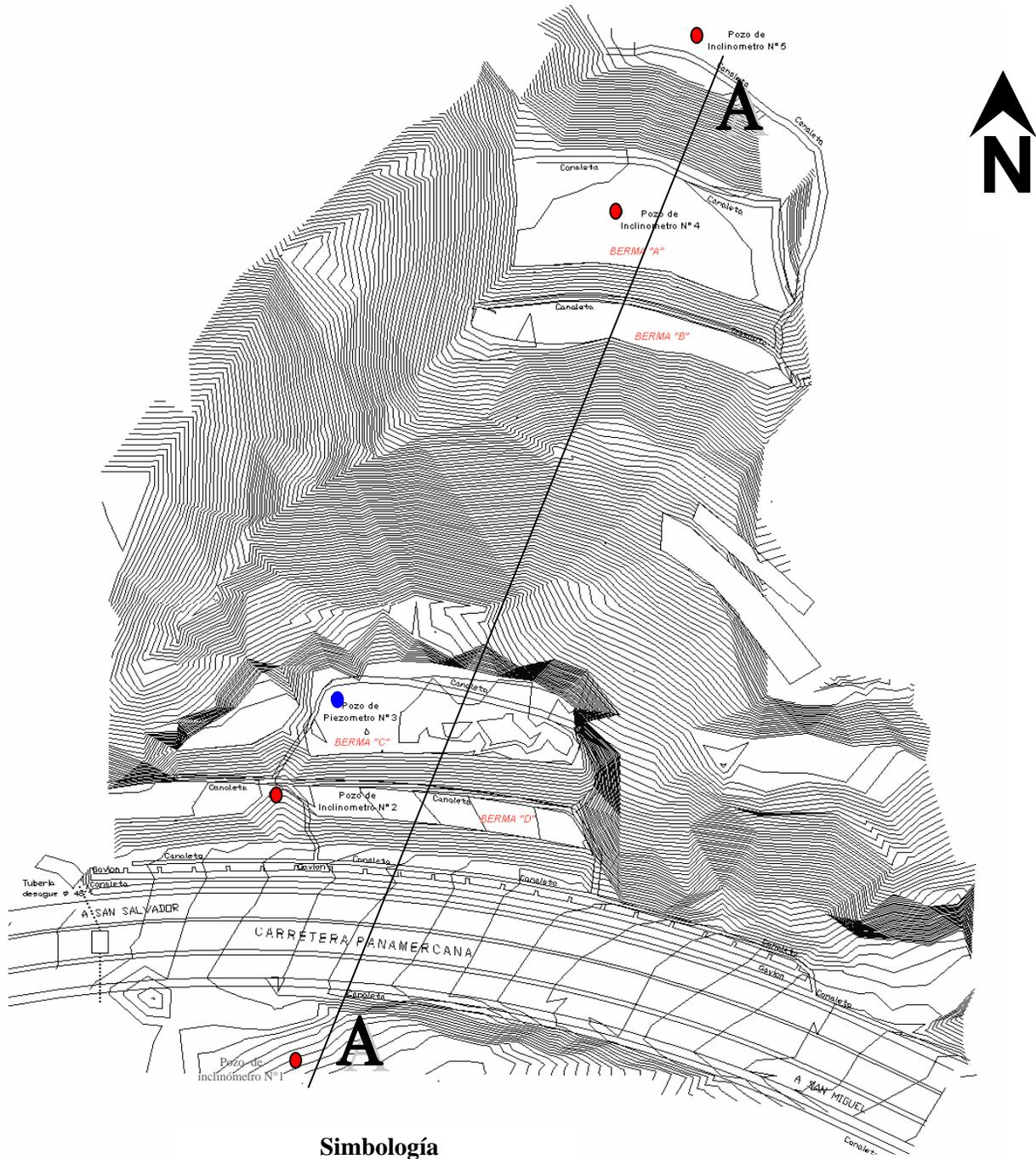
3.1 Monitoreo inclinométrico.

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

Como se mencionó anteriormente, el único de los taludes que cuenta con este tipo de equipo es el talud N°3, en el cual se han instalado cuatro tuberías inclinométricas que son objeto de inspecciones continuas. El esquema de ubicación y perfil de estas tuberías se muestra en las figuras 3.1 y 3.2 respectivamente.

3.2 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 el talud N°3 (ver figura 3.1 y 3.2), dentro del cual se ha instalado una tubería perforada, en la que se introduce una sonda eléctrica para determinar el nivel freático.



- Simbología**
- Pozo con tubería inclinométrica.
 - Pozo para la medición del nivel freático.

Esquema sin escala

Figura 3.1 Esquema de ubicación de pozos inclinométricos y de nivel freático.

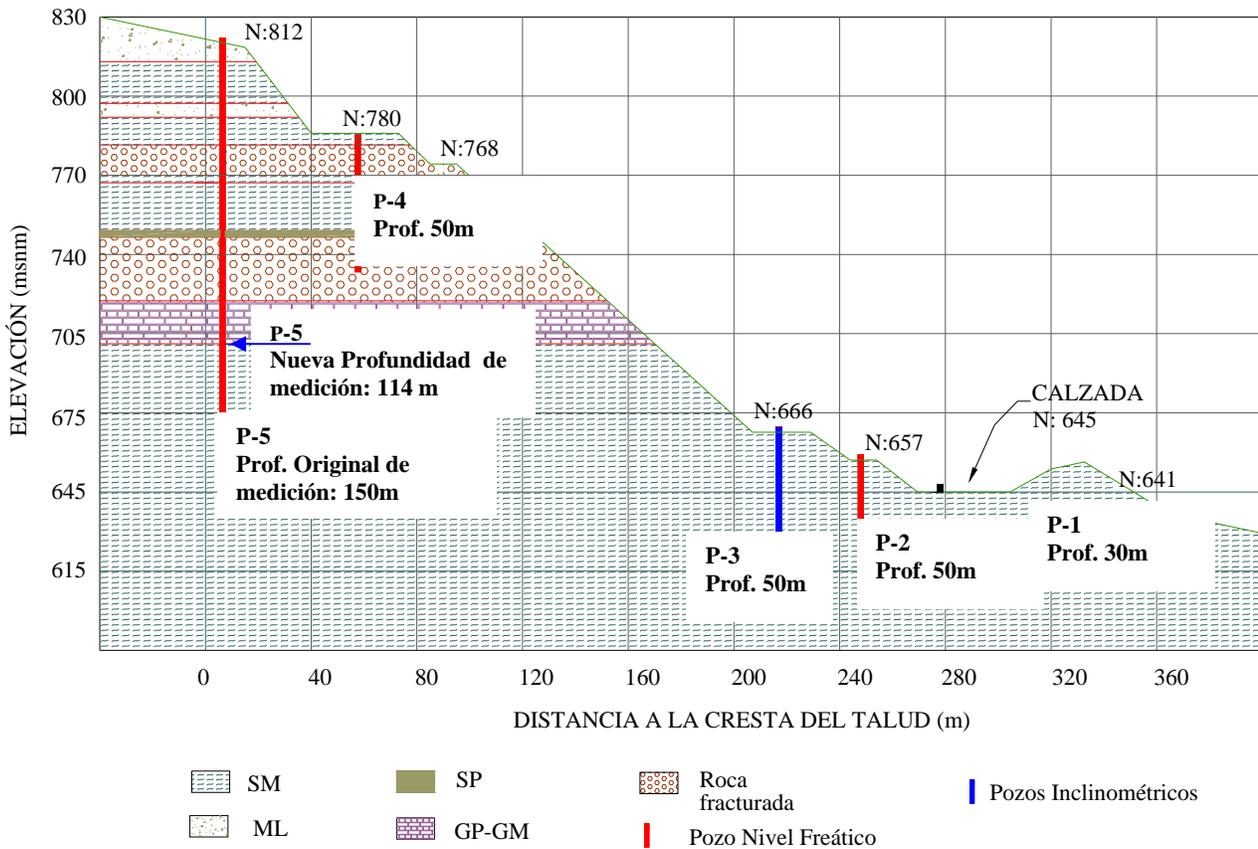


Figura 3.2. Sección A-A del talud N°3. Se observa la ubicación de los Pozos inclinométrico y de nivel freático.

3.3 Monitoreo a base de inspecciones Visuales.

Actualmente este monitoreo se está efectuando en los taludes 1, 2 y 3, y tiene por objeto detectar el apareamiento de grietas o escarpes que reflejen posibles movimientos del talud; así como, problemas de erosión y desprendimientos parciales que causen asolvamientos en los sistemas de drenaje (cunetas, tuberías y cajas azolvadas o deterioradas), los cuales pueden ser causantes de la desestabilidad de los taludes.

3.4 Monitoreo Superficial.

Este monitoreo será efectuado con equipos topográficos y tiene por objeto detectar los desplazamientos superficiales del talud, mediante la realización de triangulaciones entre mojones

ubicados en la carretera (puntos de referencia) y otros ubicados en la superficie del talud (puntos de observación).

Dicho monitoreo se llevará a cabo solamente en el talud N°3, para lo cual, se han instalado 10 mojones topográficos en diferentes zonas del talud y una línea base constituida por dos mojones ubicados en la canaleta central de la carretera Panamericana. (Ver esquema de ubicación en figura 3.3)

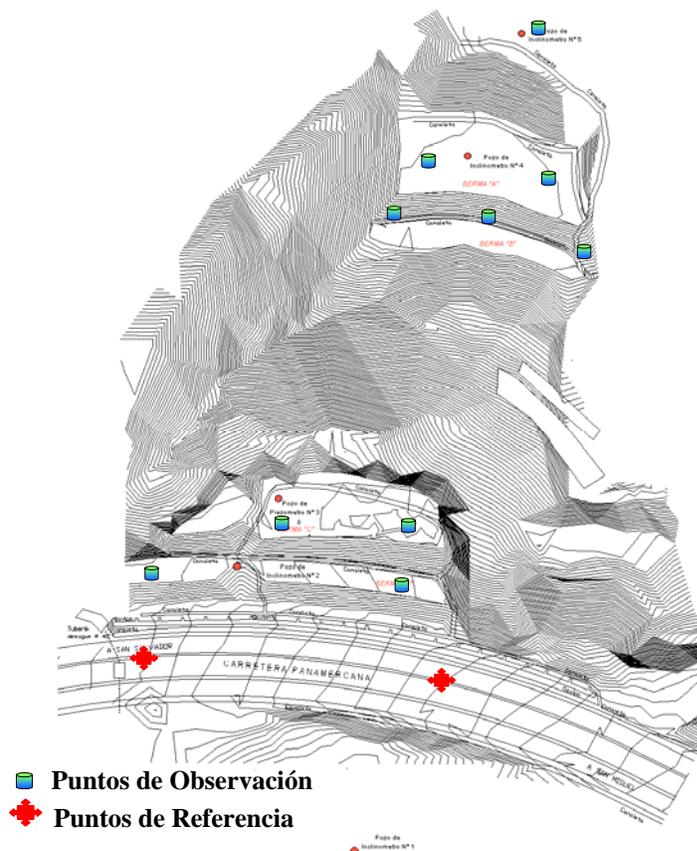


Figura 3.3 Ubicación de los puntos topográficos utilizados en el Monitoreo Superficial.

4.0 VISITAS DE CAMPO REALIZADAS.

A partir del mes de marzo de 2002, la Unidad de Investigación y Desarrollo Vial (UIDV) inició las actividades de monitoreo de los taludes 1, 2 y 3, a través de mediciones en las tuberías inclinométricas, cambios en el nivel freático e inspecciones visuales; las cuales son realizadas al menos dos veces al mes en período de invierno y una vez en época seca, no obstante, la

frecuencia de estas visitas pueden ser incrementadas en caso de sismos de moderada magnitud o ante la ocurrencia de lluvias intensas.

Las visitas llevadas a cabo para realizar las inspecciones visuales, mediciones del nivel freático y ensayos inclinométricos, como parte de las actividades de monitoreo en los taludes de la Curvas de La Leona, se resumen en la siguiente tabla.

Fechas	INSPECCIONES Y ENSAYOS DE MONITOREO					
	Talud N°1	Talud N°2	Talud N°3			
	Inspección visual	Inspección visual	Inspección visual	Monitoreo Inclinometrico	Monitoreo Superficial ^a	Monitoreo del nivel freático
Marzo 2002	1	1	1	1	-	0
Abril 2002	1	1	1	1	-	1
Mayo 2002	2	2	2	2	-	2
Junio 2002	2	2	2	2	-	2
Julio 2002	0	0	0	0	-	0
Agosto 2002	1	1	1	1	-	1
Septiembre 2002	1	1	1	1	-	1
Octubre 2002	1	1	1	1	-	1
Noviembre 2002	1	1	1	1	-	1
Diciembre 2002	1	1	1	1	-	1
Enero 2003	1	1	1	1	-	1
Febrero 2003	1	1	1	1	-	1
Marzo 2003	1	1	1	1	-	0
Abril 2003	1	1	1	1	-	1
Mayo 2003	1	1	1	1	-	1
Junio 2003	1	1	1	1	-	1
Julio 2003	1	1	1	1	-	1
Agosto 2003	1	1	1	1	-	1
TOTAL DE VISITAS	19	19	19	19	-	17

^a Se tiene planificado iniciar el monitoreo superficial en el mes de Septiembre del 2003

Tabla 4.1 Visitas de inspección y ensayos de monitoreo realizados a los taludes de la Curva la Leona. San Vicente

Cada visita realizada al Talud N°3, no implica la inspección y ensayos inclinométricos de todos de los pozos instalados en el mismo, ya que debido a factores como falta de accesibilidad a la zona y deterioros en las tuberías, han imposibilitado en algunas ocasiones la ejecución de estos trabajos. Por tanto, en la siguiente tabla se presenta en detalle un resumen de las fechas con las que se cuenta con información inclinométrica y de inspecciones del nivel freático.

N° de Visita	Fechas				
	POZO 1 (Inclinometría)	POZO 2 (Inclinometría)	POZO 3 (Nivel Freático)	POZO 4 (Inclinometría)	POZO 5 (Inclinometría)
Línea Base	15-mar-2002	18-abr-2002	-----	19-marzo-2002	15-marzo-2002
1	18-abr-2002	-	18-abr-2002	24-abr-2002	24-abr-2002
2	07-may-2002	08-may-2002 (*)	08-may-2002	08-may-2002	07-may-2002
3	21-may-2002	22-may-2002	22-may-2002	22-may-2002	21-may-2002
4	04-jun-2002	05-jun-2002	05-jun-2002	05-jun-2002	04-jun-2002
5	20-jun-2002	21-jun-2002	21-jun-2002	21-jun-2002	20-jun-2002
6	13-agost-2002	14-agost-2002	14-agost-2002	14-agost-2002	13-agost-2002
7	03-sept-2002	04-sept-2002	04-sept-2002	04-sept-2002	03-sept-2002
8	08-oct-2002	09-oct-2002	09-oct-2002	08-oct-2002	Dañado ⁽¹⁾
9	12-nov-2002	12-nov-2002	12-nov-2002	13-nov-2002 (*)	Dañado
10	03-dic-2002	03-dic-2002	03-dic-2002	05-dic-2002	Dañado
11	16-ene-2003	16-ene-2003	16-ene-2003	Inaccesible ⁽²⁾	Dañado
12	13-feb-2003	13-feb-2003	13-feb-2003	Inaccesible	Dañado
13	25-mar-2003	25-mar-2003	-----	Inaccesible	Dañado
14	08-abr-2003	08-abr-2003	08-abr-2003	Inaccesible	Dañado
15	14-may-2003	14-may-2003	14-may-2003	Inaccesible	Dañado
Nueva Línea Base o Nuevo perfil de la tubería del Pozo 5.					20-may-2003 ⁽³⁾
					4-jun-2003 ⁽³⁾
16	16-jun-2003	16-jun-2003	16-jun-2003	Inaccesible	30-jun-2003
17	25-jul-2003	25-jul-2003	25-jul-2003	Inaccesible	30-jul-2003
18	15-agost-2003	15-agost-2003	15-agost-2003	18-agost-2003	18-agost-2003
<p>(1) En octubre de 2002, el pozo No.5 ubicado en la corona del talud No.3 fue objeto de vandalismo, provocando la obstrucción de la tubería inclinométrica, imposibilitando la toma de datos.</p> <p>(2) A partir de enero de 2003 no se ha realizado la toma de datos en el pozo No. 4, debido a que la erosión ha dañado el acceso a la zona. Actualmente se están realizando los trabajos para rehabilitar el acceso.</p> <p>(3) En vista que el pozo inlinométrico N°5 de 150 metros de profundidad se encuentra obstruido a 115m, se realizaron cuatro mediciones en las fechas indicadas, con objeto de determinar un nuevo perfil de la tubería, considerando una profundidad máxima de 114 m. Seleccionándose entonces, como nuevo perfil para posteriores mediciones, el correspondiente a la visita del 4 de junio del 2003.</p> <p>(*) Ensayo eliminado por errores en las lecturas.</p>					

Tabla 4.2 Ensayos inclinometricos e inspecciones del nivel freático realizados en el Talud N° 3 de la Curva La Leona, San Vicente.

Cabe mencionar que cada una de las visitas a las que se hace referencia en la tabla anterior equivale a un registro completo de todos los pozos inclinómetros, incluyendo el del nivel freático, para una determinada fecha ó fechas consecutivas; para lo cual se requiere el trabajo de al menos dos días, de una cuadrilla conformada por tres técnicos especialistas en la toma de datos inclinométricos.

5.0 ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL MONITOREO.

5.1 Resultados del Monitoreo Inclinométrico.

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.

POZO 1	POZO 2	POZO 4	POZO 5 Mediciones Iniciales	POZO 5 Nuevas Mediciones
Desplazamientos Acumulados				
Desplazamientos Incrementales				
Desviaciones Acumuladas				
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, Dirección A en orientación N-S y Dirección B en orientación E-O, 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 estos están conformados por

materiales arena limosos, 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 del talud.

Las profundidades de los estratos superficiales con las cuales se realizaron los análisis, han sido de 0, 10 y 20 m en los casos de los pozos 1, 2 y 4, ya que las profundidades de estos oscila entre 30 y 50 m; y de 0, 20 y 40 m en el pozo5, el cual en las mediciones iniciales tenía una profundidad de 150 m y actualmente 114 m.

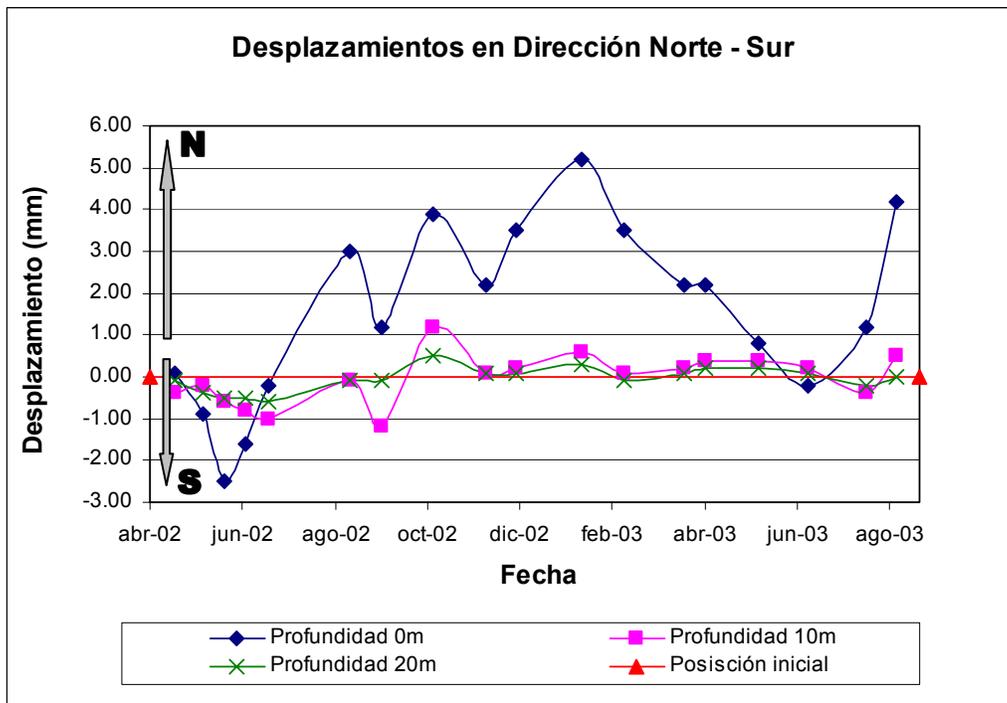


Figura 5.1 Desplazamientos del inclinómetro del pozo N° 1, dirección A.

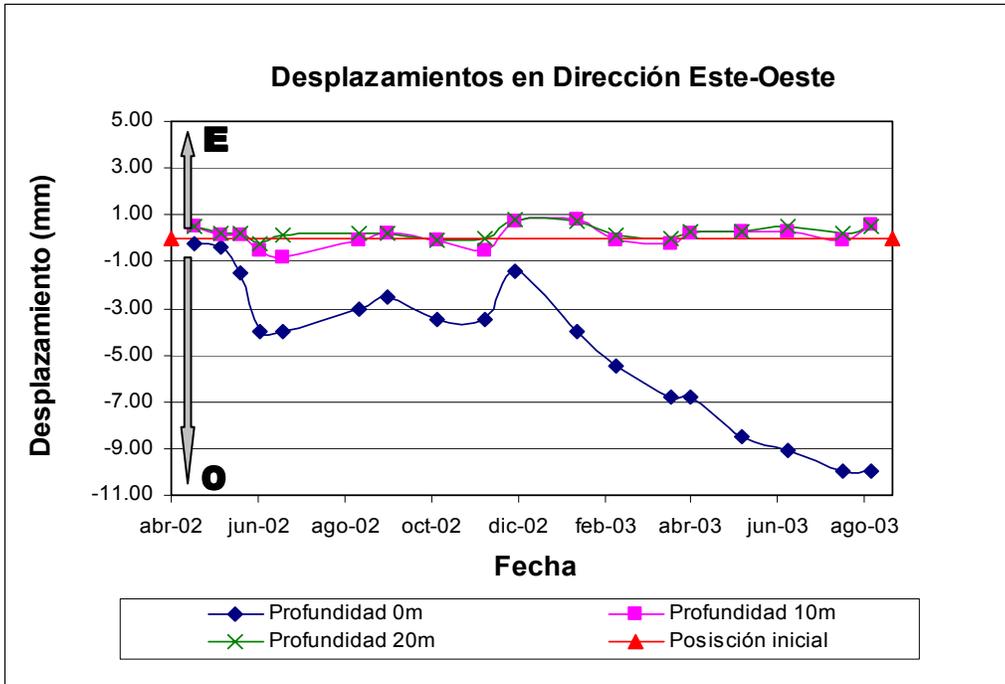


Figura 5.2 Desplazamientos del inclinómetro del pozo N° 1, dirección B

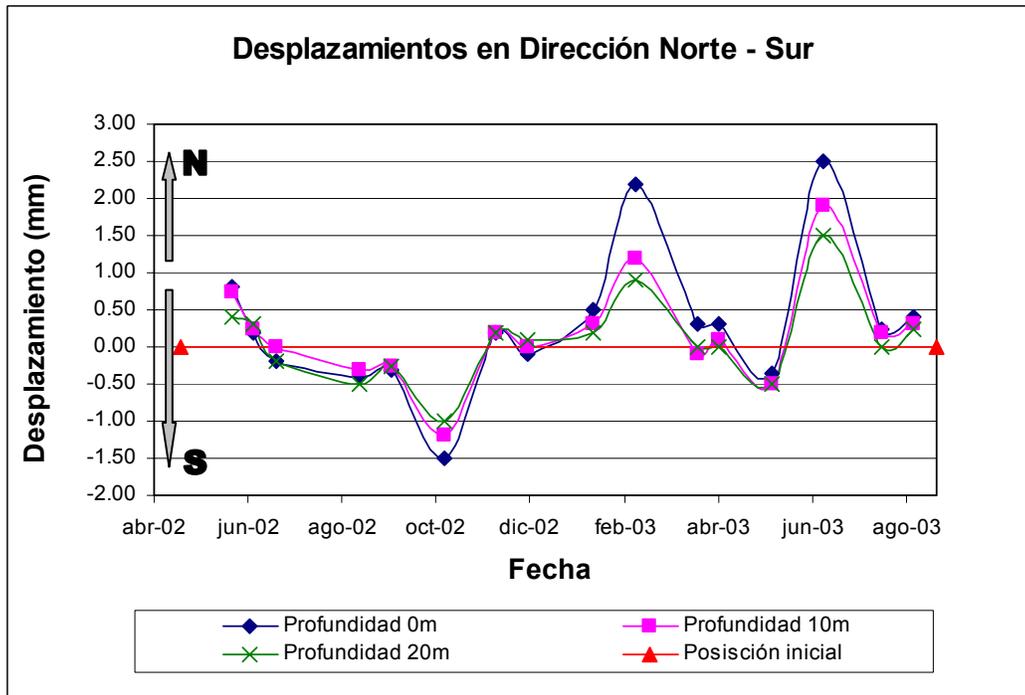


Figura 5.3 Desplazamientos del inclinómetro del pozo N° 2, dirección A

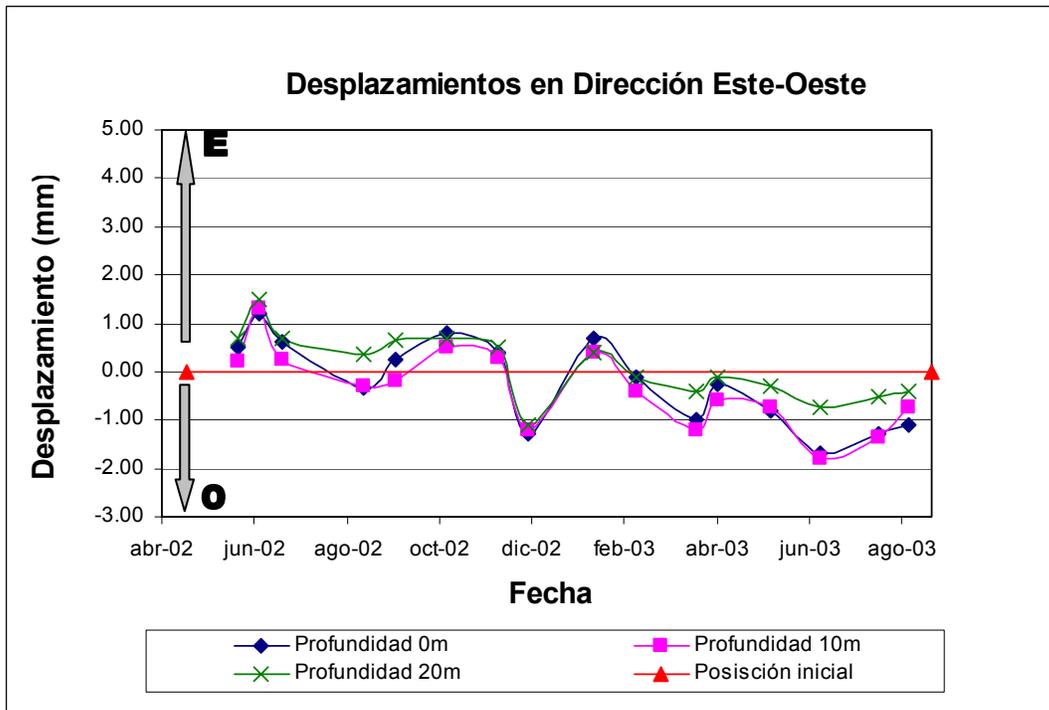


Figura 5.4 Desplazamientos del inclinómetro del pozo N° 2, dirección B

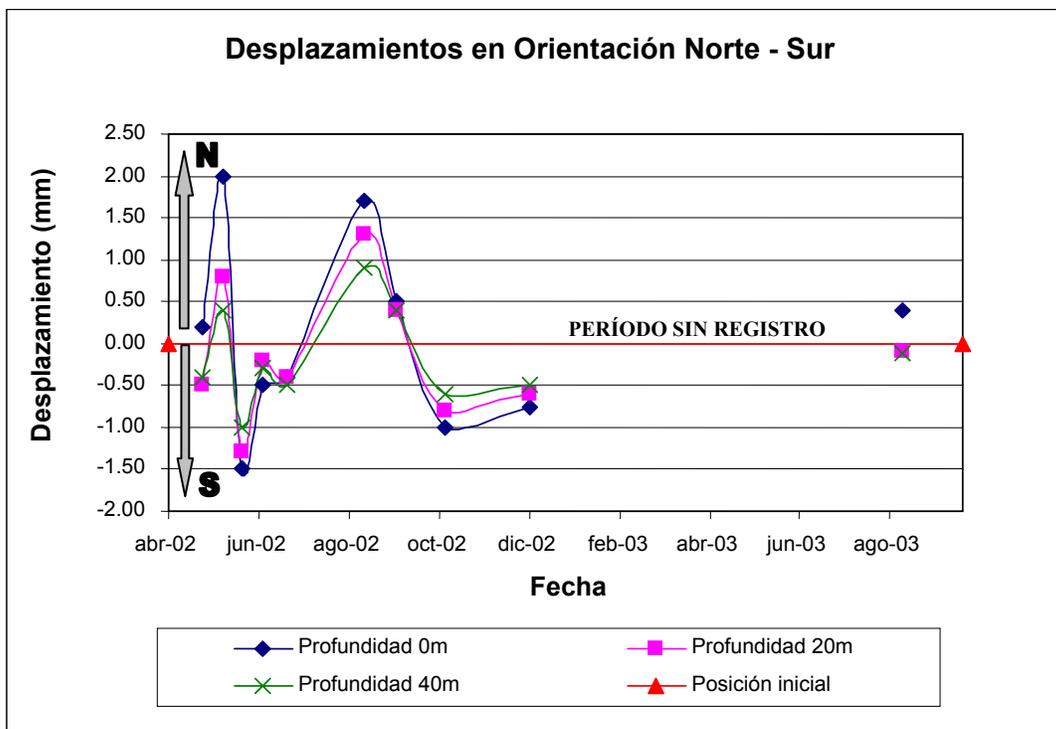


Figura 5.5 Desplazamientos del inclinómetro del pozo N° 4, dirección A.

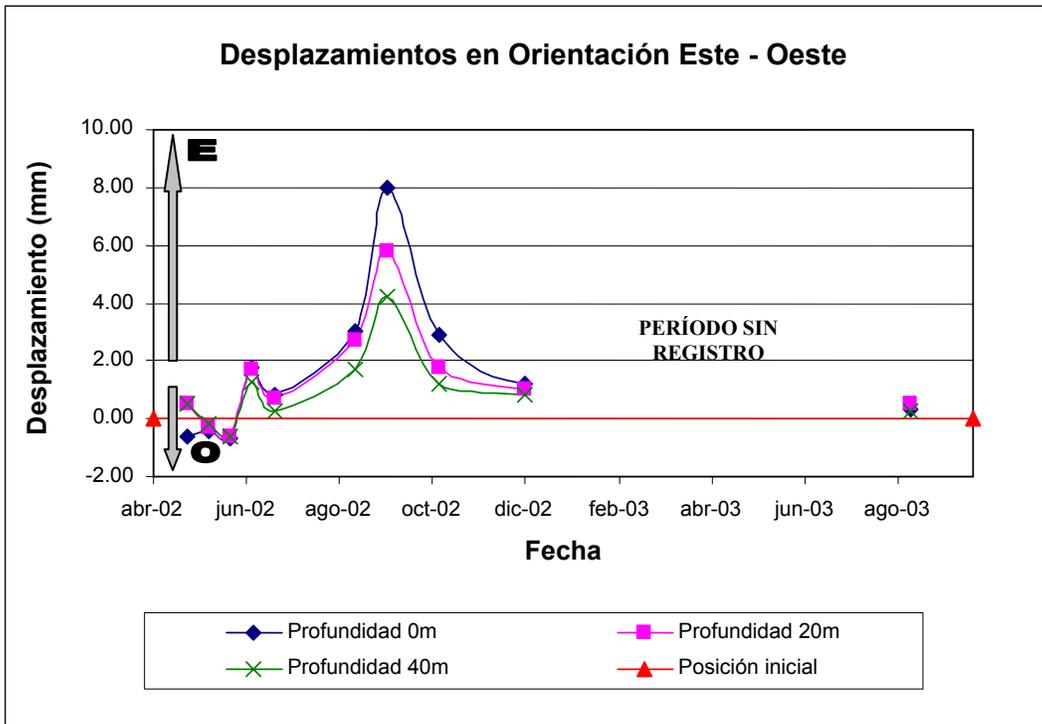


Figura 5.6 Desplazamientos del inclinómetro del pozo N° 4, dirección B

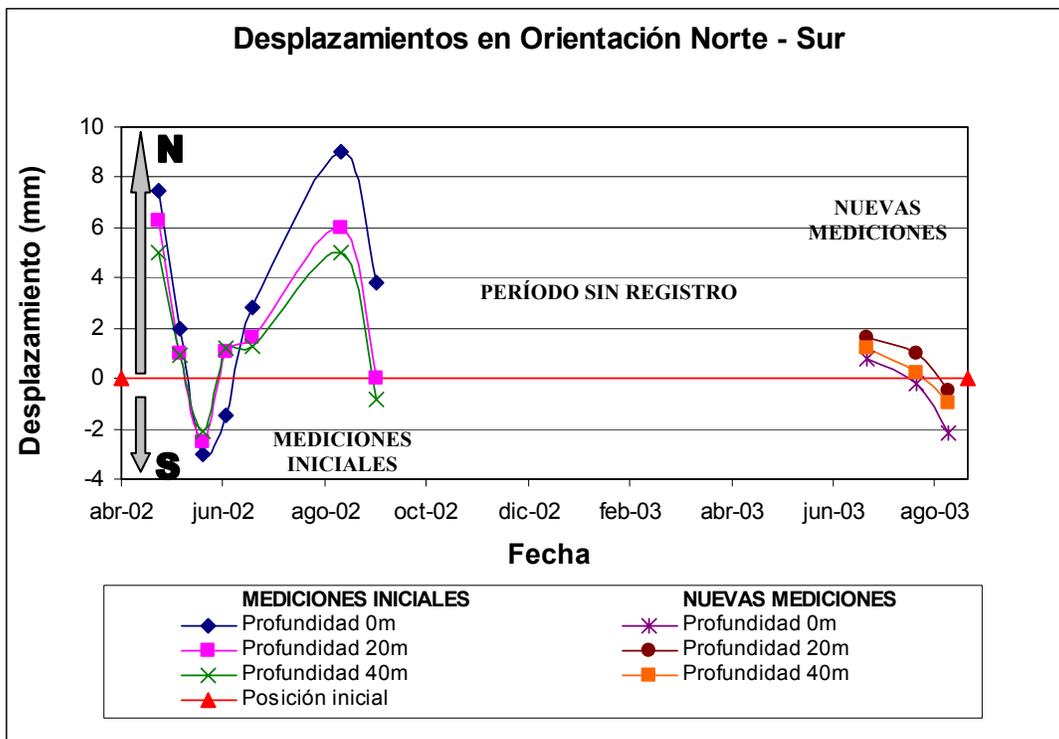


Figura 5.7 Desplazamientos del inclinómetro del pozo N° 5, dirección A.

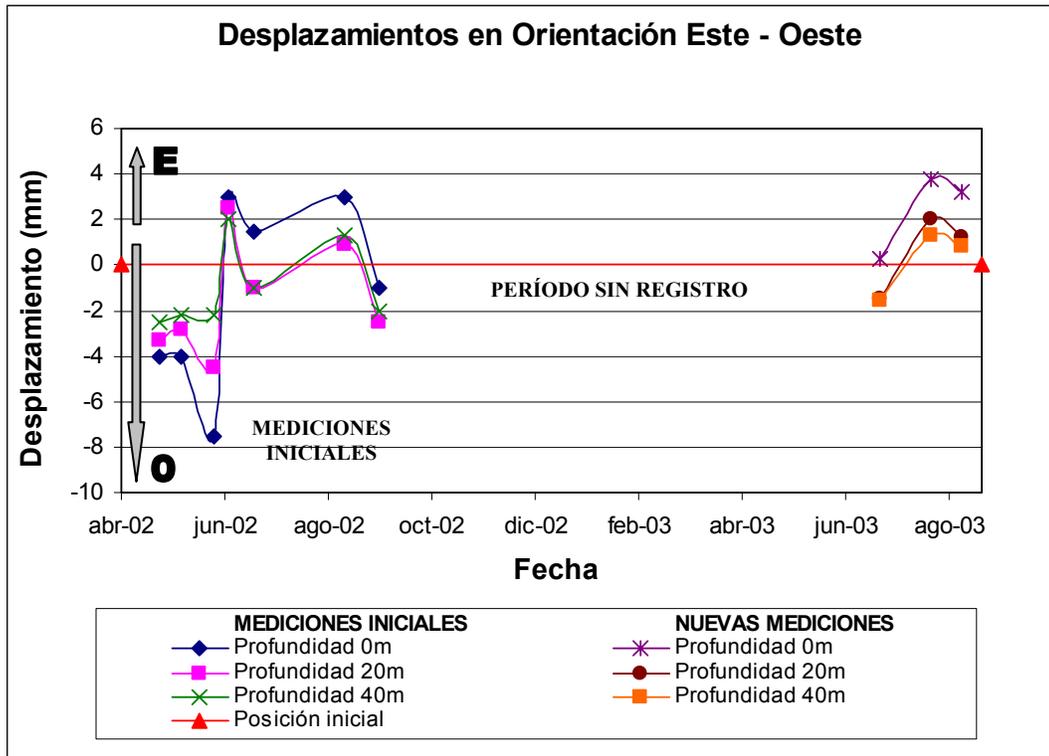


Figura 5.8 Desplazamientos del inclinómetro del pozo N° 5, dirección B.

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 Norte, Sur, Este y Oeste, 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 milésimas de metros.

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS (mm)	N° DE POZOS INCLINOMÉTRICO	DIRECCIÓN DE MEDICIÓN	PROFUNDIDAD			
			0.0 m	10.0 m	20.0 m	40.0 m
1		A (N-S)	5.20 N (2.5 S)	1.2 N (1.2 S)	0.50 N (0.60 S)	-
		B (E-O)	0.0 E (10.0 O)	0.8 E (0.8 O)	0.8 E (0.20 O)	-
2		A (N-S)	2.5 N (1.5 S)	1.9 N (1.2 S)	1.5 N (0.9 S)	-
		B (E-O)	1.3 E (1.7 O)	1.4 E (1.8 O)	1.5 E (1.2 O)	-
4		A (N-S)	2.0 N (1.5 S)	1.3 N (1.3 S)	0.9 N (1.0 S)	
		B (E-O)	8.0 E (0.6 O)	5.8 E (0.6 O)	4.2 E (0.6 O)	
5		A (N-S)	9.0 N (3.0 S)	-	6.0 N (2.1 S)	5.0 N (2.1 S)
		B (E-O)	3.8 E (7.5 O)	-	2.5 E (4.5 O)	2.0 E (2.0 O)

Tabla 5.2 Máximos desplazamientos registrados en los pozos inclinométricos, a profundidades de 0, 10, 20 y 40 metros

5.2 Resultados del Monitoreo del Nivel Freático.

Las fluctuaciones que ha sufrido el nivel freático del pozo ubicado en el talud N°3 se muestran en la siguiente figura.

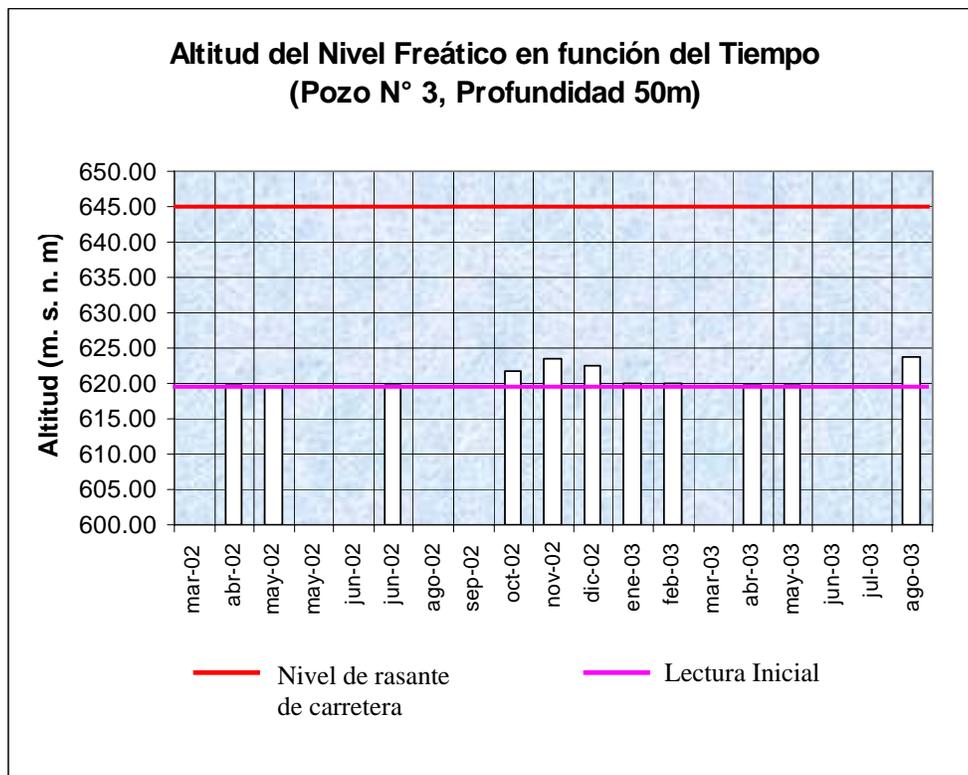


Figura 5.9 Comportamiento del nivel freático en el tiempo, pozo N°3

5.3 Resultados del Monitoreo Superficial.

Actualmente, no se ha iniciado este monitoreo, puesto que se están realizando trabajos para reubicar algunos mojones topográficos necesarios para tal cometido.

5.4 Resultados de Inspecciones Visuales

De las inspecciones realizadas a los taludes de La Curva la Leona (Taludes 1, 2 y 3), se muestra a continuación un resumen de las problemáticas más comunes que se han observado, durante las 19 visitas de inspección realizados hasta la fecha; al igual que algunas de soluciones implementadas por el Fondo de Inversión vial (FOVIAL), a tales problemáticas.

TIPOS DE PROBLEMATICAS	OBSERVACIONES	SOLUCIONES IMPLEMENTADAS
Desprendimiento locales y erosión	Pequeños desprendimientos superficiales en los Taludes 1 y 3, originados por las precipitaciones de la zona.	Remoción de los materiales desestabilizados.
	Problemas generalizados de erosión del material bajo la Biomalla. (ver fotografía 5.1)	Perfilación del talud erosionado y colocación de Biomalla nueva para favorecer el crecimiento de la vegetación y disminuir el proceso de erosión (ver fotografía 5.2)
Deslizamientos, grietas o escarpes.	No se han observado, en ninguno de los taludes	
Sistema de Drenaje	Azolvamientos de canaletas, contracunetas y tuberías, en los taludes 1 y 3. (ver fotografía 5.3)	Construcción de muro tipo gavión contiguo a la canaleta de la segunda berma del Talud 3, para minimizar el azolvamiento causado por el material erosionado. (ver fotografía 5.4)
	Canaletas dañadas por la socavación de su material de apoyo, en el talud 3.	Reparación de canaletas y contracunetas.
Estado de los inclinómetros y accesibilidad a la zona	Socavación de la base del inclinómetro N°2, en el talud 3, y falta de acceso al pozo inclinométrico N° 4	Ampliación de la base de los inclinómetros y realización del acceso al pozo inclinométrico N°4 (ver fotografía 5.5 y 5.6)
Biomalla de fibra de Coco	Desprendimientos parciales de la Biomalla, en los tres taludes.	Colocación de nueva Biomalla.
	Biomalla quemada en gran parte del talud N° 2.	

Tabla 5.2. Principales problemas observados en las inspecciones visuales realizadas a los Taludes de la Curva La Leona.



Fotografía 5.1a. **Problemática.** Socavación del material bajo la Biomalla. Costado Oriente del pie del Talud 3.



Fotografía 5.1b. **Solución Implementada.** Colocación de nueva Biomalla en el Costado Poniente del talud 3.



Fotografía 5.2a. **Problemática.** Asolvamientos de canaletas. Costado Oriente de la berma C, Talud 3.



Fotografía 5.2b. **Solución implementada.** Construcción de muro tipo gavión contiguo a la canaleta ubicada en el Costado Poniente de la segunda berma del talud 3 y limpieza de la misma.



Fotografía 5.3. Ampliación de la base de los pozos inclinométricos, segunda berma del talud 3.



Fotografía 5.4. Construcción de un nuevo acceso para el pozo inclinométrico N°4.

6.0 CONCLUSIONES.

- Respecto a las medidas de mitigación implementadas por el Ministerio de Obras Públicas, en particular a las orientadas a estabilizar las zonas afectadas por los terremotos de enero y febrero del 2001, se concluye que estas han funcionado satisfactoriamente puesto que los taludes no presentan movimientos que se consideren anormales.
- En relación a la Biomalla de fibra de coco, colocada para favorecer el crecimiento de la vegetación y evitar la erosión del cuerpo del talud, se puede decir que no han funcionado de manera efectiva, puesto que la vegetación que se pretendía desarrollar no se generó; posiblemente por que el material era predominantemente arenoso o porque los trabajos se realizaron en época seca. Sin embargo, dicha manta disminuye en cierta medida la erosión del cuerpo del talud, al reducir la velocidad de arrastre del agua.
- Con base a los desplazamientos registrados en la cabeza de los inclinómetros, se observa que los desplazamientos máximos oscilan entre los 1.9 y 10 milímetros, al comparar dichos valores con los desplazamientos máximos esperados para la falla del talud establecidos por el consultor (de 6.3 a 7.21 centímetros⁷), se puede concluir que la magnitud de estos movimiento es despreciable y que el talud se encuentra en estado estable.
- Según los desplazamientos acumulados resultantes del monitoreo inclinométrico, se observa que en ninguno de los pozos (1, 2, 4 y 5) existen movimientos abruptos que reflejen o sugieran la presencia de una superficies de falla.
- En relación con el monitoreo a través de inspecciones Visuales, solamente se han detectado azolvamientos de cunetas, contracunetas y tuberías, debido al material erosionado por las intensas lluvias, además de algunos daños parciales en las canaletas, los cuales con objeto de mantener en buenas condiciones el sistema de drenaje del talud y

⁷ MOPTDV. Diseño y Documentos de Licitación para el Proyecto de Rehabilitación de la Carretera CA-1, Tramo Curva La Leona, Km 53, Dañada por los Terremotos del 13 de enero y 13 de febrero del 2001. INFORME FINAL. VOLUMEN II. Enero de 2002, Pág 398.

la estabilidad del mismo, son reportadas al Fondo de Inversión Vial FOVIAL, para el respectivo mantenimiento.

- Respecto al monitoreo de las variaciones del nivel freático, se observa que el mayor cambio experimentado hasta la fecha consiste en un ascenso del mismo, registrado en el mes de agosto del 2003, el cual sobrepasa en 4.0 m el nivel inicial del monitoreo. Sin embargo, dicho nivel sigue estando muy por debajo del nivel de la rasante de la carretera (21.33 m abajo), por lo cual se considera que el nivel freático no influye en el grado de estabilidad del cuerpo del talud.

7.0 REFERENCIAS.

- “*Diseño y Documentos de Licitación para el Proyecto de Rehabilitación de la Carretera CA-1, Tramo Curva La Leona, Km 53, Dañada por los Terremotos del 13 de enero y 13 de febrero del 2001*”. INFORME FINAL. VOLUMEN II. MEMORIA TÉCNICA. MOPTDV Enero de 2002.
- “*Diseño y Documentos de Licitación para el Proyecto de Rehabilitación de la Carretera CA-1, Tramo Curva La Leona, Km 53, Dañada por los Terremotos del 13 de enero y 13 de febrero del 2001*”. INFORME FINAL. VOLUMEN IV. ANEXO D, GEOTECNIA Y MECANICA DE SUELOS. MOPTDV. Enero de 2002.
- “*Geotechnical Instrumentation for monitoring field performance*”. John Dunncliff, Gordon E Green.
- “*Ingeniería Geológica*”. Gonzáles de Vallejo. Pretice Hall. 2002
- “*Monitoreo Inclínométrico de Taludes*”, INFORME TÉCNICO. UIDV-VMOP-2003.
- “*Geotechnical, Geophysical, Groundwater and Structural Instrumentation*”. Brochures, Slope Indicator.
- Presentación: “*Estabilidad de Taludes Carretera CA-1, tramo Curva La Leona*”, Expositor: *Dr. Alba Hurtado*. Ortega y CIA CLASS, Consultor del Ministerio de Obras Públicas. Enero, 2002.

[Pagina Principal](#)

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