

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCANA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia		Aprobado	Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		SUBDIRECTOR ACADEMICO	1(160)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	ANGIE ALEJANDRA MUÑOZ QUINTERO		
FACULTAD	DE INGENIERÍAS		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA CIVIL		
DIRECTOR	MSC. ROMEL JESUS GALLARDO AMAYA		
TÍTULO DE LA TESIS	APOYO TÉCNICO EN LA INSTRUMENTACION, MONITORERO Y CONTROL DE TALUDES INESTABLES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE TIJUANA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.		
RESUMEN			
<p>EL TRABAJO ELABORADO EN CONJUNTO CON EL GRUPO DE INGENIERÍA DEL TERRENO INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL EUROAMERICANO ITEICO, CONSISTIÓ EN EL APOYO TÉCNICO EN EL DESARROLLO DE PROCESOS DE MONITOREO Y CONTROL DE LADERAS INESTABLES LOCALIZADAS EN EL ÁREA METROPOLITANA CIUDAD DE TIJUANA, BAJA CALIFORNIA MÉXICO. PARA EL DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS INICIALMENTE SE REALIZÓ UN ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS PREVIOS Y DE LA DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO INCLUYENDO ESTUDIOS GEOTÉCNICOS, ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELO, TOPOGRAFÍA DEL TERRENO, Y EVALUACIÓN DE RIESGOS, PARA SUSTENTAR LA IMPORTANCIA DEL USO DE LA MONITOREO Y CONTROL A TRAVÉS DE LA INSTRUMENTACIÓN</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 160	PLANOS:0	ILUSTRACIONES:0	CD-ROM:1



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104
 info@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

APOYO TÉCNICO EN LA INSTRUMENTACION, MONITORERO Y CONTROL DE
TALUDES INESTABLES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE TIJUANA, BAJA
CALIFORNIA, MÉXICO.

AUTOR:

ANGIE ALEJANDRA MUÑOZ QUINTERO

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

Director:

MSC. ROMEL DE JESUS GALLARDO AMAYA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERIAS

INGENIERIA CIVIL

Ocaña, Colombia

Octubre 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi guía, por dotarme de salud y entendimiento para lograr esta meta.

A mis padres por su apoyo para realizar mi sueño de ser una ingeniera civil.

A la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por permitirme crecer de manera académica, espiritual y emocional, dándome la oportunidad de ser una profesional, al grupo de investigación GIGMA, así como también a los diferentes docentes que me enseñaron y formaron de manera integral.

A la Universidad de las Californias Internacional UDCI, Tijuana, B.C.; en especial a la familia Carillo Vilches, por su acompañamiento y amistad durante mi estancia en México, de igual manera a mis Docentes, al grupo de investigación ITEICO, y mis compañeros de estudio de sexto cuatrimestre de Ingeniería Civil.

Al Magister Romel Gallardo Amaya por ser mi director, y ejemplo a seguir durante estos últimos años, por brindarme sus conocimientos, enseñanzas, paciencia, colaboración y además por su acompañamiento durante el desarrollo de este proyecto.

A mis jurados la Ing. Andrea Lorena Vergel y el Esp. Agustín Macgregor por dedicarme su tiempo, paciencia y todas las observaciones profesionales, cuyo aporte fue esencial para la construcción de este exitoso proyecto.

A mis queridas amigas, porque juntas vivimos este proceso con buenos y malos momentos pero que hombro a hombro luchamos por el mismo sueño de llegar más allá de lo que pensamos.

A la persona que Dios puso en mi camino para darme fortaleza, sin él esto no hubiese sido posible, porque las mejores cosas suceden sin planearlas.

A todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto y además a las personas que me apoyaron durante mi carrera universitaria.

“Todo tiene su tiempo, y todo lo que se quiere debajo del cielo tiene su hora”

Eclesiastés 3:1

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro a Dios quien guía mis pasos a todo instante y me demuestra su amor dándome el privilegio de formar parte de una hermosa familia, llenándome de felicidad día tras día por medio de mis maravillosos padres Maritza Quintero y Alexander Muñoz, quienes han hecho de mi carácter una columna fundamental en la determinación que me llevo a culminar exitosamente este capítulo de mi vida. Durante este proceso encontré metas pequeñas y colosales las cuales pude conquistar gracias a ellos en los cuales encontré la fuerza y el aliento, como reflejo de su amor. De igual manera a los miembros de mi familia, a mis amigos y compañeros de estudio que hicieron posible alcanzar este triunfo.

Índice

Capítulo 1: APOYO TÉCNICO EN LA INSTRUMENTACION,	
MONITORERO Y CONTROL DE TALUDES INESTABLES EN EL ÁREA	
METROPOLITANA DE TIJUANA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO1	
1.1	Descripción breve de la institución 1
1.1.1.	Misión..... 1
1.1.2.	Visión 1
1.1.3.	Objetivos de la Institución..... 2
1.1.4.	Descripción de la estructura organizacional 2
1.1.5.	Descripción del proyecto asignado 2
1.2	Diagnóstico inicial de la dependencia asignada 3
1.2.1.	Planteamiento del Problema 4
1.3	Objetivos 4
1.3.1.	General 4
1.3.2.	Específicos..... 4
1.4	Descripción de las Actividades a desarrollar en la misma 5
1.5	Cronograma de Actividades 6
Capitulo. 2: ENFOQUES REFERENCIALES..... 7	
2.1	Enfoques Conceptuales 7
2.1.1.	Análisis de Estabilidad del Terreno..... 7
2.1.1.1.	<i>Metodologías para el Análisis de Estabilidad de Taludes</i> 7
2.1.2.	Evaluación de Riesgos por Inestabilidad..... 9
2.1.2.1.	<i>Laderas Urbanas</i> 10
2.1.2.2.	<i>Evaluación de la Amenaza</i> 10
2.1.2.3.	<i>Vulnerabilidad</i> 15
2.1.2.4.	<i>Riesgo</i> 15
2.1.3.	Instrumentación y Monitoreo 19

2.1.4.	Objetivos de la Instrumentación.....	20
2.1.5.	Tipos de Instrumento	21
2.1.6.	Los Inclínómetros.....	32
2.1.6.1.	<i>Instalación del Tubo Inclinométrico</i>	36
2.1.6.2.	<i>Lectura del Inclínómetro</i>	38
2.1.6.3.	<i>Interpretación y Manejo de los Datos</i>	40
2.1.6.4.	<i>Inclinómetros Fijos</i>	40
2.1.7.	Caracterización de un Deslizamiento Utilizando la Instrumentación	42
2.1.7.1.	<i>Reconocimiento del Tipo y Características del Movimiento</i>	42
2.1.7.2.	<i>Localización de la Superficie de Falla</i>	43
2.1.7.3.	<i>Diseño del Programa de Instrumentación y Monitoreo</i>	45
2.2	Enfoque Legal	46
2.2.1.	Reglamento de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California (1992) Titulo D.	46
2.2.2	Normas Técnicas Complementarias de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California de Seguridad Estructural en Materia de “Diseño y Construcción de Cimentaciones”	47
2.2.3	Normas Técnicas Complementarias de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California de Seguridad Estructural en Materia de “Diseño Sísmico”	48
Capítulo. 3	INFORME DE CUMPLIMIENTO DE TRABAJO	49
3.1	Considerar los resultados de Estudios Previos de las zonas de ladera de la Ciudad de Tijuana	49
3.1.1	Proyecto Análisis de la estabilidad del terreno y monitoreo geotécnico-estructural en el Fraccionamiento Rincón Toscano	50
3.1.2	Proyecto: Monitoreo de sondeos inclinométricos en residencial “Cafetales”	53
3.2	Mediciones sobre los Parámetros Geotécnicos de las zonas de ladera Inestables vinculadas al Proyecto de Investigación	55
3.2.1 Proyecto Análisis de la estabilidad del terreno y monitoreo geotécnico-estructural en el Fraccionamiento Rincón Toscano	55
3.2.2	Proyecto: Monitoreo de sondeos inclinométricos en residencial “Cafetales”	56

3.3 Dictamen Tecnico de Monitoreo y Control de Zonas de ladera Inestable 56

3.4 Desarrollar un Instructivo de Campo para uso de sonda inclinométrica RST 57

Capitulo 4: Conclusiones..... 58

Capitulo 5: Recomendaciones..... 59

Rreferencias 60

Apéndices 63

Lista de Tablas

Tabla 1. Descripción de las actividades a desarrollar	5
Tabla 2. Metodologías utilizadas en la modelación de taludes	8
Tabla 3. Clasificación de la susceptibilidad a los deslizamientos con base en la observación de la morfología del terreno.....	12
Tabla 4. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos	13
Tabla 5. Descripción del Programa de Instrumentación	52
Tabla 6. Descripción del Programa de Instrumentación.....	55

Lista de Figuras

Figura 1. Estructura Organizacional (Organigrama).....	2
Figura 2 Matriz DOFA	3
Figura 3 Cronograma de Actividades.....	6
Figura 4. Herramientas Disponibles para el análisis de estabilidad de Taludes	7
Figura 5 Representación de los factores que intervienen en la expresión del riesgo.....	10
Figura 6. Zonificación de amenaza por deslizamientos.....	11
Figura 7. Esquema general de la zonificación de la amenaza.....	14
Figura 8. Riesgo parcial P (HA).....	16
Figura 9. Riesgo Específico R(S).....	17
Figura 10. Riesgo Específico R (SV).....	17
Figura 11. Riesgo Múltiple R (M).....	18
Figura 12. Riesgo Total R (T).....	18
Figura 13. Instrumentación y monitoreo.....	20
Figura 14 Vigilancia del deslizamiento de Cucaracha en el Canal de Panamá con mediciones electro-ópticas.....	22
Figura 15. Medidor de Verticalidad.....	23
Figura 16. Equipo sencillo, en madera, para medir los desplazamientos	24
Figura 17. Medidor de tira metálica.....	25
Figura 18. Medidor de Grilla Graduada.....	25
Figura 19. Diagrama de instalación de un extensómetro horizontal	26
Figura 20. Medidores mecánicos de deformación.....	26

Figura 21. Medidor eléctrico para deformaciones de grietas	27
Figura 22 Extensómetro vertical sencillo para medir el desplazamiento de la superficie de falla.....	28
Figura 23. Esquema de la medición del desplazamiento, en la superficie de falla, donde se emplea un extensómetro vertical.....	29
Figura 24. Diagrama de un extensómetro multipunto.....	30
Figura 25. Esquema de las tiras de cortante y los extensómetros verticales.....	31
Figura 26. Monitoreo de deslizamientos utilizando inclinómetros y piezómetros.....	32
Figura 27. Esquema de un inclinómetro.....	33
Figura 28. Detalles de la tubería del inclinómetro.....	34
Figura 29. Esquema del desplazamiento de un inclinómetro.....	35
Figura 30. Sistema del inclinómetro.....	36
Figura 31. Ejemplo de datos del inclinómetro.....	37
Figura 32. Designaciones de las ranuras y vectores del movimiento.....	38
Figura 33. Sensores de inclinómetros fijos.....	41
Figura 34. Detalle de tres procedimientos diferentes para determinar la superficie de falla en un deslizamiento.....	43
Figura 35. Esquemas de determinación de las superficies de falla.....	44
Figura 36. Superficie de falla en un sondeo.....	44
Figura 37. Distribución de los inclinómetros, postes de medición y sondeos con piezómetros en el deslizamiento.....	46
Figura 38. Principales zonas geomorfológicas de Tijuana, B.C.....	49
Figura 39. Ubicación del área de Estudio.....	50

Figura 40. Localización del Proyecto Análisis de la estabilidad del terreno y monitoreo geotécnico-estructural en el Fraccionamiento Rincón Toscano.....	51
Figura 41. Ubicación de tubería para sonda Inclinométrica y Extensómetro.....	52
Figura 42 Zona de Estudio.....	53
Figura 43. Localización proyecto Monitoreo de sondeos inclinométricos en residencial “Cafetales”.....	54
Figura 44. Ubicación en planta de sondeos inclinométricos.....	54

Lista de Apéndices

Apendice A. Carta Geologica	64
Apendice B Informe Tecnico en la instrumentacion, monitorero y control de taludes inestables en el área metropolitana de Tijuana, Baja California, México.	66
Apendice C. Manual para uso de Sonda Inclinometrica RST	125

INTRODUCCIÓN

El área metropolitana de la ciudad Tijuana, B. C., México se presentan distintas zonas de ladera susceptibles a deslizamientos debido a la complejidad geológica y geotécnica además de la fuerte actividad sísmica de la región; la inestabilidad de laderas es una amenaza permanente, causando esto destrucción y una afectación directa a la población, es por esto que algunos ciudadanos en busca de garantizar su seguridad optan por realizar un monitoreo y control de la evolución de los movimientos deformaciones agrietamientos y otros parámetros geotécnicos del suelo, así como de las presiones y niveles de agua en el interior del terreno, esto a través de instrumentos especializados como son la Sonda inclinométrica RST y extensómetro de cuerda.

Para este proyecto de grado en la modalidad pasantía se evaluaron en particular dos proyectos específicamente, el primer Proyecto: Monitoreo de sondeos inclinométricos en residencial “Cafetales” donde se realizó un monitoreo con sonda RST con un total de seis sondeos a diferentes profundidades, que se describirán en este informe y el segundo un Proyecto Análisis de la estabilidad del terreno y monitoreo geotécnico-estructural en el Fraccionamiento Rincón Toscano donde se efectuó un monitoreo a través de dos instrumentos la sonda inclinométrica RST y el extensómetro de cuerda, esto con el fin de evaluar los desplazamientos horizontales del terreno.

El grupo de investigación ITEICO cuenta con diferentes herramientas necesarias para el desarrollo de cada una de estas actividades, además de los equipos especializados con el personal idóneo para la utilización de estos, tanto para el trabajo de campo como para el desarrollo del procesamiento de datos y la realización de informes para la ejecución de los diferentes proyectos que se desarrollaran a lo largo de este documento.

Finalmente se muestra las conclusiones obtenidas a lo largo del desarrollo del cronograma de actividades, dando como resultado conclusiones y permitiendo exponer algunas recomendaciones dando así cumplimiento al apoyo técnico en la Instrumentación, monitoreo y control de Taludes inestables en el área Metropolitana de Tijuana, B.C., México

Capítulo 1. APOYO TÉCNICO EN LA INSTRUMENTACION, MONITORERO Y CONTROL DE TALUDES INESTABLES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE TIJUANA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.

1.1 Descripción breve de la institución

La universidad de las Californias Internacional es una Institución de Nivel Superior que proporciona un servicio educativo profesional con sentido creativo, innovador, humanista y altamente competitivo con más de 24 años de excelencia académica y calidad que nos respaldan. Se promueve la formación del carácter, inculcando el espíritu de responsabilidad y criterio con la convicción de que el deber es para cumplirse, lo cual conduce a la verdadera realización del hombre.

La formación cultural enriquece la propia personalidad del alumno, de acuerdo a su creatividad y al hábito del estudio continuo. La formación científica le permite comprender objetivamente el mundo para encontrar soluciones concretas a los problemas que se presentan en la vida personal. La búsqueda de la excelencia integral será el objetivo general de la estancia de los jóvenes en la UNIVERSIDAD DE LAS CALIFORNIAS INTERNACIONAL. (UDCI, 2017)

1.1.1 Misión Es una Institución de Nivel Superior con un servicio educativo profesional con sentido creativo, innovador, humanista y altamente competitivo, contribuyendo al desarrollo y la difusión del conocimiento por lo cual nos comprometemos en forjar profesionistas de calidad y excelencia, con una formación de liderazgo en la sociedad. (UDCI, 2017)

1.1.2 Visión Desde principios de la formación se ofrece una visión integral de la carrera profesional elegida para que el alumno perciba la unidad de todas las materias y la razón de ser de cada Disciplina en el contexto global del Plan de estudios.

En la visión humanística de UDCI, la persona es el creador y organizador de su entorno social porque contribuye y se sirve de los factores en que se circunscribe su actuación. (UDCI, 2017)

1.1.3 Objetivos de la Institución En toda Institución educativa de Nivel Superior es común a todas ellas y en este aspecto UDCI, cumple con la misión conceptual general. La misión propia y distintiva de UDCI está enmarcada en los principios que nos conducen a la formación intelectual y moral cristiana con un amplio y sólido conocimiento científico, económico, social y cultural, necesarios para participar en el mejoramiento de la sociedad a la luz del cristianismo. La formación integral ofrece una exposición completa, sistemática y jerarquizada de la ciencia teniendo como base los principios filosóficos, humanísticos y positivos que son fruto de la razón y de la investigación del hombre y que forman parte del patrimonio cultural de la humanidad. (UDCI, 2017)

1.1.4 Descripción de la estructura organizacional

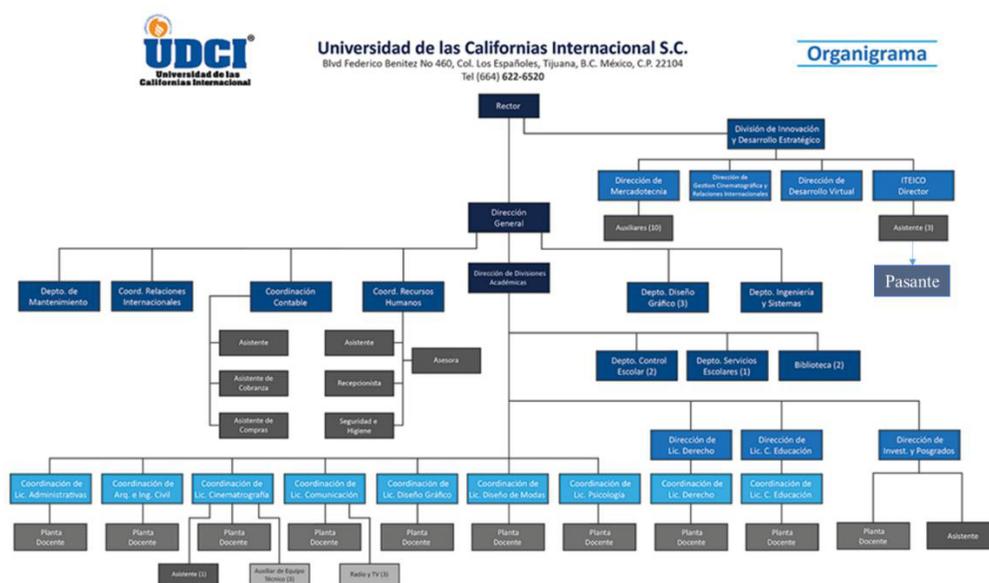


Figura 1. Estructura Organizacional (Organigrama)

Fuente. (UDCI, 2017) Obtenido de: http://www.udc.com.mx/images/2015/organigrama/udci_organigrama1.gif

1.1.5 Descripción del proyecto asignado Inicialmente se hará una verificación e interpretación de los estudios y de la documentación técnica del proyecto para posteriormente realizar una aplicación directa en la instrumentación, monitoreo y control de taludes inestables en el área metropolitana de Tijuana mediante lecturas inclinométricas con sonda RST, lo cual llevara

a un procesamiento de datos, para la elaboración de reportes de monitoreo. El proyecto está ubicado en el área metropolitana de la ciudad de Tijuana, estado de Baja California, México.

1.2 Diagnóstico inicial de la dependencia asignada

La dependencia asignada es el **GRUPO ITEICO Euroamericano**, el cual se encuentra vinculado directamente a la **Universidad de las Californias Internacional (UDCI)**, a través de este vínculo el grupo ITEICO brinda apoyo en las investigaciones referentes al área de Geotecnia.

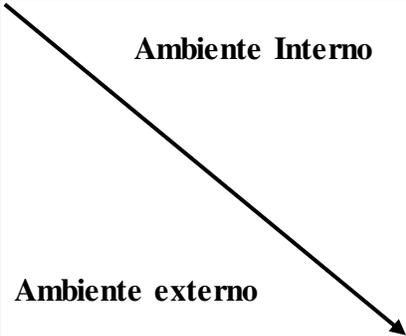
	Ambiente Interno	FORTALEZAS <ul style="list-style-type: none"> • Personal calificado y comprometido con la empresa • Empresa líder en instrumentación y control geotécnico de la región • Vinculación con la Universidad de las Californias Internacional 	DEBILIDADES <ul style="list-style-type: none"> • Dependencias de terceras empresas para realizar algunos trabajos • Plantilla de personal reducida
	Ambiente externo		
OPORTUNIDADES		FO(MAXI-MAXI)	DO(MINI-MAXI)
<ul style="list-style-type: none"> • Capacitación de empleados y clientes. • Ampliar la oferta de servicios científico-técnicas • Reducir el riesgo por inestabilidad del terreno en las comunidades e infraestructuras. 		<ul style="list-style-type: none"> • Promocionar servicios científicos técnicos a empresas y comunidad • Disponibilidad de sistemas de monitoreo y alertas tempranas a estructuras e infraestructuras 	<ul style="list-style-type: none"> • estudios de riesgos por inestabilidad del terreno y zonificación del mismo • elaborar mapa de riesgo por inestabilidad en zonas urbanas sub-urbanas e infraestructuras
AMENZAS		FA(MAXI-MINI)	DA(MINI-MINI)
<ul style="list-style-type: none"> • Capacitación de empleados y clientes. • Ampliar la oferta de servicios científico-técnicas • Reducir el riesgo por inestabilidad del terreno en las comunidades e infraestructuras. 		<ul style="list-style-type: none"> • Capacitar al personal de la empresa en la aplicación de tecnologías y conocimientos en otros sectores (minería, energético, etc.) • Ofrecer capacitación relacionada con la prevención-mitigación de eventos desastres producidos por inestabilidad del terreno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de la problemática relacionada con la inestabilidad del terreno existente en la región. • Elaborar un plan de acciones y de medidas estructurales y no estructurales, encaminado a reducir el riesgo por inestabilidad del terreno.

Figura 2 MatrizDOFA

Fuente. GRUPO ITEICO EUROAMERICANO MÉXICO

1.2.1 Planteamiento del Problema En la ciudad de Tijuana (México) se encuentra la Universidad de las Californias Internacional UDCI a la cual pertenece el grupo de investigación ITEICO (Ingeniería del Terreno Instrumentación y Control Euroamericano) quienes en los últimos años han identificado en la ciudad la presencia de distintas zonas de ladera susceptibles a deslizamientos, debido a la complejidad geológica y geotécnica. Adicionalmente es de resaltar la fuerte actividad tectónica de la región; la inestabilidad de los taludes es una amenaza permanente que podría causar destrucción y afectación a la población.

El grupo de investigación ITEICO realiza planes de instrumentación que permiten un control de la evolución de los movimientos, deformaciones, agrietamientos y otros parámetros geotécnicos del suelo; lo cual ayuda a generar alertas tempranas identificando el nivel de riesgo en determinadas zonas, dando la posibilidad de identificar las obras civiles necesarias para estabilizar los taludes a intervenir disminuyendo los riesgos y evitando consigo las potenciales pérdidas humanas.

1.3 Objetivos

1.3.1 General Apoyar técnicamente en la instrumentación, monitoreo y control de taludes inestables en el área metropolitana de Tijuana, Baja California, México.

1.3.2 Específicos

- ✓ Considerar los resultados de los estudios previos de las zonas de ladera de la ciudad de Tijuana
- ✓ Establecer los parámetros geotécnicos de las zonas de ladera inestables vinculadas al proyecto de investigación en la ciudad.
- ✓ Sintetizar la información por medio de un dictamen técnico relacionado con el monitoreo y control de las zonas de ladera inestables según los casos de estudio.

- ✓ Proponer un instructivo de campo para el uso sonda inclinométrica RST

1.4 Descripción de las Actividades a desarrollar en la misma

Tabla 1.

Descripción de las actividades a desarrollar

Objetivo general	Objetivo específicos	Actividades a desarrollar
Apoyar técnicamente en la instrumentación, monitoreo y control de taludes inestables en el área metropolitana de Tijuana, Baja California, México.	Considerar los resultados de los estudios previos de las zonas de ladera de la ciudad de Tijuana	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estudio bibliográfico de instrumentación, monitoreo y control de taludes inestables ✓ Revisión de la documentación técnica del proyecto ✓ Visita a taludes pertenecientes al proyecto ✓ Localización geográfica de taludes ✓ Identificación de los instrumentos utilizados para el monitoreo
	Establecer los parámetros geotécnicos de las zonas de ladera inestables vinculadas al proyecto de investigación en la ciudad.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Definir taludes a incluir en el análisis. ✓ Realizar lecturas inclinométricas con sonda RST ✓ Procesamiento de datos correspondientes a las lecturas ✓ Elaboración de reportes de monitoreo
	Sintetizar la información por medio de un dictamen técnico relacionado con el monitoreo y control de las zonas de ladera inestables según los casos de estudio.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Revisión de estudios de mecánica de suelo ✓ Considerar los estudios geotécnicos ✓ Interpretación de estudios de estabilidad de terreno ✓ Proponer un programa de instrumentación ✓ Desarrollar un Informe Técnico
	Proponer un instructivo de campo para el uso sonda inclinométrica RST	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Definir componentes del Sistema Inclinométrico. ✓ Establecer instrucciones de operación en campo. ✓ Considerar las especificaciones técnicas del equipo.

Nota. Relación de Actividades.

Fuente. Autor (2017)

1.5 Cronograma de Actividades

Actividades	Meses															
	Mayo					Junio				Julio				Agosto		
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
Estudio bibliográfico de instrumentación, monitoreo y control de taludes inestables	■															
Revisión de la documentación técnica del proyecto		■														
Visita a proyectos			■													
Localización geográfica de proyectos			■													
Definir taludes a incluir en el análisis.				■												
Revisión lecturas inclinométricas con sonda RST				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Comprensión del procesamiento de datos correspondientes a las lecturas						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Análisis de reportes de monitoreo						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Elaborar informe técnico del proyecto						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Revisión de estudios mecánica de suelos						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Considerar los estudios geotécnicos									■	■	■	■	■	■	■	■
Interpretación de estudios de estabilidad de terreno									■	■	■	■	■	■	■	■
Proponer un programa de instrumentación										■	■	■	■	■	■	■
Desarrollar un informe técnico											■	■	■	■	■	■
Definir las componentes del sistema inclinométrico													■	■	■	■
Establecer las instrucciones de operación en campo														■	■	■
Considerar las especificaciones técnicas del equipo														■	■	■

Figura 3 Cronograma de Actividades

Fuente. Autor (2017)

Capítulo. 2 ENFOQUES REFERENCIALES

2.1 Enfoques Conceptuales

2.1.1 Análisis de Estabilidad del Terreno Según (Suárez., J.2009) en el análisis de estabilidad se dispone de varias herramientas disponibles como son:

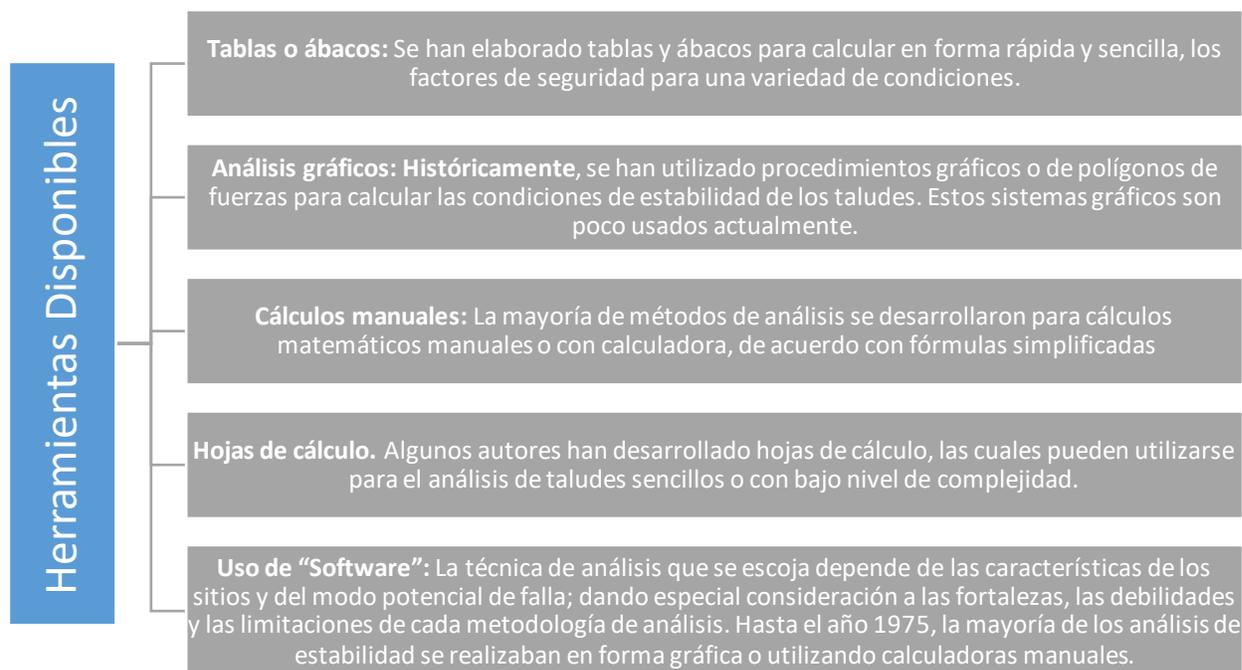


Figura 4. Herramientas Disponibles para el análisis de estabilidad de Taludes

Fuente. Suarez, J. 2009

2.1.1.1 Metodologías para el Análisis de Estabilidad de Taludes Dentro de las metodologías disponibles, se encuentran los métodos de límite de equilibrio, los métodos numéricos y los métodos dinámicos para el análisis de caídos de roca y flujos, entre otros.

Los métodos numéricos son la técnica que muestra la mejor aproximación al detalle, de las condiciones de estabilidad en la mayoría de los casos de evaluación de estabilidad de taludes. Sin embargo, los métodos de límite de equilibrio, son más sencillos de utilizar y permiten analizar los casos de falla traslacional y de falla rotacional, así como las fallas de inclinación (“Toppling”) y las fallas en cuña. Igualmente, los métodos de límite de equilibrio permiten el análisis combinado con técnicas probabilísticas (Stead, Benko, Coggan, & Eberhardt, 2000). En el caso de los sistemas de falla complejos, es conveniente utilizar metodologías de modelación que tengan en cuenta los factores que producen los movimientos. Los factores que generan el deslizamiento pueden ser complejos y muy difíciles de

modelar; no obstante, con el objeto de analizar esas situaciones complejas, existen algunas herramientas utilizando elementos finitos, diferencias finitas, elementos discretos y modelos dinámicos. Igualmente, se pueden integrar al análisis modelaciones de hidrogeología y las solicitaciones sísmicas. En la tabla 2 se presenta un resumen de las metodologías utilizadas en los análisis convencionales de estabilidad de taludes. (Suárez, J. 2009)

Tabla 2.

Metodologías utilizadas en la modelación de taludes

Método	Parámetros Utilizados	Ventajas	Limitaciones
Límite de equilibrio	Topografía del talud, estratigrafía, ángulo de fricción, cohesión, peso unitario, niveles freáticos y cargas externas.	Existe una gran cantidad de paquetes de software. Se obtiene un número de factor de seguridad. Analiza superficies curvas, rectas, cuñas, inclinaciones, etc. Análisis en dos y tres dimensiones con muchos materiales, refuerzos y condiciones de nivel de agua.	Genera un número único de factor de seguridad sin tener en cuenta el mecanismo de inestabilidad. El resultado difiere de acuerdo con el método que se utilice. No incluye análisis de las deformaciones.
Esfuerzo-deformación continuos	Geometría del talud, propiedades de los materiales, propiedades elásticas, elasto-plásticas y de "creep". Niveles freáticos, resistencia.	Permite simular procesos de deformación. Permite determinar la deformación del talud y el proceso de falla. Existen programas para trabajar en dos y tres dimensiones. Se puede incluir análisis dinámico y análisis de "creep".	Es complejo y no lineal. Comúnmente no se tiene conocimiento de los valores reales a utilizar en la modelación. Se presentan varios grados de libertad. No permite modelar roca muy fracturada.
Discontinuos Esfuerzo-deformación elementos discretos	Geometría del talud, propiedades del material, rigidez, discontinuidades resistencia y niveles freáticos.	Permite analizar la deformación y el movimiento relativo de bloques.	Existe poca información disponible sobre las propiedades de las juntas. Se presentan problemas de escala, especialmente en los taludes en roca.
Cinemáticos estereográficos para taludes en roca	Geometría y características de las discontinuidades. Resistencia a las discontinuidades.	Es relativamente fácil de utilizar. Permite la identificación y análisis de bloques críticos, utilizando teoría de bloques. Pueden combinarse con técnicas estadísticas.	Útiles para el diseño preliminar. Se requiere criterio de ingeniería para determinar cuáles son las discontinuidades críticas. Evalúa las juntas.
Dinámica de caídos de roca	Geometría del talud, tamaño y forma de los bloques y coeficiente de restitución.	Permite analizar la dinámica de los bloques y existen programas en dos y tres dimensiones.	Existe muy poca experiencia de su uso en los países tropicales.
Dinámica de flujos	Relieve del terreno. Concentración de sedimentos, viscosidad y propiedades de la mezcla suelo-agua.	Se puede predecir el comportamiento, velocidades, distancia de recorrido y sedimentación de los flujos.	Se requiere calibrar los modelos para los materiales de cada región. Los resultados varían de acuerdo con el modelo utilizado.

Nota. Relación de parámetros en modelación. Fuente. (Suárez, Deslizamientos. Análisis Geotécnico, 2009)

2.1.2 Evaluación de Riesgos por Inestabilidad La inestabilidad del terreno en laderas, produce cada año en todo el mundo movimientos de masas de suelo y rocas que ocasionan cuantiosas pérdidas materiales y considerables daños a las infraestructuras y el medioambiente, generando situaciones de emergencia cuyo manejo y prevención por parte de las autoridades se hacen sumamente difíciles. Las manifestaciones de inestabilidad más frecuentes en laderas son los movimientos denominados deslizamientos, que pueden ser rotacionales, traslacionales o combinados.

La ocurrencia de deslizamientos en laderas es el producto de la combinación de condiciones geológicas, hidrológicas y geomorfológicas, y la modificación de éstas por procesos geodinámicos, vegetación, uso de la tierra y actividades humanas, así como por la frecuencia e intensidad de las precipitaciones y la sismicidad. Además, los deslizamientos de tierra son fenómenos sujetos a muchos grados de incertidumbre debido a que se pueden presentar diversos tipos de movimientos, velocidades y modos de falla, y en materiales y condiciones geológicas diferentes.

A esto se suman la confiabilidad de los datos para el análisis y las incertidumbres humanas, y de los modelos matemáticos utilizados para el análisis de la estabilidad (**Morgenstern, 1997**). Lo anterior hace que el valor del factor de seguridad pueda ser más o menos confiable, en función de considerar (o no) los mencionados factores de incertidumbre.

El riesgo producido por deslizamientos es una función que depende de la amenaza y la vulnerabilidad y puede expresarse de la forma (Oliva & Gonzales, 2015):

$$R_{ie|t} = f(A_i, V_e)|t$$

La ecuación anterior significa que una vez conocida la amenaza, entendida como la probabilidad de que se presente un deslizamiento con una intensidad dada durante un período de exposición específico; y conocida la vulnerabilidad, entendida como la predisposición de los elementos expuestos o susceptibles a sufrir daños ante la ocurrencia del suceso; se puede determinar el riesgo, como la probabilidad de que se presenten pérdidas sobre los elementos expuestos. La Figura 5 muestra los factores que intervienen en la expresión del riesgo.

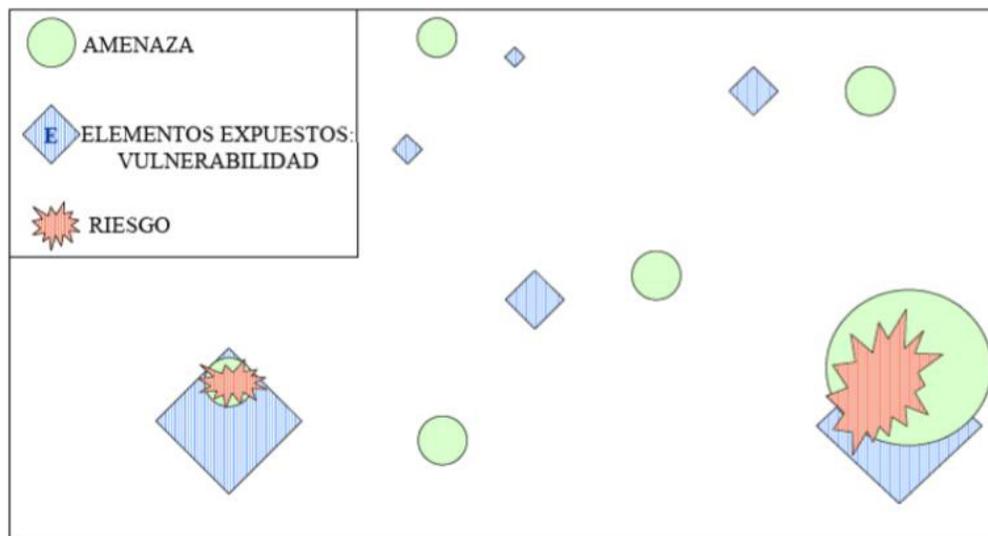


Figura 5 Representación de los factores que intervienen en la expresión del riesgo
Fuente. (Bonachea Pico, 2006)

2.1.2.1 Laderas Urbanas (Caballero, 2011) Define una ladera urbana

como “la forma de ocupación del suelo sobre un accidente geográfico o una cadena de accidentes geográficos con declives, con un uso intensivo en vivienda, equipamiento urbano e infraestructura económica y social, susceptible de presentar movimientos de subsidencia o colapso por la incidencia y combinación de factores internos y externos que constituyen un riesgo de desastre para sus ocupantes y sus bienes” En este contexto, las laderas urbanas son un producto de las prácticas humanas en cuanto al uso y forma de ocupación de superficies terrestres inclinadas donde se emplazan los asentamientos humanos.

Sobre la base del análisis e interpretación de la ecuación planteada en el literal 2.1.2. , se puede afirmar que las laderas en áreas urbanas son más susceptibles a ser inestables que en áreas no urbanas en condiciones geológicas y topográficas similares; y por tanto, el riesgo por inestabilidad es mayor.

2.1.2.2 Evaluación de la Amenaza La Amenaza natural es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, en un área específica dentro de un determinado período de tiempo (Varnes, 1984) Figura 5.

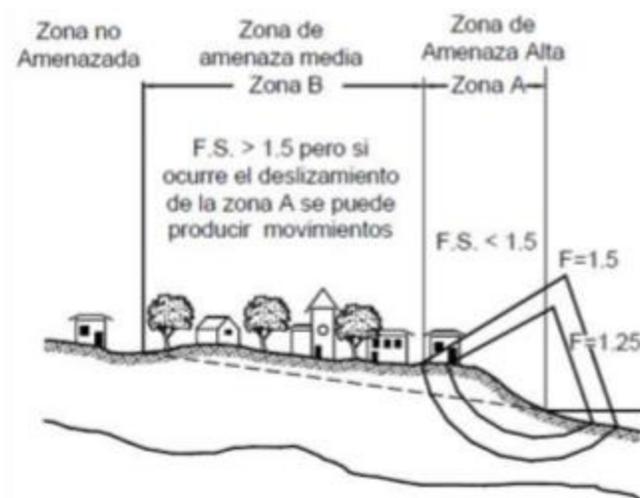


Figura 6. Zonificación de amenaza por deslizamientos

Fuente. (Varnes, 1984)

En el caso de laderas urbanas, la amenaza tiene una importante componente antrópica, atribuible a la acción humana directa o indirecta sobre elementos de la naturaleza. Los estudios de amenaza por deslizamientos se realizan para muchos propósitos. Algunos de ellos pueden ser (Westen, 2005):

- Planeación rural o urbana,
- Estudios de impacto ambiental de trabajos de ingeniería,
- El manejo de desastres en un pueblo o ciudad,
- La modelación de la producción de sedimentos en una cuenca,
- Proyectos de participación comunitaria en el manejo de desastres,
- Concientización o alerta a los tomadores de decisiones,
- Propósitos científicos.

Cada uno de estos objetivos tiene requerimientos específicos en lo que respecta a la escala de trabajo, el método de análisis y el tipo y detalle de los datos de entrada que deberán ser recolectados. Para que haya amenaza de deslizamiento, se requiere que se presenten conjuntamente la susceptibilidad y el

evento detonante. La susceptibilidad, generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno.

La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que puedan ocurrir deslizamientos. No existe un procedimiento estandarizado para evaluar la susceptibilidad a los deslizamientos ni para elaborar los mapas correspondientes, pero sí se pueden establecer niveles de susceptibilidad de acuerdo con los criterios de diversos autores (tablas 3 y 4).

Tabla 3.

Clasificación de la susceptibilidad a los deslizamientos con base en la observación de la morfología del terreno

Susceptibilidad	Criterio
VI Muy alta	Taludes con deslizamientos activos. Los movimientos pueden ser continuos o estacionarios.
V Alta	Taludes sujetos con frecuencia, a actividades de deslizamiento. La activación de los deslizamientos resulta cuando ocurren eventos con intervalos de recurrencia menor a cinco años.
IV Medianamente alta	Taludes con actividad de deslizamientos poco frecuente. La activación de deslizamientos ocurre en los eventos con intervalos de recurrencia mayores a cinco años.
III Mediana	Taludes con antigua evidencia de actividad de deslizamientos, pero que no han presentado movimientos en los últimos cien años.
II Baja	Taludes que no muestran evidencia de actividad previa de deslizamientos, pero que se consideran probables que se desarrollen en el futuro. Sin embargo, los análisis de esfuerzos como la analogía con otros taludes o el análisis de los factores, muestran una posibilidad baja de que lleguen a presentarse deslizamientos.
I Muy baja	Taludes que no muestran evidencia de actividad previa de deslizamientos y que por análisis de esfuerzos, analogías con otros taludes, o por análisis de los factores de estabilidad, se considera muy improbable que se desarrollen deslizamientos en el futuro previsible.

Nota. Fuente. (Crozier, 1986)

Tabla 4.

Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos

Susceptibilidad	Criterio
Muy alta	Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente meteorizadas y saturadas y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe una alta posibilidad de que ocurran.
Alta	Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta a moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.
Moderada	Laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados, donde no han ocurrido deslizamientos, pero no existe completa seguridad de que no ocurran.
Baja	Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados, no saturados, con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos.
Muy baja	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos.

Nota. Fuente. (Sarkar y Kanungo, 2004).

La probabilidad de deslizamiento se puede expresar en términos de (IUGS , 1997)

- El número de deslizamientos por año, característica que podrían ocurrir en el área de estudio;
- La probabilidad de que una ladera en particular, experimente deslizamientos en un período dado, por ejemplo, un año;
- Las fuerzas motoras que exceden las fuerzas resistentes en términos de probabilidad o confiabilidad, sin relacionar el análisis, con una frecuencia anual (Factor de seguridad);
- Formas de representar la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos

La probabilidad de que ocurra una amenaza de deslizamiento de determinada magnitud en un período de tiempo determinado

Entre las formas de analizar la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos se encuentran:

- Datos históricos en el área de estudio o en áreas de características similares,

- Análisis empíricos basados en las correlaciones de acuerdo con los sistemas de clasificación en la estabilidad de taludes,
- Uso de evidencias geomorfológicas junto con los datos históricos o basada en el criterio de los profesionales,
- Relación con la frecuencia e intensidad de eventos detonantes, por ejemplo, lluvias o sismos,
- Valoración directa basada en el criterio de un experto,
- Aplicación de métodos probabilísticos, tomando en cuenta la incertidumbre en geometría, resistencia al cortante, mecanismos de deslizamiento y presiones piezométricas, etc.

El período de retorno de las amenazas de deslizamientos, depende principalmente de los períodos de retorno de los eventos lluviosos extraordinarios y de los sismos de cierta magnitud que ocurren en la zona, pero las evaluaciones de amenazas se deben realizar para tiempos (x) considerados dentro de la vida útil de las estructuras.

La amenaza por deslizamientos, generalmente, se muestra en planos que indican la distribución espacial de los diversos tipos de amenaza Figura 6 (Oliva & Gonzales, 2015)

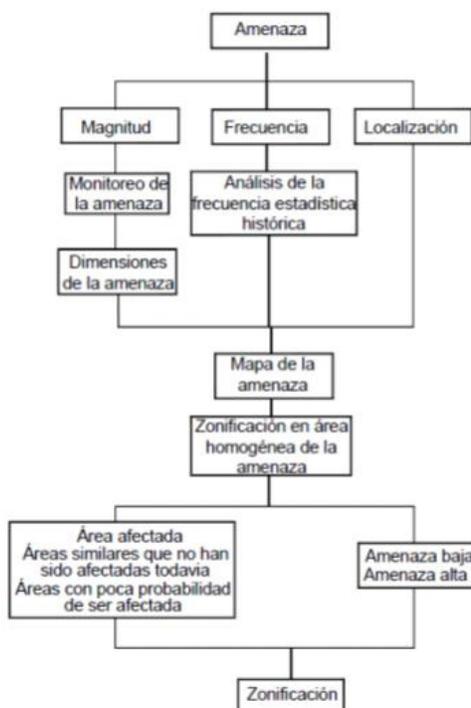


Figura 7. Esquema general de la zonificación de la amenaza

Fuente. (Westen, 2005)

En una evaluación de la amenaza se deben cumplir los siguientes requisitos (Suárez, J. 1998)

Las circunstancias supuestas en el modelo deben ser similares a las de los eventos que han ocurrido en el pasado,

- Todos los factores condicionantes deben investigarse y deben ser incluidos en el análisis,
- Las técnicas matemáticas utilizadas deben corresponder al comportamiento real de las laderas en el sector mapeado,
- El modelo utilizado debe ser validado con situaciones reales.

2.1.2.3 Vulnerabilidad La vulnerabilidad es el grado de pérdida o destrucción de un elemento señalado o de un grupo de elementos en riesgo, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de magnitud determinada (Varnes, 1984). La vulnerabilidad incluye el grado de daño a la población, vidas humanas, propiedades, actividades económicas, servicios públicos, condiciones ambientales etc., en un área específica por la ocurrencia de un determinado evento; por lo que muchos autores la dividen, para su análisis y evaluación, en vulnerabilidad física y vulnerabilidad social.

2.1.2.4 Riesgo es el número esperado de vidas humanas perdidas, personas heridas, daño a la propiedad y pérdidas económicas y ambientales, relacionadas con la ocurrencia de un determinado fenómeno (Varnes, 1984)

-Análisis de la Amenaza

Como se ha explicado en apartados anteriores, evaluar la amenaza de deslizamientos requiere de una estimación de la probabilidad de ocurrencia de los eventos peligrosos, para lo cual utilizaremos las siguientes definiciones:

- P(SL) es la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento específico (specific landslides),
- P(H) es la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento peligroso (hazard landslides) específico,
- P(S) es la probabilidad espacial (spatial probability), que relaciona el potencial de un deslizamiento de alcanzar (o afectar) el sitio ocupado por un elemento específico,

– $P(T)$ es la probabilidad temporal (temporal probability), que relaciona el potencial de un deslizamiento de alcanzar (o afectar) un elemento móvil, como el ocupante de una casa o un vehículo en movimiento por estar en el sitio afectado en el momento que ocurre el evento.

Estas son probabilidades condicionales expresadas matemáticamente como $P(S:H)$ y $P(T:S)$; donde el primer término en los paréntesis es dependiente del segundo término. Por ejemplo: $P(S:H)$ es la probabilidad de que se presente un efecto espacial, si un deslizamiento peligroso específico ocurre; y $P(T:S)$ es la probabilidad de que se presente un efecto temporal, dado un efecto espacial.

-Evaluación del Riesgo

En el análisis del riesgo por deslizamientos se pueden evaluar los siguientes riesgos

- Riesgo Parcial, $P(HA)$, es el producto de la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento peligroso específico y la probabilidad de que dicho deslizamiento provoque efecto espacial y temporal sobre un elemento específico



Figura 8. Riesgo parcial $P(HA)$

Fuente. (Oliva & Gonzales, 2015)

El riesgo parcial no considera la vulnerabilidad del elemento expuesto, y por consiguiente no es una estimación completa del riesgo. En la práctica, el riesgo parcial es el tipo preferido de análisis cuando se conoce poco sobre la vulnerabilidad del elemento o donde no se requiere de una estimación de la vulnerabilidad. Cuantitativamente, el riesgo parcial $P(HA)$ se expresa como la probabilidad (entre 0 y 1) de que ocurra un deslizamiento específico en un período de tiempo determinado. Dicho período de tiempo (anual o más largo) es considerado en el término $P(H)$.

- Riesgo Específico, $R(S)$, es el riesgo de que ocurran pérdidas o daños en un elemento específico, como resultado de un deslizamiento específico



Figura 9. Riesgo Específico R(S).

Fuente. (Oliva & Gonzales, 2015)

El riesgo específico relacionado a la propiedad, el ambiente y otras cosas de valores, R(S) propiedad, se expresa en las mismas unidades que la vulnerabilidad $V(L:T)$ o la consecuencia (C), pero sobre un período de tiempo especificado (anual o más largo) dado por P(H).

- Valor del Riesgo Especifico, R(SV), expresa las pérdidas o daños a un elemento específico (excluyendo la vida humana) como resultado de la ocurrencia de un deslizamiento específico



Figura 10. Riesgo Específico R(SV)

Fuente. (Oliva & Gonzales, 2015)

Cuantitativamente o cualitativamente, R(SV) propiedad puede expresarse en las mismas unidades que la vulnerabilidad $V(L:T) \times E$, o CV, pero sobre un período de tiempo especificado (anual o más largo), tomado en cuenta en el término P(H).

- Riesgo múltiple, $R(M)$, es el riesgo de más de un elemento ante un solo deslizamiento específico o el riesgo de un elemento específico ante más de un deslizamiento

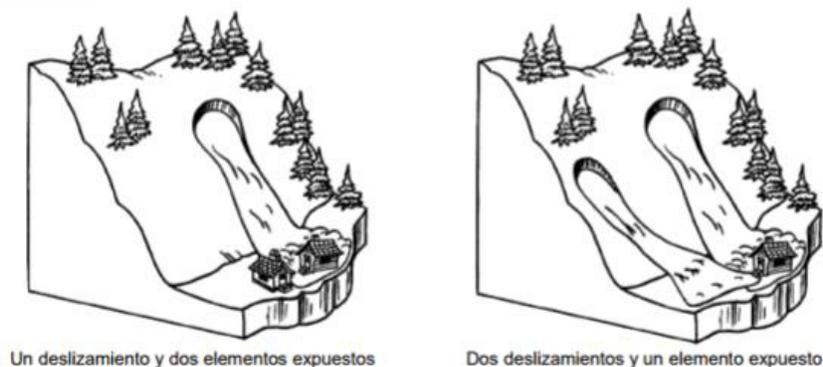


Figura 11. Riesgo Múltiple $R(M)$

Fuente. (Oliva & Gonzales, 2015)

Los riesgos: parcial múltiple, específico múltiple, o el valor del riesgo específico múltiple, deben ser estimados aplicando los conceptos normales de la teoría de las probabilidades.

- Riesgo Total, $R(T)$, es el riesgo de todos los elementos expuestos ante todos los deslizamientos (figura 10). De forma similar al riesgo múltiple, el riesgo total debe estimarse aplicando los conceptos normales de la teoría de las probabilidades.



Figura 12. Riesgo Total $R(T)$

Fuente. (Oliva & Gonzales, 2015)

-Limitaciones del análisis y valoración del riesgo

El Grupo de Deslizamientos del IUGS (1997) y otros autores, consideran que el análisis y la valoración del riesgo por deslizamientos tienen las siguientes limitaciones:

- El contenido del criterio o prejuicio en los datos utilizados para el análisis, puede dar como resultado que los valores de los riesgos estimados presenten una incertidumbre inherente,
- Existe gran incertidumbre sobre la magnitud o el volumen de los deslizamientos,
- La vulnerabilidad de la población depende, en buena parte, de la velocidad esperada del deslizamiento. La velocidad es muy difícil de predecir en la mayoría de los casos,
- No es clara la relación entre la magnitud y la frecuencia de los deslizamientos, es común que se utilice una vulnerabilidad de 1.0 para las edificaciones,

Se ha realizado muy poca investigación para definir las curvas de vulnerabilidad por los deslizamientos,

- La variedad de formas como se puede analizar los problemas puede significar una diferencia muy grande en los resultados si el mismo problema es considerado por diferentes profesionales,
- La revisión de una valoración puede traer un cambio significativo en los resultados, debido a que existe cada día mayor información,
- La inhabilidad para identificar una amenaza conduce a una subestimación del riesgo, – Los resultados de una valoración rara vez son verificables,
- Las metodologías generalmente no son ampliamente aceptadas y muchas veces, existe aversión a su utilización,
- Es muy posible que el costo de la valoración, pueda superar el beneficio de la técnica en la elaboración de la decisión, especialmente cuando se requiere información muy compleja de obtener,
- Los criterios de riesgo aceptable y tolerable para taludes y deslizamientos no están bien establecidos,
- Es difícil valorar con precisión el riesgo para eventos de baja probabilidad.

2.1.3 Instrumentación y Monitoreo En el capítulo 12 del Libro de Deslizamientos y Análisis Geotécnico Suarez, J (2009) define la instrumentación tiene por objeto monitorear

en el tiempo, el comportamiento de un talud o un deslizamiento (Figura 12). La utilidad de la instrumentación de campo, radica en la posibilidad de obtener información del comportamiento del talud (con el tiempo) y medir algunos parámetros geotécnicos que controlan el mecanismo de falla. (Suárez, Deslizamientos. Análisis Geotecnico, 2009)

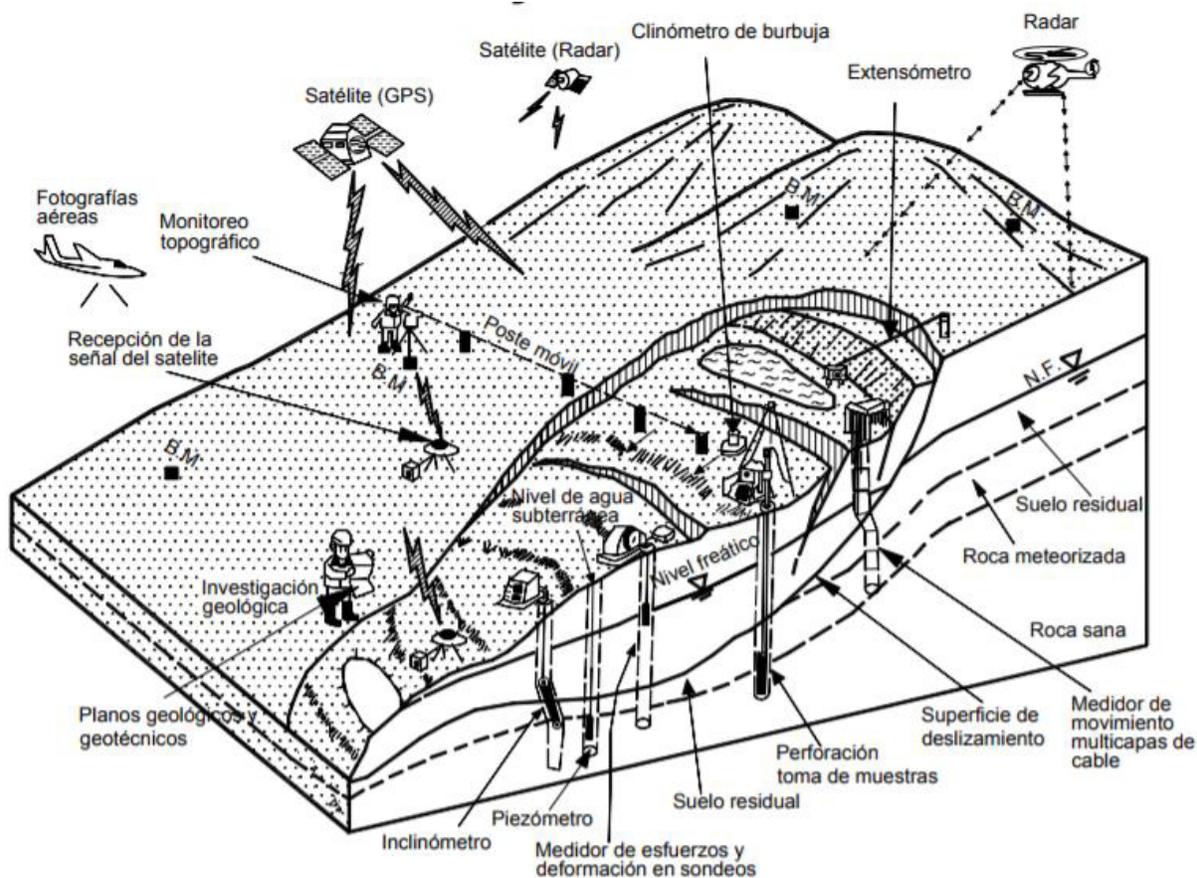


Figura 13. Instrumentación y monitoreo

Fuente. (Suárez, Deslizamientos. Análisis Geotecnico, 2009)

2.1.4 Objetivos de la Instrumentación Las situaciones típicas en las cuales se requiere la instrumentación, son las siguientes:

- Determinación de la profundidad y forma de la superficie de falla en un deslizamiento activo.
- Determinación de los movimientos laterales y verticales dentro de la masa deslizada.
- Determinación de la rata o velocidad de deslizamiento y el establecimiento de mecanismos de alarma.

- Monitoreo de la actividad de cortes o rellenos e identificación de los efectos de una determinada construcción.
- Monitoreo de los niveles de agua subterránea o presiones de poros y su correlación con la actividad del deslizamiento.
- Colocación de medidores y comunicación a un sistema de alarma.
- Monitoreo y evaluación de la efectividad de los diferentes sistemas de estabilización o control.

2.1.5 Tipos de Instrumento Los instrumentos más comúnmente empleados en la investigación y monitoreo de deslizamiento, son los siguientes:

- Control topográfico de puntos determinados. Se utiliza equipo estándar de topografía.
- Extensómetros superficiales. Pueden ser metálicos, de madera, eléctricos o plásticos.
- Inclínómetros. Miden la deformación horizontal del suelo a profundidad.
- Extensómetros. Ubicación de éstos en varios puntos de control a profundidad.
- Detectores de superficie de falla. Pueden ser estacas de madera, cintas eléctricas o extensómetros.
- Monitores de vibración.
- Piezómetros. Miden el nivel de agua o la presión de poros.
- TDR (Reflectometría de ondas eléctricas)

- **Equipos Convencionales de Topografía**

El sistema más común de instrumentación, es el monitoreo topográfico. Se pueden utilizar equipos ópticos o electrónicos para determinar los movimientos laterales y verticales de los taludes.

Para ello, se colocan BMs en sitios estables y una serie de puntos de medición en la zona deslizada Figura 14

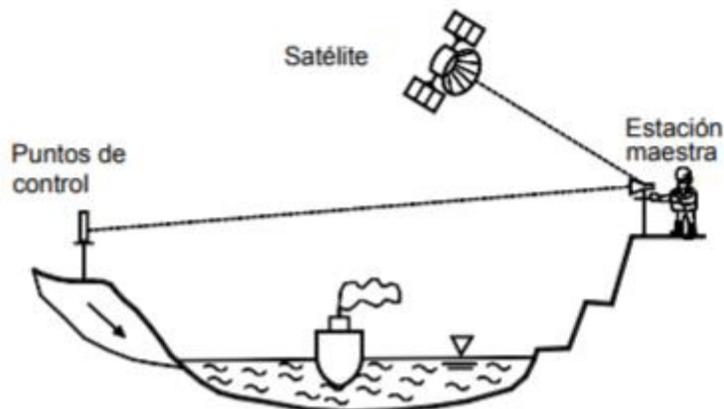


Figura 14 Vigilancia del deslizamiento de Cucaracha en el Canal de Panamá con mediciones electro-ópticas

Fuente. (Reyes & Fernández, 1996)

Se puede realizar mediciones diarias empleando tubos que se insertan dentro del deslizamiento; de esta forma, se pueden medir las deformaciones relativas, movimientos de grietas, etc. Las medidas son relativas con referencia a un BM fijo. Los movimientos absolutos de una serie de puntos se pueden obtener repitiendo las mediciones con determinados períodos de tiempo.

Es muy importante que la medición sea precisa y es común que se presenten errores relacionados con la precisión de los equipos y la calidad de los procesos de medición. Para evitar errores, es importante que las medidas se repitan siempre con el mismo equipo y con los mismos topógrafos. Adicionalmente, es importante asegurarse que el BM se encuentre sobre un área estable y en lo posible, sobre afloramientos de roca.

- **GPS Diferencial (DGPS)**

El DGPS se está utilizando con frecuencia para monitorear los movimientos superficiales de deslizamientos. Una estación base, en un sitio conocido, se utiliza para hacer las correcciones y refinamientos de una o varias estaciones móviles. Todas las estaciones emplean el mismo sistema satelital.

El DGPS relaciona observaciones a estaciones móviles desconocidas, con observaciones simultáneas en la estación base conocida. A medida que las señales son monitoreadas, los errores pueden

sugerir que la estación base se está moviendo, pero lo que realmente está ocurriendo, son los movimientos de las estaciones móviles.

Todas las mediciones se relacionan a la estación base. Mientras la posición sea definida en forma relativamente precisa, los otros movimientos internos serán consistentes.

Un valor asumido de latitud y longitud puede ser utilizado sin afectar la calidad de las mediciones internas. En condiciones favorables, se consigue una precisión mejor que un centímetro; sin embargo, la precisión de DGPS puede deteriorarse considerablemente donde la superficie del terreno está cubierta de árboles o en épocas de condiciones climáticas desfavorables.

- **Medidor Superficial de Inclinación**

Estos se utilizan para determinar la rotación o la inclinación de un punto en la superficie del terreno. Su uso más común es para monitorear movimientos de taludes en minas de cielo abierto, carreteras y ferrocarriles (Mikkelsen , 1996)

Los medidores de inclinación utilizan sensores electrolíticos o servoacelerómetros. Los sensores electrolíticos tienen una mayor sensibilidad, pero los servoacelerómetros tienen un mayor rango

- **Medidor de Verticalidad**

La medición de la verticalidad es útil para determinar la deformación de la cabeza y en ocasiones, del pie del movimiento y de esta forma, evaluar la posibilidad de deformaciones futuras. El equipo consiste de un nivel de agua capaz de medir las componentes NS y EW. Figura 15

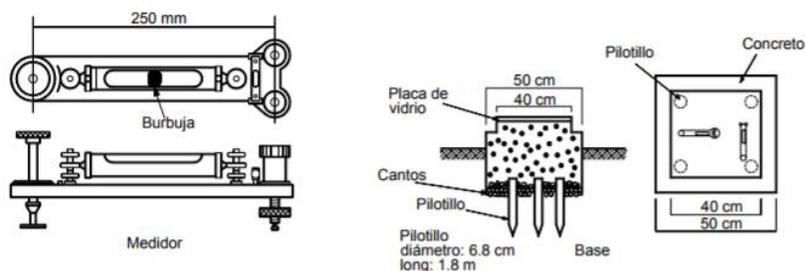


Figura 15. Medidor de Verticalidad

Fuente. (Suárez, Deslizamientos. Análisis Geotecnico, 2009)

- **Extensómetros Horizontales**

Los extensómetros permiten medir los movimientos horizontales relativos y los cambios en la amplitud de las grietas.

El extensómetro es utilizado para medir el movimiento relativo comparando la distancia entre dos puntos de una forma manual o automática. Los extensómetros, generalmente, se instalan a través del escarpe principal o a través de las grietas, para determinar su movimiento.

Colocando una serie de extensómetros interconectados desde el escarpe principal hasta la punta del deslizamiento, se puede determinar en forma clara, el movimiento de los bloques individuales dentro del movimiento general.

Las mediciones deben tener una precisión mínima de 0.2 mm y deben relacionarse con los datos de lluvia diaria.

- **Detector de agrietamientos**

Sirven para medir la ampliación de grietas o extensiones horizontales, con el transcurso del tiempo. En las rocas el cambio de espaciamiento de las juntas se puede medir con este sistema.

Generalmente, se colocan dos guías mayores, o marcas, a lado y lado de la grieta y periódicamente, se toman medidas de su separación.

Un sistema común es la colocación de unos elementos en madera a ambos lados del movimiento, unidos por un elemento que permita la medición de las deformaciones (Figura 16). En ocasiones, se utiliza una placa de vidrio, la cual se rompe si ocurre un movimiento.

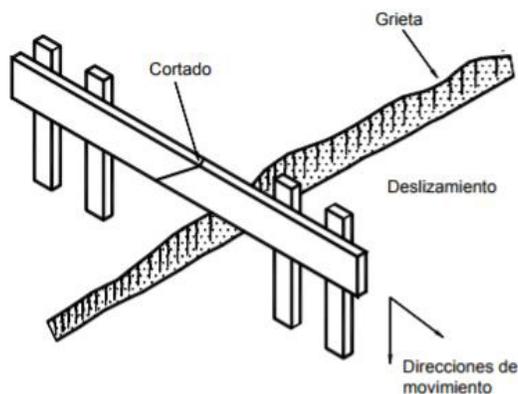


Figura 16. Equipo sencillo, en madera, para medir los desplazamientos

Fuente (*Japan Landslide Society National, 1996*)

- **Placas metálicas o plásticas**

Se pueden emplear láminas plásticas transparentes montadas a lado y lado de la grieta, o placas metálicas. Un medidor sencillo consiste en una tira metálica que se puede deslizar sobre una lámina en la cual se miden las deformaciones (Figura 17). Los movimientos pueden medirse en tres direcciones; dos sobre la lámina y un tercero que mide la separación entre la lámina y la tira metálica, es decir, la separación entre los dos elementos.

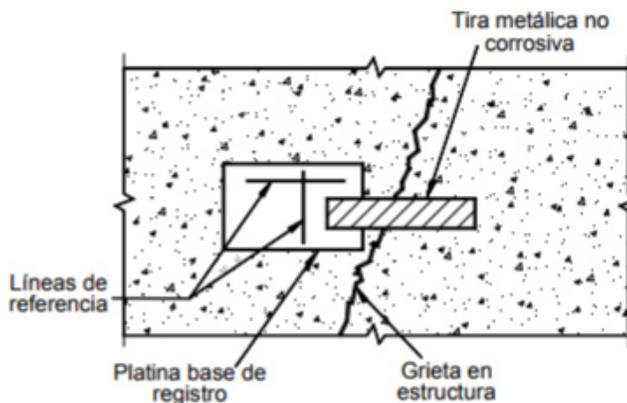


Figura 17. Medidor de tira metálica

Fuente (Dumnicliff, 1988)

- **Medidores de grilla graduada**

Los medidores de grilla graduada también se conocen como medidores calibrados y consisten en dos láminas transparentes plásticas traslapadas una a cada lado de la discontinuidad. (Figura 18)

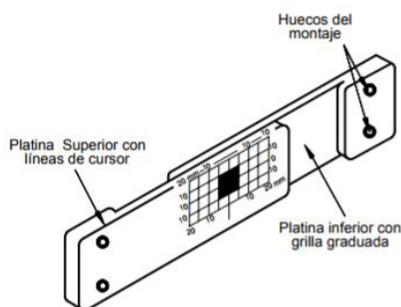


Figura 18. Medidor de Grilla Graduada

Fuente. (Suárez, Deslizamientos. Análisis Geotécnico, 2009)

Las láminas contienen una grilla, que permite determinar la posición de una lámina con respecto a la otra y medir los desplazamientos.

- **Medidores mecánicos de deformación**

Los medidores mecánicos permiten medir los movimientos, en forma precisa, entre dos puntos de anclaje. El sistema consiste en la colocación de una varilla de madera, aluminio o acero; uno de los puntos se fija al sitio de anclaje y el otro puede moverse como se indica en las figuras 19-20.

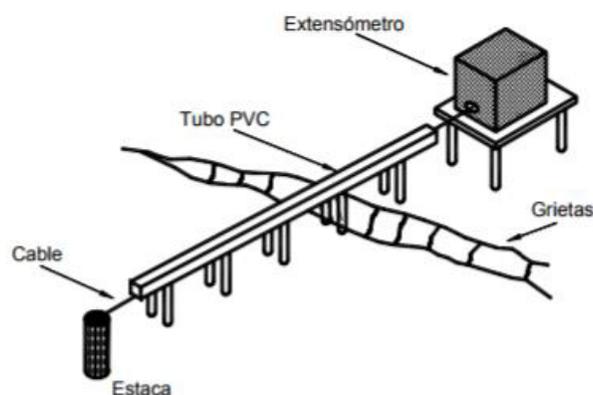


Figura 19. Diagrama de instalación de un extensómetro horizontal.

Fuente. (Suárez, Deslizamientos. Análisis Geotécnico, 2009)

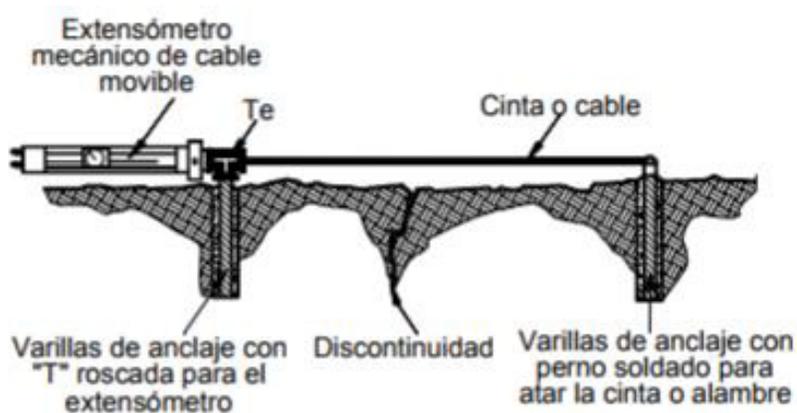


Figura 20. Medidores mecánicos de deformación

Fuente. (Dunncliff, 1988).

- **Deformímetros Eléctricos**

Los deformímetros eléctricos permiten mediciones muy precisas. Existen diferentes sistemas de medición eléctrica de deformaciones, los cuales generalmente utilizan transductores con precisión entre 0.0025 y 0.01 milímetros.

Los deformímetros eléctricos son más costosos que los mecánicos y su rango también es limitado, dependiendo del transductor eléctrico. Por otra parte, las lecturas pueden afectarse por cambios de temperatura u otras condiciones ambientales (Figura 21).

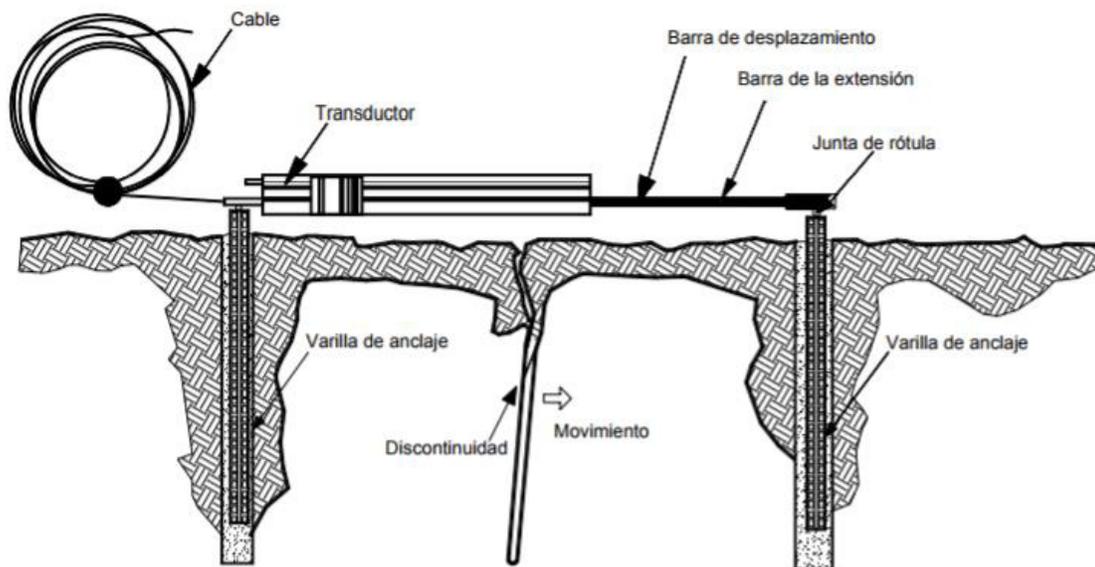


Figura 21. Medidor eléctrico para deformaciones de grietas

Fuente. (Dumnicliff, 1988).

- **Extensómetros Verticales**

Los extensómetros verticales (o medidores de deformación vertical) miden el aumento o disminución de la longitud de un cable que conecta varios puntos anclados dentro de una perforación y cuya distancia de separación, es conocida aproximadamente. Generalmente, se colocan unos pesos para

mantener la tensión en los cables. El fondo del cable debe estar en el suelo o en roca dura y estable (figuras 22 y 23).

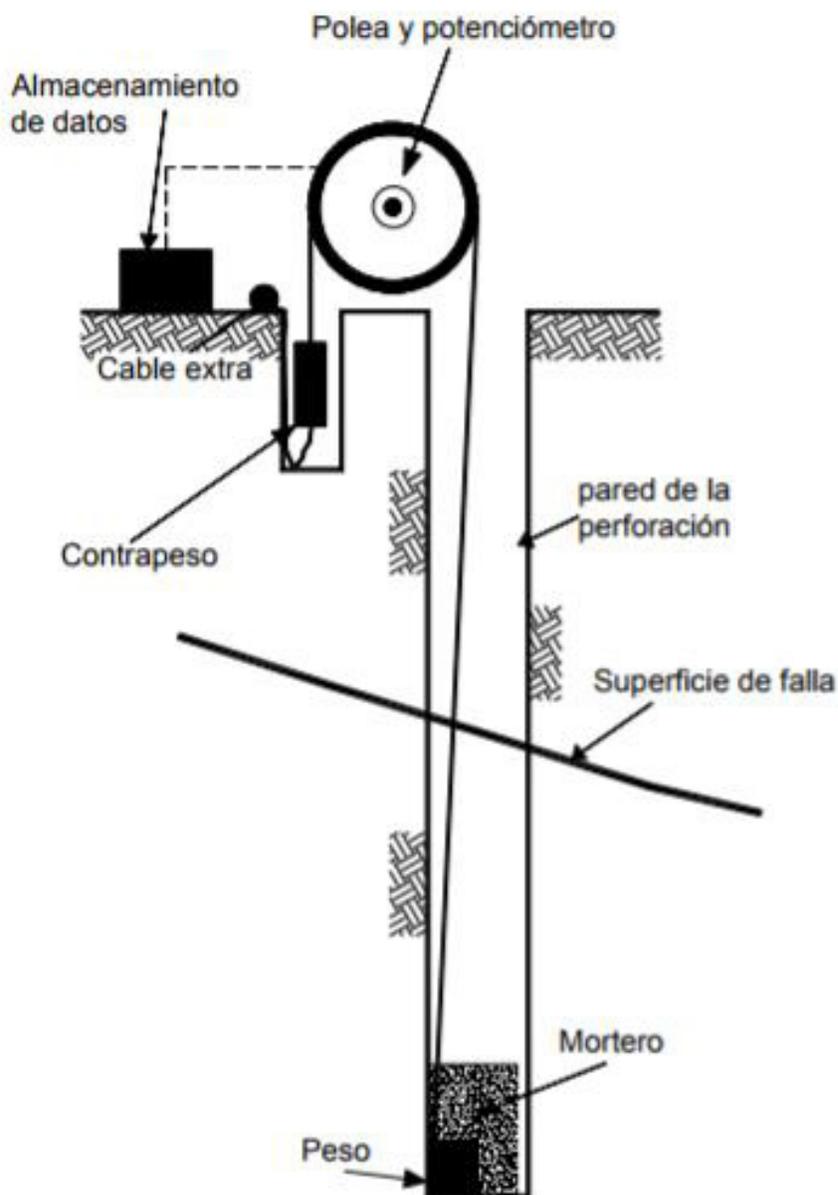


Figura 22 Extensómetro vertical sencillo para medir el desplazamiento de la superficie de falla

Fuente. (Corominas, y otros, 2000).

Los extensómetros verticales son muy útiles para determinar movimientos de la superficie de falla cuando las deformaciones son mayores de cinco centímetros, caso en el cual, los inclinómetros no se

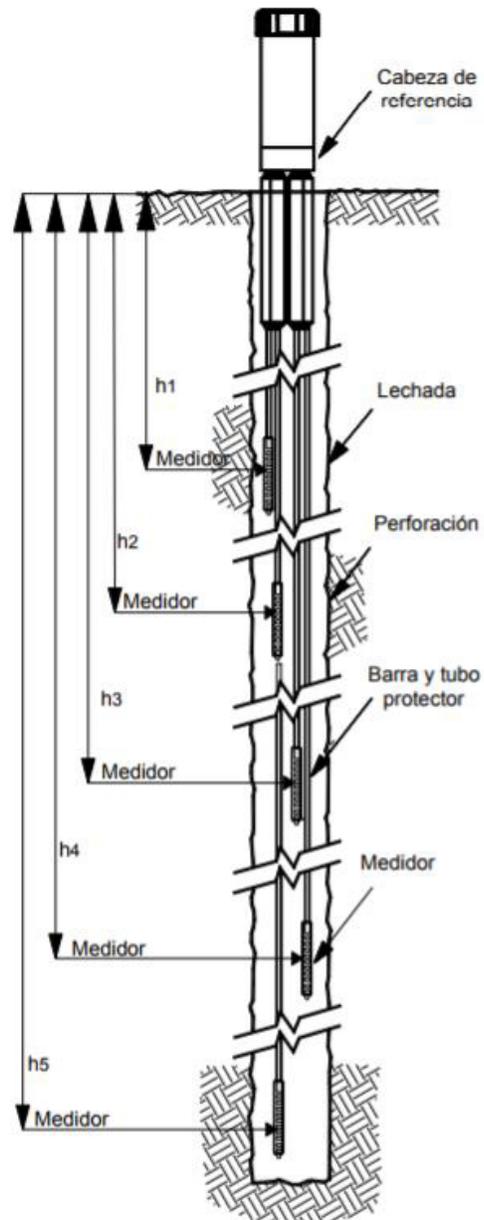


Figura 24. Diagrama de un extensómetro multipunto

Fuente. (Abramson, Lee, Sharma, & Boyce, 2002)

- **Tiras de Cortante**

Las tiras de cortante consisten en un circuito eléctrico paralelo, hecho de resistores montados sobre una cinta frágil, la cual se coloca dentro de una perforación. Las profundidades a las cuales se rompen la tira frágil, se miden determinando la resistencia eléctrica.

Los resistores se pueden colocar a intervalos que se requieran, pero son comunes los espaciamientos cada metro. El máximo número de resistores aproximadamente es de 100 (Figura 25)

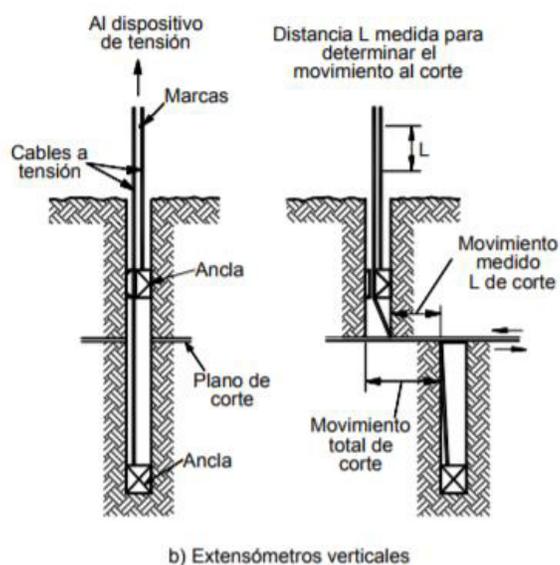
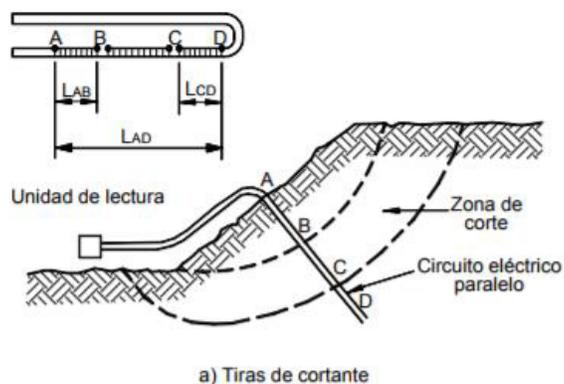


Figura 25. Esquema de las tiras de cortante y los extensómetros verticales

Fuente. (Dumnicliff, 1988)

- **Detectores de Superficie de Falla**

Los indicadores de superficie de falla son instrumentos para determinar la profundidad y/o la extensión de las zonas de cortante. Se pueden utilizar extensores muy sencillos y económicos o extensómetros más precisos y costosos

- **Estacas profundas de madera** Consisten en estacas que se entierran en el suelo a profundidades superiores de la superficie de falla. Después de que se hayan presentado movimientos, se retira la estaca para determinar a qué profundidad se presentó la rotura del elemento de madera. Este sistema, aunque es muy económico, puede resultar impreciso, debido a que es común que la madera se rompa durante la colocación o la extracción
- **Detector de tubo metálico**, El detector de movimiento de tubo metálico es un sistema muy sencillo, que consiste en una varilla de 25 mm de diámetro aproximadamente, la cual se inserta en un hueco de perforación. Tubos metálicos de longitudes cada vez mayores se bajan por la perforación hasta que la curvatura del sondeo no permita el paso del tubo.

De esta forma, se puede detectar la superficie de falla en un talud inestable. Utilizando tubos de diferentes longitudes se puede determinar la curvatura del tubo en el sondeo.

2.1.6 **Los Inclínómetros** El inclinómetro mide el cambio de inclinación de un tubo que se coloca en una perforación dentro del talud y de esta manera, se calcula la distribución de los movimientos laterales Figura 26

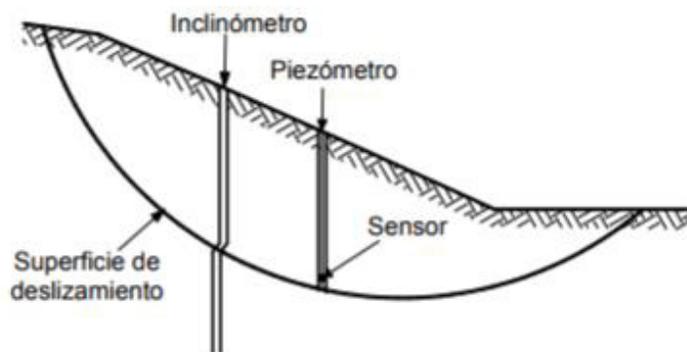


Figura 26. Monitoreo de deslizamientos utilizando inclinómetros y piezómetros

Fuente. (Abramson, Lee, Sharma, & Boyce, 2002)

De esta manera, se puede determinar la profundidad de la superficie de falla y la dirección y magnitud de los desplazamientos. Un sistema de inclinómetro está compuesto por cuatro componentes principales (Figura 27 a 30):

- Un tubo guía de plástico, acero o aluminio, instalado dentro de una perforación. Este tubo tiene unas guías longitudinales para orientar la unidad sensora. Generalmente, se utilizan diámetros de tubo entre 1.5 y 3.5 pulgadas.

- Un sensor portátil montado sobre un sistema de ruedas que se mueven sobre la guía del tubo. El inclinómetro incorpora dos servoacelerómetros con fuerzas balanceadas para medir la inclinación del instrumento.

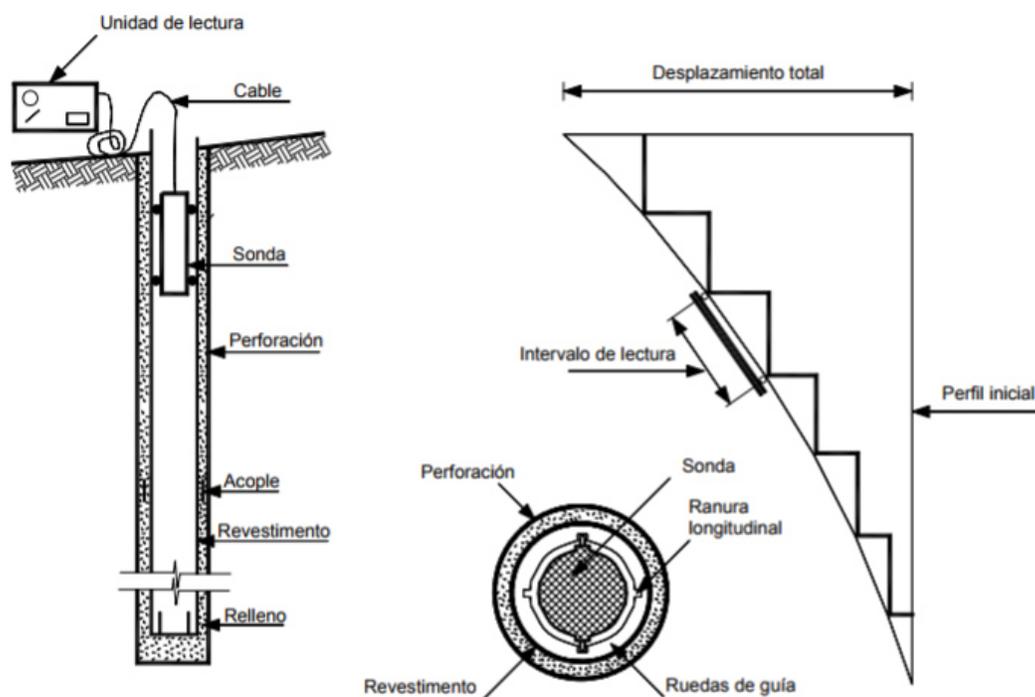


Figura 27. Esquema de un Inclinómetro

Fuente. (Hanna, 1985)

- Un cable de control que baja y sube el sensor y transmite señales eléctricas a la superficie. Generalmente, el cable está graduado para el control superficial. El cable tiene un núcleo de acero para minimizar las deformaciones; los cables eléctricos se encuentran espaciados alrededor y unidos al núcleo. La cubierta exterior es de neopreno y permanece siempre flexible. El cable tiene unas marcas para medir profundidades. Estas medidas están relacionadas hasta la mitad de la altura del torpedero. Superficialmente, el cable se maneja con una polea, que tiene unas tenazas para sostenerla. Se recomienda siempre, trabajar con la polea para evitar el riesgo de que el cable pueda torcerse al sostenerlo.

• Un equipo de lectura en la superficie (que sirve de proveedor de energía) recibe las señales eléctricas, presenta las lecturas y en ocasiones, puede guardar y procesar los datos. El equipo de lectura es compacto y está sellado contra la humedad. La memoria puede guardar hasta 40 mediciones completas. La unidad también puede realizar chequeos y revalidar la información. En oficina, los datos del inclinómetro se descargan en un computador.

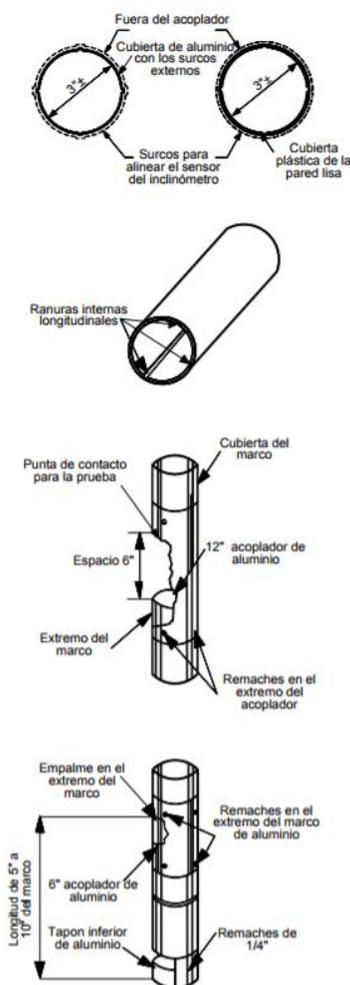


Figura 28. Detalles de la tubería del inclinómetro

Fuente. (Abramson, Lee, Sharma, & Boyce, 2002)

Los instrumentos difieren de acuerdo con el tipo de sensor utilizado, el cual da un nivel determinado de precisión. Generalmente, los inclinómetros pueden medir deformaciones de 1.3 a 2.5 mm, en una longitud de 33 metros, equivalente a una precisión 1:10.000.

Existe un tipo de inclinómetro conocido como inclinómetro “in situ”, el cual emplea una serie de servo-acelerómetros o sensores electrolíticos; estos sensores tienen una mayor precisión y suministran información continua con una precisión aproximada de 1:25.000.

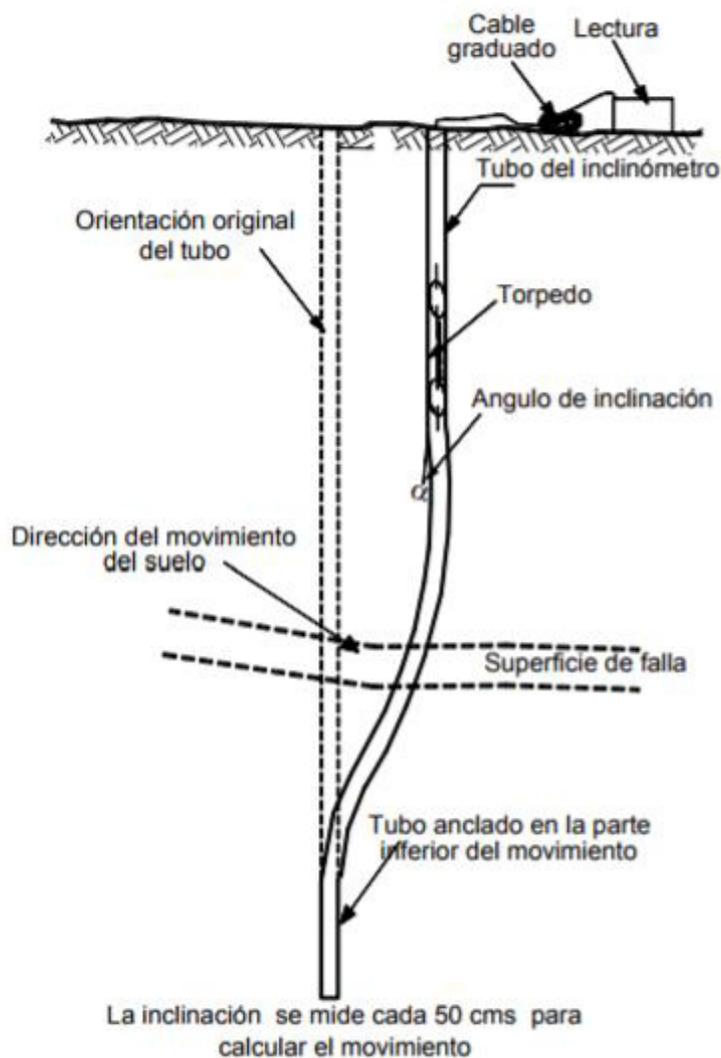


Figura 29. Esquema del desplazamiento de un inclinómetro

Fuente. Adaptado por (Suárez, *Deslizamientos. Análisis Geotécnico*, 2009) de (Abramson, Lee, Sharma, & Boyce, 2002)

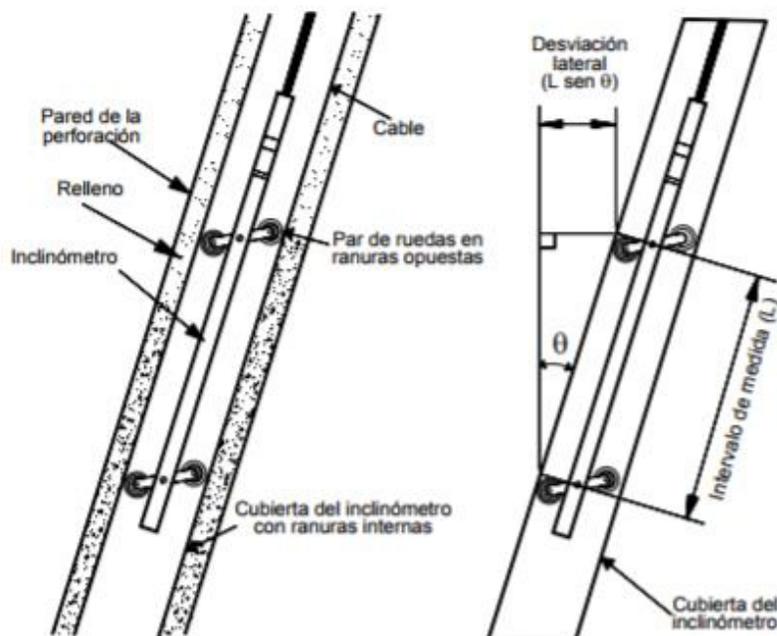


Figura 30. Sistema del inclinómetro

Fuente. (Cornforth, 2005)

2.1.6.1 Instalación del Tubo Inclinométrico Los tubos del inclinómetro se instalan comúnmente en perforaciones que han sido previamente muestreadas. El fondo del inclinómetro se supone fijo y es la base para la medición de la deformación. Por esta razón, es necesario que la base del tubo esté perfectamente anclada.

La porción baja del ducto debe instalarse mínimo tres metros por debajo de los sitios en los cuales se espera que el suelo sufra el desplazamiento lateral. Mikkelsen (1996) recomienda profundidades de 6 metros en la zona estable para evitar la ocurrencia de errores. Se recomienda el anclaje en la roca si las condiciones geológicas lo permiten. La idea es que la curva de deformación del inclinómetro muestre la diferencia entre la zona profunda que no se mueve y la que presenta movimiento (Figura 31). Los inclinómetros se instalan en longitudes de 3 a 6 metros, unidos por juntas; estas juntas generalmente son cementadas para asegurar una conexión firme; sin embargo, cada unión representa una posible fuente de error.

El espacio anular entre el tubo y la perforación debe ser perfectamente lleno con un sistema de inyección para asegurar que los movimientos del ducto, reflejen realmente los desplazamientos del suelo.

Como las juntas del inclinómetro están selladas, es posible que el tubo tenga una tendencia a flotar. Si esto ocurre, es importante llenar el tubo con agua limpia para evitar que flote. El sistema del inclinómetro funciona en presencia del agua.

Para profundidades mayores de 10 metros se requiere un anclaje o rivete exterior en las juntas (entre las secciones del tubo) para evitar que las uniones se suelten. Después de que el tubo llega al fondo de la perforación, se deben alinear las ranuras de tal forma, que un par de ranuras se encuentren alineadas en la dirección anticipada del movimiento.

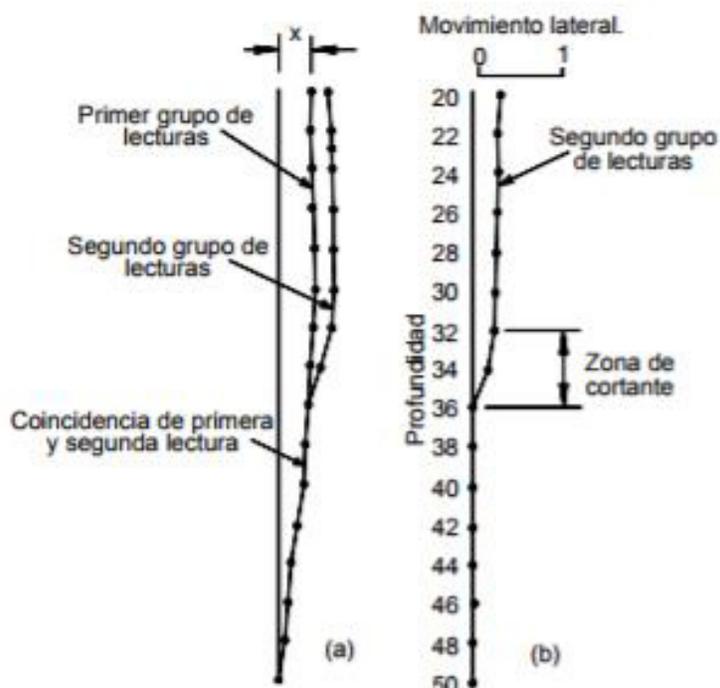


Figura 31. Ejemplo de datos del inclinómetro

Fuente. (Cornforth, 2005)

La ranura que se encuentra, en dirección ladera abajo, se marca como A_0 y la ranura opuesta, se marca como A_{180} . Las otras dos ranuras se marcan como B_0 y B_{180} , en la forma como se indica en la Figura 32

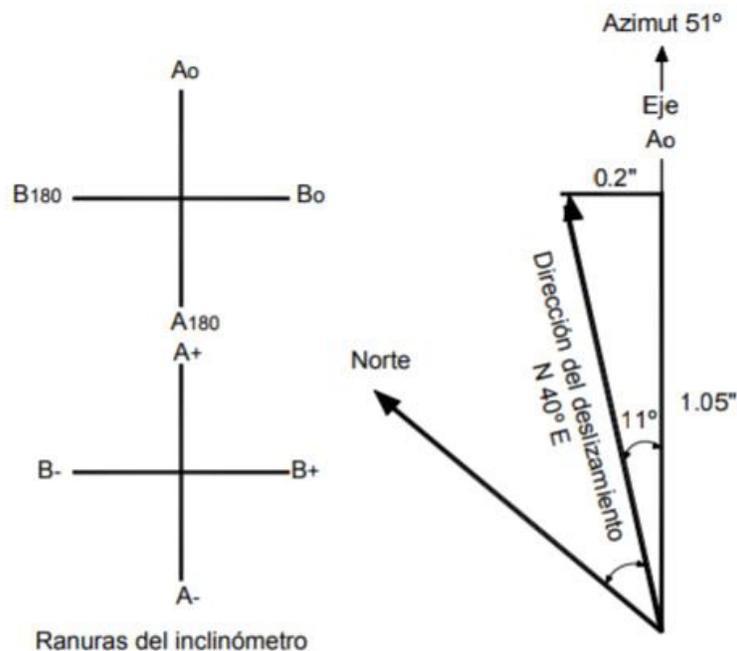


Figura 32. Designaciones de las ranuras y vectores del movimiento

Fuente. (Cornforth, 2005)

En el proceso de colocación de la lechada de cemento en el exterior del tubo, se debe llenar de agua el interior para evitar que pueda introducirse parte de la lechada dentro del tubo. El propósito principal de la lechada exterior es rellenar todos los espacios entre el tubo y el suelo para asegurarse que el inclinómetro se encuentre soportado en la totalidad de su longitud. Se recomienda la utilización de la lechada de cemento sin arena o grava, a fin de garantizar que todos los espacios sean ocupados y no se presenten vacíos entre el inclinómetro y el suelo.

Para mejorar la plasticidad de la mezcla se puede agregar bentonita. La lechada debe ser más densa en los suelos duros y menos densos en los suelos blandos, para evitar que la rigidez de la lechada afecte las mediciones.

2.1.6.2 Lectura del Inclinómetro Después de que el tubo del inclinómetro ha sido instalado y la lechada se ha cementado, se introduce el torpedo para verificar que no haya obstrucciones dentro del tubo. Para este propósito, se recomienda utilizar un torpedo falso, para evitar el riesgo de daño del torpedo, aunque las obstrucciones no son comunes. Las mediciones iniciales son muy importantes porque todas las mediciones subsecuentes se basan en las primeras. Por esta razón, se recomienda tomar

inicialmente, dos o tres grupos de medición para comprobar que la medición inicial es correcta y así evitar errores posteriores.

El inclinómetro se coloca dentro del tubo con la rueda superior en la ranura A_0 y se baja hasta el fondo del inclinómetro. Inicialmente, debe dejarse el equipo en el fondo, durante 10 minutos, para que se normalice con la temperatura del agua dentro del tubo; de esta forma evitar errores por temperatura. Se toma la lectura en el fondo y luego se registra cada 50 cms hacia arriba. En cada profundidad, se anotan las lecturas en las direcciones A_0 y B_0 .

Después de que el torpedo salga a la superficie, se gira 180° , se profundiza hasta el fondo de la perforación y se obtienen las mediciones en las direcciones A_{180} y B_{180} . La suma de las dos mediciones debe ser cercana a 0.0, aunque se presentan generalmente algunas diferencias.

Las mediciones, en un mismo sitio, deben realizarse siempre con el mismo torpedo, el mismo cable y el mismo operador, a fin de minimizar los errores de manejo.

- **Cuidados que se deben tener en el proceso de medición** (Cornforth, 2005),

El autor recomienda tener en cuenta los siguientes cuidados:

- El torpedo no debe golpearse contra superficies duras para evitar que se dañen los sensores. Si accidentalmente se golpea el torpedo, éste debe revisarse realizando las mediciones de comprobación.
- No permita que le entre humedad a las conexiones eléctricas. Nunca deben conectarse los cables al torpedo, en presencia de lluvias o de humedad excesiva.
- El cable debe transportarse de forma que no se doble.
- El torpedo debe limpiarse, secarse y aceitarse suavemente, antes de colocarlo en su caja. La caja debe colocarse sobre la silla de un vehículo y nunca sobre las áreas duras.
- Siga las recomendaciones para el cuidado y mantenimiento de los fabricantes.

2.1.6.3 Interpretación y Manejo de los Datos Debe tenerse muy claro para la interpretación de la información obtenida, que lo que mide el inclinómetro es la inclinación del tubo en diferentes profundidades. Es importante que la perforación sea lo más vertical posible para que las mediciones sean más precisas.

El segundo y demás grupos de mediciones se comparan con la medición inicial, suponiendo siempre que el fondo del tubo se encuentra anclado en terreno estable. Posteriormente, en un programa de computador se comparan las mediciones y se elabora un gráfico de movimientos laterales contra profundidad, en el plano de las ranuras.

Si las ranuras A se han alineado perfectamente con la dirección principal del movimiento, se mostrará todo el movimiento en el eje A y ningún movimiento en el eje B.

Normalmente, la información del inclinómetro se grafica como deflexión lateral en el eje A y en el eje B. Se recomienda entonces, una exageración de escala de 120 entre la horizontal y la vertical, para permitir la interpretación fácilmente.

Algunos ingenieros grafican en escalas muy exageradas (mayores a 120), con la idea equivocada de que el sistema muestra una mayor precisión. Las escalas exageradas, en la mayoría de los casos, se interpretan incorrectamente, debido a que aparecen graficados movimientos que no existen y que pueden atribuirse a errores sistemáticos o de medición. Debe tenerse mucho cuidado de llegar a conclusiones interpretativas en forma rápida, con la primera lectura de los inclinómetros.

Se recomienda no efectuar conclusiones hasta que no se tengan varios grupos de mediciones y se tenga la seguridad de que los movimientos se están presentando realmente, en la forma como se muestran y no correspondan a errores sistemáticos o de medición.

2.1.6.4 Inclinómetros Fijos Un inclinómetro fijo consiste en la colocación de una serie de sensores similares a los torpedos de un inclinómetro dentro de un tubo a varias profundidades fijas (Figura 33). Aunque este sistema de instrumentación es muy costoso, tiene varias ventajas entre las cuales se indican las siguientes (Cornforth, 2005)

- Las ruedas del torpedo permanecen siempre a la misma profundidad exacta.
- La posición de los sensores no cambia con el tiempo.
- No existen problemas de cambio de temperatura.
- Se puede monitorear en forma permanente y continua.

- Funcionan como un sistema de alarma inmediata de acuerdo con la actividad del movimiento.

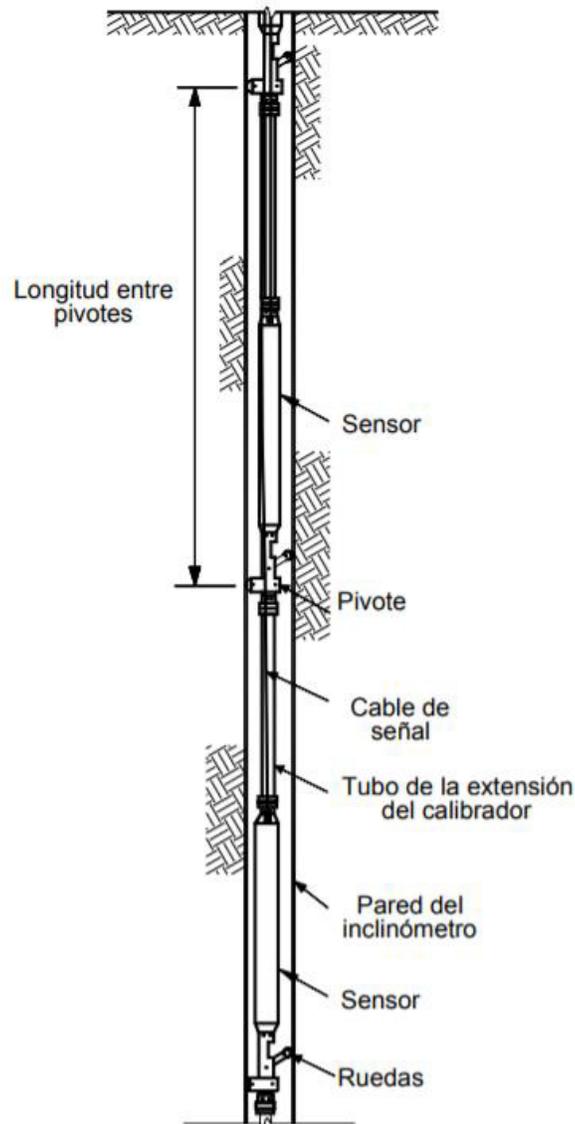


Figura 33. Sensores de inclinómetros fijos

Fuente. (Suárez, *Deslizamientos. Análisis Geotécnico*, 2009)(Slope Indicator Co).

Antes de instalar un inclinómetro fijo, generalmente, se realizan mediciones con un inclinómetro estándar y después de que se determinan las profundidades y características de los movimientos, se procede a colocar los sensores de los inclinómetros fijos en ciertos puntos determinados donde se desee monitorear.

Algunas referencias de inclinómetros fijos son mucho más precisas que los inclinómetros normales. Los inclinómetros fijos pueden retirarse ocasionalmente, para realizar otras mediciones o para confirmar la información que se está obteniendo.

La principal limitación de los inclinómetros fijos es su costo y adicionalmente, la probabilidad de pérdida o daño de los equipos si los movimientos son muy fuertes o si la zona de cortante o superficie de falla es muy delgada.

Estos inclinómetros son muy poco utilizados en los proyectos normales de ingeniería.

2.1.7 Caracterización de un Deslizamiento Utilizando la Instrumentación Una vez se ha formado un deslizamiento, se requiere encontrar las causas y mecanismos del movimiento y determinar las medidas correctivas que se deben implementar para controlar los fenómenos.

Para lograr este objetivo, se deben conocer en detalle, los parámetros y fenómenos que caracterizan el problema y con este fin, se requiere programar un estudio detallado del deslizamiento.

El término “deslizamiento” indica que el movimiento ya ocurrió y por lo tanto, deben existir indicios importantes que pueden aportar muy buena información.

2.1.7.1 Reconocimiento del Tipo y Características del Movimiento Primero debe reconocerse el tipo de deslizamiento, éste puede determinarse con base en el estudio de los sistemas de agrietamiento. Por ejemplo, en un deslizamiento de rotación, las grietas son ligeramente curvas en el plano vertical y son cóncavas en la dirección del movimiento, mientras los deslizamientos de traslación en bloque, presentan generalmente grietas verticales algo rectas y con el mismo ancho de arriba hasta abajo.

Es importante además, la identificación de la mayoría de los parámetros que controlan el movimiento mediante un estudio geotécnico.

El sistema de aguas subterráneas puede detectarse con base en la localización de los afloramientos de agua, mediante apiques y sondeos, o utilizando piezómetros.

En la visita al sitio, es conveniente ver el deslizamiento a distancia, desde una montaña cercana, para obtener una visión global y regional del problema.

2.1.7.2 Localización de la Superficie de Falla La localización de la superficie de falla puede realizarse de formas muy variadas (figuras 34 a 36)

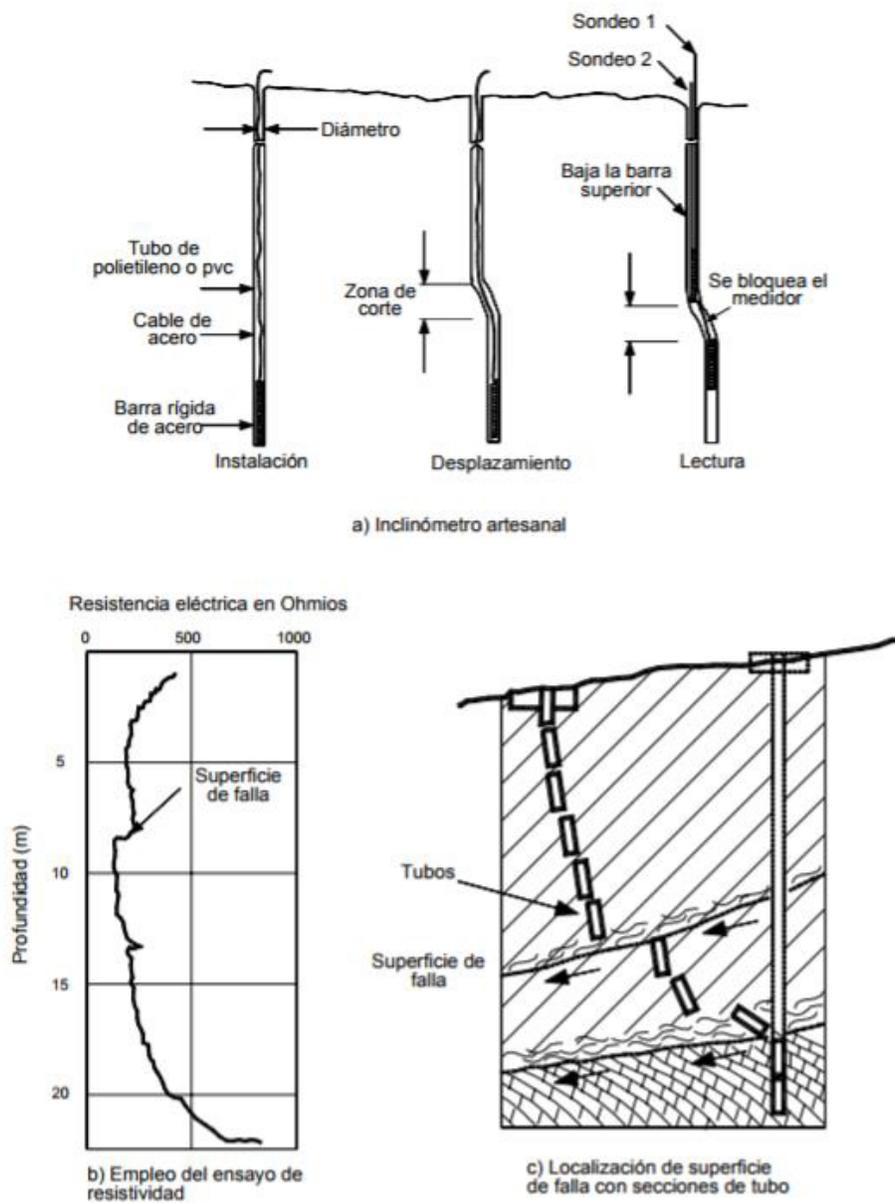


Figura 34. Detalle de tres procedimientos diferentes para determinar la superficie de falla en un deslizamiento

Fuente. (Suárez, Deslizamientos. Análisis Geotécnico, 2009)

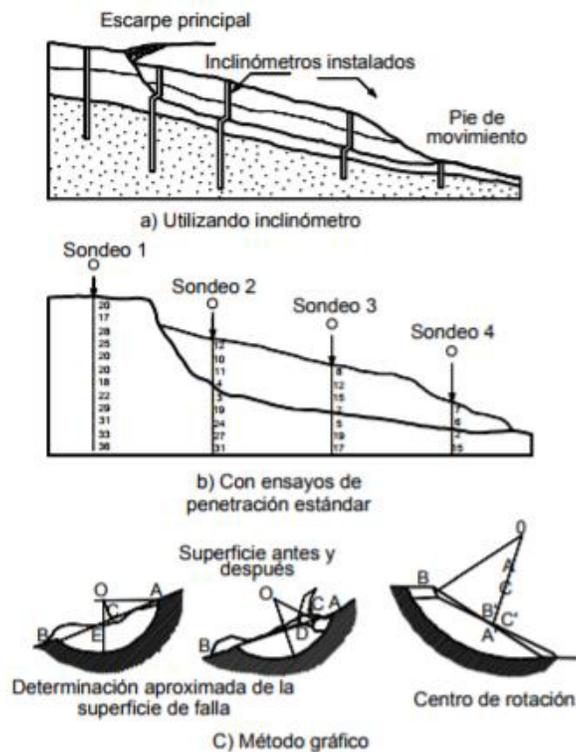


Figura 35. Esquemas de determinación de las superficies de falla
Fuente. (Suárez, Deslizamientos. Análisis Geotécnico, 2009)

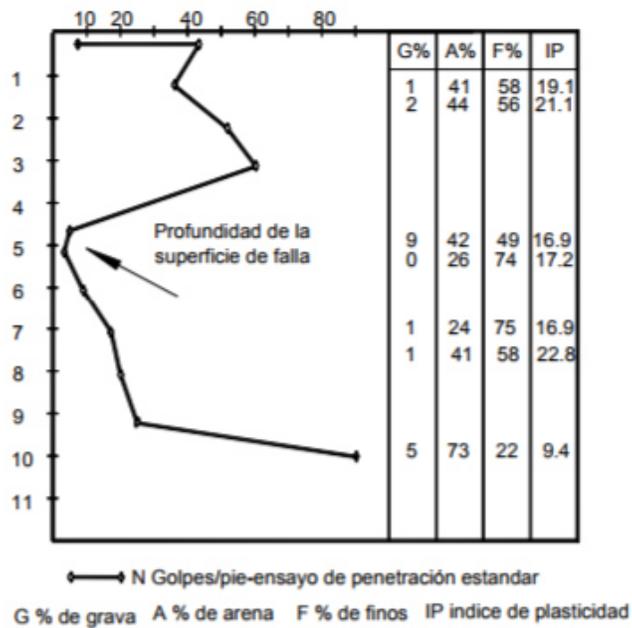


Figura 36. Superficie de falla en un sondeo
Fuente. (Suárez, Deslizamientos. Análisis Geotécnico, 2009)

- Geométricamente. Utilizando las evidencias topográficas superficiales, se puede inferir en forma aproximada y con un margen relativamente grande de error.
- Utilizando ensayos de penetración. La superficie de falla generalmente coincide con una profundidad a la cual la resistencia del suelo disminuye y por lo tanto, la resistencia a la penetración es menor disminuyendo el número de golpes en el ensayo de penetración estándar.
- Mediante inclinómetros. La utilización de inclinómetros es un sistema muy utilizado en los estudios detallados de movimientos relativamente lentos, en los cuales se requiere detectar deformaciones relativamente pequeñas. Así mismo, puede determinarse la profundidad aproximada de la superficie de falla mediante diversos ensayos o por métodos artesanales.
- Con geofísica. Se pueden utilizar sondeos geoelectrónicos, tomografía o prospecciones sísmicas para determinar el espesor de la masa en movimiento. Este procedimiento es muy útil en los coluviones que se deslizan sobre una superficie de roca. La tomografía 3D permite obtener la volumetría de la masa de deslizamiento en tres dimensiones.

Para identificar los mecanismos de falla se recomienda (en todos los casos) colocar algún tipo de instrumentación, utilizando las técnicas que se presentan en este capítulo. La intensidad y el detalle de la instrumentación dependerá de los recursos económicos y técnicos disponibles y de la importancia y complejidad del deslizamiento.

El monitoreo topográfico comúnmente es el más utilizado por su disponibilidad y economía. Sin embargo, éste no es suficiente para determinar las propiedades del deslizamiento a profundidad.

2.1.7.3 Diseño del Programa de Instrumentación y Monitoreo Para diseñar el programa de monitoreo se requiere haber realizado previamente una investigación detallada del deslizamiento, haber determinado el mecanismo general de falla y tener una magnitud de la escala de la profundidad de la superficie de falla.

Para el diseño de la instrumentación y el monitoreo, se recomiendan los siguientes criterios:

- Localizar los sitios estables para la colocación de BMs de referencia. Estos sitios deben estar sobre la roca o suelos estables por fuera del área del movimiento.
- Determinar las líneas para la colocación de postes o mojones para el monitoreo topográfico. Se recomiendan las líneas transversales a la dirección del movimiento; tanto la parte alta como baja e intermedia del deslizamiento (Figura 37).

• Identificar los sitios donde se requiere localizar inclinómetros, piezómetros y otros instrumentos. Los inclinómetros no deben colocarse en los sectores donde se esperan desplazamientos de más de 20 centímetros, (en el período de monitoreo) debido a que se ocasionaría la rotura de los ductos. Los piezómetros son muy importantes en la parte alta del deslizamiento para determinar las presiones de poros relacionadas con la recarga hidrogeológica. • Determinar los tiempos y procedimientos para las jornadas de medición, así como el procesamiento de los datos.

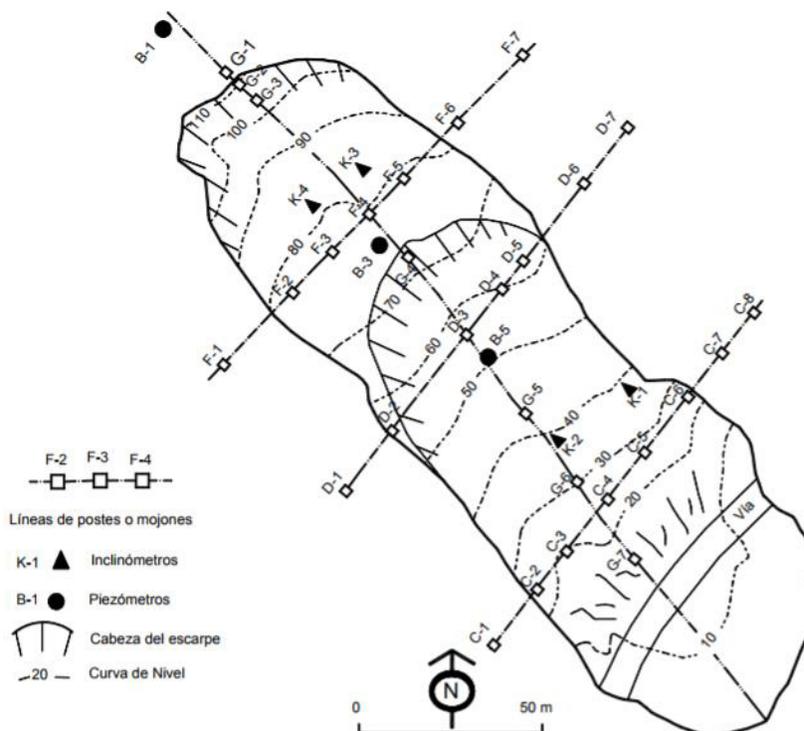


Figura 37. Distribución de los inclinómetros, postes de medición y sondeos con piezómetros en el deslizamiento

Fuente. (Suárez, Deslizamientos. Análisis Geotécnico, 2009)

2.2 Enfoque Legal

2.2.1 Reglamento de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California (1992)

Título D. Este Reglamento regirá en el Estado de Baja California y sus disposiciones y especificaciones se aplicarán a toda construcción, reparación o instalación. Donde el Título D incluye específicamente lo relacionado con la Cimentación, iniciando en el CAPITULO XIX hasta el CAPITULO XXIX. (86-132) Detallando lo relacionado

2.2.2 Normas Técnicas Complementarias de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California de Seguridad Estructural en Materia de “Diseño y Construcción de Cimentaciones”

El reglamento de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California tiene como objeto fijar los criterios y métodos de diseño y construcción de cimentaciones que permitan cumplir los requisitos mínimos definidos en la ley. (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2004) Siendo la finalidad de la subestructura transmitir carga al terreno de sobre el cual se soporta esta, de modo que no se sobrepase su capacidad de carga, para el caso del municipio de Tijuana B.C. se deberá realizar un estudio geotécnico para aquellas estructuras mayores de 100 m² de área construida, independientemente del uso de suelo autorizado. El estudio geotécnico deberá ser firmado por un responsable técnico a cargo de un Laboratorio que cuente con la clave de la especialidad de Mecánica de Suelos o Ingeniería Geológica en el Padrón Estatal de Contratistas otorgada por la Secretaria de Infraestructura y Desarrollo Urbano del Estado de B.C.; el alcance del mismo deberá contener los requisitos mínimos siguientes:

- Ubicación de Sondeos en el Predio
- Registros de Perforación de cada sondeo
- Granulometrías de las muestra representativas obtenidas
- Pruebas Índice
- Clasificación SUCS
- Cálculo de Capacidad de Carga, estrato resistente y profundidad del mismo
- Propuesta de cimentación recomendada
- Cálculo de asentamientos
- Valor relativo de Soporte
- Análisis de Estabilidad de taludes (en caso que aplique)
- Propuesta de dos opciones de sistemas de contención (en caso que aplique)
- Propuesta de proceso constructivo para excavación y extracción del suelo, a profundidad mayor de 2.50 m, o en la colindancia de edificios existentes.
- Estudio Geológico para zona de riesgo. (Lomeríos, zonas de laderas falladas, etc.) (en caso que aplique)

El estudio geotécnico deberá contemplar también, las indicaciones contenidas en el reglamento para la excavación, extracción y nivelación de terrenos en el municipio de Tijuana. (XXII Ayuntamiento Tijuana, 2017)

2.2.3 Normas Técnicas Complementarias de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California de Seguridad Estructural en Materia de “Diseño Sísmico” Esta

norma tiene como propósito obtener una seguridad adecuada tal que, bajo el sismo máximo probable, no habrá fallas estructurales mayores ni pérdida de vidas, aunque pueden presentarse daños que lleguen a afectar el funcionamiento del edificio y requerir reparaciones importantes.

Relacionados directamente en el análisis de riesgos geotécnicos por la actividad sísmica de la región.

Capítulo. 3 INFORME DE CUMPLIMIENTO DE TRABAJO

3.1 Considerar los resultados de los estudios previos de las zonas de ladera de la ciudad de Tijuana

Durante el desarrollo de la pasantía en el grupo de investigación ITEICO inicialmente se realizó un estudio bibliográfico del uso y la importancia de la instrumentación y monitoreo de suelos inestables, específicamente en taludes, para dicha tarea fue necesario hacer una revisión de la carta geológica (Ver Apéndice A, dicho apéndice se encuentra en formato original el cual fue entregado a Biblioteca) para establecer los tipos de suelos de la zona de Baja California y específicamente de la ciudad de Tijuana encontrando en la mayor parte de la ciudad suelos de tipo Aluvión, Rocas Igneas Intrusivas, correspondientes desde la era del cenozoico hasta el paleozoico. Adicional a esto se encuentran específicamente siete zonas geomorfológicas (Mendoza, Vazquez, & Rosquillas, 2007):

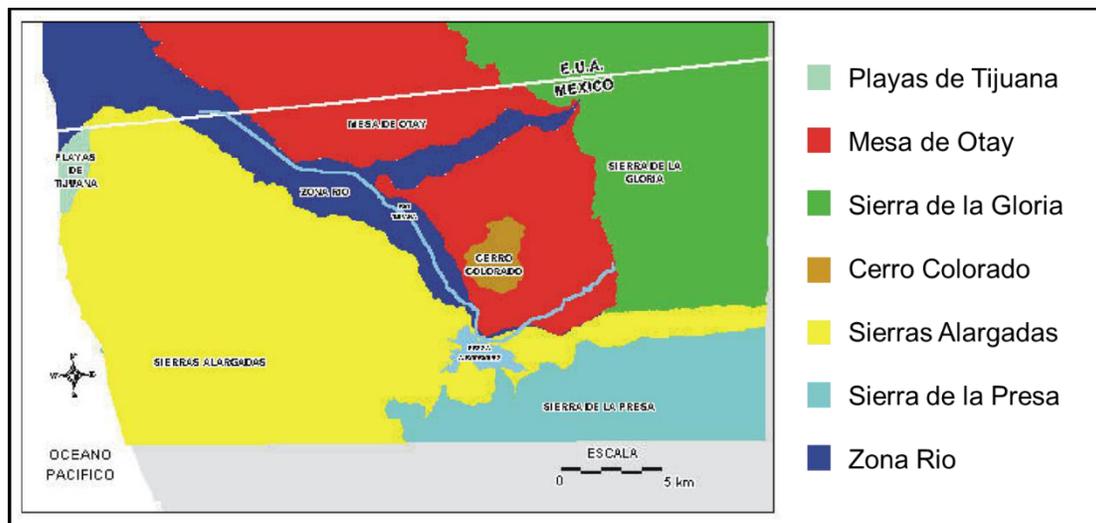


Figura 38. Principales zonas geomorfológicas de Tijuana, B.C.

Fuente. (Mendoza, Vazquez, & Rosquillas, 2007)

Con respecto a la documentación técnica, se participó específicamente en dos proyectos los cuales se estudiarán de manera individual a continuación

3.1.1 Proyecto Análisis de la estabilidad del terreno y monitoreo geotécnico-estructural en el Fraccionamiento Rincón Toscano El objetivo de esta consultoría principalmente era analizar la estabilidad del terreno en un sector del Fraccionamiento “Rincón Toscano”(Figura 39) para modelar y evaluar el riesgo por inestabilidad y de esta forma proponer un programa de instrumentación para el monitoreo del terreno y las estructuras.



Figura 39. Ubicación del área de Estudio

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

De esta manera se encuentran a disposición para su revisión un estudio geotécnico y una consultoría de mecánica de suelos donde se describen los parámetros físicos y mecánicos de la zona de estudio.

Este proyecto se encuentra ubicado en el fraccionamiento Rincón Toscano. Tijuana, B.C. con coordenadas (red UTM) $117^{\circ} 1'38.83''\text{O}$ - $32^{\circ}30'28.21''\text{N}$ (Figura 40)



Figura 40. Localización del Proyecto Análisis de la estabilidad del terreno y monitoreo geotécnico-estructural en el Fraccionamiento Rincón Toscano

Fuente. Google Earth 2017

Seguido de realizar la evaluación de riesgo en la zona el grupo ITEICO propone un programa de instrumentación a través de un sondeo inclinométrico para el monitoreo de los desplazamientos horizontales del terreno adicionalmente el uso de un extensómetro de cuerda para monitorear la evolución de fisuras en las estructuras aledañas. En la tabla 5 se muestra la descripción de los instrumentos a utilizar en el proyecto adicionalmente en la Figura 40 se muestra la ubicación espacial de ambos instrumentos-

Tabla 5.

Descripción del Programa de Instrumentación

Código	Accesorio/Instrumento	Estado	Profundidad / longitud (m)	Profundidad o longitud efectiva de medición (m)
Pz-1	Tubería para monitoreo inclinométrico con el uso de sonda inclinométrica RST	Activo	15	14.5
Ext-1	Extensómetro de cuerda para monitoreo de movimientos en barda y fisuras	En fase de instalación	Pendiente	Pendiente

Nota. Fuente. Grupo ITEICO

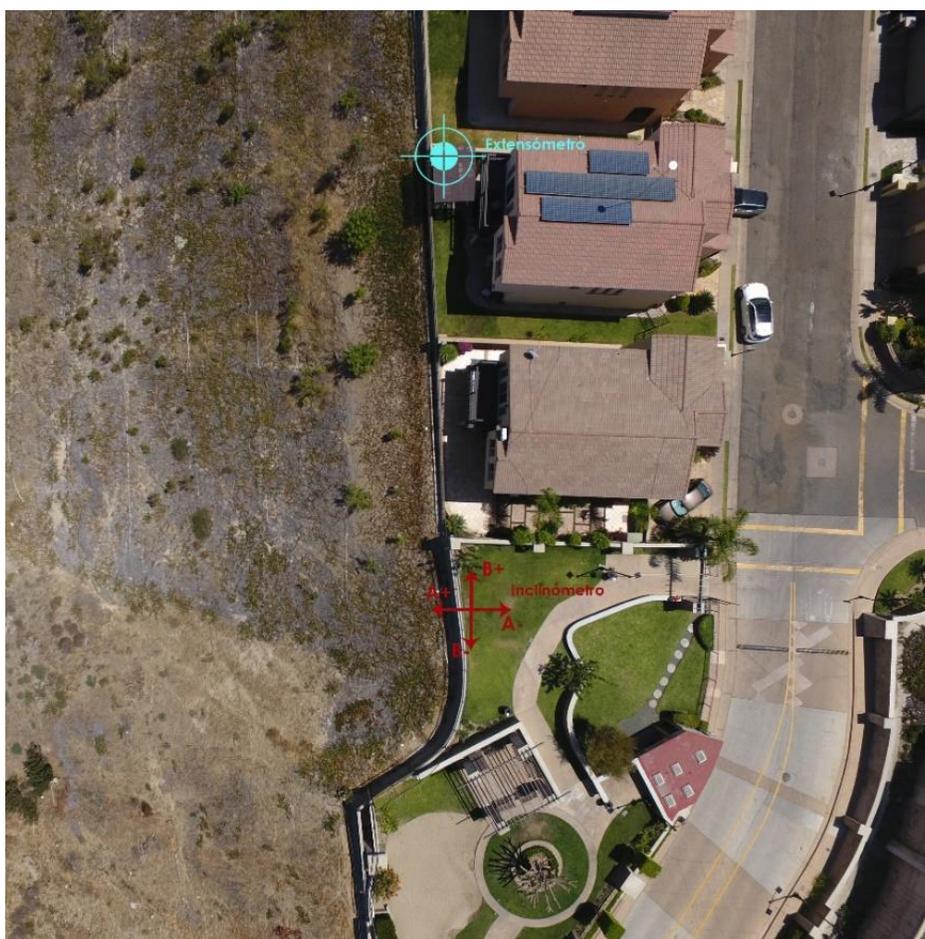


Figura 41. Ubicación de tubería para sonda Inclinométrica y Extensómetro

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

3.1.2 Proyecto: Monitoreo de sondeos inclinométricos en residencial “Cafetales” El objetivo de este proyecto era específicamente el monitoreo residencial con sonda inclinométrica RST con el fin de detectar desplazamientos horizontales en el terreno, para establecer la zona de estudio se delimitaron dos zonas principalmente, una de anclaje y área de derrumbe como se muestra en la Figura 42



Figura 42 Zona de Estudio

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

El proyecto se encuentra ubicado en la Residencia Lutteroth, marcado con el No. 24, Manzana 13, del Fraccionamiento Jardines de Chapultepec, en Tijuana, Baja California México, con coordenadas **E499381.9 N3595724** (Figura 43)

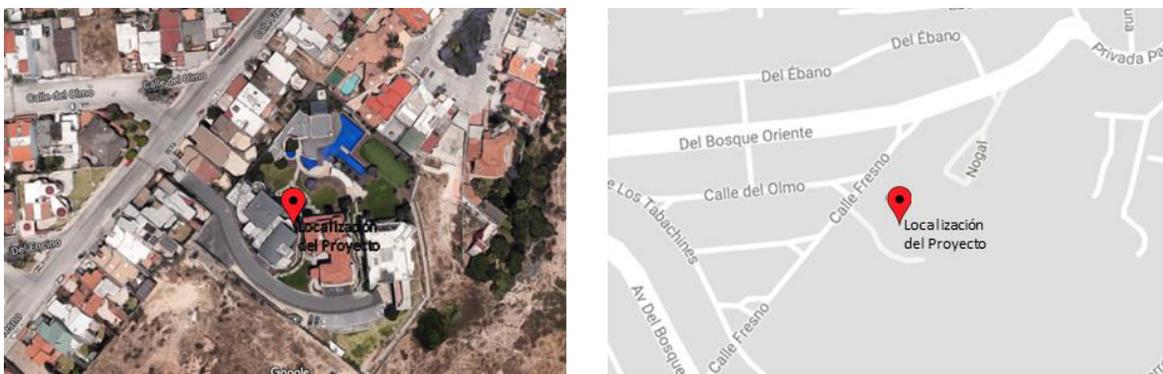


Figura 43. Localización proyecto Monitoreo de sondeos inclinométricos en residencial “Cafetales”

Fuente. Google Earth 2017

Para cumplir con los objetivos del proyecto (monitoreo del residencial) se realizaron seis (6) perforaciones que fueron inicialmente preparadas con tubería para uso de sonda inclinométrica. Dichas perforaciones, pozos o sondeos, fueron identificados con las series del PZ-1 al PZ-6 como se muestra en la Figura 44

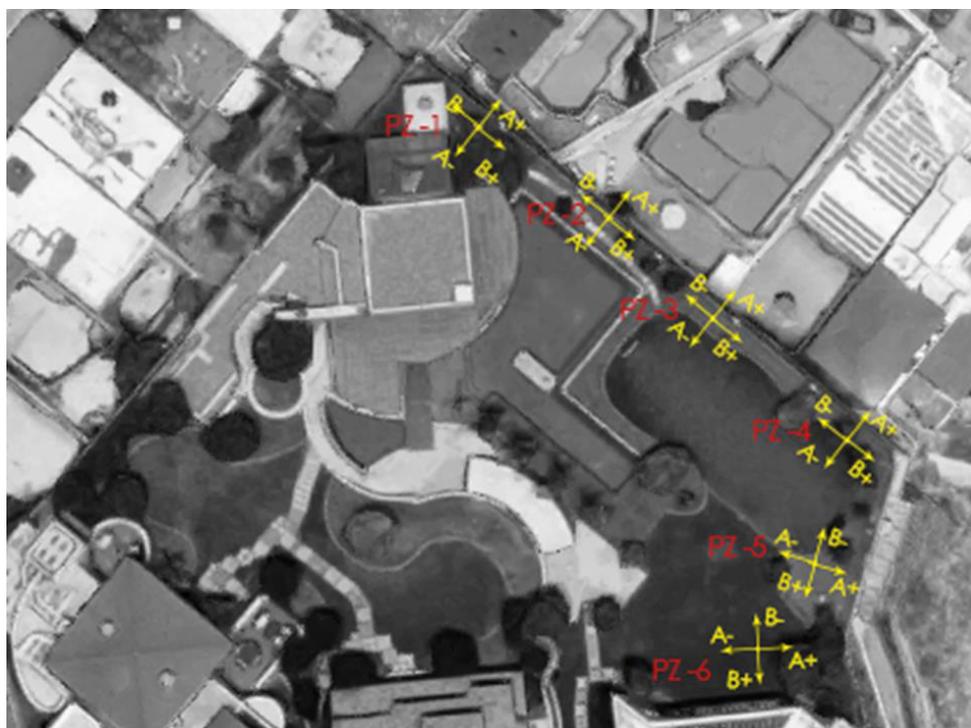


Figura 44. Ubicación en planta de sondeos inclinométricos.

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

El grupo ITEICO propone un programa de instrumentación a través de un sondeo inclinométrico para el monitoreo de los desplazamientos horizontales del terreno en total se realizaron 6 sondeos a diferentes profundidades las cuales se encuentran relacionadas en la Tabla No. 6

Tabla 6.

Descripción del Programa de Instrumentación

Código	Accesorio/Instrumento	Estado	Profundidad (m)	Profundidad efectiva de medición (m)
Pz-1	Tubería para monitoreo inclinométrico con el uso de sonda inclinométrica RST	Activo	12	11.5
Pz-2	Tubería para monitoreo inclinométrico con el uso de sonda inclinométrica RST	Activo	21	20.5
Pz-3	Tubería para monitoreo inclinométrico con el uso de sonda inclinométrica RST	Activo	24	23.5
Pz-4	Tubería para monitoreo inclinométrico con el uso de sonda inclinométrica RST	Activo	24	23.5
Pz-5	Tubería para monitoreo inclinométrico con el uso de sonda inclinométrica RST	Activo	21	20
Pz-6	Tubería para monitoreo inclinométrico con el uso de sonda inclinométrica RST	Activo	20	19.5

Nota. Fuente. Grupo ITEICO

3.2 Mediciones sobre los Parámetros Geotécnicos de las zonas de ladera Inestables vinculadas al Proyecto de Investigación

3.2.1 Proyecto Análisis de la estabilidad del terreno y monitoreo geotécnico-estructural en el Fraccionamiento Rincón Toscano

En total se realizaron 4 reportes de monitoreo a partir de noviembre de 2016 hasta la fecha, en dichos monitoreos no se encontraron desplazamientos significativos ya que son inferiores a 1mm lo cual indica que no

hay indicios de movimientos en el terreno. (Ver más Apéndice B sección 2.1.3.); para el seguimiento del extensómetro los movimientos registrados en la dirección de la cuerda no son significativos por lo que no hay indicios de movimientos ni de apertura de fisuras en la estructura monitoreada.

Aunque los desplazamientos en la zona de estudio no son significativos durante el seguimiento no se descarta la amenaza de ocurrencia de deslizamientos y la vulnerabilidad de las viviendas ubicadas en la corona del talud es por esto que es necesario continuar con el proceso de monitoreo para establecer posibles alertas ante cualquier movimiento horizontal.

3.2.2 Proyecto: Monitoreo de sondeos inclinométricos en residencial “Cafetales” Para este proyecto se realizaron 3 reportes de monitoreo a partir de septiembre de 2016 hasta la abril de 2017, en dichos monitoreos no se encontraron desplazamientos significativos ya que son inferiores a 1mm lo cual indica que no hay indicios de movimientos en el terreno. (Ver más Apéndice B sección 2.2.3.);

En este proyecto se tiene un monitoreo constante y hasta la fecha no se han observado cambios relevantes en los seis sondeos, con las diferentes lecturas ya que los desplazamientos registrados en las direcciones A y B de los sondeos inclinométricos 1, 2, 3, 4,5, y 6 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno a pesar de esto se sugiere seguir con el monitoreo constante ya que la zona de estudio se encuentra en riesgo.

3.3 Dictamen Técnico de Monitoreo y Control de Zonas de Ladera Inestable

Para el desarrollo del dictamen técnico se evaluaron diferentes aspectos relacionados con los casos de estudio, como la mecánica de suelos, la evaluación geotécnica, , la interpretación de estudios de estabilidad de terreno considerando los riesgos de las zonas para posteriormente proponer el programa de instrumentación aprobado por el grupo de investigación ITEICO desarrollando un informe técnico como se muestra en el Apéndice B

3.4 Desarrollo de Instructivo de campo para uso Sonda Inclinométrica RST

En busca de ofrecer un instructivo de campo de fácil comprensión, se desarrollaron cinco capítulos que incluyen los componentes del sistema inclinométrico, el funcionamiento teórico del instrumento inclinométrico, mecanismos adicionales del sistema como, además de las instrucciones de operación en Campo y finalmente las especificaciones técnicas del equipo para el cual fue desarrollado el instructivo como se muestra en el Apéndice C.

Capítulo 4: Conclusiones

- El análisis de estudios e mecánica de suelos y estudios geotécnicos de los proyectos evaluados en cuestión permitió contextualizar de manera certera las zonas de estudio, brindando información sobre la inestabilidad de laderas en dichas zonas, lo cual generó a su vez la importancia del monitoreo constante a través de la instrumentación con sonda RST y extensómetros de cuerda, esto buscando brindar seguridad y la generación de alertas en el momento de detectar desplazamientos horizontales.
- Se determinó la importancia del estudio de la influencia de la actividad humana sobre las masas de suelo como son los cortes y excavaciones, la cuantificación de sobrecargas, además de la densidad de la población, la deforestación y los cambios de uso de suelo.
- El monitoreo y control de taludes se desarrolla después de realizar la evaluación del riesgo caracterizando los factores condicionantes y desencadenantes que influyen directamente en la inestabilidad de laderas.
- La sonda inclinométrica RST, ofrece de manera efectiva y en tiempo real, la caracterización de los movimientos horizontales generando para la comunidad un factor de seguridad y la posibilidad de mitigación de daños generados por una masa de suelo localizada o un riesgo detectado.

Capítulo 5: Recomendaciones

- Es importante que se realicen de manera específica y técnica los estudios geotécnicos donde se tengan en cuenta la evaluación de riesgos y caracterización de los parámetros físicos y mecánicos del suelo generando de esta manera una conceptualización específica de las diferentes zonas a incluir en un proyecto.
- Se recomienda el uso de softwares especializados que permitan hacer una modelación adecuada para establecer las posibles superficies de falla de los taludes contemplados para de esta forma tener seguridad en momento de la instalación y realización de sondeos para el monitoreo a través de la instrumentación con sondas esto relacionado con la profundidad.
- Se sugiere continuar con un monitoreo constante y periódico a cada uno de los proyectos evaluados esto con el fin de prevenir a tiempo cualquier afectación o catástrofe generada por las zonas establecidas como de alto riesgo.
- El grupo de investigación a partir de estos monitoreos podría producir un mapeo geológico donde se establezcan las zonas de alto riesgo el cual sirva como base en la consecución de permisos para nuevas construcciones y también para la intervención por parte de las autoridades públicas en zonas que ya cuentan con edificaciones.

Referencias

- Abramson, L., Lee, T., Sharma, S., & Boyce, G. (2002). "Slope Stability and Stabilization Methods", John Wiley & Sons Inc., New York.
- Bonachea Pico, J. (2006). Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos. *Tesis Doctoral, Departamento de ciencias de la tierra y fisica de la materia condensada*. España: Universidad de Cantabria.
- Caballero, E. L. (2011). El concepto de ladera urbana. Centro Nacional Suizo de Competencia en Investigacion Norte-Sur(NCCR Norte-Sur). Obtenido de <http://www.sirih.org/uploaded/content/article/963613792.pdf>
- Catrillón, C., & Quintero, J. (2012). Guía de Instrumentacion en Taludes Intervenidos por un Proyecto Vial (Tesis de Posgrado). Universidad de Medellin, Medellin.
- Cornforth, D. (2005). "Landslides in practice investigation, analysis, and remedial/preventative options in Soils". John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- Corominas, J., Moya, J., Lloret, A., Gili, J., Angeli, M., Pasuto , A., & Silvano, S. (2000). "Measurement of landslide displacements using wire extensometer". *Engineering Geology* 55.
- Crozier. (1986). *Landslides: Causes, Consequences and Environment, Croom Hell*. London.
- Dumnicliff, J. (1988). "Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Peformance". New York : Wiley.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. (2004). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones. *Periódico Oficial del Estado de Baja California*, págs. 1-88. Obtenido de <https://periodicooficial.ebajacalifornia.gob.mx/oficial/mostrarDocto.jsp?nombreArchivo=Periodico-39-CXXII-2015821-SECCI%C3%93N%20VII.pdf&sistemaSolicitante=PeriodicoOficial/2015/Agosto>

Gaceta Oficial del Distrito Federal. (29 de enero de 2004). Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

Gaceta Oficial del Distrito Federal. (21 de Agosto de 2015). Normas Tecnicas Complementaria de la Ley de Edificaciones del estado de Baja California, de Seguridad Estructural en Materia de Diseño Sísmico. págs. 1-62. Obtenido de http://www.tijuana.gob.mx/sdue/dau/transparencia/FRACCION_I/Estatal/NTC_DisenoSi-smico.pdf

Gersocovich, D. M. (2015). *Estabilidad de Taludes*. Lemoine Editores.

Hanna, T. H. (1985). "Field Instrumentation In Geotechnical Engineering". Trans. Tech. Publications.

IUGS . (1997). Group on Landslides, Committee on Risk Assessment, Quantitative risk assessment for slopes and landslides – The state of the art. Proceedings of the International Workshop on landslide risk assessment. 3-12. Honolulu, Hawaii, USA.

Japan Landslide Society National. (1996). Conference of Landslide Society National Conference of Landslide Control. "Landslides in Japan".

Mendoza, L., Vazquez, S., & Rosquillas, A. (2007). Movimiento de Ladera o de Masas de Terreno en Tijuana, B.C. Tijuana, Baja California, México. Obtenido de <http://www.proteccioncivil.tijuana.gob.mx>

Mikkelsen , P. (1996). "Field Instrumentation". Landslides Investigation and Mitigation. Special report.

Morgenstern, N. (1997). Toward landslide risk assessment in practice. *Proceedings of the International Workshop on landslide risk assessment*, 15-23.

Obando, T. E. (2009). Sistemas de Monitoreo y control de la Estabilidad de Taludes Rocosos y Suelos. Huelva, España.

Oliva, A., & Gonzales, J. (2015). *Evaluacion de Riesgos por Inestabilidad de Laderas. Casos de Estudio*. Tijuana. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Javier_Gonzalez56/publication/279288168_EVALU

ACION_DE_RIESGOS_POR_DESLIZAMIENTOS_DE_LADERAS_Evaluacion_del_riego_por_inestabilidad_de_laderas_Casos_de_estudio_Ingenieria_del_Terreno_Instrumentacion_y_Control/links/559

Reyes, C., & Fernández, L. (1996). "Monitoring of Surface movements in excavated slopes". Proceedings of the Seventh International Symposium on landslides. Trondheim.

SIDUE. (1976). Obtenido de Reglamento de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California: <http://www.sidue.gob.mx/doctos/2013/normatividad/39.pdf>

Stead, D., Benko, B., Coggan, J. S., & Eberhardt, E. (2000). "Mechanism of failure of complex landslides: A Numerical Modelling Perspective". 1401-1046. 8th International symposium on landslides, Cardiff.

Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosion y Deslizamientos.

Suárez, J. (2009). *Deslizamientos. Análisis Geotecnico* (Vol. 1). Bucaramanga, Columbia: U. Industrial de Santander.

Suárez, J. (2009). *Deslizamientos. Técnicas de remediación* (Vol. 2). Bucaramanga, Colombia: U. Industrial de Santander.

UDCI. (2017). *Universidad de las Californias Internacional*. Obtenido de <http://www.udc.com.mx/index.php/quienes-somos/quienes-somos.html>

Varnes. (1984). *Landslide hazard Zonation. A Review of Principles and practice*. Paris: UNESCO Press.

Westen, V. (2005). Introducción al uso de SIGs en el mapeo de deslizamientos. *International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. ITC Enschede, The Netherlands*.

XXII Ayuntamiento Tijuana. (6 de Enero de 2017). *Tijuana*. Obtenido de Reglamento para la Excavacion, extraccion y nivelación de terrenos en el Municipio de Tijuana: http://www.tijuana.gob.mx/Reglamentos/Municipales/RM_ExcavacionExtraccionyNivelaciondeTerrenos_TJ-BC_06012017.pdf

Apéndice

Apéndice A.
Carta geológica

Apéndice B.

**INFORME TÉCNICO EN LA INSTRUMENTACION, MONITORERO Y
CONTROL DE TALUDES INESTABLES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE
TIJUANA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.**

**INFORME TÉCNICO EN LA INSTRUMENTACION, MONITORERO Y CONTROL DE
TALUDES INESTABLES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE TIJUANA, BAJA
CALIFORNIA, MÉXICO.**

MUÑOZ QUINTERO ANGIE ALEJANDRA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
UNIVERSIDAD DE LAS CALIFORNIAS INTERNACIONAL- UDCI

PROGRAMA: INGENIERIA CIVIL
TIJUANA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

AGOSTO, 2017

CONTENIDO

INFORME TÉCNICO EN LA INSTRUMENTACION, MONITORERO Y CONTROL DE TALUDES INESTABLES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE TIJUANA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.	1
TABLA DE ILUSTRACIONES	4
LISTA DE TABLAS	6
INTRODUCCIÓN	7
1. OBJETIVOS.....	8
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	8
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
2. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS	9
2.1. PROYECTO: MONITOREO DE SONDEOS INCLINOMÉTRICOS EN RESIDENCIAL “CAFETALES” 10	
2.1.1. OBJETIVO DEL PROYECTO	10
2.1.2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	10
2.1.3. DESARROLLO DEL PROYECTO	11
2.1.3.1. ZONA DE ESTUDIO	12
2.1.3.2. DATOS GENERALES DE SONDEOS	13
2.1.3.3. REPORTE DE MONITOREO SEPTIEMBRE DE 2016.....	14
2.1.3.3.1. DATOS GENERALES.	14
2.1.3.3.2. GRAFICAS DE DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LOS SONDEOS.....	14
2.1.3.4. REPORTE DE MONITOREO DICIEMBRE DE 2016.....	17
2.1.3.4.1. DATOS GENERALES.	17
2.1.3.4.2. GRAFICAS DE DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LOS SONDEOS.....	17
2.1.3.5. REPORTE DE MONITOREO ABRIL DE 2017.....	21
2.1.3.5.1. DATOS GENERALES.	21
2.1.3.5.2. GRAFICAS DE DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LOS SONDEOS.....	21
2.2. PROYECTO ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DEL TERRENO Y MONITOREO GEOTÉCNICO- ESTRUCTURAL EN EL FRACCIONAMIENTO RINCÓN TOSCANO.....	25
2.2.1. OBJETIVO DEL PROYECTO	25
2.2.2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	26
2.2.3. DESARROLLO DEL PROYECTO	27
2.2.3.1. ZONA DE ESTUDIO	27
2.2.3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN.....	27
2.2.3.3. REPORTE DE MONITOREO NOVIEMBRE DE 2016.....	29
2.2.3.3.1. DATOS GENERALES	29
2.2.3.3.2. GRAFICA DE DESPLAZAMIENTO ACUMULADO EN EL SONDEO	29
2.2.3.3.3. EXTENSÓMETRO DE CUERDA	29
2.2.3.4. REPORTE DE MONITOREO DICIEMBRE DE 2016.....	30

2.2.3.4.1.	DATOS GENERALES	31
2.2.3.4.2.	GRAFICAS DE DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LOS SONDEOS.....	31
2.2.3.4.3.	EXTENSÓMETRO DE CUERDA	32
2.2.3.5.	REPORTE DE MONITOREO ENERO DE 2017	33
2.2.3.5.1.	DATOS GENERALES	33
2.2.3.5.2.	GRAFICAS DE DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LOS SONDEOS.....	33
2.2.3.5.3.	EXTENSÓMETRO DE CUERDA	34
2.2.3.6.	REPORTE DE MONITOREO FEBRERO DE 2017.....	35
2.2.3.6.1.	DATOS GENERALES	35
2.2.3.6.2.	GRAFICAS DE DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LOS SONDEOS.....	35
3.1.1.1.1.	EXTENSÓMETRO DE CUERDA	36
3.1.1.2.	REPORTE DE MONITOREO MARZO DE 2017	37
3.1.1.2.1.	DATOS GENERALES	37
3.1.1.2.2.	GRAFICAS DE DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LOS SONDEOS.....	37
3.1.1.2.3.	EXTENSÓMETRO DE CUERDA	38
3.2.	PROYECTO LIMÓN	40
3.2.1.	BITÁCORA DE VISITA.....	40
3.3.	PROYECTO NATURA BANCO DE PIEDRA	41
3.3.1.	BITÁCORA DE VISITA.....	41
3.4.	PRUEBA RASTREO DE TUBERÍAS EN CAMPUS UDC PREPARATORIA.....	44
3.4.1.	BITÁCORA DE VISITA.....	44
4.	RESULTADOS Y PRODUCTOS.....	47
4.1.	PROYECTO: MONITOREO DE SONDEOS INCLINOMÉTRICOS EN RESIDENCIAL “CAFETALES” 47	
4.2.	PROYECTO ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DEL TERRENO Y MONITOREO GEOTÉCNICO- ESTRUCTURAL EN EL FRACCIONAMIENTO RINCÓN TOSCANO	47
4.	CONCLUSIONES.....	54
5.	ANEXOS	55

TABLA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. LOCALIZACIÓN PROYECTO MONITOREO DE SONDEOS INCLINOMÉTRICOS EN RESIDENCIAL “CAFETALES”	10
ILUSTRACIÓN 2. RESIDENCIAL CAFETALES.....	10
ILUSTRACIÓN 3. UBICACIÓN EN PLANTA DE SONDEOS INCLINOMÉTRICOS	11
ILUSTRACIÓN 4. ZONA DE ESTUDIO	12
ILUSTRACIÓN 5. ALTURA MÍNIMA	12
ILUSTRACIÓN 6. ALTURA MÁXIMA	13
ILUSTRACIÓN 7. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-1).....	14
ILUSTRACIÓN 8. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-2)	15
ILUSTRACIÓN 9. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-3)	15
ILUSTRACIÓN 10. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-4)	16
ILUSTRACIÓN 11. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-5)	16
ILUSTRACIÓN 12. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-6).....	17
ILUSTRACIÓN 13. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-1).....	18
ILUSTRACIÓN 14. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-2).....	18
ILUSTRACIÓN 15. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-3).....	19
ILUSTRACIÓN 16. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-4).....	20
ILUSTRACIÓN 17. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-5).....	20
ILUSTRACIÓN 18. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-6).....	21
ILUSTRACIÓN 19. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-1)	22
ILUSTRACIÓN 20. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-2)	22
ILUSTRACIÓN 21. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-3).....	23
ILUSTRACIÓN 22. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-4).....	24
ILUSTRACIÓN 23. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-5).....	24
ILUSTRACIÓN 24. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-6).....	25
ILUSTRACIÓN 25. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.	26
ILUSTRACIÓN 26. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DEL TERRENO Y MONITOREO GEOTÉCNICO-ESTRUCTURAL EN EL FRACCIONAMIENTO RINCÓN TOSCANO	27
ILUSTRACIÓN 27. COLOCACIÓN DE TUBERÍA INCLINOMÉTRICA	27
ILUSTRACIÓN 28. UBICACIÓN DE TUBERÍA PARA SONDA INCLINOMÉTRICA Y EXTENSÓMETRO	28
ILUSTRACIÓN 29. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-1).....	29
ILUSTRACIÓN 30. ESQUEMA GENERAL PARA LA INSTALACIÓN DEL EXTENSÓMETRO	30
ILUSTRACIÓN 31. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-1).....	31
ILUSTRACIÓN 32. UBICACIÓN E INSTALACIÓN DEL EXTENSÓMETRO	32
ILUSTRACIÓN 33. REGISTRO DE DESPLAZAMIENTOS.....	33
ILUSTRACIÓN 34. DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (Pz-1).....	34

ILUSTRACIÓN 35 REGISTRO DE DESPLAZAMIENTOS.....	35
ILUSTRACIÓN 36 DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (PZ-1).....	36
ILUSTRACIÓN 37. REGISTRO DE DESPLAZAMIENTOS.....	37
ILUSTRACIÓN 38DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS EN LAS DIRECCIONES A Y B (PZ-1).	38
ILUSTRACIÓN 39. REGISTRO DE DESPLAZAMIENTOS.....	39
ILUSTRACIÓN 40. VUELO PROYECTO LIMÓN	40
ILUSTRACIÓN 41. VERIFICACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EN CAMPO	41
ILUSTRACIÓN 42. DEMARCACIONES DE PUNTOS	42
ILUSTRACIÓN 43. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO MARCACIÓN DE PUNTOS	43
ILUSTRACIÓN 44 SEGUIMIENTO DE VUELO Y RECEPCIÓN DEL DRON	43
ILUSTRACIÓN 45. REVISIÓN INICIAL DE EQUIPO.....	44
ILUSTRACIÓN 46 DETECCIÓN DE TUBERÍAS CON DEPTH READING LINE TRACER	45
ILUSTRACIÓN 47 DETECCIÓN DE TUBERÍAS CON DEPTH READING LINE TRACER	45
ILUSTRACIÓN 48 HALLAZGO DE TUBERÍAS	46
ILUSTRACIÓN 49 PLANO TOPOGRÁFICO	47
ILUSTRACIÓN 50. ZONIFICACIÓN DEL RIESGO POR INESTABILIDAD DEL TERRENO (DESLIZAMIENTOS).....	52
ILUSTRACIÓN 51. PROBABLES SUPERFICIES DE FALLA (ROTURA) QUE SE PUEDEN GENERAR EN EL PERFIL 0+080.....	53
ILUSTRACIÓN 52 ACTIVIDADES DE CAMPO.....	55
ILUSTRACIÓN 53 ACTIVIDADES DE CAMPO PROYECTO LOMAS CONJUNTO RESIDENCIAL.....	55
ILUSTRACIÓN 54 SALIDA DE CAMPO.....	56
ILUSTRACIÓN 55. VISITA A PROYECTO RINCÓN TOSCANO	56
ILUSTRACIÓN 56. TOMA DE DATOS CON SONDA RST EN PROYECTO RINCÓN TOSCANO NO. 1.....	57
ILUSTRACIÓN 57TOMA DE DATOS CON SONDA RST EN PROYECTO RINCÓN TOSCANO NO. 2.....	58
ILUSTRACIÓN 58TOMA DE DATOS CON SONDA RST EN PROYECTO RINCÓN TOSCANO NO. 3.....	58

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. DESCRIPCION Y ESTADO DE SONDEOS INCLINOMETRICOS	13
TABLA 2. DESCRIPCIÓN DE PROGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN	28
TABLA 3. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN CON SONDEO INCLINOMÉTRICO Y EXTENSÓMETROS DE CUERDA.....	31
TABLA 4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD BASADO EN MÉTODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE.	48
TABLA 5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD UTILIZANDO MÉTODOS TENSO- DEFORMACIONALES.....	50
TABLA 6. FACTORES DE VALUACIÓN QUE CONSIDERAN LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS (MODIFICADO DE CUANALO O. A.; OLIVA A. O. Y GONZÁLEZ C., 2007).	51
TABLA 7. AMENAZA DE DESLIZAMIENTO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	51
TABLA 8. RIESGO DE DAÑOS POR DESLIZAMIENTOS.	52

INTRODUCCIÓN

A través de este informe técnico se evaluarán específicamente dos proyectos pertenecientes a la ciudad de Tijuana, Baja California, México, desarrollados por el Grupo ITEICO, específicamente en esta ciudad se presenta distintas zonas de ladera susceptibles a deslizamientos debido a la complejidad geológica y geotécnica además de la fuerte actividad tectónica de la región; la inestabilidad de laderas es una amenaza permanente, causando esto destrucción y una afectación directa a la población, es por esto que algunos ciudadanos en busca de garantizar su seguridad optan por realizar un monitoreo y control de la evolución de los movimientos deformaciones agrietamientos y otros parámetros geotécnicos del suelo, así como de las presiones y niveles de agua en el interior del terreno, esto a través de instrumentos especializados como son la Sonda inclinométrica RST y extensómetro de cuerda.

Para este caso en particular se **estudiaron** dos proyectos específicamente, el primer **Proyecto: Monitoreo de sondeos inclinométricos en residencial “Cafetales”** donde se realizó un monitoreo con sonda RST con un total de seis sondeos a diferentes profundidades, que se describirán en este informe y el segundo un **Proyecto Análisis de la estabilidad del terreno y monitoreo geotécnico-estructural en el Fraccionamiento Rincón Toscano** donde se efectuó un monitoreo a través de dos instrumentos la sonda inclinométrica RST y el extensómetro de cuerda, esto con el fin de evaluar los desplazamientos horizontales del terreno.

Adicionalmente se realizaron otras actividades relacionadas con levantamientos fotogramétricos, obtención de orthofotos además de prácticas con un rastreador de tuberías y cables, en diferentes proyectos manejados por el grupo de investigación ITEICO euroamericano; el cual cuenta con diferentes herramientas necesarias para el desarrollo de cada una de estas actividades, además de los equipos especializados con el personal idóneo para la utilización de estos, tanto para el trabajo de campo como para el desarrollo del procesamiento de datos y la realización de informes para la ejecución de los diferentes proyectos que se desarrollaran a lo largo de este informe técnico.

1. OBJETIVOS

1.1.Objetivo General

Aplicar y consolidar conocimientos adquiridos en el aprendizaje de la carrera mediante la vinculación con la práctica profesional.

1.2.Objetivos Específicos

- Formar parte del equipo técnico responsable de la ejecución de proyectos de ingeniería.
- Realizar tareas de índole técnico-profesional dadas por el personal que labora en el departamento técnico de las empresas.
- Adquirir conocimientos y experiencia sobre el entorno laboral en una empresa de ingeniería.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS

Para el desarrollo de los diferentes proyectos de ingeniería se hizo necesario el uso de diferentes equipos y herramientas entre los cuales tenemos:

- Piezómetro de cuerda vibrante, marca SISGEO

Los piezómetros de cuerda vibrante consisten en un sensor de cuerda vibrante embebido en una carcasa de acero con filtro en un extremo. Los piezómetros VW ofrecen una excelente fiabilidad a largo plazo como resultado del uso de los últimos desarrollos en tecnología de cuerda vibrante. El modelo robusto PK45 está recomendado para el uso en presas de tierra con cables armados.

-Sistema de Inclinómetro digital MEMS ((Microelectromechanical Systems), marca RST



- Inclinómetro de pared de 2 Ejes (Sensor de inclinación) 10-30 volt, Marca SEIKA

Este se usa para estructuras, en algunas ocasiones se pone como complemento al extensómetro de cuerda.

-Extensómetro de cuerda (Draw Wire Sensor) serie SX50, Marca WayCon



Los medidores de deformación VW se utilizan para controlar la tensión en acero o en hormigón armado y en estructuras de concreto masivas.

Los medidores de tensión de empotramiento VW se incrustan en el concreto directamente para medidas de tensión de pilotes, fundaciones, presas, túneles, etc.

Debido a la larga vida de los instrumentos y su alta confiabilidad, estos instrumentos son la solución más robusta para controlar la tensión en las estructuras de hormigón y metálicas.

-Nemos LP Datalogger GPRS autónomo (registrador de datos GPRS/GSM) Marca, Microcom.

Este es utilizado junto con el extensómetro de cuerda para recepción de datos y el programa ZEUZ.

2.1. Proyecto: Monitoreo de sondeos inclinométricos en residencial “Cafetales”

2.1.1. Objetivo del Proyecto

Monitoreo residencial con sonda inclinométrica RST con el fin de detectar desplazamientos horizontales del terreno.

2.1.2. Localización del Proyecto

Residencia Lutteroth, marcado con el No. 24, Manzana 13, del Fraccionamiento Jardines de Chapultepec, en Tijuana, Baja California México, con coordenadas **E499381.9 N3595724**

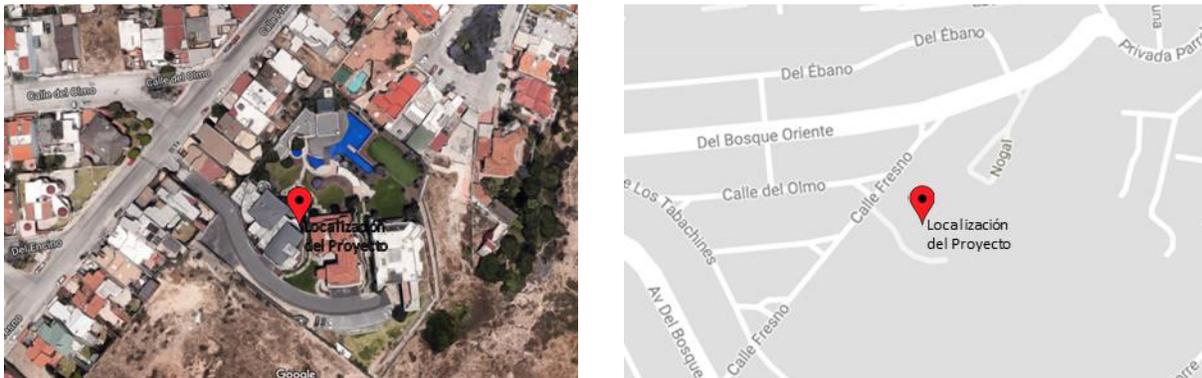


Ilustración 1. Localización proyecto Monitoreo de sondeos inclinométricos en residencial “Cafetales”

Fuente. Google Earth 2017



Ilustración 2. Residencial Cafetales

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

2.1.3. Desarrollo del Proyecto

El proyecto: monitoreo de sondeos inclinométricos en residencial “CAFETALES”

Para cumplir con los objetivos del proyecto (monitoreo del residencial) se realizaron seis (6) perforaciones que fueron inicialmente preparadas con tubería para uso de sonda inclinométrica. Dichas perforaciones, pozos o sondeos, fueron identificados con las series del PZ-1 al PZ-6 como se muestra en la ilustración 3.

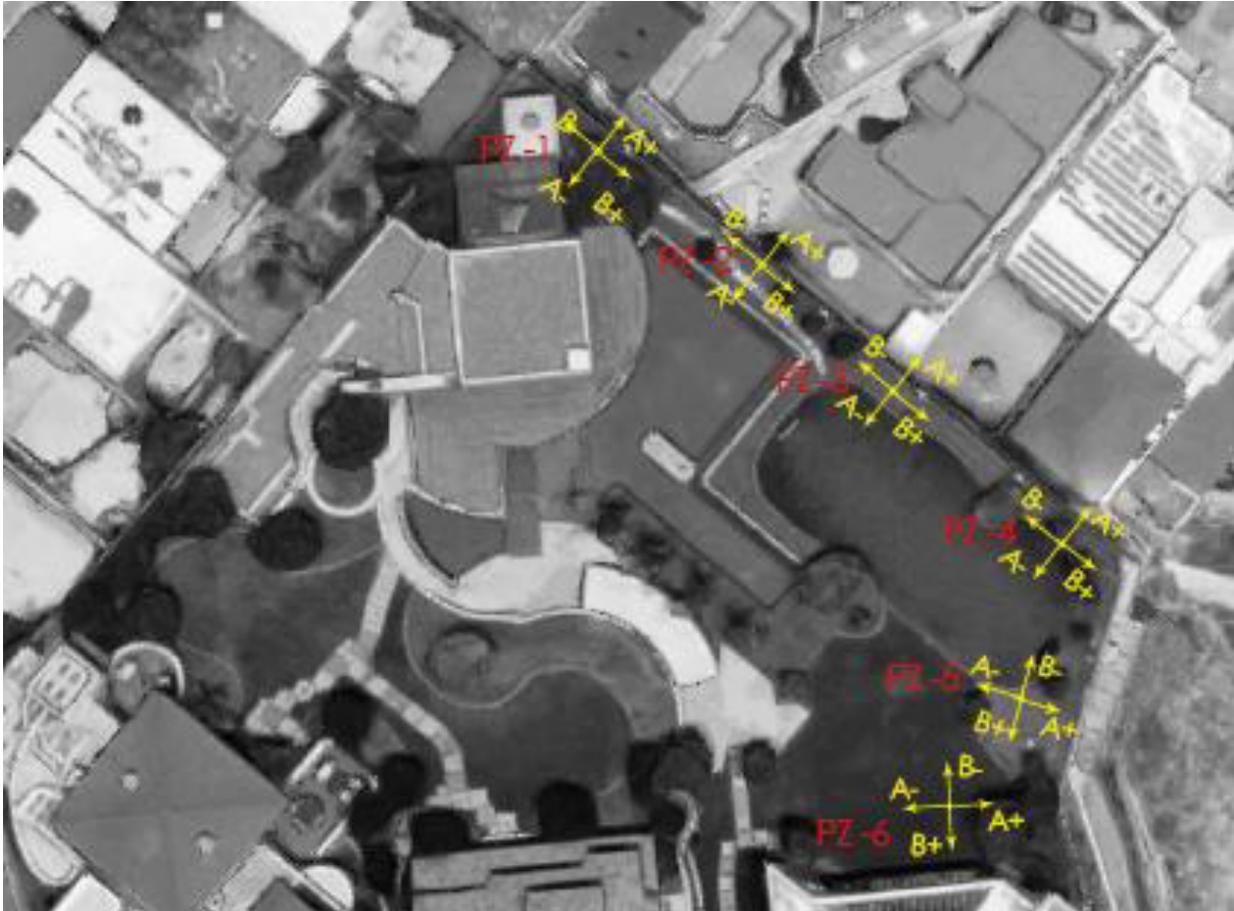


Ilustración 3. Ubicación en planta de sondeos inclinométricos.

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

2.1.3.1. Zona de Estudio

En el proyecto se delimitaron dos zonas principalmente, una de anclaje y área de derrumbe como se muestra en la ilustración 4, adicionalmente se establecieron las zonas con mayor y con menor altura como se muestra en la ilustración 5 y 6 respectivamente.



Ilustración 4. Zona de Estudio
Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano



Ilustración 5. Altura Mínima
Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

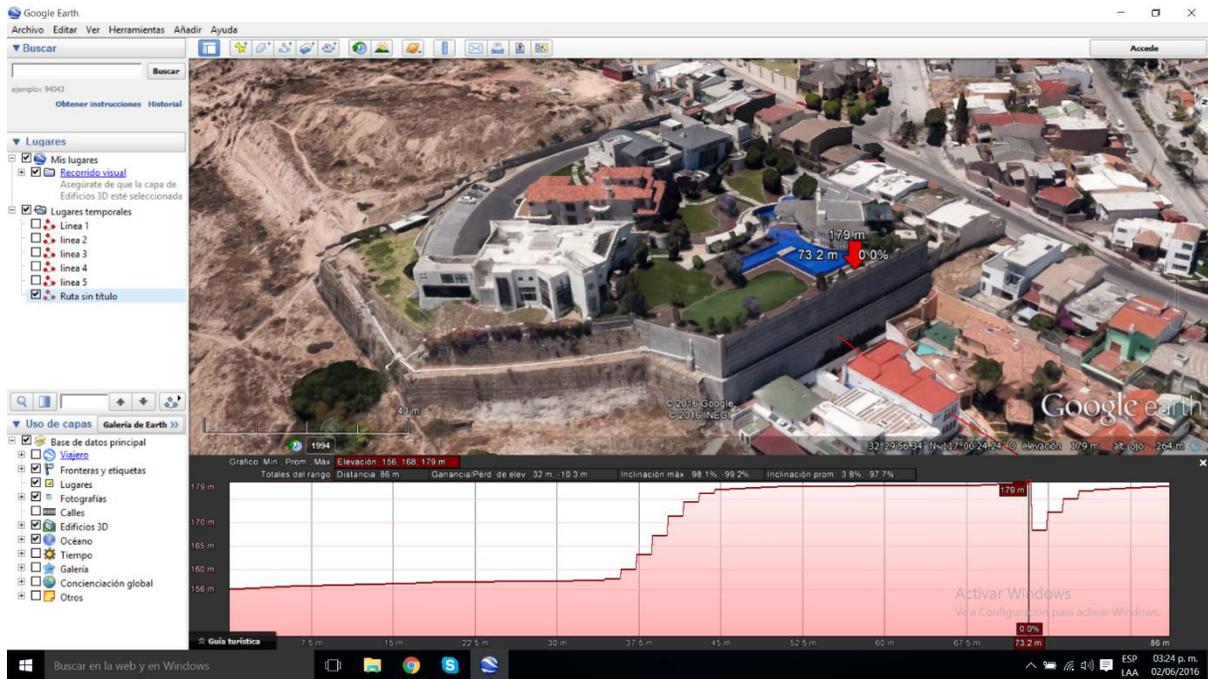


Ilustración 6. Altura Máxima

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

2.1.3.2. Datos Generales de sondeos

En total se realizaron 6 sondeos para la instalación de tuberías de monitoreo a diferentes profundidades las cuales se encuentran relacionadas esquemáticamente en la tabla 1

Tabla 1. Descripción y estado de sondeos inclinométricos

Código	Accesorio/Instrumento	Estado	Profundidad (m)	Profundidad efectiva de medición (m)
Pz-1	Tubería para monitoreo inclinométrico con el uso de sonda inclinométrica RST	Activo	12	11.5
Pz-2	Tubería para monitoreo inclinométrico con el uso de sonda inclinométrica RST	Activo	21	20.5
Pz-3	Tubería para monitoreo inclinométrico con el uso de sonda inclinométrica RST	Activo	24	23.5
Pz-4	Tubería para monitoreo inclinométrico con el uso de sonda inclinométrica RST	Activo	24	23.5
Pz-5	Tubería para monitoreo inclinométrico con el uso de sonda inclinométrica RST	Activo	21	20
Pz-6	Tubería para monitoreo inclinométrico con el uso de sonda inclinométrica RST	Activo	20	19.5

2.1.3.3. Reporte de Monitoreo Septiembre de 2016

El monitoreo se realiza con sonda inclinométrica RST, la cual permite detectar los desplazamientos horizontales del terreno alrededor de los sondeos, cada 0.50m.

Periodo de Monitoreo. Del 23 de agosto de 2016 al 17 de septiembre de 2016.

2.1.3.3.1. Datos Generales.

Nombre del cliente	Ing. Isidro Barbosa
Dirección del sitio de monitoreo	Residencia Lutteroth No. 24, Manzana 13. Fraccionamiento Jardines de Chapultepec. Tijuana, B.C.
Coordenadas del sitio (red UTM)	E 499381.9 N 3595724
Tipo de monitoreo	Inclinométrico

2.1.3.3.2. Graficas de desplazamientos acumulados en los sondeos

✓ Sondeo Inclinométrico 1

En la ilustración 7 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

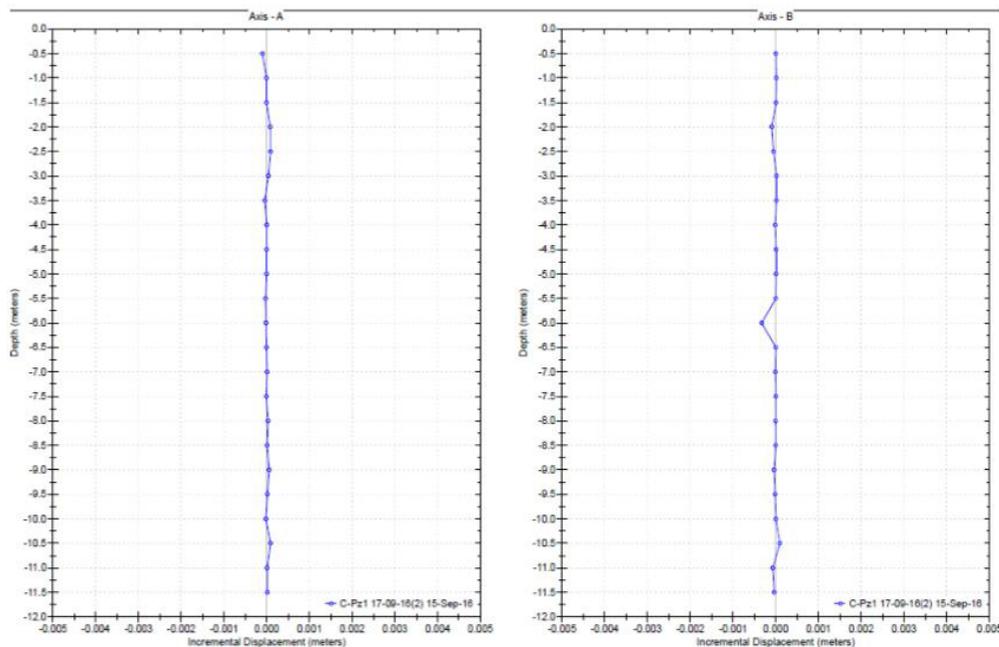


Ilustración 7. Desplazamientos acumulados en las direcciones A y B (Pz-1)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 1 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno.

✓ Sondeo Inclinométrico 2

En la ilustración 8 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

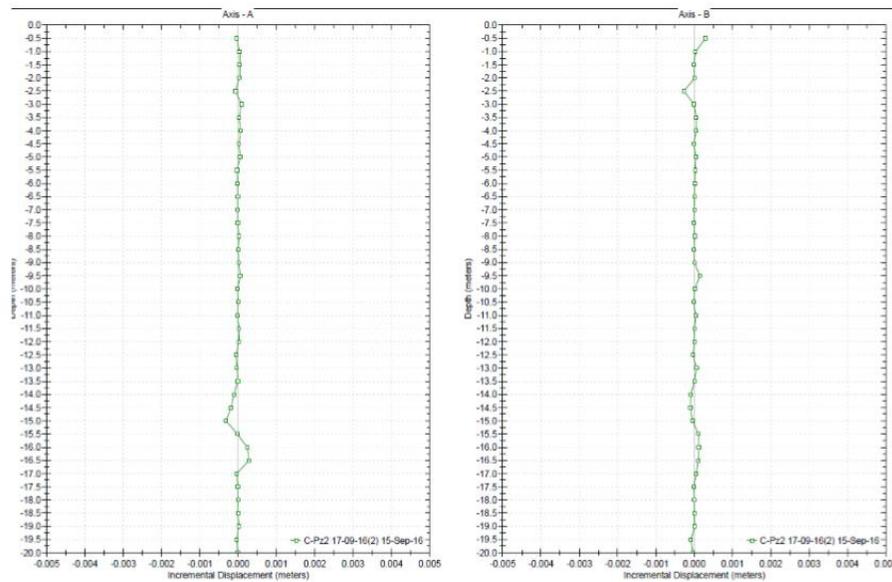


Ilustración 8. Desplazamientos acumulados en las direcciones A y B (Pz-2)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 2 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno.

✓ Sondeo Inclinométrico 3

En la ilustración 9 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

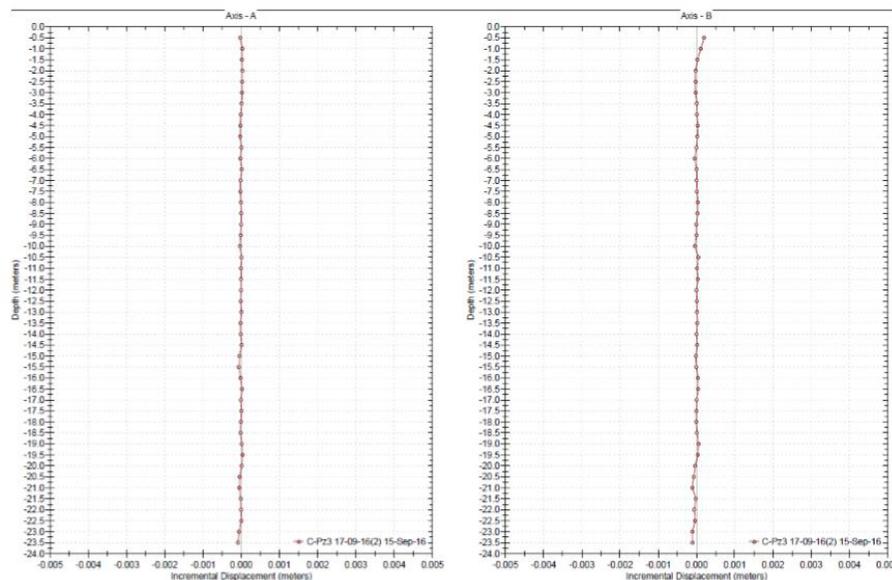


Ilustración 9. Desplazamientos acumulados en las direcciones A y B (Pz-3)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 3 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno

✓ Sondeo Inclinométrico 4

En la ilustración 10 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

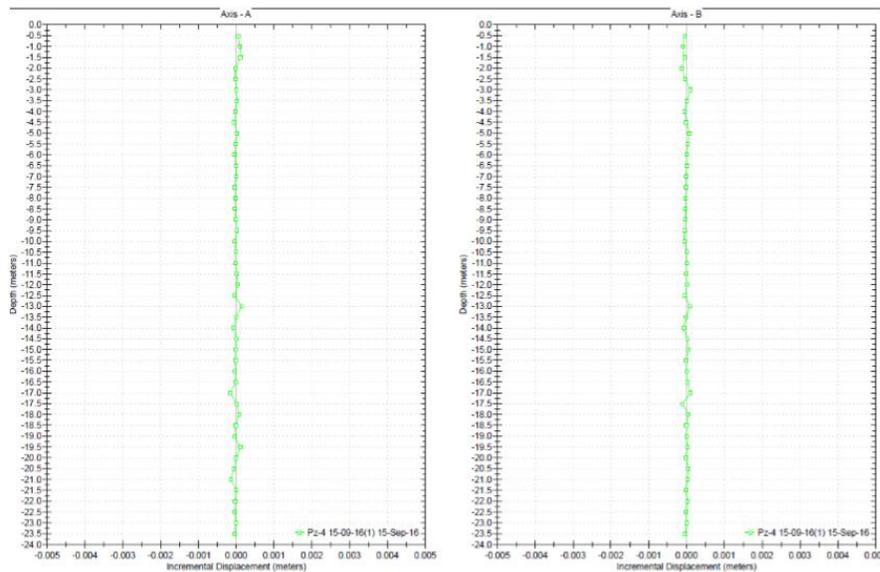


Ilustración 10 Desplazamientos acumulados en las direcciones A y B (Pz-4)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 4 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno.

✓ Sondeo Inclinométrico 5

En la ilustración 11 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

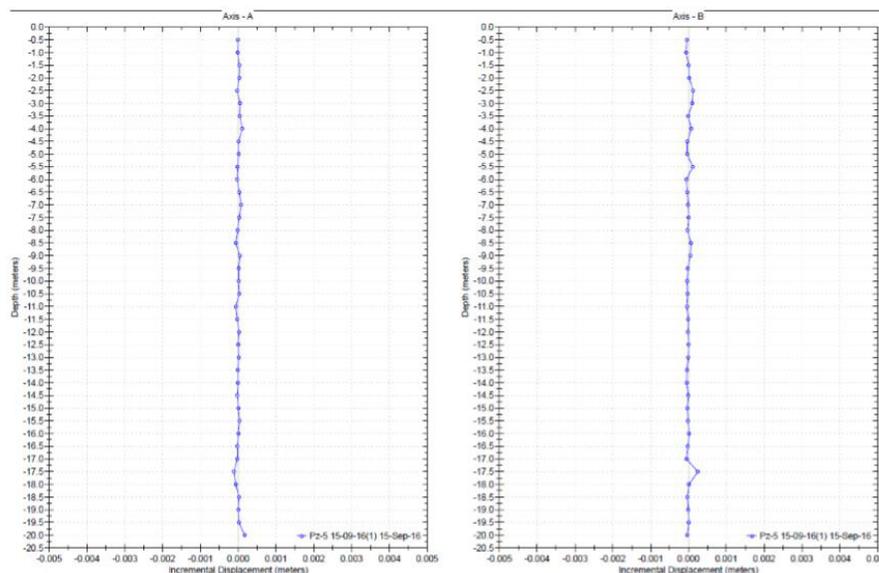


Ilustración 11 Desplazamientos acumulados en las direcciones A y B (Pz-5)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 5 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno

✓ Sondeo Inclinométrico 6

En la ilustración 12 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

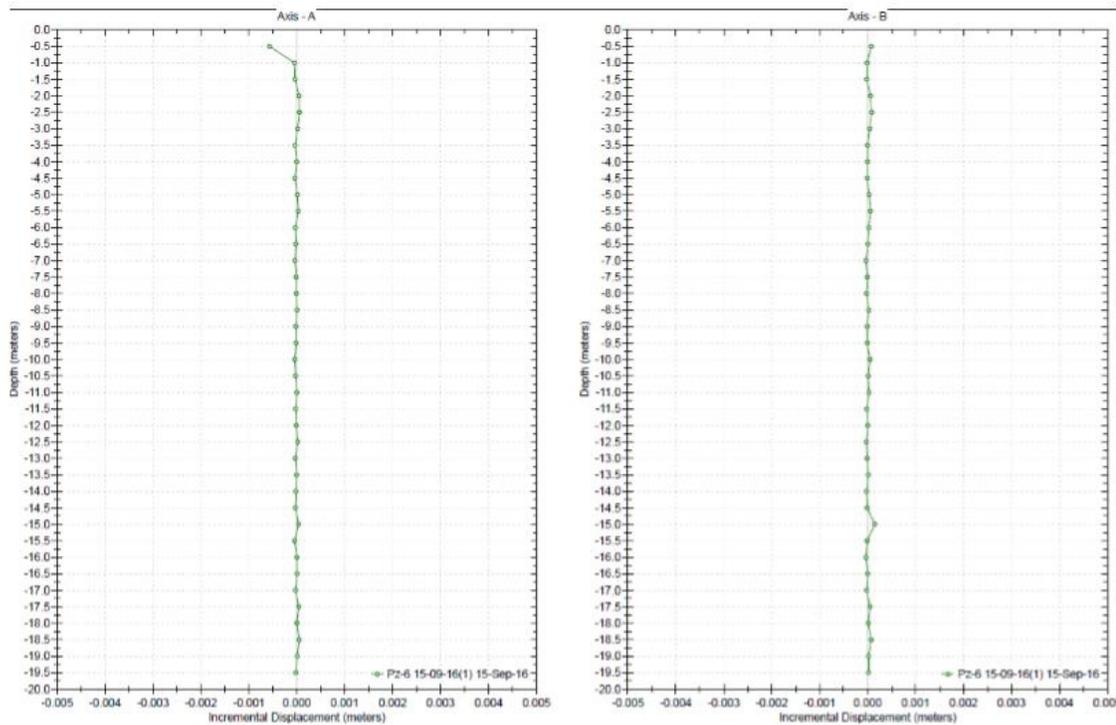


Ilustración 12 Desplazamientos acumulados en las direcciones A y B (Pz-6)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 6 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno.

2.1.3.4. Reporte de Monitoreo diciembre de 2016

El monitoreo se realiza con sonda inclinométrica RST, la cual permite detectar los desplazamientos horizontales del terreno alrededor de los sondeos, cada 0.50m.

Periodo de Monitoreo. Del 17 de septiembre de 2016 al 19 de diciembre de 2016.

2.1.3.4.1. Datos Generales.

Se conservan los datos del subíndice 2.1.3.3.2.

2.1.3.4.2. Gráficas de desplazamientos acumulados en los sondeos

✓ Sondeo Inclinométrico 1

En la ilustración 13 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

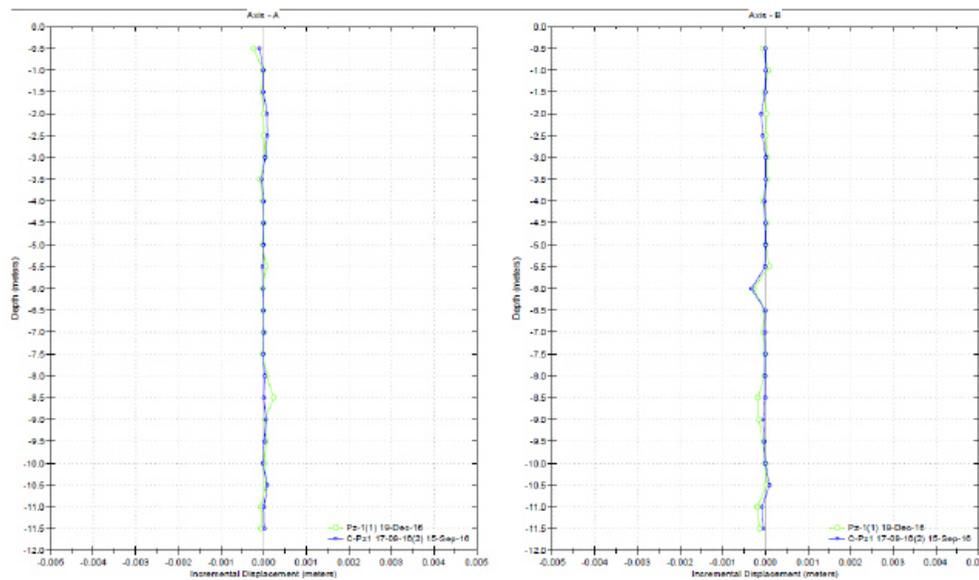


Ilustración 13. Desplazamientos Acumulados en las direcciones A y B(Pz-1)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 1 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno.

✓ Sondeo Inclinométrico 2

En la ilustración 14 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

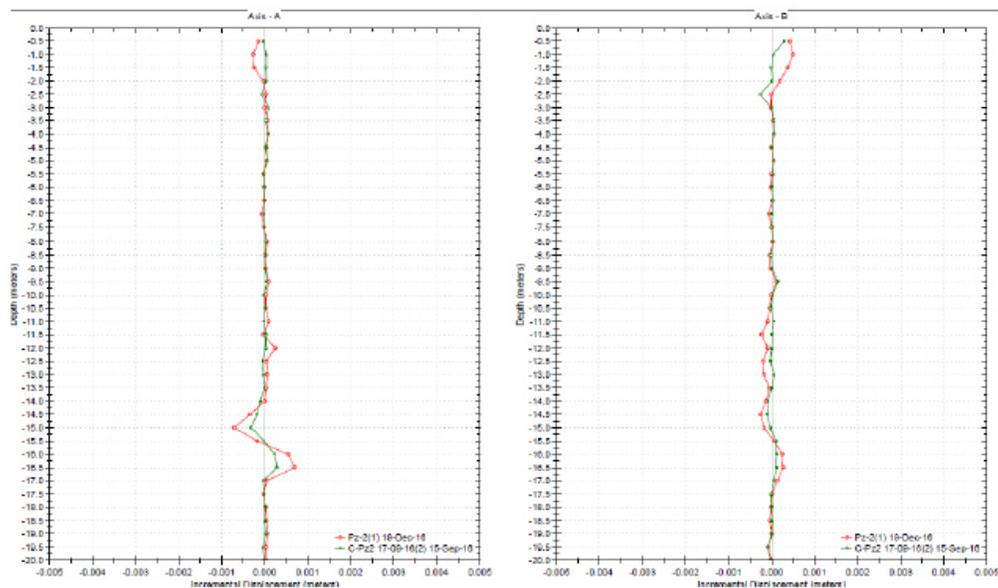


Ilustración 14. Desplazamientos Acumulados en las direcciones A y B(Pz-2)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 2 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno.

✓ Sondeo Inclinométrico 3

En la ilustración 15 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

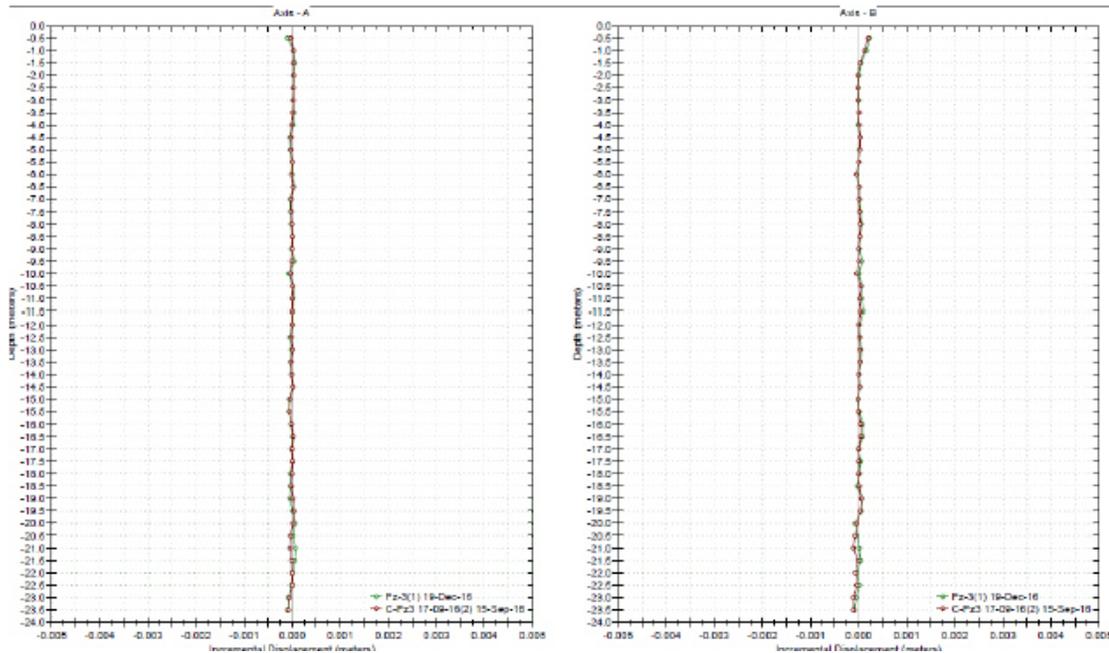


Ilustración 15. Desplazamientos Acumulados en las direcciones A y B(Pz-3)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 3 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno

✓ Sondeo Inclinométrico 4

En la ilustración 16 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

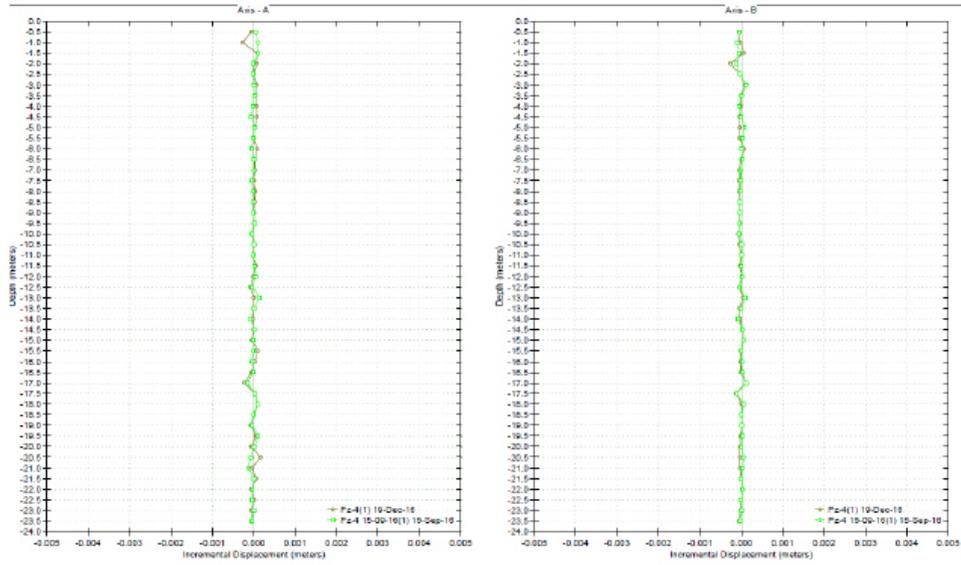


Ilustración 16. Desplazamientos Acumulados en las direcciones Ay B(Pz-4)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 4 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno.

✓ Sondeo Inclinométrico 5

En la ilustración 17 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

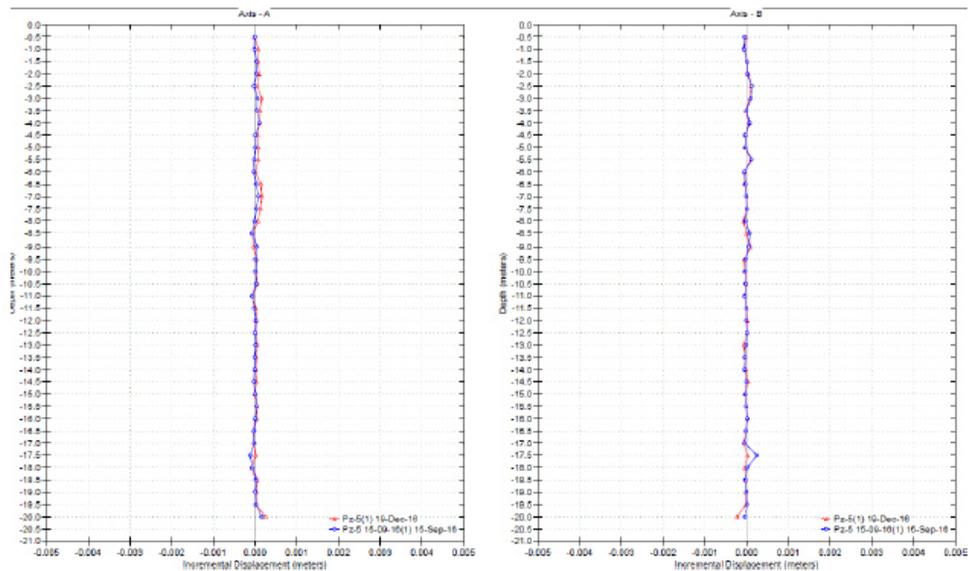


Ilustración 17. Desplazamientos Acumulados en las direcciones Ay B(Pz-5)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 5 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno.

✓ Sondeo Inclinométrico 6

En la ilustración 18 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

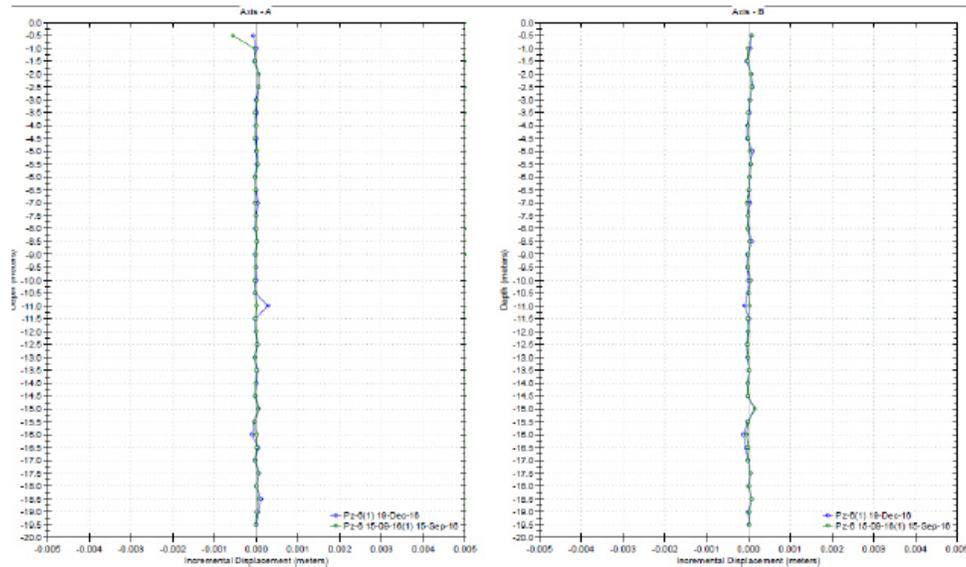


Ilustración 18. Desplazamientos Acumulados en las direcciones A y B(Pz-6)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 6 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno.

2.1.3.5. Reporte de Monitoreo abril de 2017

El monitoreo se realiza con sonda inclinométrica RST, la cual permite detectar los desplazamientos horizontales del terreno alrededor de los sondeos, cada 0.50m.

Periodo de Monitoreo. Del 19 de diciembre de 2016 al 31 de marzo de 2017.

2.1.3.5.1. Datos Generales.

Se conservan los datos del subíndice 2.1.3.3.2.

2.1.3.5.2. Graficas de desplazamientos acumulados en los sondeos

✓ Sondeo Inclinométrico 1

En la ilustración 19 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

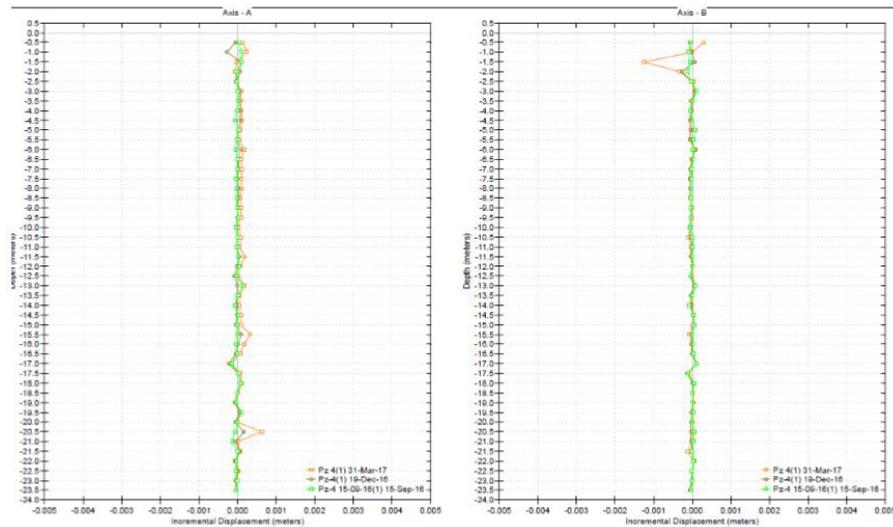


Ilustración 19 Desplazamientos Acumulados en las direcciones A y B (Pz-1)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 1 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno.

✓ Sondeo Inclinométrico 2

En la ilustración 20 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

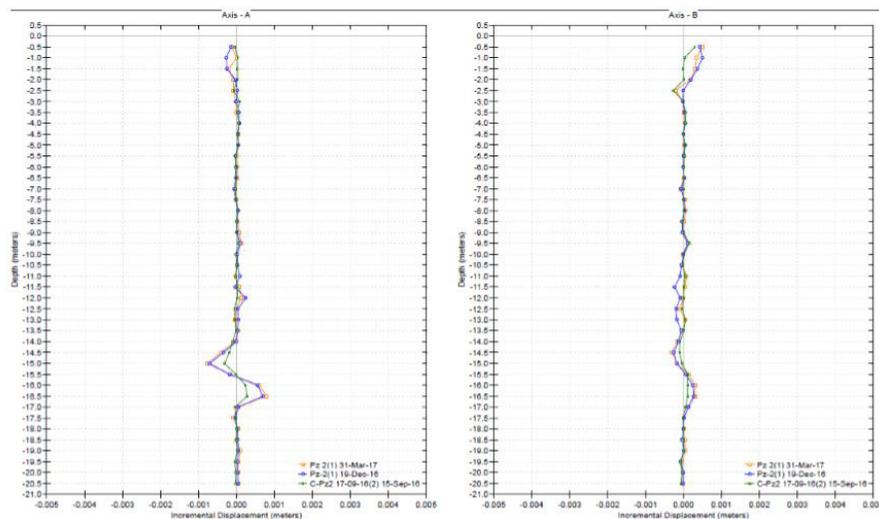


Ilustración 20 Desplazamientos Acumulados en las direcciones A y B (Pz-2)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 2 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno.

✓ Sondeo Inclinométrico 3

En la ilustración 21 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

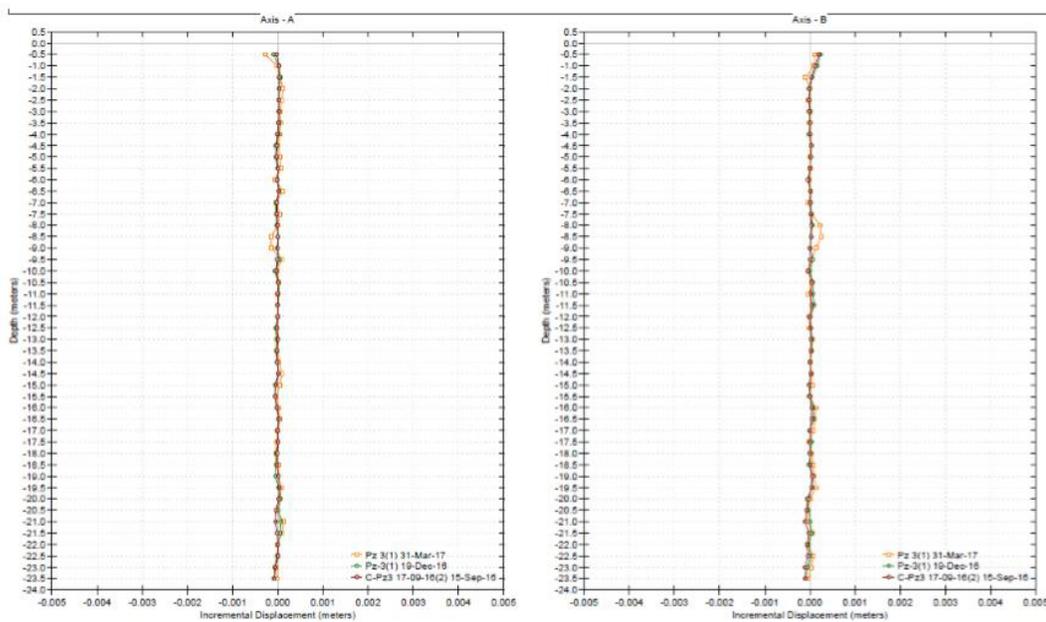


Ilustración 21 Desplazamientos Acumulados en las direcciones A y B(Pz-3)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 3 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno

✓ Sondeo Inclinométrico 4

En la ilustración 22 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

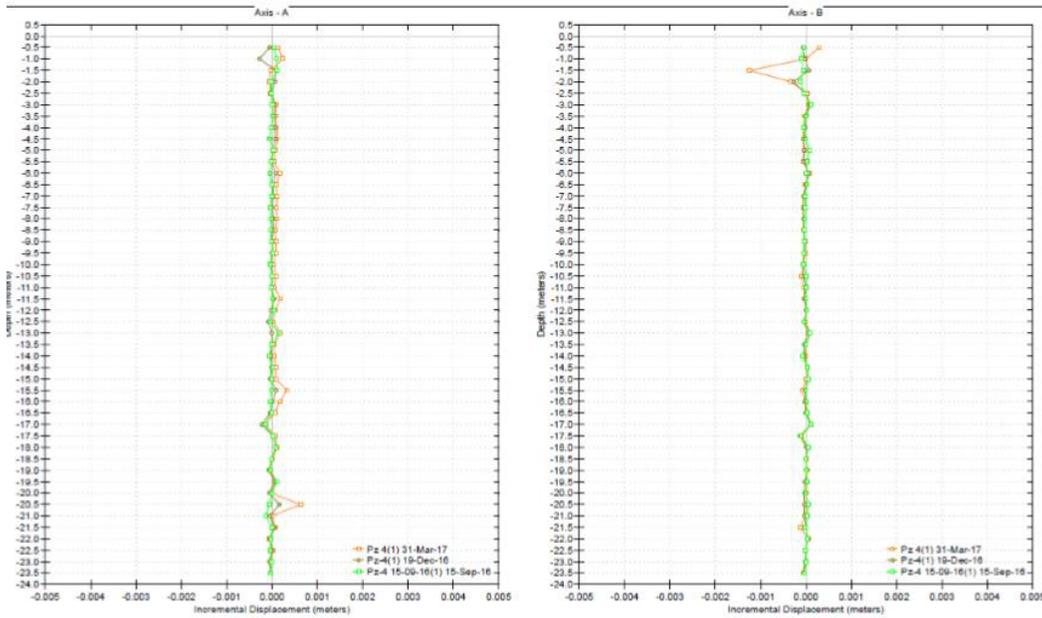


Ilustración 22 Desplazamientos Acumulados en las direcciones Ay B(Pz-4)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 4 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno.

✓ Sondeo Inclinométrico 5

En la ilustración 23 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

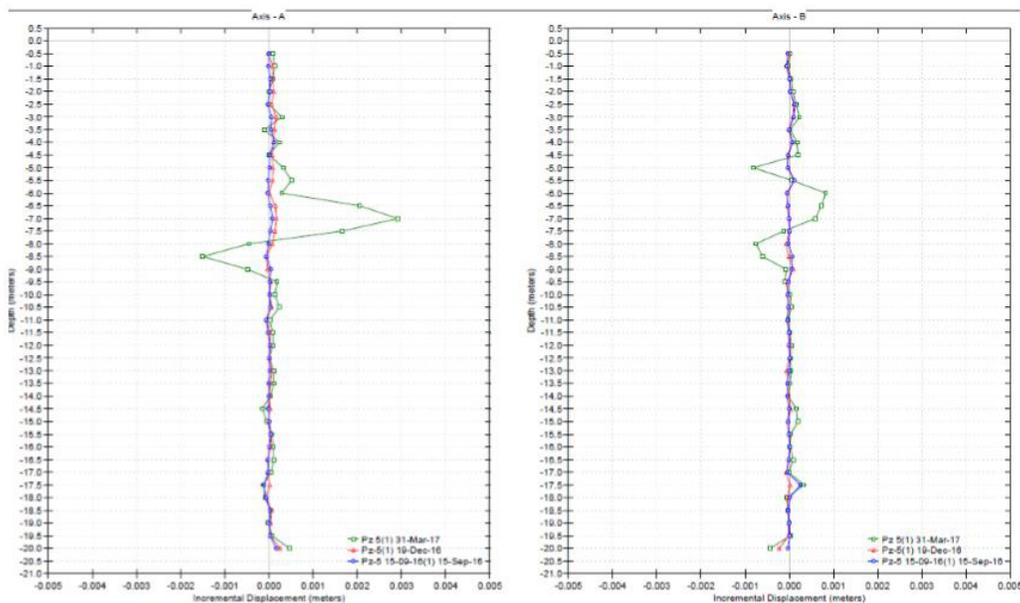


Ilustración 23 Desplazamientos Acumulados en las direcciones Ay B(Pz-5)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en la dirección A del sondeo inclinométrico 5 muestran un aumento de aproximadamente 3mm que, aunque no es un valor significativo, indica una anomalía en el comportamiento del terreno a profundidades de entre 5.50m y 9.50m. Por otro lado, en la dirección B del sondeo los desplazamientos tampoco son significativos (inferiores a 1mm), pero también muestran cierta anomalía..

✓ Sondeo Inclinométrico 6

En la ilustración 24 se muestran los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

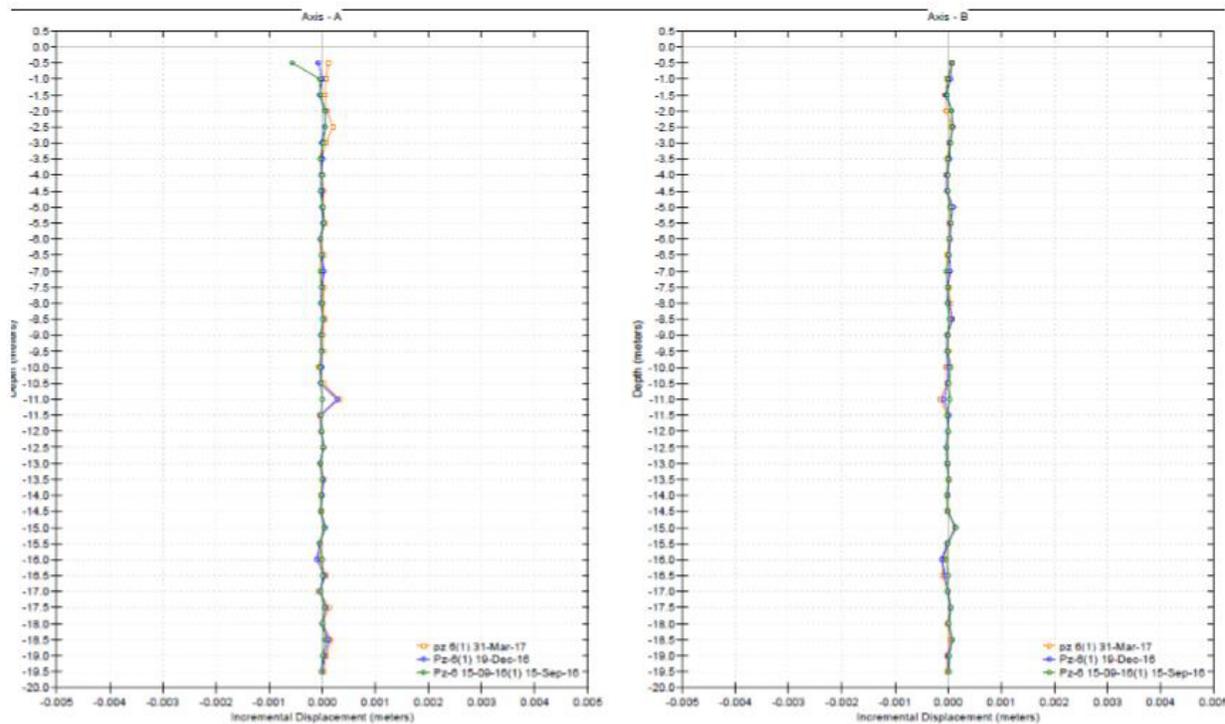


Ilustración 24 Desplazamientos Acumulados en las direcciones A y B (Pz-6)

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 6 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno.

2.2. Proyecto Análisis de la estabilidad del terreno y monitoreo geotécnico-estructural en el Fraccionamiento Rincón Toscano.

2.2.1. Objetivo del Proyecto

La consultoría tuvo como principal objetivo analizar la estabilidad del terreno en un sector del Fraccionamiento “Rincón Toscano” con el propósito de modelar y evaluar el riesgo por

inestabilidad, y proponer un programa de instrumentación para el monitoreo del terreno y las estructuras.

El alcance de los trabajos fue establecido a partir de la visita técnica realizada al fraccionamiento, donde se pudo constatar la problemática existente y determinar el área de estudio (ilustración 25).



Ilustración 25 Ubicación del Área de Estudio.
Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

2.2.2. Localización del Proyecto

El proyecto se encuentra localizado en el fraccionamiento Rincón Toscano. Tijuana, B.C. con coordenadas (red UTM) $117^{\circ} 1'38.83''\text{O} - 32^{\circ}30'28.21''\text{N}$



Ilustración 26. Localización del Proyecto Análisis de la estabilidad del terreno y monitoreo geotécnico-estructural en el Fraccionamiento Rincón Toscano
Fuente. Google Earth 2017

2.2.3. Desarrollo del Proyecto

2.2.3.1. Zona de Estudio

Se propone un programa de instrumentación integrado por un sondeo inclinométrico para el monitoreo de los desplazamientos horizontales del terreno; y un extensómetro de cuerda para monitorear la evolución de fisuras en las estructuras.

La ilustración 27 se muestra los trabajos de colocación de la tubería en el sondeo que será monitoreado con sonda inclinométrica.



Ilustración 27. Colocación de tubería inclinométrica
Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

2.2.3.2. Descripción del Programa de Instrumentación

Atendiendo a los resultados de análisis de estabilidad del terreno presentados en el Informe de Consultoría con fecha 26 de septiembre de 2016, en el fraccionamiento se instalaron los siguientes instrumentos para el monitoreo geotécnico - estructural:

- ✓ Un sondeo inclinométrico 15m para monitorear los desplazamientos horizontales en el talud objeto de estudio.
- ✓ Un extensómetro de cuerda para monitorear los movimientos en barda y fisuras de una estructura ubicada en la zona de riesgo por inestabilidad del terreno.

En la tabla 2 se muestra la descripción de los instrumentos a utilizar en el proyecto adicionalmente en la ilustración 28 se muestra la ubicación espacial de ambos instrumentos-

Tabla 2. Descripción de Programa de Instrumentación

Código	Accesorio/Instrumento	Estado	Profundidad / longitud (m)	Profundidad o longitud efectiva de medición (m)
Pz-1	Tubería para monitoreo inclinométrico con el uso de sonda inclinométrica RST	Activo	15	14.5
Ext-1	Extensómetro de cuerda para monitoreo de movimientos en barda y fisuras	En fase de instalación	Pendiente	Pendiente

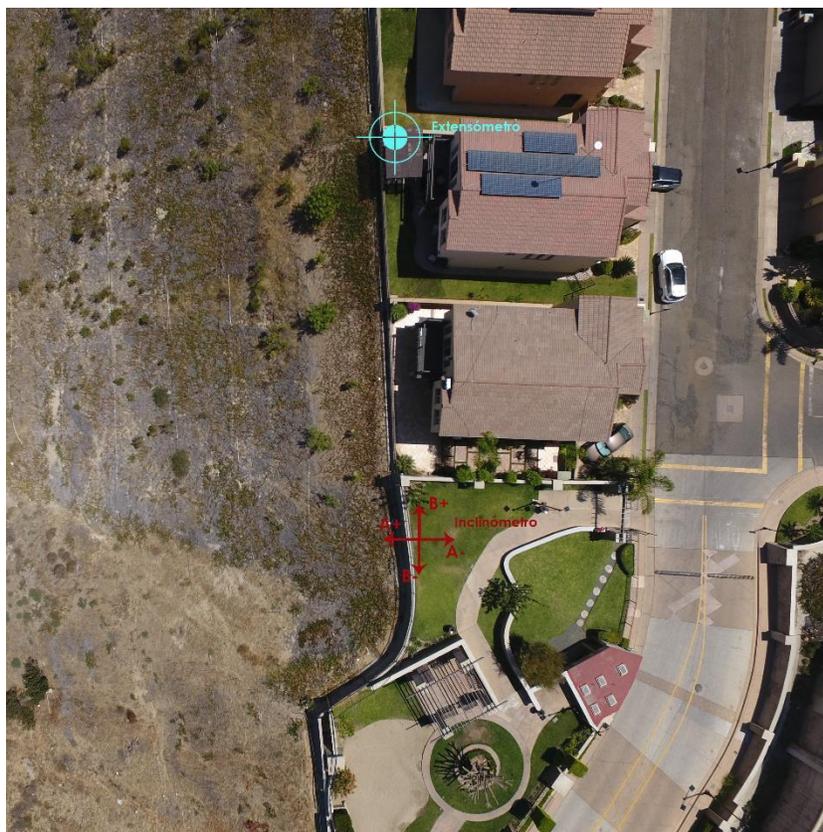


Ilustración 28. Ubicación de tubería para sonda Inclinométrica y Extensómetro

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

2.2.3.3. Reporte de Monitoreo Noviembre de 2016

El monitoreo se realiza con sonda inclinométrica RST, la cual permite detectar los desplazamientos horizontales del terreno alrededor de los sondeos, cada 0.50m.

Periodo de Monitoreo. Del 6 de octubre de 2016 al 10 de noviembre de 2016

2.2.3.3.1. Datos Generales

Nombre del cliente	Ing. Arq. Jorge Zambrano García
Dirección del sitio de monitoreo	Fraccionamiento Rincón Toscano. Tijuana, B.C.
Coordenadas del sitio (red UTM)	117° 1'38.83"O - 32°30'28.21"N
Tipo de monitoreo	Inclinométrico y extensométrico

2.2.3.3.2. Grafica de desplazamiento acumulado en el sondeo

✓ Sondeo Inclinometrico

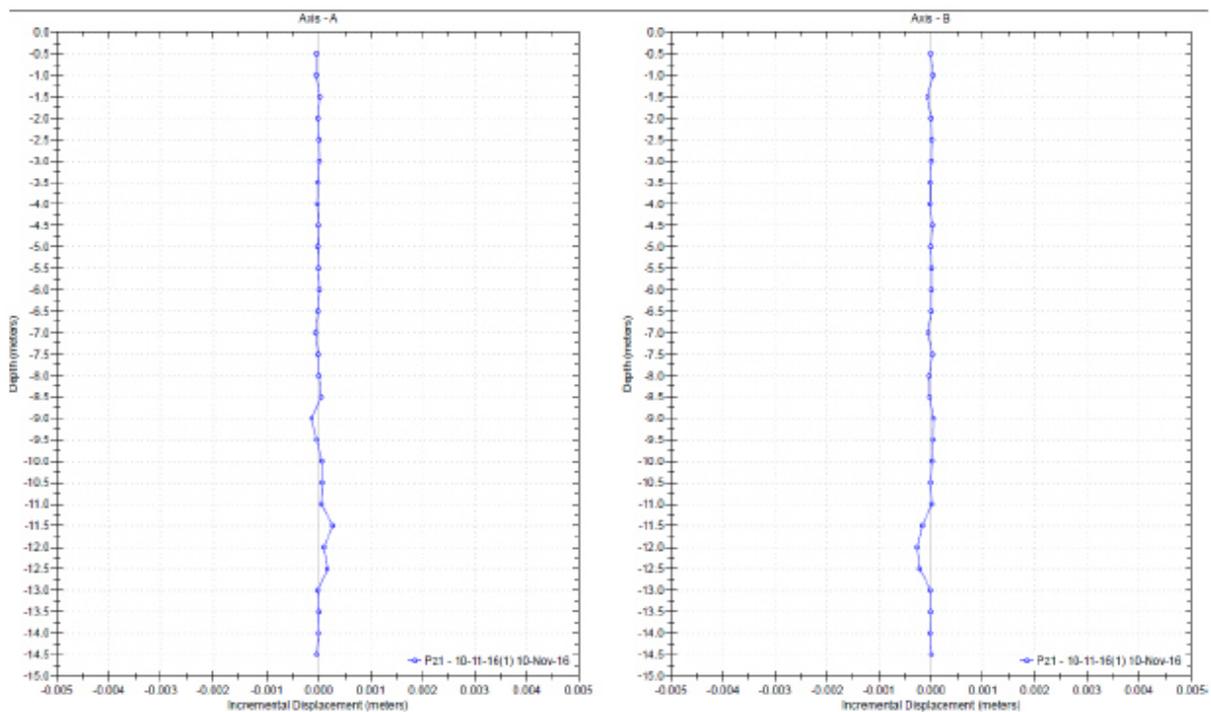


Ilustración 29. Desplazamientos acumulados en las direcciones A y B (Pz-1).

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 1 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno.

2.2.3.3.3. Extensómetro de Cuerda

Atendiendo a los resultados de la inspección realizada a las viviendas ubicadas en la corona del talud objeto de estudio y a las patologías detectadas durante la misma, se decidió instalar un extensómetro de cuerda con las siguientes características:

- Transductor de cable rango 150mm.
- Salida 4-20mA.
- Linealidad 0,1%.
- Protección IP65.

Dicho extensómetro permitirá monitorear el movimiento de la barda perimetral del talud y de una fisura ubicada en el muro transversal que divide los predios correspondientes a las casas 1 y 2, como en la ilustración 29, en la ilustración 30 se muestra un esquema general de la instalación del extensómetro

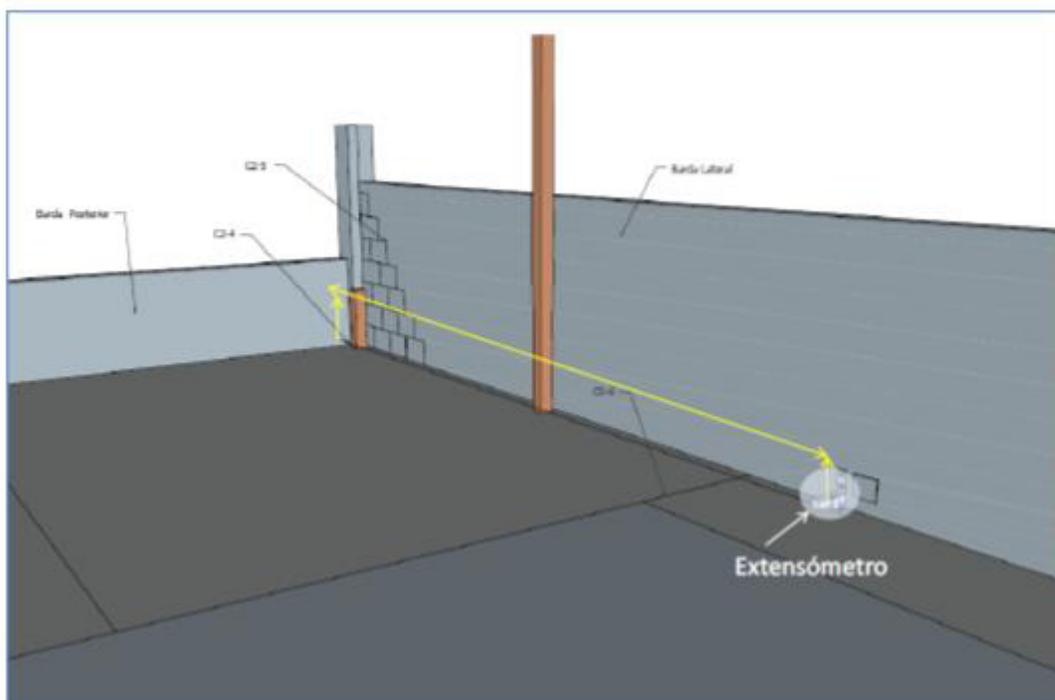


Ilustración 30. Esquema general para la instalación del extensómetro
Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

2.2.3.4. Reporte de Monitoreo Diciembre de 2016

El monitoreo se realiza con sonda inclinométrica RST, la cual permite detectar los desplazamientos horizontales del terreno alrededor de los sondeos, cada 0.50m.

Tabla 3. Descripción del Programa de instrumentación con sondeo inclinométrico y extensómetros de cuerda

Código	Accesorio/Instrumento	Estado	Profundidad / longitud (m)	Profundidad o longitud efectiva de medición (m)
Pz-1	Tubería para monitoreo inclinométrico con el uso de sonda inclinométrica RST	Activo	15	14.5
Ext-1	Extensómetro de cuerda para monitoreo de movimientos en barda y fisuras	Activo	1.50	1.50

Periodo de Monitoreo. Del 10 de noviembre de 2016 al 10 de diciembre de 2016.

2.2.3.4.1. Datos Generales

Se conservan los datos del subíndice 2.2.3.3.1.

2.2.3.4.2. Graficas de desplazamientos acumulados en los sondeos

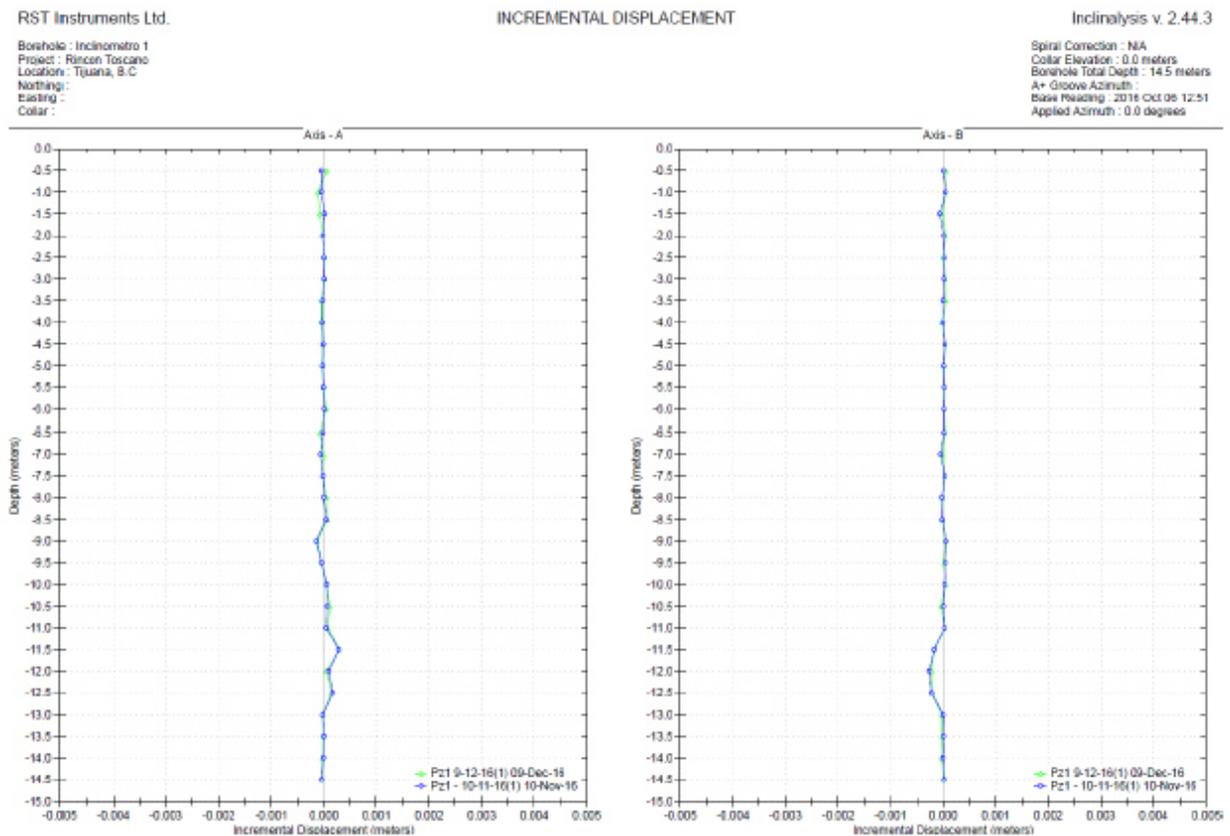


Ilustración 31. Desplazamientos acumulados en las direcciones A y B (Pz-1).

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha (10 de diciembre de 2016) en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 1 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno.

2.2.3.4.3. Extensómetro de Cuerda

Atendiendo a los resultados de la inspección realizada a las viviendas ubicadas en la corona del talud objeto de estudio y a las patologías detectadas durante la misma, se instaló un extensómetro de cuerda con las siguientes características:

Dicho extensómetro permite monitorear el movimiento de la barda perimetral del talud y de una fisura ubicada en el muro transversal que divide los predios correspondientes a las casas 1 y 2 (ilustración 31)

- Transductor de cable rango 150mm.
- Salida 4-20mA.
- Linealidad 0,1%.
- Protección IP65.

La ilustración 32 muestra un esquema general de la instalación del extensómetro

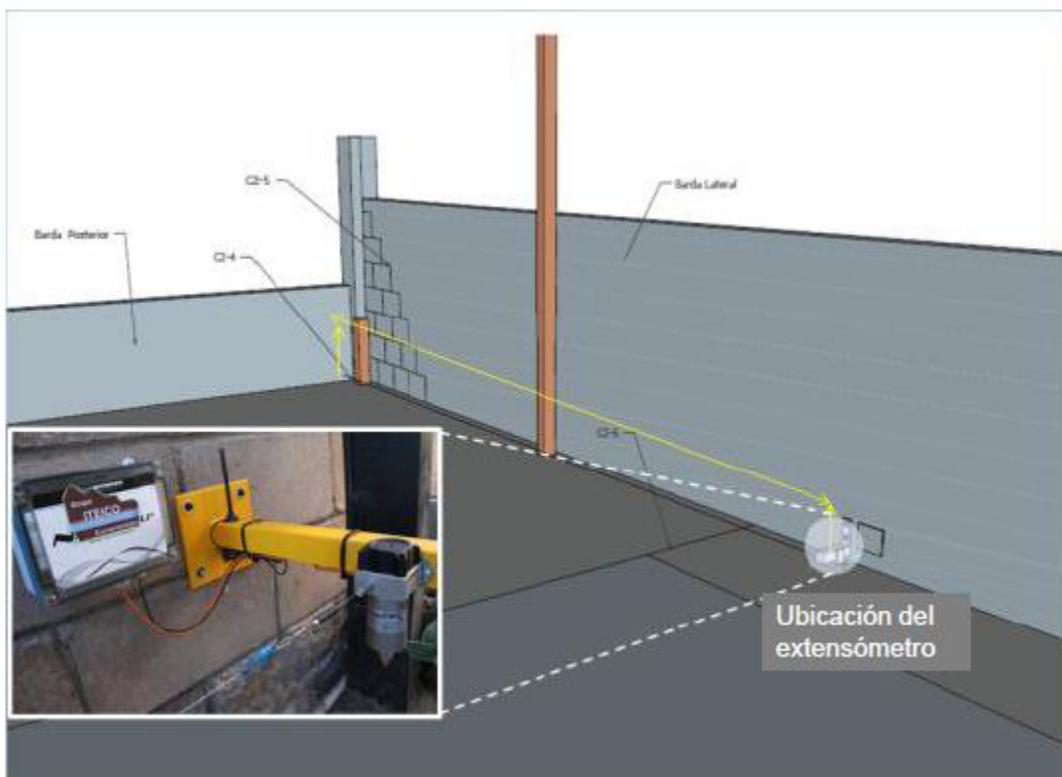


Ilustración 32. Ubicación e instalación del extensómetro
Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

La ilustración 33 muestra los desplazamientos registrados por el extensómetro en la dirección de la cuerda.

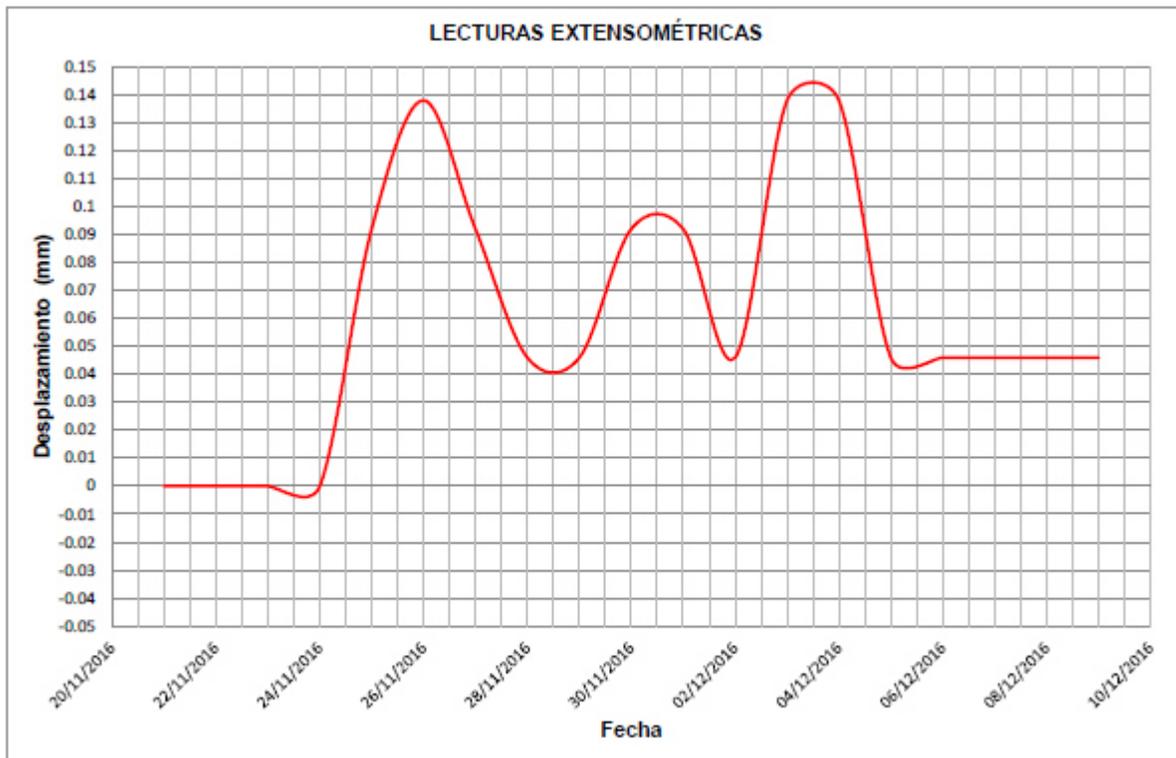


Ilustración 33 Registro de Desplazamientos
Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha (10 de diciembre de 2016) en la dirección de la cuerda no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos ni de apertura de fisuras en la estructura monitoreada.

2.2.3.5. Reporte de Monitoreo Enero de 2017

El monitoreo se realiza con sonda inclinométrica RST, la cual permite detectar los desplazamientos horizontales del terreno alrededor de los sondeos, cada 0.50m.

Periodo de Monitoreo. Del 11 diciembre de 2016 al 6 de enero de 2016.

2.2.3.5.1. Datos Generales

Se conservan los datos del subíndice 2.2.3.3.1.

2.2.3.5.2. Graficas de desplazamientos acumulados en los sondeos

La ilustración 34 muestra los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

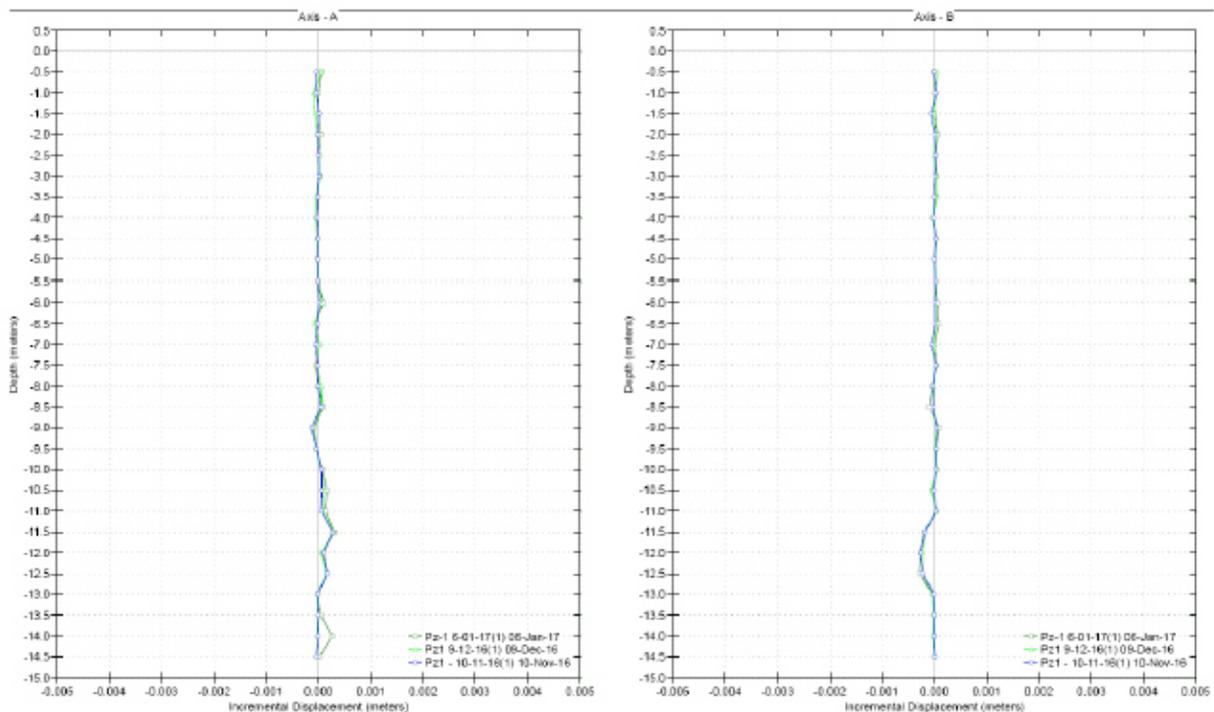


Ilustración 34 Desplazamientos acumulados en las direcciones A y B (Pz-1).

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha (6 de enero de 2017) en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 1 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno.

2.2.3.5.3. Extensómetro de Cuerda

Atendiendo a los resultados de la inspección realizada a las viviendas ubicadas en la corona del talud objeto de estudio y a las patologías detectadas durante la misma, se instaló un extensómetro de cuerda con las siguientes características:

Dicho extensómetro permite monitorear el movimiento de la barda perimetral del talud y de una fisura ubicada en el muro transversal que divide los predios correspondientes a las casas 1 y 2 (ilustración 34)

- Transductor de cable rango 150mm.
- Salida 4-20mA.
- Linealidad 0,1%.
- Protección IP65.

La ilustración 32 muestra un esquema general de la instalación del extensómetro en el subíndice 2.2.3.4.3.

La ilustración 33 muestra los desplazamientos registrados por el extensómetro en la dirección de la cuerda.

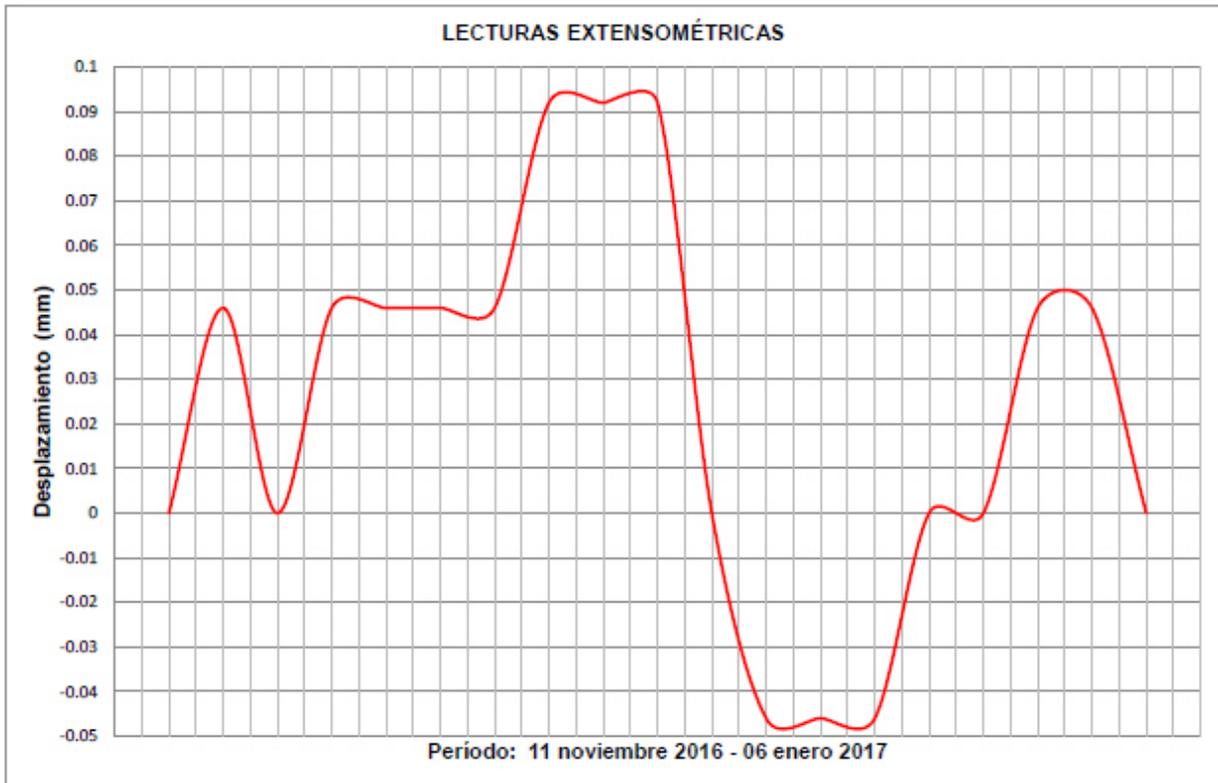


Ilustración 35 Registro de Desplazamientos
Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha (06 de enero de 2017) en la dirección de la cuerda no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos ni de apertura de fisuras en la estructura monitoreada.

2.2.3.6. Reporte de Monitoreo Febrero de 2017

El monitoreo se realiza con sonda inclinométrica RST, la cual permite detectar los desplazamientos horizontales del terreno alrededor de los sondeos, cada 0.50m.

Periodo de Monitoreo. Del 17 de septiembre de 2016 al 19 de diciembre de 2016.

2.2.3.6.1. Datos Generales

Se conservan los datos del subíndice 2.2.3.3.1.

2.2.3.6.2. Graficas de desplazamientos acumulados en los sondeos

3. La ilustración 34 muestra los desplazamientos registrados en las direcciones A y B del sondeo

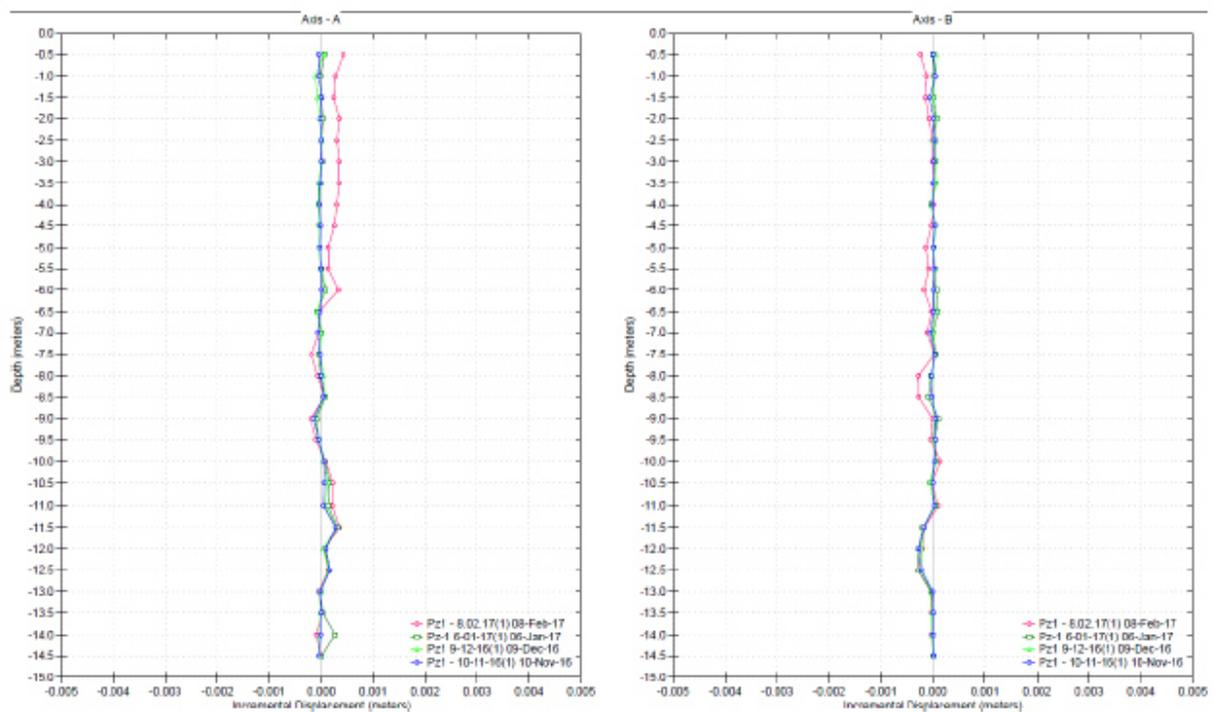


Ilustración 36 Desplazamientos acumulados en las direcciones A y B (Pz-1).

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

3.1.1.1.1. Extensómetro de Cuerda

Atendiendo a los resultados de la inspección realizada a las viviendas ubicadas en la corona del talud objeto de estudio y a las patologías detectadas durante la misma, se instaló un extensómetro de cuerda con las siguientes características:

Dicho extensómetro permite monitorear el movimiento de la barda perimetral del talud y de una fisura ubicada en el muro transversal que divide los predios correspondientes a las casas 1 y 2 (ilustración 36)

- Transductor de cable rango 150mm.
- Salida 4-20mA.
- Linealidad 0,1%.
- Protección IP65.

La ilustración 32 muestra un esquema general de la instalación del extensómetro en el subíndice 2.2.3.4.3.

La ilustración 37 muestra los desplazamientos registrados por el extensómetro en la dirección de la cuerda.



Ilustración 37. Registro de Desplazamientos
Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha (08 de febrero de 2017) en la dirección de la cuerda no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos ni de apertura de fisuras en la estructura monitoreada.

3.1.1.2. Reporte de Monitoreo Marzo de 2017

El monitoreo se realiza con sonda inclinométrica RST, la cual permite detectar los desplazamientos horizontales del terreno alrededor de los sondeos, cada 0.50m.

Periodo de Monitoreo. Del 9 de febrero de 2017 al 14 de marzo de 2017.

3.1.1.2.1. Datos Generales

Se conservan los datos del subíndice 2.2.3.3.1.

3.1.1.2.2. Graficas de desplazamientos acumulados en los sondeos

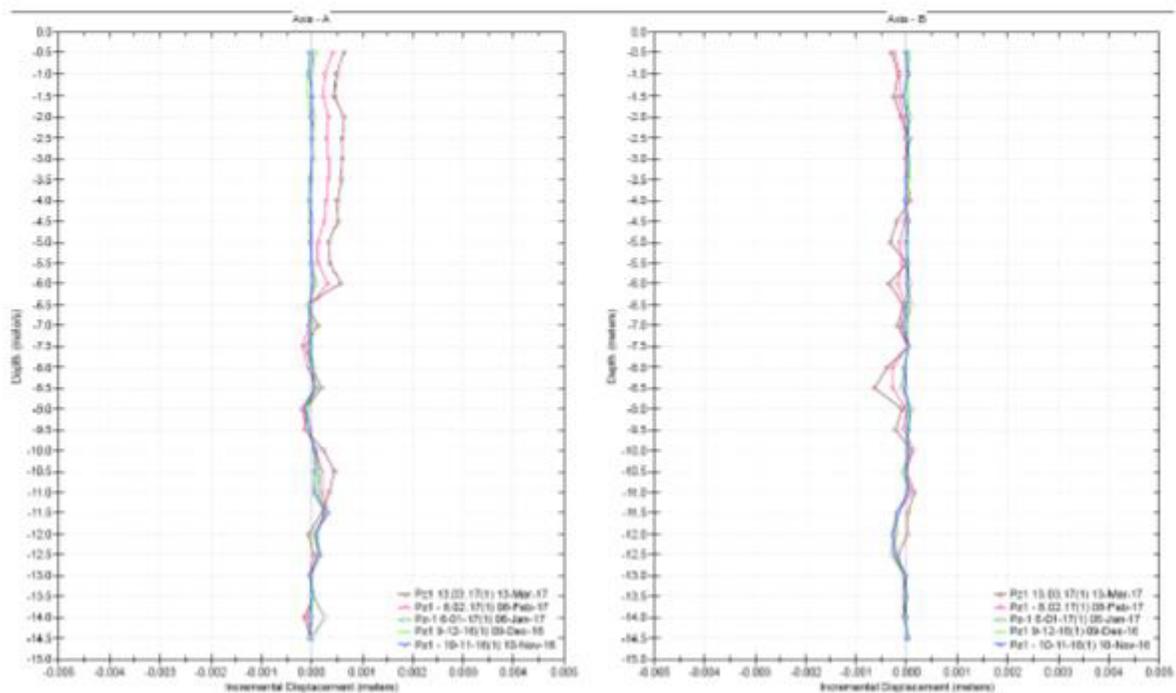


Ilustración 38 Desplazamientos acumulados en las direcciones A y B (Pz-1).

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha (14 de marzo de 2017) en las direcciones A y B del sondeo inclinométrico 1 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno.

3.1.1.2.3. Extensómetro de Cuerda

Atendiendo a los resultados de la inspección realizada a las viviendas ubicadas en la corona del talud objeto de estudio y a las patologías detectadas durante la misma, se instaló un extensómetro de cuerda con las siguientes características:

Dicho extensómetro permite monitorear el movimiento de la barda perimetral del talud y de una fisura ubicada en el muro transversal que divide los predios correspondientes a las casas 1 y 2 (ilustración 38)

- Transductor de cable rango 150mm.
- Salida 4-20mA.
- Linealidad 0,1%.
- Protección IP65.

La ilustración 32 muestra un esquema general de la instalación del extensómetro en el subíndice 2.2.3.4.3.

La ilustración 39 muestra los desplazamientos registrados por el extensómetro en la dirección de la cuerda.

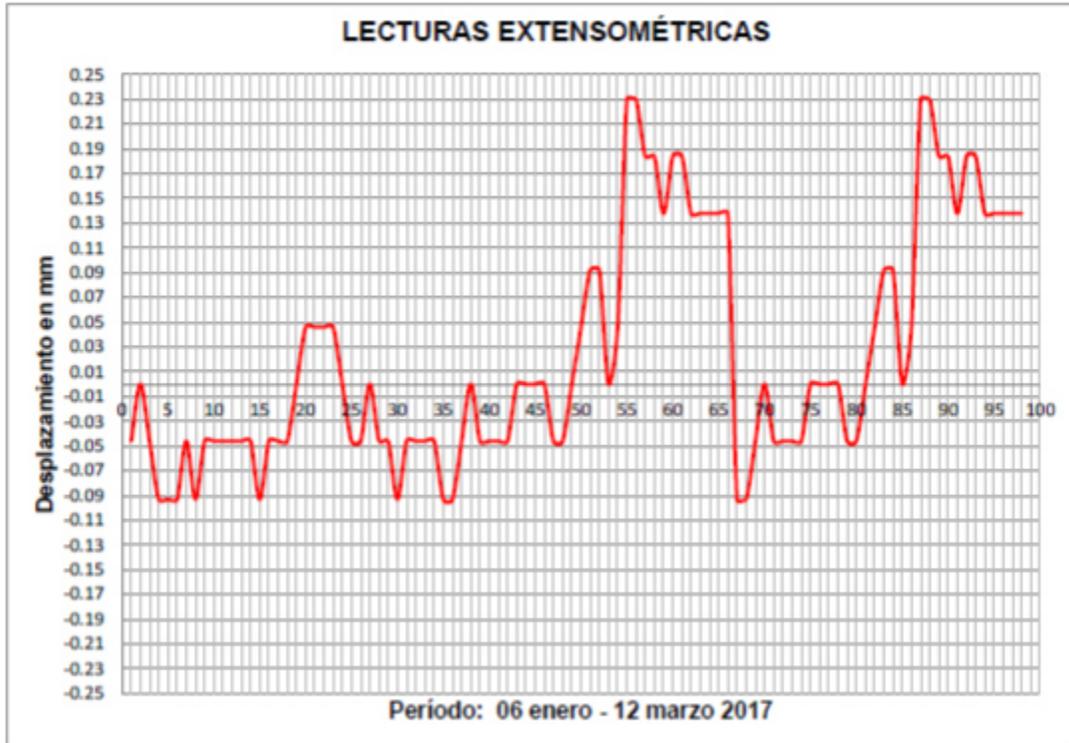


Ilustración 39. Registro de Desplazamientos
 Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

Los desplazamientos registrados hasta la fecha (12 de marzo de 2017) en la dirección de la cuerda no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos ni de apertura de fisuras en la estructura monitoreada.

3.2. Proyecto Limón

3.2.1. Bitácora de visita

El día 5 de mayo siendo las 9:00 am aproximadamente, se inicia la ruta para llegar hasta los predios del Proyecto Limón ubicado en el cañón del Sainz de la ciudad de Tijuana con un área 15.18 Ha, donde se hace necesario realizar un vuelo complementario para el levantamiento fotogramétrico y la obtención de algunas imágenes adicionales para el procesamiento de la orthofoto que fue solicitada por el cliente, esto fue necesario ya que en vuelos anteriores se estableció de manera errada la altura de vuelo de algunos puntos y por ende se deben repetir algunas tomas en los puntos mas elevados del área del proyecto limón, para su posterior procesamiento en oficina.

Inicialmente se creó un plan de vuelo estableciendo el polígono que se volaría esto con ayuda de la aplicación DJI GO, el dron utilizado fue un Phantom 3, los parámetros requeridos por la aplicación para el plan de vuelo fueron: el tiempo de vuelo, las alturas, la cantidad de fotos obtenidas y la velocidad de toma de estas.

El vuelo tuvo una duración aproximada de 15 minutos, luego de terminado este, en campo se chequearon las fotografías obtenidas, para en días posteriores realizar el procesamiento de datos con el software Pix4D.



Ilustración 40. Vuelo Proyecto Limón
Fuente. Autor 2017



Ilustración 41. Verificación de Datos obtenidos en Campo
Fuente. Autor 2017

3.3. Proyecto Natura Banco de Piedra

3.3.1. Bitácora de visita

El día 26 de mayo siendo las 10:00 am aproximadamente, se inicia la ruta para llegar hasta los predios del Proyecto Natura Banco de Piedra en la ciudad de Tijuana en el fraccionamiento Natura, inicialmente desde oficina se plantea el polígono y un perfil de alturas utilizando google earth para establecer algunos parámetros necesarios para el plan de vuelo, esto con el ánimo de no dejar áreas sin cobertura en el momento del vuelo y de esta manera obtener todas las imágenes necesarias para el procesamiento de datos en Oficina.

Ya estando en los predios, el equipo topográfico perteneciente a la empresa GEOSERVICIOS procede a establecer los puntos en donde se localizaran los diferentes demarcaciones utilizadas para la alineación fotogramétrica (Ilustración 42), seguido de esto se hace un recorrido por el área

del proyecto donde se espera realizar una extracción de rocas, con el plan de vuelo estableciendo el polígono que se volaría esto con ayuda de la aplicación DJI GO, el dron utilizado fue un Phantom 3, los parámetros requeridos por la aplicación para el plan de vuelo fueron: el tiempo de vuelo, las alturas ya calculadas en el perfil de google earth, la cantidad de fotos obtenidas y la velocidad de toma de estas, adicional a esto se realizaron algunos videos para dejar registro de la visita del proyecto.

En total se hicieron 4 vuelos, 2 con el fin de obtener las imágenes necesarias para la orthofoto esto debido a la gran extensión de terreno, y otros dos vuelos donde se hicieron los respectivos videos de reconocimiento del proyecto, cada vuelo tuvo una duración aproximada de 25 minutos, luego de terminado este, en campo se chequearon las fotografías obtenidas, para en días posteriores realizar el procesamiento de datos con el software Agisoft.



Ilustración 42. Demarcaciones de puntos
Fuente. Autor 2017



Ilustración 43. Levantamiento topográfico marcación de puntos
Fuente. Autor 2017



Ilustración 44 Seguimiento de Vuelo y recepción del Dron
Fuente. Autor 2017

3.4. Prueba Rastreo de Tuberías en Campus UDC preparatoria

3.4.1. Bitácora de visita

El día 10 de mayo del año 2017 siendo aproximadamente las 8:00 am, en compañía del Ingeniero David Martínez el cual hace parte del Grupo ITEICO, se realizó una visita al campus de la preparatoria de la UDC, donde se pretendía llevar a cabo una prueba del nuevo equipo adquirido por el grupo de investigación, específicamente el instrumento es un Depth Reading line tracer el cual es un rastreador que localiza una línea de tubería metálica enterrada mostrando en la pantalla del sensor la profundidad a la que esta se encuentra y emitiendo un sonido cuando detectado la tubería, estando en las instalaciones se hicieron diferentes pruebas inicialmente en la unidad deportiva (ilustración 48) , todo esto con la idea de probar y garantizar el perfecto funcionamiento del aparato utilizado para dicha función, seguidamente se realizaron otras pruebas del equipo y finalmente se comprobó el funcionamiento del este obteniendo un resultado positivo.



Ilustración 45. Revisión inicial de Equipo
Fuente. Autor 2017



Ilustración 46 Detección de tuberías con Depth Reading line tracer

Fuente. Autor 2017



Ilustración 47 Detección de tuberías con Depth Reading line tracer

Fuente. Autor 2017



Ilustración 48 Hallazgo de tuberías
Fuente. Autor 2017

4. RESULTADOS Y PRODUCTOS

4.1. Proyecto: Monitoreo de sondeos inclinométricos en residencial “Cafetales”

En este proyecto se tiene un monitoreo constante y hasta la fecha no se han observado cambios relevantes en los seis sondeos, con las diferentes lecturas ya que los desplazamientos registrados hasta la fecha en las direcciones A y B de los sondeos inclinométricos 1, 2, 3, 4,5, y 6 no son significativos (inferiores a 1mm), por lo que no hay indicios de movimientos en el terreno se sugiere al cliente seguir con el monitoreo constante.

4.2. Proyecto Análisis de la estabilidad del terreno y monitoreo geotécnico-estructural en el Fraccionamiento Rincón Toscano

Los trabajos y análisis realizados permitieron obtener los siguientes resultados y productos:

Levantamiento fotogramétrico y plano topográfico, ilustración



Ilustración 49 Plano topográfico
Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

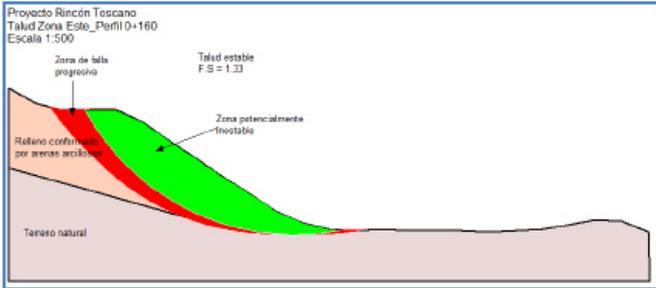
Análisis de la estabilidad del área de estudio

Las Tablas 4 y 5 muestran los resultados del análisis de estabilidad del área de estudio

Tabla 4. Resultados del análisis de estabilidad basado en métodos de equilibrio límite.

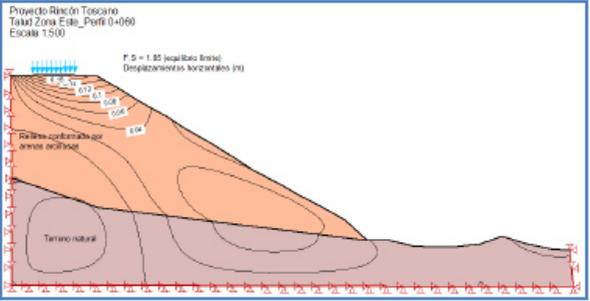
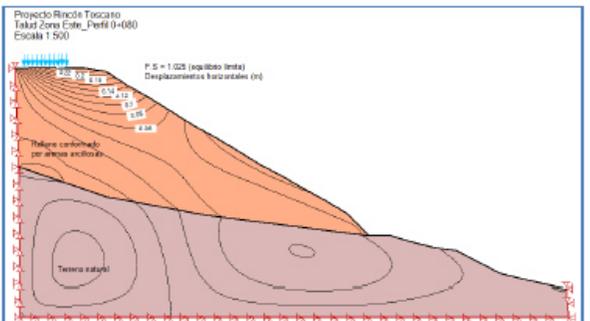
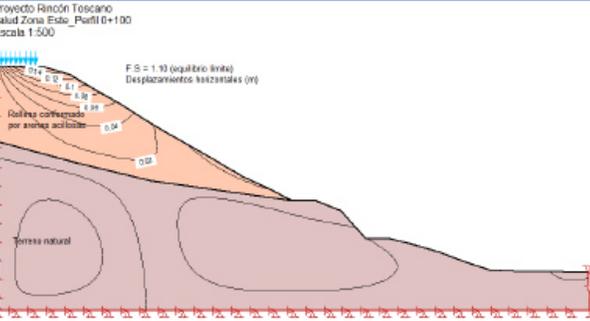
Perfil	Factor de seguridad (F.S)	Modelo de falla	Observaciones
0+000	F.S. = 1.93	<p>Proyecto Rincón Toscano Talud Zona Este_Perfil 0+000 Escala 1:500</p> <p>Talud Estable F.S. > 1.5</p> <p>Relleno conformado por arenas arcillosas</p> <p>Terreno natural</p>	<ul style="list-style-type: none"> Se consideraron los efectos de la aceleración sísmica y del 25% de saturación del terreno. El talud en el perfil analizado es estable.
0+020	F.S. = 1.32	<p>Proyecto Rincón Toscano Talud Zona Este_Perfil 0+020 Escala 1:500</p> <p>Talud Estable F.S. = 1.3</p> <p>Relleno conformado por arenas arcillosas</p> <p>Terreno natural</p>	<ul style="list-style-type: none"> Se consideraron los efectos de la aceleración sísmica y del 25% de saturación del terreno. El talud en el perfil analizado cumple con la estabilidad admisible.
0+040	F.S. = 1.13	<p>Proyecto Rincón Toscano Talud Zona Este_Perfil 0+040 Escala 1:500</p> <p>Talud en equilibrio límite F.S. = 1.13</p> <p>Zona de falla progresiva</p> <p>Zona potencialmente inestable</p> <p>Relleno conformado por arenas arcillosas</p> <p>Terreno natural</p>	<ul style="list-style-type: none"> Se consideraron los efectos de la aceleración sísmica y del 25% de saturación del terreno. El talud presenta un estado de equilibrio crítico (próximo al límite), con probabilidad de falla.
0+060	F.S. = 1.05	<p>Proyecto Rincón Toscano Talud Zona Este_Perfil 0+060 Escala 1:500</p> <p>Talud en equilibrio límite F.S. = 1.05</p> <p>Zona de falla progresiva</p> <p>Zona potencialmente inestable</p> <p>Relleno conformado por arenas arcillosas</p> <p>Terreno natural</p>	<ul style="list-style-type: none"> Se consideraron los efectos de la aceleración sísmica y del 25% de saturación del terreno. El talud presenta un estado de equilibrio crítico (próximo al límite), con probabilidad de falla.

<p>0+080</p>	<p>F.S. = 1.025</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Se consideraron los efectos de la aceleración sísmica y del 25% de saturación del terreno. • El talud presenta un estado de equilibrio crítico (próximo al límite), con probabilidad de falla.
<p>0+100</p>	<p>F.S. = 1.10</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Se consideraron los efectos de la aceleración sísmica y del 25% de saturación del terreno. • El talud presenta un estado de equilibrio crítico (próximo al límite), con probabilidad de falla.
<p>0+120</p>	<p>F.S. = 1.12</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Se consideraron los efectos de la aceleración sísmica y del 25% de saturación del terreno. • El talud presenta un estado de equilibrio crítico (próximo al límite), con probabilidad de falla.
<p>0+140</p>	<p>F.S. = 1.09</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Se consideraron los efectos de la aceleración sísmica y del 25% de saturación del terreno. • El talud presenta un estado de equilibrio crítico (próximo al límite), con probabilidad de falla.

0+160	F.S. = 1.33	 <p>Proyecto Rincón Toscano Talud Zona Este_Perfil 0+160 Escala 1:500</p> <p>Zona de falla progresiva</p> <p>Talud estable F.S. = 1.33</p> <p>Zona potencialmente friccionable</p> <p>Relleno conformado por arenas arcillosas</p> <p>Terreno natural</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se consideraron los efectos de la aceleración sísmica y del 25% de saturación del terreno. • El talud en el perfil analizado cumple con la estabilidad admisible.
-------	-------------	---	--

La Tabla 5 muestra los resultados del análisis de estabilidad utilizando métodos tenso-deformacionales que permitieron estimar los desplazamientos en el terreno. El análisis se realizó en los perfiles que se encuentran en las condiciones más críticas de equilibrio (0+060, 0+080 y 0+100).

Tabla 5. Resultados del análisis de estabilidad utilizando métodos tenso-deformacionales.

Perfil	Modelo deformacional	Observaciones
0+060	 <p>Proyecto Rincón Toscano Talud Zona Este_Perfil 0+060 Escala 1:500</p> <p>F.S. = 1.25 (equilibrio límite) Desplazamientos horizontales (m)</p> <p>Repleno conformado por arenas arcillosas</p> <p>Terreno natural</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los desplazamientos horizontales máximos estimados en la corona del talud son de 0.16m. • Los desplazamientos en la cara del talud son significativos hasta una profundidad aproximada de 10m.
0+080	 <p>Proyecto Rincón Toscano Talud Zona Este_Perfil 0+080 Escala 1:500</p> <p>F.S. = 1.025 (equilibrio límite) Desplazamientos horizontales (m)</p> <p>Repleno conformado por arenas arcillosas</p> <p>Terreno natural</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los desplazamientos horizontales máximos estimados en la corona del talud son de 0.22m. • Los desplazamientos en la cara del talud son significativos hasta una profundidad aproximada de 12m.
0+100	 <p>Proyecto Rincón Toscano Talud Zona Este_Perfil 0+100 Escala 1:500</p> <p>F.S. = 1.10 (equilibrio límite) Desplazamientos horizontales (m)</p> <p>Repleno conformado por arenas arcillosas</p> <p>Terreno natural</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los desplazamientos horizontales máximos estimados en la corona del talud son de 0.14m. • Los desplazamientos en la cara del talud son significativos hasta una profundidad aproximada de 12m.

- Evaluación de riesgos

La evaluación del riesgo se realizó en función de la amenaza de ocurrencia de deslizamientos existente en el área de estudio y la vulnerabilidad de los elementos expuestos que, en este caso, son las viviendas ubicadas en la corona del talud.

Con los valores de F.S. y profundidades de superficies de falla obtenidos del análisis de estabilidad, se hizo una valoración de la amenaza según los factores de valuación propuestos en la Tabla 6 (Cuanalo O. A.; Oliva A. O. y González C., 2007).

Tabla 6. Factores de valuación que consideran la susceptibilidad a deslizamientos (modificado de Cuanalo O. A.; Oliva A. O. y González C., 2007).

Características del análisis de estabilidad	Factor de valuación de estabilidad (f_s)			
	Superficial	Somera	Profunda	Muy profunda
Superficie de rotura	< 1.5 m	1.5 ÷ 5 m	5 ÷ 12.5 m	12.5 ÷ 20 m
	0.25	0.50	0.75	1
	Inestable	Estabilidad crítica		Estable
Factor de seguridad (F.S.)	F.S. < 1	F.S. : 1 ÷ 1.5		F.S. > 1.5
	1	0.75		0
	Nota. El factor de valuación total es el promedio de los factores correspondientes a superficie de rotura y F.S.			

La Tabla 7 muestra los valores de amenaza en cada perfil analizado, obtenidos considerando los factores de la Tabla 4 y expresada como el por ciento de probabilidad de que ocurra un deslizamiento

Tabla 7. Amenaza de deslizamiento en el área de estudio.

Perfil	Amenaza (%)
0+000	0.375
0+020	0.75
0+040	0.75
0+060	0.875
0+080	0.875
0+100	0.875
0+120	0.75
0+140	0.75
0+160	0.75

La vulnerabilidad de los elementos expuestos a sufrir daños por los deslizamientos fue considerada como valor máximo ($V=1$) debido a la magnitud probable de los deslizamientos y a la proximidad de las viviendas a la corona del talud.

La Tabla 8 muestra el riesgo de los elementos expuestos (viviendas) en cada uno de los perfiles analizados.

Tabla 8. Riesgo de daños por deslizamientos.

Perfil	Amenaza (%)	Vulnerabilidad de elementos expuestos (%)	Riesgo de daños (%)
0+000	0.375	V = 1 para todos los elementos expuestos (viviendas) ubicadas en el perfil analizado	0.375
0+020	0.75		0.75
0+040	0.75		0.75
0+060	0.875		0.875
0+080	0.875		0.875
0+100	0.875		0.875
0+120	0.75		0.75
0+140	0.75		0.75
0+160	0.75		0.75

La ilustración 50 se muestra las zonas potencialmente inestables y los niveles de riesgo de sufrir daños en el área de estudio.

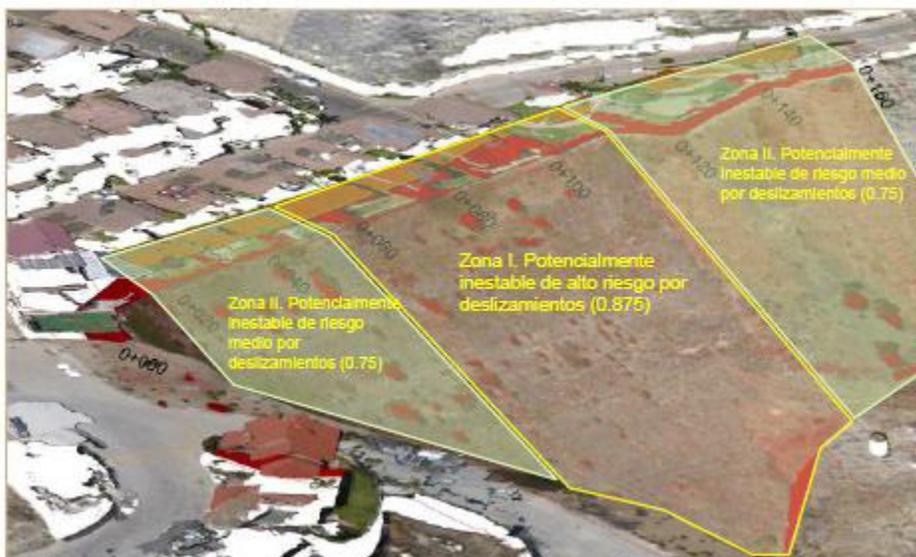


Ilustración 50. Zonificación del riesgo por inestabilidad del terreno (deslizamientos).
Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

La Figura 51 muestra las dimensiones de las probables superficies de falla (rotura) en el perfil 0+080, considerado el más crítico.

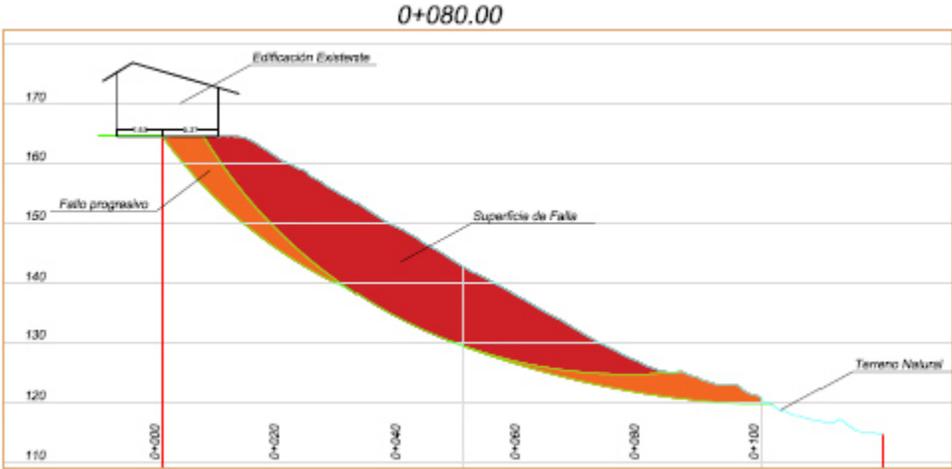


Ilustración 51. Probables superficies de falla (rotura) que se pueden generar en el perfil 0+080.

Fuente. Grupo ITEICO Euroamericano

4. CONCLUSIONES

El formar parte del equipo técnico del GRUPO DE INGENIERÍA DEL TERRENO INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL EUROAMERICANO, durante 4 meses, me permitió establecer la importancia del análisis de los estudios geotécnicos teniendo en cuenta que la ciudad de Tijuana presenta distintas zonas de ladera susceptibles a deslizamientos debido a la complejidad geológica y geotécnica además de la fuerte actividad tectónica de la región; la inestabilidad de laderas es una amenaza permanente, causando esto destrucción y una afectación directa a la población.

Como ingeniera en formación, al ser parte del equipo responsable de la ejecución de proyectos se adquirieron nuevos conocimientos referentes al uso de instrumentación para el monitoreo de laderas, teniendo en cuenta desplazamientos horizontales del terreno, además de la consolidación de los conocimientos adquiridos en el desarrollo de mi carrera universitaria, para este caso particular la comprensión de los análisis de los parámetros geotécnicos en las zonas de laderas inestables esto con el fin de ofrecer seguridad a la población

Finalmente este tipo de investigaciones y experiencias laborales, fortalece los conocimientos y permiten adquirir el interés por el desarrollo de nuevos proyectos de ingeniería que apoyen a la comunidad.

5. ANEXOS



Ilustración 52 Actividades de Campo
Fuente. Autor 2017



Ilustración 53 Actividades de Campo proyecto Lomas Conjunto Residencial
Fuente. Autor 2017



Ilustración 54 Salida de Campo
Fuente. Autor 2017



Ilustración 55. Visita a proyecto Rincón Toscano
Fuente. Autor 2017



Ilustración 56. Toma de Datos con sonda RST en Proyecto Rincón Toscano No. 1

Fuente. Autor 2017



*Ilustración 57*Toma de Datos con sonda RST en Proyecto Rincón Toscano No. 2
Fuente. Autor 2017



*Ilustración 58*Toma de Datos con sonda RST en Proyecto Rincón Toscano No. 3
Fuente. Autor 2017

Apéndice C.

INSTRUCTIVO DE CAMPO PARA USO DE SONDA INCLINOMETRICA RST

Instructivo de campo para uso de sonda Inclinométrica RST

Angie Alejandra Muñoz Quintero

Tijuana, B.C. 2017



INSTRUCTIVO DE CAMPO USO DE SONDA INCLINOMÉTRICA RST

En el siguiente manual se hará una introducción del equipo necesario para el monitoreo de desplazamientos horizontales del terreno, específicamente se tendrá en cuenta el equipo Sistema de Inclínometro digital MEMS ((Microelectromechanical Systems), marca RST (Ilustración 1)



Ilustración 1. Sistema de Inclínometro digital MEMS ((Microelectromechanical Systems), marca RST

Contenido

1. Componentes del Sistema Inclinométrico	2
2. Funcionamiento Teórico del Inclínometro	2
3. Mecanismos Adicionales del Sistema.....	5
3.1. Sonda del Inclínometro	5
3.2. Cable Inclinométrico.....	5
4. Instrucciones de operación en Campo	6
4.1. Conexión del cable a la Sonda	6
4.2. Efectuación del Sondeo	6
5. Especificaciones Técnicas del Equipo	9
Tabla de Ilustraciones.....	10
Referentes Electronicos.....	11

Angie Alejandra Muñoz Quintero

INSTRUCTIVO DE CAMPO USO DE SONDA INCLINOMÉTRICA RST

1. Componentes del Sistema Inclinométrico

La ilustración 2 muestra las partes componentes del sistema del inclinómetro. La sonda esta diseñada para ser usada conjuntamente con un cable especial en un tambor conectado a una Laptop de campo

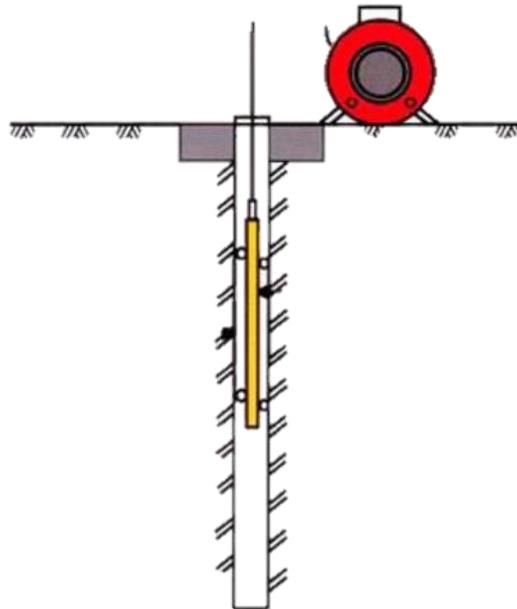


Ilustración 2. Componentes del Sistema Inclinométrico

2. Funcionamiento Teórico del Inclinómetro

Para el caso particular de la geotecnia los inclinómetros son utilizados para medir los movimientos del terreno, por ejemplo los que ocurren en las laderas inestables u otros procesos constructivos que puedan generar dichos movimientos. Estos sistemas también son utilizados para monitorear muros de contención, asentamientos en rellenos entre otros.

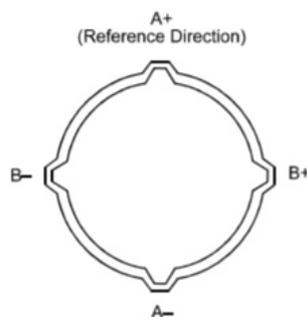


Ilustración 3. Sección en Corte Tubería Para Inclinómetro

INSTRUCTIVO DE CAMPO USO DE SONDA INCLINOMÉTRICA RST

Inicialmente es necesario la instalación de una tubería, que será hincada en las perforaciones previamente excavadas a una profundidad establecida por el ingeniero geotecnista el cual hace un análisis de estabilidad donde se establecen las potenciales superficies de falla, determinando así finalmente las profundidades y el número de sondeos requeridos en cada caso. La tubería utilizada consta de 4 ranuras ortogonales (Ilustración 3) las cuales sirven como riel para la sonda inclinométrica, estas tuberías se encuentran en diferentes materiales específicamente se utiliza la de plástico pero también hay en aluminio y fibra de vidrio.

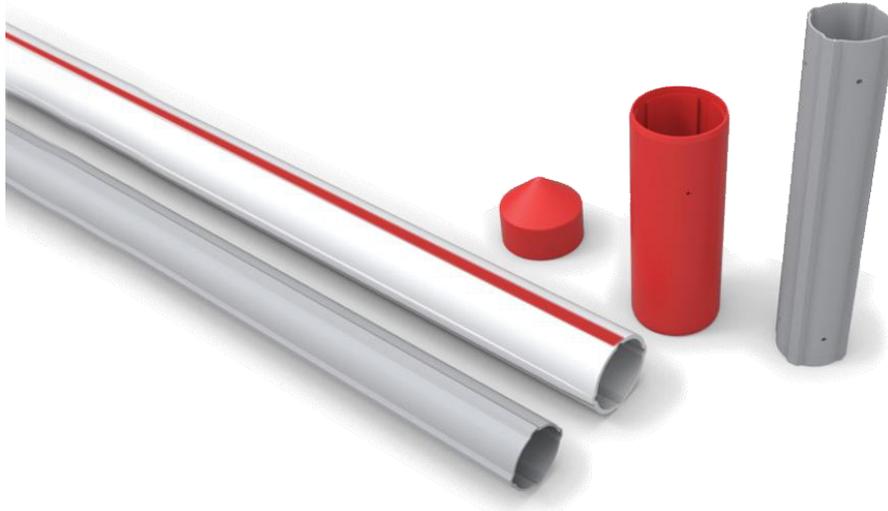
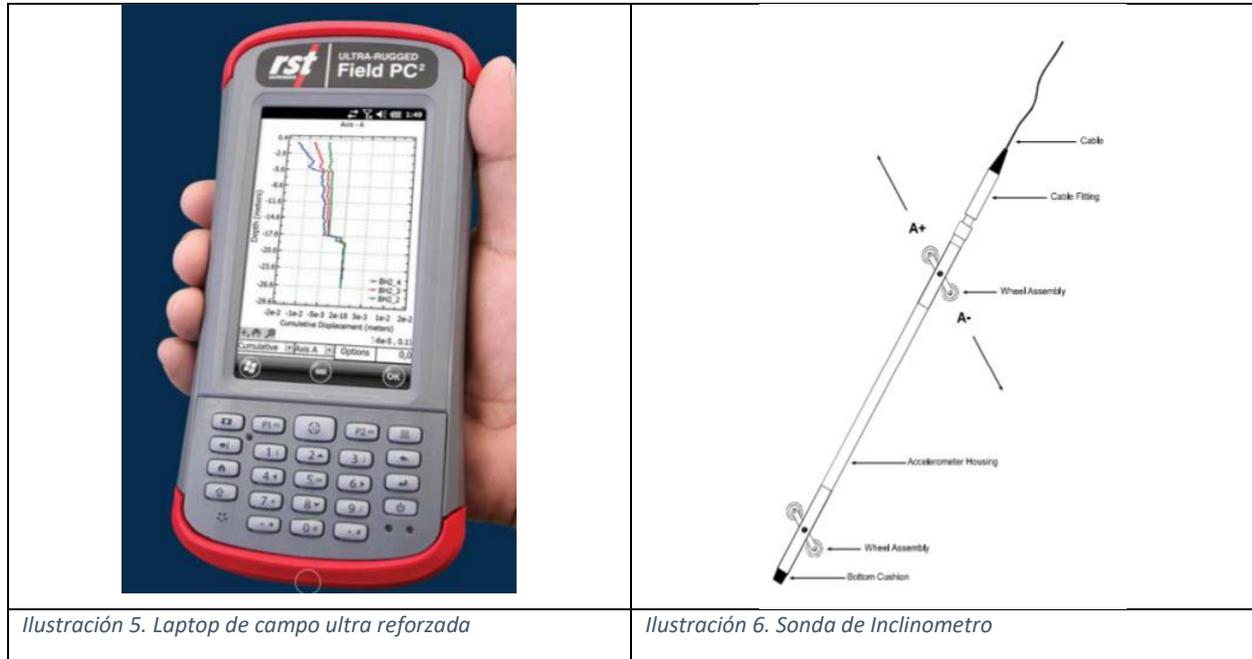


Ilustración 4. Tubería para sonda inclinométrica

Cuando ya está hincada la tubería guía del inclinómetro se pone una sonda suspendida en el extremo de un cable, conectada por un sistema inalámbrico a una Laptop de campo ultra reforzada (ilustración 5) la cual permite una comunicación inalámbrica entre ella y el cable de control de inclinómetro lo cual asegura una comodidad de uso y una fiabilidad ya que no hay preocupaciones con conectadores débiles.

El equipo cuenta con un sistema de operación de alto rendimiento, además una cómoda visualización, ya que tiene un área de visión activa de 109 mm de diagonal, una interface táctil que facilita su utilización, adicionalmente la Laptop tiene una vida de batería de 20 horas con una sola carga y esta se puede cambiar de manera sencilla en campo, de igual manera es a prueba choques de temperatura, lluvia, humedad, arena y polvo.

INSTRUCTIVO DE CAMPO USO DE SONDA INCLINOMÉTRICA RST



Para obtener un estudio completo del suelo a lo largo de la tubería instalada es necesario tomar una serie de mediciones a lo largo de esta, la sonda analizada tiene dos juegos de ruedas separadas entre sí. El sondeo de la tubería comenzara bajando la sonda hasta el fondo de la perforación para iniciar las lecturas. El primer conjunto de lecturas generadas se denotaran como A+ de acuerdo a las marcas del cable espaciado en 0.5 m, cuando se finalice el tramo la sonda se rota 180° y se inicia el segundo juego de lecturas (A-).

La sonda inclinométrica contiene dos acelerómetros con sus ejes orientados 90° uno del otro. El eje A esta en línea con las ruedas (ilustración 6) con el eje B en dirección ortogonal. De esta forma se obtienen lecturas A+, A- y también B+, B-.

En el momento del procesamiento de datos se puede hacer una reducción de estos (A+,A- y B+, B-) se combinan(restando un conjunto de lecturas del otro) de tal manera que el efecto de cualquier compensación a cero del equilibrio de fuerzas del acelerómetro se eliminara completamente.

Las inspecciones posteriores de la tubería guía del inclinometro, cuando se comparan con las lecturas originales relevaran los cambios de inclinación de la tubería y los lugares en los que se están efectuando estos cambios.

3. Mecanismos Adicionales del Sistema

3.1. Sonda del Inclímetro

En la ilustración 6 se muestran algunas partes que componen la sonda como son los rodillos, una carcasa en acero, en el extremo se encuentra un montaje que contienen pares de ruedas con carga por muelles acondicionados con rodillos sellados y diseñados para ajustarse a las ranuras de la tubería del inclinómetro. En la base de la sonda hay un cojín en caucho para reducir el choque por carga en el acelerómetro en caso que la sonda caída en una superficie sólida.

En la parte superior del la sonda hay un accesorio que contiene el conector para el cable. (Ilustración 7)



Ilustración 7. Esquema sonda inclinométrica con conexión a cable

3.2. Cable Inclinométrico

El cable está diseñado especialmente para ser resistente, este de manera adicional también está diseñado para servir como un marcador de profundidad en intervalos de 0.5 metros (ilustración 8)



Ilustración 8. Cable Inclinométrico

INSTRUCTIVO DE CAMPO USO DE SONDA INCLINOMÉTRICA RST

4. Instrucciones de operación en Campo

4.1. Conexión del cable a la Sonda

Inicialmente se debe conectar el cable a la sonda RST y asegurarse de que los empalmes estén asegurados y las superficies limpias.

Para la conexión se deberá tener en cuenta:

- ✓ Que ambos conectores estén totalmente limpios
- ✓ Se deben alinear los pins con los enchufes para que coincidan con una leve presión

4.2. Efectuación del Sondeo

- ✓ Inicialmente se debe introducir la sonda en la dirección A+ donde se marcara la tubería guía, se dejara llevar la sonda hasta la profundidad de la perforación, para de manera seguida establecer las lecturas a los diferentes intervalos de profundidad. (Ilustración 9)



Ilustración 9. Introducción de sonda RST

- ✓ Se debe dar el tiempo suficiente para que la sonda logre la estabilidad de temperatura (Previamente debe estar encendida la laptop en el archivo del proyecto que se desea obtener las lecturas)

INSTRUCTIVO DE CAMPO USO DE SONDA INCLINOMÉTRICA RST



Ilustración 10. Toma de Lecturas

- ✓ Se levantara la sonda hasta que el marcador del cable descansa en el tope metálico (ilustración 10) para tomar la siguiente lectura, se deben esperar algunos segundos, este proceso debe repetirse hasta que la sonda llegue a la parte superior de la tubería guía.



Ilustración 11. Topes Metalicos

INSTRUCTIVO DE CAMPO USO DE SONDA INCLINOMÉTRICA RST

- ✓ Seguidamente se retira la sonda de la tubería guía y se girara 180° hasta la parte superior está en la dirección A y después se debe bajar la sonda una vez más hasta el fondo de la tubería guía para tomar el siguiente conjunto de datos.
- ✓ Finalmente cuando se haya terminado deben guardarse un respaldo de los datos en un archivo, además se debe sacar la sonda y limpiarla al igual que el cable y los respectivos topes.



Ilustración 12. Retiro de Sonda Inclínométrica

INSTRUCTIVO DE CAMPO USO DE SONDA INCLINOMÉTRICA RST

5. Especificaciones Técnicas del Equipo

INCLINÓMETRO	SISTEMA MÉTRICO	SISTEMA IMPERIAL
Base de rueda	0.5 m	24 pulg
Diámetro de sonda	25.4 mm	1.00 pulg
Longitud de sonda (incluyendo el conector)	710 mm	28.0 pulg
Peso de sonda	1.2 kg	2.65 libras
Material de sonda	Acero inoxidable	Acero inoxidable
Rango de escala completo (otros rangos disponibles)	±30 grados	±30 grados
Resolución de datos	0.005 mm por 500 mm	0.00002 pies por 2 pies
Memoria	>1,000,000 lecturas	>1,000,000 lecturas
Repetibilidad	±0.002°	±0.002°
Precisión del sistema	±2 mm por 25 m	±0.1 pulg. por 100 pies
Alineamiento del eje	Anulado digitalmente	Anulado digitalmente
Temperatura nominal	De -40 a +70°C	De -40 a +158°F
Tipo de sensor	Acelerómetro con tecnología MEMS, biaxial	
CABLE		
Diámetro del cable	6.40 mm (±0.1 mm)	0.25 pulg
Peso del cable	2.3 kg / 50 m	3.1 libras / 100 pies
Fuerza de quiebre del cable	5.90 kN	1325 libras
Reforzamiento del cable	Kevlar® ‡	Kevlar® ‡
Cobertura del cable	Poliuretano	Poliuretano
Extensión del cable (suspendido en un pozo seco de 50 m)	7.0 mm	0.27 pulg
BOBINA DE CABLE		
Diámetro de bobina de cable de hasta 75 m	310 mm	12.2 pulg
Diámetro de bobina de cable de 100 a 200 m	380 mm	15 pulg
Diámetro de bobina de cable de más de 225 m	460 mm	18 pulg
Peso de la bobina con un cable de 50 m (100 pies.)	4.7 kg	8.4 libras

INSTRUCTIVO DE CAMPO USO DE SONDA INCLINOMÉTRICA RST

Tabla de Ilustraciones

<i>Ilustración 1. Sistema de Inclímetro digital MEMS ((Microelectromechanical Systems), marca RST</i>	1
<i>Ilustración 2. Componentes del Sistema Inclímetro</i>	2
<i>Ilustración 3. Sección en Corte Tubería Para Inclímetro</i>	2
<i>Ilustración 4. Tubería para sonda inclinométrica</i>	3
<i>Ilustración 5. Laptop de campo ultra reforzada</i>	4
<i>Ilustración 6. Sonda de Inclímetro</i>	4
<i>Ilustración 7. Esquema sonda inclinométrica con conexión a cable</i>	5
<i>Ilustración 8. Cable Inclímetro</i>	5
<i>Ilustración 9. Introducción de sonda RST</i>	6
<i>Ilustración 10. Toma de Lecturas</i>	7
<i>Ilustración 11. Topes Metalicos</i>	7
<i>Ilustración 12. Retiro de Sonda Inclinométrica</i>	8

Referentes Electrónicos

- ✓ <http://www.rstinstruments.com/Brochures-Spanish/Sistema-de-inclin%C3%B3metro-digital-con-tecnolog%C3%ADa-MEMS-ICB0055A.pdf>
- ✓ <https://spanish.alibaba.com/product-detail/zc-sensor-hard-pvc-plastic-pipe-for-sale-60351833812.html>
- ✓ <https://www.sisgeo.com/es/productos/inclinometros-y-tiltmetros/item/Tuberias-inclinometricas.html>
- ✓ http://www.geokon.com/content/manuals/6100_Manual_de_Instrucciones.pdf



