

**MODELACIÓN REDUCIDA DE TALUDES EN SUELO UTILIZANDO ANCLAJES
COMO SISTEMA DE REFUERZO**

NANCY SOFÍA ÁLVAREZ ACEVEDO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TUNJA - BOYACÁ
2014**

**MODELACIÓN REDUCIDA DE TALUDES EN SUELO UTILIZANDO ANCLAJES
COMO SISTEMA DE REFUERZO**

NANCY SOFÍA ÁLVAREZ ACEVEDO

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director
ING. ESP. JOSÉ RODRIGO MÉNDEZ ZULUAGA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TUNJA - BOYACÁ
2014**

Nota de aceptación:

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Ciudad y Fecha: _____

**LA AUTORIDAD CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA RESIDE EN
ELLA MISMA, POR LO TANTO NO RESPONDE POR LAS OPINIONES
EXPRESADAS EN ESTE TRABAJO.**

DEDICATORIA

Dedico:

En primer lugar a Dios nuestro Señor por brindarme salud y la oportunidad para realizar con éxito mi sueño de ser una Ingeniera Civil, llenándome de bendiciones, a la Virgencita que siempre me ha acompañado en cada uno de los pasos que he dado para conseguir mis metas con esfuerzo y dedicación. Y en especial por llenar mi vida con la presencia de dos personas grandiosas como son mis hijos Valeri y Samuel quienes son el motor que me impulsan a lograr todos los propósitos y metas, a los cuales amo con todo mi corazón.

A mi papá Misael Álvarez quien con su apoyo, confianza, cariño, fortaleza, tenacidad, paciencia estuvo a mi lado en las etapas de mi carrera. A mi mamá Miriam Acevedo que con su cariño y confianza ayudó en el logro de este sueño. A mi hermana Paola por ayudarme y estar a mi lado apoyándome y colaborándome en todas y cada una de las dificultades que se me presentaron en el transcurso del tiempo.

A mi novio Leonardo Peña por su apoyo moral, amor, confianza, comprensión, fortaleza, inspiración, paciencia, compañía y ayuda contribuyó a la finalización de un gran paso en mi vida profesional. A mis amigas porque siempre me brindaron su amistad y me apoyaron para que siempre estuvieran involucradas en cada uno de los procesos que se presentaron para poder conseguir mis sueños.

NANCY ÁLVAREZ

AGRADECIMIENTOS

La autora expresa agradecimientos a:

Ingeniero Rodrigo Méndez, docente de la Facultad de Ingeniería Civil; Universidad Santo Tomas, a quien quiero darle el más profundo agradecimiento por su apoyo, asesoría constante y por el esfuerzo inmenso en el desarrollo del trabajo, también por ayudarme a crecer intelectual y profesionalmente, por eso es inevitable agradecerle la dedicación que se tomó en el desarrollo del proyecto de grado.

Directivos y administrativos de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja, que con el préstamo de las instalaciones como el uso del laboratorio de ingeniería Civil nos aportaron en el cumplimiento, desarrollo y aplicación de los conocimientos recibidos como estudiantes de la presente institución.

Compañeros, de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomas, Seccional Tunja, Oscar y David que con la colaboración en la realización práctica decampo y construcción de la máquina de laboratorio que ayudo en la realización permitieron avanzar en la finalidad del proyecto.

NANCY ÁLVAREZ

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. GENERALIDADES.....	17
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.2.3 DELIMITACIÓN CRONOLÓGICA:	19
1.2.4 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	19
1.2.5 JUSTIFICACIÓN.....	20
1.3 REFERENCIAS HISTÓRICAS	21
1.4 REFERENCIAS ANTIGUAS.....	21
1.4.1 ASPECTOS GENERALES DE LOS ANCLAJES	23
1.4.2 APLICACIONES DE LOS ANCLAJES	30
2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO DE MODELACIÓN	37
2.1 DISEÑO DEL EQUIPO DE LABORATORIO	37
2.1.1 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LOS MODELOS	37
2.1.2 LINEAMIENTOS USADOS PARA EL DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA MÁQUINA PARA FALLA DE LOS MODELOS.....	38
2.1.3 INSTRUMENTACIÓN DE LOS MODELOS	40
2.1.4 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE LOS MODELOS Y DE LAS MAQUINAS	41
2.1.5 ELEMENTOS DE DISEÑO.....	44
2.2 CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO DE LABORATORIO	46
2.3 CONSTRUCCIÓN DE LOS ANCLAJES EMPLEADOS COMO SISTEMA DE REFUERZO.....	52
3. CAPITULO: MODELACIÓN FÍSICA DE TALUDES EN ARENA.....	57
3.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS	58
3.1.1 HUMEDAD.....	59
3.1.2 PROCTOR ESTÁNDAR	60
3.1.3 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA CON LAVADO:	61
3.1.4 ABSORCIÓN:	63
3.1.5 GRAVEDAD ESPECÍFICA	63
3.1.6 CORTE DIRECTO	64
3.1.7 MASA Y PESO UNITARIO	65

3.2	CARACTERIZACIÓN DE LOS ANCLAJES EMPLEADOS EN LA ESTABILIZACIÓN DE LOS MODELOS.....	66
3.2.1	ENSAYO DE TRACCIÓN.....	67
3.3	PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TALUD	69
3.1	PRUEBA # 1.....	74
	TALUD SIN REFUERZOS.....	74
3.2	PRUEBA # 2.....	75
	TALUD REFORZADO CON 2 ANCLAJES (30cm)	75
3.3	PRUEBA # 3.....	77
	TALUD REFORZADO CON 4 ANCLAJES (30cm)	77
3.4	PRUEBA # 4.....	79
	TALUD REFORZADO CON 6 ANCLAJES (30cm)	79
3.5	PRUEBA # 5.....	81
	TALUD REFORZADO CON 2 ANCLAJES (50cm)	81
3.6	PRUEBA # 6.....	83
	TALUD REFORZADO CON 4 ANCLAJES (50cm)	83
3.7	PRUEBA # 7.....	85
	TALUD REFORZADO CON 6 ANCLAJES (50cm)	85
4	ANÁLISIS DE RESULTADO.....	88
4.1	PRUEBA # 1.....	88
	TALUD SIN REFUERZO	88
4.2	PRUEBA # 2.....	91
	TALUD REFORZADO CON 2 ANCLAJES (30cm)	91
4.3	PRUEBA # 3.....	93
	TALUD REFORZADO CON 4 ANCLAJES (30cm)	93
4.4	PRUEBA # 4.....	94
	TALUD REFORZADO CON 6 ANCLAJES (30cm)	94
4.5	PRUEBA # 5.....	97
	TALUD REFORZADO CON 2 ANCLAJES (50cm)	97
4.6	PRUEBA # 6.....	100
	TALUD REFORZADO CON 4 ANCLAJES (50cm)	100
3.1	PRUEBA # 7.....	102
	TALUD REFORZADO CON 6 ANCLAJES (50cm)	102
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
5.1	CONCLUSIONES	108
5.2	RECOMENDACIONES.....	111
	GLOSARIO.....	112
	BIBLIOGRAFÍA	114
	ANEXO A	115
	RESULTADOS DEL PROCESO CARGA-DEFORMACIÓN LOS MODELOS DE TALUDES.....	115
	ANEXO B.....	116
	RESULTADOS DE LABORATORIO.....	116

ANEXO C	117
ENSAYOS DE LABORATORIO LOS ANCLAJES	117
ANEXO	118
PLANO MÁQUINA DE LABORATORIO.....	118

LISTA DE TABLAS

TABLA 3-1 PORCENTAJES DE HUMEDAD	60
TABLA 3-2 CÁLCULO DE ENSAYO DE PROCTOR ESTÁNDAR.....	61
TABLA 3-3 LABORATORIO DE ABSORCIÓN.....	63
TABLA 3-4 RESULTADOS GRAVEDAD ESPECIFICA	64
TABLA 3-5 RESULTADOS OBTENIDO POR LA PRUEBA DE CORTE DIRECTO	64
TABLA 3-6 MASA Y PESO UNITARIO.....	66
TABLA 3-7 INFORMACIÓN TALUD 1	75
TABLA 3-8 INFORMACIÓN TALUD 2	76
TABLA 3-9 INFORMACIÓN TALUD 3	78
TABLA 3-10 INFORMACIÓN TALUD 4	80
TABLA 3-11 INFORMACIÓN TALUD 5	82
TABLA 3-12 INFORMACIÓN TALUD 6	84
TABLA 3-13 INFORMACIÓN TALUD 7	86
TABLA 4-1 CARGAS MÁXIMAS PARA CADA UNO DE LOS TALUDES.....	106

TABLA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1-1 USO DE LOS ANCLAJES.....	22
FIGURA 1-2 MECANISMO BÁSICO DE UN ANCLAJE.....	23
FIGURA 1-3 COMPONENTES DE LOS ANCLAJES	24
FIGURA 1-4 TIPOS DE ANCLAJES.....	24
FIGURA 1-5 ANCLAJES CON VARILLAS DE ACERO	26
FIGURA 1-6 MURO ANCLADO	27
FIGURA 1-7 ANCLAJES EN ROCA	27
FIGURA 1-8 ANCLAJES PASIVOS Y ACTIVOS.....	28
FIGURA 1-9 CURVA ALTURA VS ÁNGULO DEL TALUD - CURVA DE DISEÑO DE ANCLAJES	29
FIGURA 2-1 VISTA FRONTAL MAQUINA	44
FIGURA 2-2 VISTA LATERAL MAQUINA	45
FIGURA 2-3 VISTA EN PLANTA DE LA MAQUINA.....	46
FIGURA 3-1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS MODELOS DE TALUDES CONFORMADOS.....	57
FIGURA 3-2 CURVA DE COMPACTACIÓN	61
FIGURA 3-3 CURVA GRANULOMÉTRICA.....	62
FIGURA 3-4 GRAFICA ESFUERZO CORTANTE – ESFUERZO NOMINAL	65
FIGURA 3-5 GRAFICA ESFUERZO- DEFORMACIÓN	69
FIGURA 4-1 GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN MODELO 1.....	88
FIGURA 4-2 VISTA DE PERFIL DE LA FALLA DEL TALUD	89
FIGURA 4-3 SELECCIÓN DE LOS PUNTOS PARA EL REFUERZO DEL TALUD	90
FIGURA 4-4 VISTA PRINCIPAL CON LOS PUNTOS SECCIONADOS PARA LOS REFUERZOS	91
FIGURA 4-5 GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN MODELO 2	92
FIGURA 4-6 GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN MODELO 3.....	93
FIGURA 4-7 GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN MODELO 4.....	95
FIGURA 4-8 GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN MODELO 5.....	98
FIGURA 4-9 GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN MODELO 6.....	100
FIGURA 4-10 GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN MOLDEO 7.....	102
FIGURA 4-11 ÁNGULOS DE FALLA RESPECTO A LA HORIZONTAL	105
FIGURA 4-12 GRAFICA COMPARATIVA DE LOS TALUDES ESFUERZO- DEFORMACIÓN	106
FIGURA 4-13 CORRELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE ANCLAJES EMPLEADOS EN LAS PRUEBAS	107

TABLA DE FOTOS

FOTO 1-1 ANCLAJE DE CABLE	31
FOTO 1-2 PANTALLA DE PILOTES ASEGURADA CON ANCLAJES	32
FOTO 1-3 PANTALLAS ASEGURADAS CON ANCLAJES	33
FOTO 1-4 ANCLAJES AUTO PERFORANTES HUECOS.....	33
FOTO 1-5 BARRAS AUTO PERFORANTES	34
FOTO 1-6 SISTEMA TECCO MESH G-65	36
FOTO 2-1 HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA MAQUINA	42
FOTO 2-2 MEDICIÓN Y CORTE DE PERFILES	47
FOTO 2-3 TALADRANDO LOS PERFILES.....	47
FOTO 2-4 CONSTRUCCIÓN DEL MARCO	48
FOTO 2-5 MEDICIÓN Y CORTE DE LA LÁMINA PARA EL CAJÓN	48
FOTO 2-6 CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA DE ENGRANAJES	49
FOTO 2-7 CAJA DE ENGRANAJES	49
FOTO 2-8 TORNILLO	50
FOTO 2-9 SISTEMA DE CUÑA PARA TRANSFORMACIÓN DE LA ROTACIÓN EN CARGA AXILA	50
FOTO 2-10 ARMADO FINAL DE LA MAQUINA.....	51
FOTO 2-11 SISTEMA DE TRANSMISIÓN MEDIANTE EL USO DE POLEA Y CORREA.....	51
FOTO 2-12 CONEXIÓN ELÉCTRICA DEL MOTOR.....	52
FOTO 2-13 MOTOR ELÉCTRICO. PERMITE EL DESPLAZAMIENTO DEL TORNILLO	52
FOTO 2-14 MECANIZADO Y ARREGLO DE PROBETAS DE ACERO	53
FOTO 2-15 PROBETAS MECANIZADAS Y LISTAS PARA PRUEBA DE TRACCIÓN.....	54
FOTO 2-16 MEDICIÓN Y CORTE DEL TENDÓN DEL ANCLAJE	54
FOTO 2-17 CONSTRUCCIÓN DE LA RAÍZ DEL ANCLAJE	55
FOTO 2-18 (CABEZA DEL ANCLAJE) PLACA DE ASIENTO Y TUERCA.....	55
FOTO 2-19 ANCLAJES LISTOS PARA LOS MODELOS DE TALUDES	56
FOTO 3-1 MARTILLO COMPACTADOR DE SUELO	58
FOTO 3-2 SUELO GRANULAR ARENOSO.....	58
FOTO 3-3 MUESTRAS PARA HUMEDAD.....	59
FOTO 3-4 ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR	60
FOTO 3-5 LABORATORIO GRANULOMETRÍA	62
FOTO 3-6 PROBETA PARA LABORATORIO DE TRACCIÓN.....	66
FOTO 3-7 . PRUEBA DE TRACCIÓN MAQUINA UNIVERSAL	67
FOTO 3-8 EXTENSÓMETRO.....	67
FOTO 3-9 FALLA DE LAS PROBETAS	68
FOTO 3-10 OBTENCIÓN DE LOS DATOS DE LA PRUEBA A TRACCIÓN	68
FOTO 3-11 MEZCLA Y MUESTRA PARA HUMEDAD DEL SUERO ARENOSO	70
FOTO 3-12 CONSTRUCCIÓN DE LOS TALUDES POR CAPAS	70
FOTO 3-13 CONSTRUCCIÓN DEL TALUD.....	71
FOTO 3-14 COMPACTACIÓN DEL SUELO CON MARTILLO	71
FOTO 3-15 LA ALTURA DEL TALUD	72
FOTO 3-16 UBICACIÓN DE LA CARGA SOBRE EL TALUD.....	72
FOTO 3-17 APLICACIÓN DE LA CARGA.....	73
FOTO 3-18 UBICACIÓN DE LOS ANCLAJES EN EL TALUD.....	74
FOTO 3-19 APLICACIÓN DE CARGA	74
FOTO 3-20 TALUD LISTO PARA LA PRUEBA.....	75
FOTO 3-21 ANCLAJES DE 30 CM LA RAÍZ ES DE 10 CM	76
FOTO 3-22 UBICACIÓN DE LOS ANCLAJES	77
FOTO 3-23 TALUD REFORZADO CON 2 ANCLAJES.....	77

FOTO 3-24 ANCLAJES 30 CM.....	78
FOTO 3-25 UBICACIÓN DE LOS ANCLAJES	79
FOTO 3-26 TALUD REFORZADO CON 4 ANCLAJES	79
FOTO 3-27 ANCLAJES 30 CM.....	80
FOTO 3-28 UBICACIÓN DE LOS ANCLAJES	81
FOTO 3-29 TALUD REFORZADO CON 6 ANCLAJES.....	81
FOTO 3-30 ANCLAJES DE 50 CM.....	82
FOTO 3-31 UBICACIÓN DE LOS ANCLAJES	83
FOTO 3-32 TALUD MODELADO CON 2 ANCLAJES.....	83
FOTO 3-33 ANCLAJES 50 CM.....	84
FOTO 3-34 UBICACIÓN DE LOS ANCLAJES	85
FOTO 3-35 TALUD REFORZADO CON 4 ANCLAJES.....	85
FOTO 3-36 ANCLAJES 50 CM.....	86
FOTO 3-37 UBICACIÓN DE ANCLAJES	87
FOTO 3-38 TALUD ANCLADO CON 6 ANCLAJES.....	87
FOTO 4-1 FALLA DE TALUD	89
FOTO 4-2 FALLA PRESENTADA POR EL TALUD	93
FOTO 4-3 FALLA PRESENTADA POR EL TALUD	94
FOTO 4-4 FALLA PRESENTADA POR EL TALUD	96
FOTO 4-5 FALLA DE PERFIL	97
FOTO 4-6 FALLA PRESENTADA POR EL TALUD	99
FOTO 4-7 VISTA EN PERFIL DE LA FALLA	99
FOTO 4-8 VISTA PRINCIPAL FALLA DEL TALUD	101
FOTO 4-9 VISTA PERFIL FALLA.....	101
FOTO 4-10 FALLA DEL TALUD POR LA PARTE SUPERIOR.....	102
FOTO 4-11 FALLA VISTA PRINCIPAL	103
FOTO 4-12 FALLA POR ENCIMA DEL TALUD	104

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: Resultados del proceso carga-deformación los modelos de taludes

ANEXO B.: Resultados de laboratorio

ANEXO C: Ensayos de laboratorio de los anclajes

ANEXO D.: Plano máquina de laboratorio

RESUMEN

En el presente trabajo se lleva a cabo la construcción un equipo que permite experimentar modelos en dimensiones reducidas de taludes. El equipo consiste en un marco rígido que cuenta con un sistema de aplicación de carga mediante un motor eléctrico. Paralelamente se realizó la caracterización del suelo arenoso granular empleado para modelar los taludes. Se realizaron pruebas de laboratorio como humedad, granulometría, gravedad específica, corte directo, proctor estándar, masas unitarias, pesos unitarios y absorción.

Después de tener las características del suelo y el equipo armado se procedió a realizar la construcción de los modelos de los taludes en la máquina. Se inició con la construcción del talud sin ninguna clase de refuerzo. Se le ejerció una fuerza distribuida la cual hizo que el talud presentara una serie de fallas. Las características de la falla presentada por el talud ayudo a identificar las tipologías de los anclajes que se emplearon como sistema de estabilización.

A continuación se realizó la modelación del talud aplicándole en sistema de anclajes. Se realizaron diversas pruebas teniendo en cuenta variables como la longitud y números de anclajes. Se caracterizó el material mediante la prueba de tracción realizada en la maquina universal.

Para los modelos diseñados se analizó el comportamiento que presentaron cada una de las pruebas realizadas nos arrojaba una serie de resultados los cuales son comparados y analizados. Los resultados obtenidos nos ayudaron a entender el comportamiento presentado los taludes modelados.

Palabras clave: Modelación, suelo arenoso granular, talud, sistemas de refuerzo, anclajes, procesos de carga-deformación.

ABSTRACT

This paper presents the construction of the equipment that allows you to experience models in small size slopes. The equipment consists of a rigid frame. The laboratories were conducted to granular sandy soil, used to model the slopes. Laboratory tests such as moisture, grain size, specific gravity, direct shear, standard proctor, unit mass, unit weights and absorption were performed. These lab tests helped in the identification and classification of the properties that are in the granular sandy soil used in the project.

After having soil characteristics and armed equipment, it proceeded to make the modeling of embankments on the machine. It started modeling a slope which does not present any kind of reinforcement. A distributed force was placed, which made the slope shows a series of failures. The reaction was shown to identify the essential characteristics of the slope. It was necessary to identify the types of anchors that were used as stabilization system.

Then slope modeling was performed by applying a stabilizing system. Several tests were carried out taking into account variables such as the length and number of anchors. Laboratory traction was also performed on the universal machine, the material used in the anchors.

Behavior that the designed models had was analyzed; each test threw a series of results that were compared and analyzed. These results helped us understand the behavior that modeled slopes presented.

Key words: Modeling, sandy soil annular, slope, reinforcement systems, anchors, load-deformation processes.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha presentado un constante aumento de nuevas tecnologías y procesos para mejorar y ampliar la seguridad de las obras civiles. Ya que auxilian en el desarrollo de las comunidades que presentan la necesidad de crear nuevas alternativas que ayuden en el progreso de la estabilización del suelo.

Los movimientos y desprendimientos de masas de suelo cerca a obras civiles pueden ocasionar daños en las infraestructuras y pérdidas de vidas humanas. Debido a esto se ve la obligación de crear alternativas que ayuden a conocer de una manera más práctica las reacciones que presenta el suelo cuando se ve sujeto a fuerzas externas y a su vez siendo estabilizados aplicando anclajes. Por esta razón se ve la necesidad de crear una máquina que ayude a identificar las características de los taludes antes y después de ser estabilizados.

Se modelaron taludes de suelo granular arenoso los cuales se sometieron a procesos de carga-deformación. Con los cuales se analiza el comportamiento que presentan los anclajes como sistema de refuerzo de taludes. Los resultados fueron analizados y comparados para identificar las características que deben tener en los elementos empleados como sistema de estabilización. Se tuvo en cuenta la longitud y número de anclajes. También se caracterizó el suelo que fue empleado construcción de los modelos de los taludes.

Este equipo contribuirá a que los estudiantes que ven materias relacionadas a la línea de geotecnia puedan relacionarse con la estabilización de taludes y les permita tener una concepción más clara del comportamiento de estos elementos una vez sometidos a procesos de carga deformación.

El presente trabajo presenta gran relevancia por su carácter experimental y didáctico. Además el proceso de realizar las modelaciones físicas requiere de gran esfuerzo por la complejidad que este presenta. Debido a que requiere de muchas horas en la construcción de cada uno de los modelos.

De igual manera se efectuaron las consideraciones finales para posteriormente realizar las conclusiones y recomendaciones pertinentes del trabajo.

1. GENERALIDADES

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Llevar a cabo una modelación reducida de taludes en suelo arenoso utilizando como refuerzo anclajes rígidos.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir un equipo de laboratorio que permita modelar taludes reforzados con anclajes.
- Realizar pruebas de laboratorio tanto para los anclajes como para el suelo utilizado en la fabricación de los modelos.
- Construir y fallar la serie de modelos que nos permitan analizar el comportamiento de los anclajes sometidos a carga – deformación.
- Analizar el comportamiento presentando por medio de los resultados arrojados por cada uno de los taludes.

1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia como en todos los países uno de los grandes retos que se les presenta a los gobernantes, en especial a los ingenieros Civiles y geotécnicos, es la seguridad de las personas en vías y en lugares que presentan problemas y peligros relacionados con movimientos o desprendimientos de masas de suelo. Estos problemas afectan a los habitantes de ciudades y municipios, tanto en la zona urbana como en la rural.

Es importante saber que la inestabilidad del suelo presente en el país se debe a distintas causas, por lo que es necesario realizar estudios para identificar las características del suelo y los posibles problemas que presenten.

En los últimos años se ha implementado el uso de anclajes como método de estabilización de taludes. Debido a que han presentado buen desempeño ayudando a contrarrestar los daños causados por los movimientos y desprendimientos de masas de terreno. Por esta razón se habla de la estabilización de taludes empleando anclajes como sistema de refuerzo, los cuales actúan sobre una gran masa de terreno inestable evitando que presenten fenómenos de deslizamientos profundos mediante planos o círculos de rotura.

Debido a todo esto se ve la importancia de llevar a cabo la modelación reducida de un talud en material de suelo arenoso utilizando anclajes como sistema de refuerzo. Para esto se llevará a cabo el diseño y construcción de un equipo en el cual se modelaron de taludes reforzados con anclajes controlando como son el número de anclajes y longitudes de estos para evidenciar el efecto de la estabilidad utilizando este tipo de refuerzo dentro del material de suelo arenoso.

1.2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el departamento de Boyacá como en el resto del mundo se presentan deslizamientos y/o desprendimiento de tierra o masas de suelo que ocasionan desastres naturales. Por esta razón y dependiendo su ubicación afectan el desarrollo de las personas y comunidades debido a que estos acontecimientos pueden destruir o impedir la movilidad de los vehículos en las carreteras o vías y de nuestro país, también puede obstruir obras que se encuentran en el suelo como redes de agua potable que beneficia a comunidades, etc. Estos deslizamientos se pueden presentar por causas naturales como pueden ser infiltraciones o sobresaturación del suelo debido a que se encuentra cerca de fuentes hídrica; otras de las causas puede ser por manipulación del medio por personas las cuales no previene esos problemas y por lo tanto no ayudan en prevenir y corregir futuros problemas de inestabilidad.

Debido a esto se ve la necesidad de dar solución a los problemas que se presentan por los desplazamientos de taludes por lo que se han creado sistemas de estabilización como lo es el uso de anclajes en los lugares de mayor riesgo de presentar o que ya tienen movimientos de masas. Estos sistemas ayudan en la

prevención y solución de presencia de deslizamientos o desprendimientos de masas de suelo o roca.

Debido a esto se ve la importancia de crear métodos que ayuden a solucionar estos problemas como es la creación o diseño de modelos reducidos empleando anclajes como sistema de estabilización lo que ayuda a identificar aspectos importantes, de una manera rápida y económica identificar el comportamiento de los taludes antes y después de ser reforzados con los anclajes. La creación de estos modelos ayuda a entender más claramente este material de estabilización identificando las características que se deben tener en cuenta de los anclajes para ser utilizados como solución. Con la construcción del equipo y de los modelos se plantea una gran alternativa con alto potencial investigativo; ya que se pueden realizar análisis no solo utilizando la medida de estabilización con anclajes sino que se expande la posibilidad de estudiar múltiples alternativas. Además el equipo servirá y será utilizado como equipo de laboratorio donde los estudiantes contarán con un apoyo en asignaturas relacionadas a la geotecnia ya que podrían realizar modelaciones que ayuden a entender e identificar más claramente estos fenómenos que son muy usuales en la vida profesional.

1.2.3 DELIMITACIÓN CRONOLÓGICA:

El proyecto se realiza durante el año 2014 con el tiempo necesario ya que se estará trabajando continuamente en la construcción del equipo donde se diseñarán los modelos de taludes con diferentes condiciones para las pruebas. Además se reunirá la máxima información correspondiente en bibliotecas, artículos de periódicos y revistas, información en internet y preguntas a personas conocedoras del tema, para poder cumplir con los objetivos propuestos y así cumplir con éxito en la creación del equipo para modelación de taludes.

1.2.4 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La inestabilidad de los taludes puede presentarse de muchas maneras y existe cierto grado de incertidumbre en su petición; sin embargo es de gran interés constituyendo un punto para la reducción y evaluación de posibles medidas de estabilización, el uso de anclajes como refuerzo es una alternativa de estabilización. En donde no se cuenta con metodologías que permitan entender un claro comportamiento de estos elementos una vez son sometidos a procesos de carga-deformación. Así mismo no se tiene claro algunos alcances y limitaciones que pueden presentar el uso de anclajes y limitaciones que pueden presentar el uso de anclajes cuando son utilizados en estructura de contención. De la misma

manera no se encuentra disponibilidad de pruebas estandarizadas en el medio, que permitan llevar a cabo proyectos de investigación.

1.2.5 JUSTIFICACIÓN

La inestabilidad del terreno se manifiesta mediante grandes desplazamientos que implican ya sea la falla total o parcial de un talud. Lo cual puede traer consigo daños en vías, deterioros en las construcciones e incluso pérdida de vidas humanas.

En la estabilidad de taludes ocurren de muchas maneras y existe cierto grado de incertidumbre en su predicción y sin embargo ocurren en el área de interés lo cual constituye un buen punto para la detención y evaluación de potenciales futuros, el uso de anclajes como refuerzo es una alternativa de sostenimiento Sin embargo no se cuenta con metodologías que permitan entender un claro comportamiento de estos una vez son sometidos a procesos de carga – deformación. Así mismo no se tiene claro algunos alcances y limitaciones que pueden presentar el uso de anclajes cuando son utilizados en estructuras de contención. Así mismo no se encuentra disponibilidad de pruebas estandarizadas que permitan llevar a cabo proyectos de investigación.

Por lo tanto se hace necesario estudiar alternativas que permitan llevar procesos favorables de estabilización. Una de estas alternativas es el uso de refuerzos de taludes mediante el uso de anclajes; los cuales a su vez tienen diversos alcances y limitaciones. El uso de modelos reducidos utilizando anclajes es una gran opción que permite de forma rápida y económica llevar procesos investigativos que permiten entender su comportamiento una vez son utilizados como refuerzos de taludes.

Con el desarrollo de modelos físicos se abre una gran posibilidad de permitir un claro conocimiento de su gran uso como material de estabilización; esto pudiendo solucionar múltiples problemas de inestabilidad en el entorno, beneficiando muy posiblemente comunidades que pueden verse afectado con los movimientos de remoción. De la misma manera se pueden conocer los diferentes alcances y limitaciones que tienen la utilización de este tipo de soluciones.

Con la construcción del equipo y de los modelos se plantea una gran alternativa con alto potencial investigativo; ya que se pueden realizar análisis no solo utilizando la medida de estabilización con anclajes sino que se expande la posibilidad de estudiar múltiples alternativas. Esto último sin generar pérdidas económicas y de vidas humanas que podrían presentarse cuando hay deslizamientos.

Así mismo los estudiantes de la universidad contarán con un equipo de laboratorio de gran apoyo en las asignaturas relacionadas con la geotecnia; ya que podrían realizar modelaciones generando confianza en el proceso de aprendizaje. Debido a esto la construcción de esta máquina de laboratorio es fundamental. Se puede utilizar como implemento de estudio. En esta se puede modelar con diferentes clase de suelos que se presenten en los taludes. A su vez se puede reforzar el suelo modelado y así darle solución a los diferentes casos que presentan inestabilidad; esto ayuda en el análisis y una posible solución para los taludes.

1.3 REFERENCIAS HISTÓRICAS

En Colombia como en todos los países uno de los grandes retos que se le presenta a los gobernantes y como tal los ingenieros Civiles es la seguridad de las personas. Se encuentra en todo lugar gran variedad de vías y terrenos que presentan peligros afectando los habitantes de ciudades y municipios, tanto en la zona urbana como en la rural. Pero es importante saber que como en todo siempre se han percibido inconvenientes como la inestabilidad de los terrenos y suelo, en las comunidades de nuestro país. Es necesario realizar estudios para mirar el déficit del suelo en el cual se construyen obras que ayudan en el mejoramiento del bienestar de las personas.

1.4 REFERENCIAS ANTIGUAS

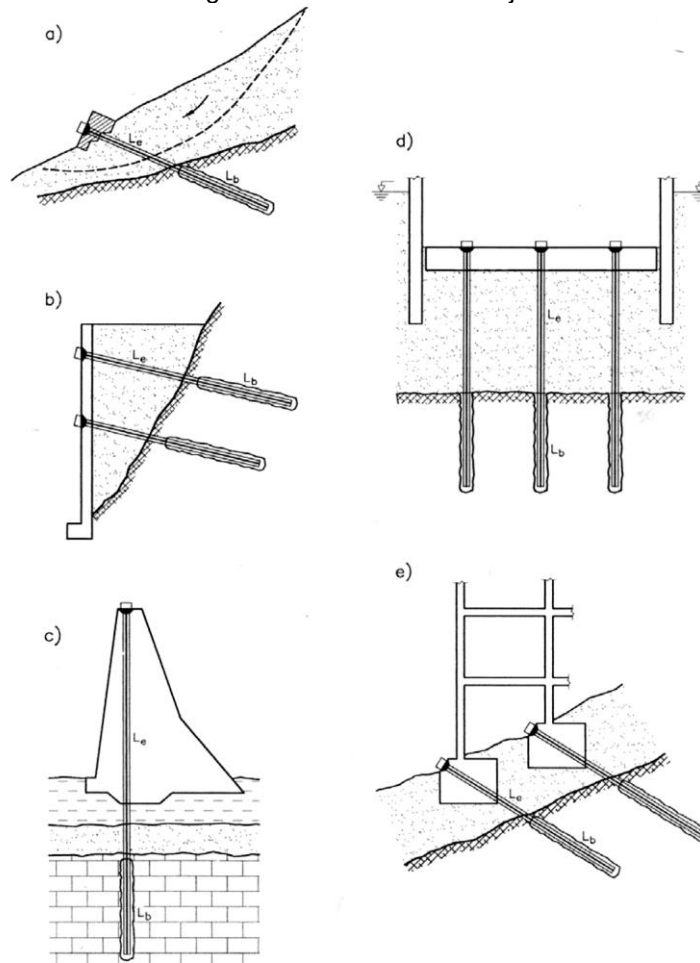
En los últimos años se ha implementado el uso de anclajes como método de estabilización de taludes. Estos han mostrado gran desempeño en las obras que se ha utilizado para contrarrestar los problemas que se presentan por causa de estos movimientos de tierra. Perjudicando principalmente al medio ambiente y la comunidad.

La utilización de sistemas de estabilización de terrenos y masa de tierra que presentan movimientos, desprendimiento y desplazamientos buscan disminuir estas acciones que se presentan en el suelo. Con el paso del tiempo, se ha venido convirtiendo en sistemas de gran importancia en el campo de construcciones civiles que ayudan a conseguir seguridad en las obras. A través del tiempo se han venido diseñando y crear nuevas tecnologías que ayudan a mejorar el funcionamiento de retención de masas de suelos y dándole estabilidad. Debido a todo esto se ve la necesidad de emplear como método de estabilización el empleo de anclajes.

Desde hace muchísimos años se vienen empleando en la estabilización de taludes con el uso de anclajes. Se viene desarrollando desde los años 80 en Suiza donde se utilizó red de cable de acero para la estabilización de los taludes.

En España se realizaron ensayos de laboratorio en la Universidad de Cantabria en la sección de Estructura 1993 donde se realizó el estudio sobre el análisis y diseño de los sistemas de estabilidad de taludes empleando redes de cables de acero combinadas con bullones activos o pasivos. En los años 90 se llevaron a la práctica los sistemas siendo aprovechados en zonas donde se presentan desplazamientos de gran magnitud, desarrollándose técnicas sobre sistemas flexibles combinados con anclajes pasivos; y en 1996 se emplearon los anclajes activos. Estos tratamientos se utilizan diferentes materiales pero presentan un trabajo parecido.

Figura 1-1 Uso de los anclajes

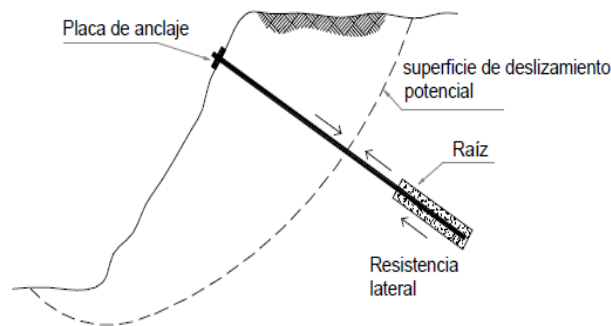


Fuente: PÉREZ, María Celeste (2004). Anclajes y sistemas de anclajes

1.4.1 ASPECTOS GENERALES DE LOS ANCLAJES

Los anclajes son elementos estructurales, los cuales son instalados en suelo o roca. Estos ayudan a transmitir una carga de tracción al suelo. El mecanismo de los anclajes consiste en transportar fuerzas de tracción que se generan en las inclusiones, hacia el suelo a través de la resistencia generada entre el anclaje y la raíz (figura 1-2).¹

Figura 1-2 Mecanismo básico de un anclaje



Fuente: PÉREZ, María Celeste (2004). Anclajes y sistemas de anclajes

Los anclajes están conformados:

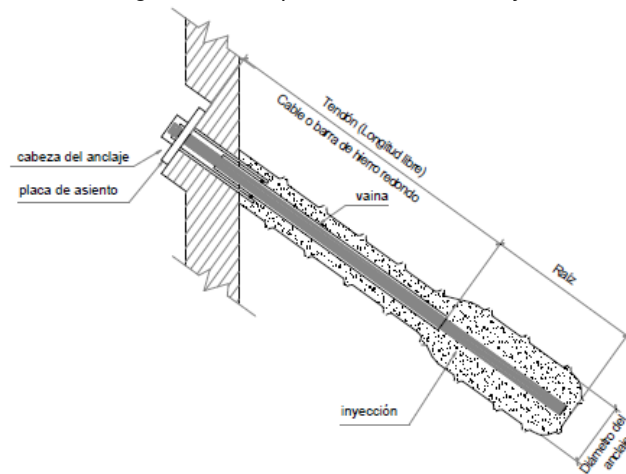
Por la cabeza del anclaje esta se ubica siempre en el exterior y está compuesta por la placa de apoyo y una tuerca. Tendón (longitud libre), es el que conecta la cabeza con la raíz. Raíz (longitud de adherencia). Se encuentra en el extremo del anclaje y es el que fija el macizo que lo rodea la raíz.² (Figura 1-3). Ya que la raíz es la parte que va a quedar dentro del suelo, evitando los movimientos del material este se debe ubicar en la parte de atrás de la superficie crítica de falla.

En el medio se encuentran anclajes como más elementos que el anterior. Es posible encontrar como los tendones los cuales se comprenden por los centralizadores, cable, tubo de inyección y separados.

¹ PÉREZ, María Celeste (2004). Anclajes y sistemas de anclajes. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad regional Bs. As. Página 4.

² PÉREZ, María Celeste (2004). Anclajes y sistemas de anclajes. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad regional Bs. As. Página 5, 6, 7.

Figura 1-3 Componentes de los anclajes

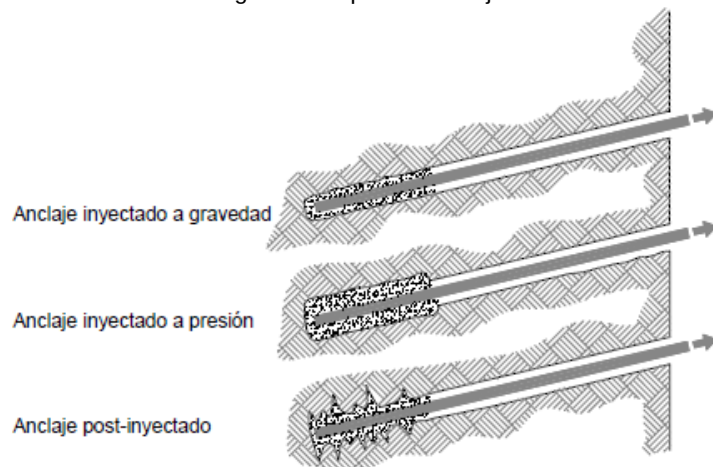


Fuente: PÉREZ, María Celeste (2004). Anclajes y sistemas de anclajes

Tipos de anclajes

En el medio encontramos 3 tipos de anclajes. Los anclajes inyectados a gravedad, anclajes inyectados a presión y los anclajes post-inyectados³ (figura1.4).

Figura 1-4 Tipos de anclajes



Fuente: PÉREZ, María Celeste (2004). Anclajes y sistemas de anclajes

³ PÉREZ, María Celeste (2004). Anclajes y sistemas de anclajes. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad regional Bs. As. Página 8.

Mecanismos e falla de los sistemas de anclajes

Un anclaje puede presentar falla cuando la carga excesivas que hace que disminuya la resistencia de las parte entre el anclaje y el suelo.

Entre los mecanismos posibles de falla de los anclajes se pueden presentar por: la tracción que aparece en el anclaje durante los ensayos de carga o sellado del anclaje. La secuencia de excavación. Sobrecargas debidas a materiales o equipos de construcción. Construcción de estructuras adyacentes⁴.

Las fallas de anclaje pueden presentarse por:

Falla en la masa del suelo se debe a cargas del anclaje. Falla en la interface suelo-inyección debido a que los anclajes movilizan la fricción lateral entre la raíz del anclaje y el suelo. Falla en la interface inyección- tendón ya que no se debe sobrepasar la adherencia entre la inyección y el tendón de acero; este presenta componentes como la adherencia propiamente dicha, la fricción y la trabazón o nervaduras. Falla en el tendón de acero debido a que cuando e l anclaje carga el tendón se fracciona y si la carga supera la capacidad del tendón este presenta falla inevitable.⁵

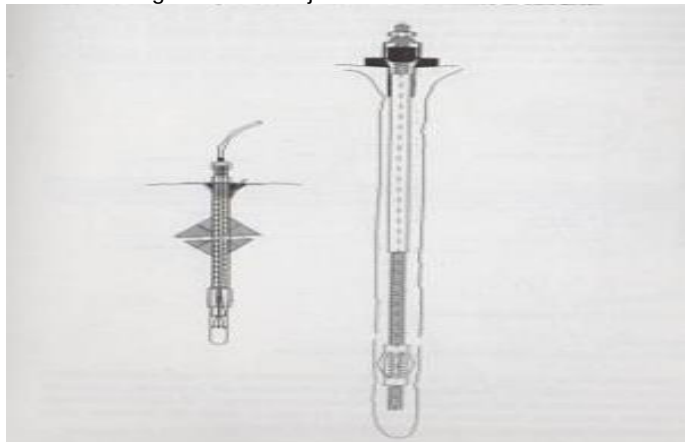
Estos sistemas de estabilización de taludes flexibles se pueden conformar con la implementación de mallas de alambre de acero al ser empleados y puestos en práctica son muy eficientes debido a que nos brindan un gran límite de elasticidad porque se toma como un sistema de estabilización eficiente y que cumple con las exigencias de varias clases terrenos y características de suelos especialmente en superficies de apoyo estable y duraderos (figura 1.5) .

Las estructuras ancladas incluyen los pernos metálicos utilizados para sostener bloques de roca, las estructuras con tendones pretensionados, anclados en el suelo y los tendones pasivos no pretensionados.

⁴ PÉREZ, María Celeste (2004). Anclajes y sistemas de anclajes. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad regional Bs. As. Página 9.

⁵ PÉREZ, María Celeste (2004). Anclajes y sistemas de anclajes. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad regional Bs. As. Página 10, 11.

Figura 1-5 Anclajes con Varillas de acero



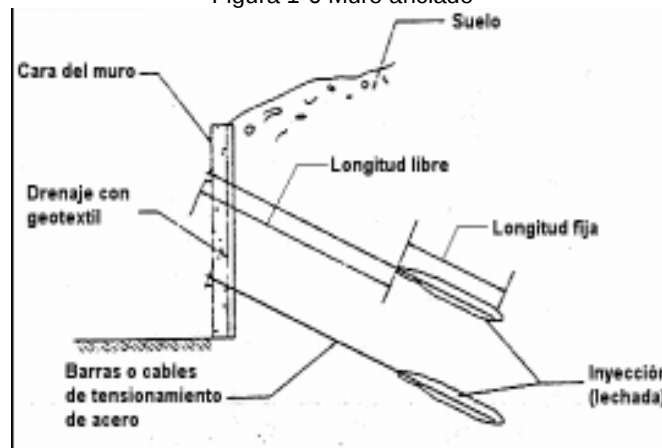
Fuente: SUAREZ DÍAZ. Jaime. Deslizamiento y Estabilización de Taludes en zonas Tropicales

En las obras lineales los taludes son elementos fundamentales para la selección de la estabilización. En la evaluación de los taludes y la afectación en las obras civiles es necesario contar con características como el material de los taludes que puede ser roca o suelo, las discontinuidades referente a planos de debilidad del suelo, la pendiente que presenta el talud, el recubrimiento del talud y otras características del talud. Estas características nos ayudan a identificar la presencia de inestabilidad, y así dar solución y estabilizar y disminuir los efectos que presentan.

Para las fallas de estos taludes se pueden aplicar estructuras de contención que ayuden a incrementar las fuerzas de resistencia correspondientes para ayudar a estabilizar las masas que presentan movimientos. Estas estructuras ayudan a controlar los deslizamientos que se puedan presentar en cualquier parte del talud. Para lograr la estabilización existen gran cantidad de sistemas de estabilización como pueden ser los muros anclados en tierra como elementos estructurales los cuales son introducidos en suelo o roca para restringir los movimientos (Figura 1.6). Un muro anclado está conformado por: acero preesforzado como barras, la longitud del anclaje que es el acero preesforzado que fija la parte inicial, longitud no anclada es el acero preesforzado que no se asegura y la cabecial de anclaje que está conformado por una tuerca plana y roscada que permite el preesfuerzo del acero.⁶

⁶ Grupo técnico. convenio 587 de 2013. Estudio e investigación del estado actual de las de la red nacional de carreteras. pág. 19

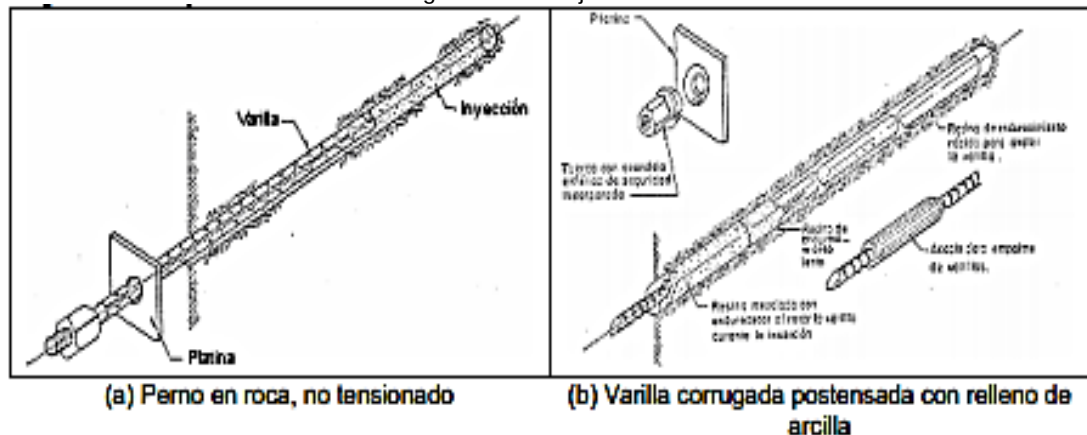
Figura 1-6 Muro anclado



Fuente: SUAREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamiento y Estabilización de Taludes en zonas Tropicales

También se pueden emplear los anclajes en rocas para controlar los deslizamientos para fijar masas de espesor moderado en este sistema podemos emplear anclajes pasivos los cuales están comprendidos por pernos en roca inyectada en la longitud total del anclaje. Para fijar bloques de tierra de suelos residuales que se pueden ser amarrados o asegurados con varillas, cables asegurados a pernos o anclajes.⁷ (Figura 1.7)

Figura 1-7 Anclajes en roca



Fuente: SUAREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamiento y Estabilización de Taludes en zonas Tropicales

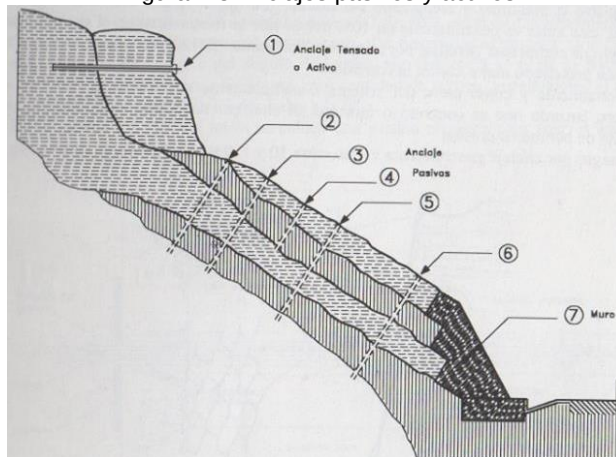
⁷ Estudio e Investigación del Estado Actual de la red Nacional de Carreteras – Grupo Técnico – Convenio 578 de 2013 – pág. 20

Los anclajes en roca se pueden realizar de distintas formas como: en dovela de concreto reforzado para evitar desprendimientos de roca en la resta del talud. Mallas de alambre galvanizado ancladas con pernos para evitar desprendimientos de masas. Anclajes tensionados para disminuir deslizamientos de roca fracturada. Y muro anclado deslizamientos en zonas sueltas, los cuales pueden ser pasivos o activos y son pretensionados o no.⁸ (figura 1-8)

El proceso constructivo de unos anclajes inicia con perforaciones con un tubo de revestimiento de 10 a 20 cm y con longitud de 3 metros, luego se introduce un barreno para que retire residuos y así enroscar otro tubo y nuevamente en barreno para completar la profundidad deseada, este debe cumplir con un correcto ángulo de inclinación. Con agua a perforación se limpia el hueco. Luego colocamos los tirantes en el hueco y se inyecta, mortero a presión hasta la zona de selle; el tirante se debe ensayar para verificar que cumpla con la especificaciones de diseño este se debe fijar con la carga de diseño superior en un 10% mayor que la fuerza del anclajes final.⁹

El diseño de anclajes se debe tener en cuenta algunas condiciones de falla para que aseguren su correcta funcionalidad como es la falla de tendón o varilla el cual debe limitarse al 50%, la falla de la unión entre el refuerzo y el cementante, falla de la unión cementante roca o cementante suelo la cual depende de las características del suelo o roca.¹⁰

Figura 1-8 Anclajes pasivos y activos



Fuente: SUAREZ DÍAZ. Jaime. Deslizamiento y Estabilización de Taludes en zonas Tropicales

⁸ SUAREZ DÍAZ. Jaime. Deslizamiento y Estabilización de Taludes en zonas Tropicales. pag. 518

⁹ SUAREZ DÍAZ. Jaime. Deslizamiento y Estabilización de Taludes en zonas Tropicales. pag. 521

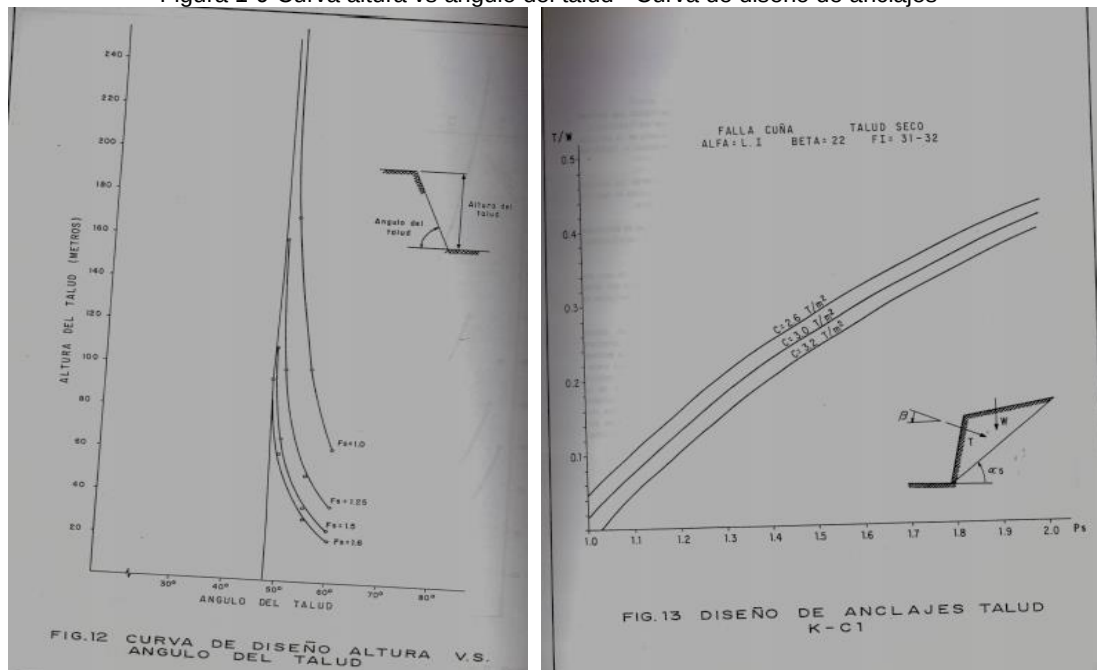
¹⁰ SUAREZ DÍAZ. Jaime. Deslizamiento y Estabilización de Taludes en zonas Tropicales. pag. 522

Para la construcción y emplear los sistemas de estabilización como son los anclajes ya sean en roca o en suelo debe cumplir con las características de diseño para lo que se hace necesaria la importancia de identificar las características del suelo presente en el terreno.

Kovari y Fritz crearon el método que permite escavar taludes empinados para los cuales se emplean los anclajes que ayudan a evaluar las tensiones que se necesitan en los anclajes para poder estabilizar las masas que presentan deslizamientos este método es conocido como cuña deslizante para lo que se tiene en cuenta las condiciones de equilibrio limite. Para este método se debe tener en cuenta característica como la inclinación y resistencia de los anclajes y del talud.¹¹ (figura 1-9).

Al identificar estas características de campo ayuda a graficar y así identificar las características de diseño de los anclajes que debemos emplear en el sitio de estudio para que sea estabilizado correctamente.

Figura 1-9 Curva altura vs ángulo del talud - Curva de diseño de anclajes



Fuente: GARCÍA NÚÑEZ Jesús. HERNÁNDEZ Félix. PEÑALOSA Fernando. VII Jornada de Geotecnia. Geotecnia en la infraestructura

¹¹ GARCÍA NÚÑEZ Jesús. HERNÁNDEZ Félix. PEÑALOSA Fernando. VII Jornada de Geotecnia. Geotecnia en la infraestructura. cap. Estabilidad de Taludes de altura Creciente en Roca. pág. 177

La estabilización de taludes se ha venido aplicando en los taludes presentes en zonas donde se encuentran líneas de obras civiles para poder estabilizarlos y así evitar o reducir la presencia de desprendimientos de masas que pueden ocasionar daños en estas obras civiles o perjudicar a las personas.

1.4.2 APLICACIONES DE LOS ANCLAJES

Debido a esto se ve la necesidad de estabilizar los taludes como se realiza la Autopista 63 en Canadá de dos vías está sobrecargada, por lo que se está ampliando la sección con dos vías adicionales desde el año 2006. En una sección de la Autopista se detectaron deslizamientos activos a largo plazo; el análisis geotécnico detectó una falla profunda en ambos lados de la autopista que debió ser estabilizada por muros anclados permanentes, debido a la pendiente empinada se decidió usar anclajes de cable con doble protección a la corrosión,. Los anclajes debieron ser instalados a través de tres zonas de roca suelta diferentes en la calcita predominante. Dado que las condiciones de suelo a lo largo de todo el muro de anclaje fueron muy heterogéneas y que la capa de calcita en el suelo varía hasta 7 m en altura, una determinación exacta de las longitudes de anclaje era muy difícil. Debido a la gran profundidad de la falla, se necesitaron anclajes muy largos con longitudes libres entre 16 y 31 m.

Primero, se instalaron los anclajes de cable en el lado este de la autopista. (foto 1.1). Después, se ejecutaron los trabajos de perforación e instalación en las tres filas de anclajes de suelo en el muro oeste. En total, se instalaron y ensayaron 578 anclajes de cable, 4-0.6" y 12-0.6", para este proyecto, los cuales se tesaron y fueron instalados en perforaciones de 225 mm de diámetro y tenían cargas admisibles entre 630 y 1.180 kN, para proteger los anclajes al terreno de la corrosión, se inyectaron posteriormente con cemento y se equiparon con caperuzas de anclaje en el extremo superior.¹²

¹² DSI, Dywidag sistemas International, www.dywidag-sistemas.com, La Autopista 63 en Canadá

Foto 1-1 Anclaje de cable



Fuente: www.dywdag-sistemas.com

También se emplearon anclajes en la estabilización de taludes en la construcción de la red de trenes de alta velocidad en el tramo Sotiello-Campomanes, el trayecto de 4,3 km de longitud forma parte de la nueva conexión entre Madrid y el Principado de Asturias, la región se ubica en un paisaje montañoso. 2,6 km del nuevo trazado discurren en vía única y 1,7 km de vía doble, dos túneles, también hay siete viaductos en el trayecto. Los trabajos de construcción entre Sotiello y Campomanes se realizaron entre julio 2009 y mayo 2010, y aún hoy la obra continúa debido a las dificultades orográficas.

Antes del comienzo de los trabajos de construcción, se constataron deslizamientos de taludes en la sección Sotiello-Campomanes que se intensificaron en tiempos de lluvia. Para evitar futuros deslizamientos de taludes en el área del nuevo trayecto, se excavaron un total de 19 pozos para drenar al área afectada. Además, se construyó una pantalla de pilotes para estabilizar la excavación (foto 1-2). A continuación, la pantalla de pilotes se ancló con cuatro filas de anclaje. Se usaron 310 anclajes de cable permanentes, tipo 10x0,6", en longitudes hasta 52 m y con una longitud total de aproximadamente 10.000 m, que se instalaron a una distancias de 1,25 m entre ellos. ¹³

¹³ DSI, Dywidag sistemas International, www.dywdag-sistemas.com, Trazado de Trenes de Alta Velocidad en España

Foto 1-2 Pantalla de pilotes asegurada con anclajes



Fuente: www.dywdag-sistemas.com

Los anclajes como se pudo observar anteriormente también son combinados con otros métodos de estabilización como en este caso las pantallas de pilotes para dar una mayor consistencia del suelo, por eso es la importancia de estudiar e identificar bien las características de inestabilidad que presenten los taludes para así poder identificar el sistema de estabilización más adecuado para estos terrenos o para ver el grado de peligro que presentan y así realizar el diseño de estabilización.

Ahora podemos observar otro caso de estabilización de los taludes el cual se realizó en el pueblo Trabadelo está rodeado por montañas con taludes de pendientes muy pronunciadas con altitudes entre 100 y 150 m. En Febrero 2009 hubo desprendimientos de gran consideración, el talud de mayor altura se deslizó a la altura de algunas estructuras y entrada de túneles de la autopista A6. La autopista A6 tuvo que ser inmediatamente cortada por completo en un tramo de 5 km.. Como consecuencia del deslizamiento, se tomaron medidas de seguridad para estabilizar los taludes; los trabajos se culminaron en 16 meses. El talud fue escalonado para posibilitar un drenaje más fácil, se estabilizaron taludes especialmente inclinados con muros pantalla anclados en un área de 2.150 m². (foto 1-3). Por eso, se instalaron 12.300 m de anclajes permanentes activos en las pantallas y se tesaron a una carga de 120 t. DSC suministró 900 anclajes permanentes, tipo 8x0.6".¹⁴ Aquí podemos ver otro método de estabilización para el cual también se emplean anclajes el cual han sido muy eficiente.

¹⁴ DSI, Dywidag sistemas International, www.dywdag-sistemas.com, el Camino de Santiago en España

Foto 1-3 Pantallas aseguradas con anclajes



Fuente: www.dywdag-sistemas.com

También se emplearon anclajes en la estabilización de un talud en la ciudad Perth en Escocia, en barrios un talud con mucha pendiente al borde de la construcción tenía que debía ser estabilizado antes del inicio de obra. Para ese proyecto, se suministró 800 anclajes auto perforantes huecos galvanizados del tipo R32N. Los anclajes auto perforantes fueron instalados en longitudes de 6-12 m. ¹⁵ (foto 1.4).

Foto 1-4 Anclajes auto perforantes huecos



Fuente: www.dywdag-sistemas.com

¹⁵ DSI, Dywidag sistemas International, www.dywdag-sistemas.com, Estabilización con Anclajes Auto perforantes Huecos en Perth en Escocia

En Colombia se realizó el proyecto de la Mayor central hidroeléctrica, Hidroituango. La propuesta se presentó en el año de 2010 sobre la central hidroeléctrica de Colombia “Hidroituango”. Se ubicara cerca de la población Ituango, aproximadamente 171 Km al norte de Medellín. Entrará en operación a mediados de 2019. Para el proyecto se está construyendo un embalse de 79 Km de longitud con una capacidad de 2720 millones de m³ y un muro de presa de 225 m de altitud. La primera parte del proyecto mayor incluía trabajos en diferentes vías de acceso y la construcción de la infraestructura para poder alcanzar el dique mayor y los túneles para la central hidroeléctrica. En esta área, se instalaron las barras auto perforantes, Ø R 32 y R 38, en combinación con concreto lanzado y mallas para estabilizar varios taludes (foto 1.5). La aplicación del sistema auto perforante para estabilizar un área cerca del rio puesto en riesgo por altos caudales de agua constituyo un desafío especial.¹⁶

Foto 1-5 Barras auto perforantes



Fuente: www.dywdag-sistemas.com

De acuerdo a los proyectos de la empresa de Dywidag-systems international, que han realizado en diferentes lugares del mundo se puede observar que el uso de anclajes como método de estabilización han sido muy eficientes. Estos han dado excelente resultado respecto a la inestabilidad de los taludes presente en túneles, vías y en la creación del embalse.

Los movimientos y desprendimientos de masas en taludes y ladera que se puedan presentar a futuro presentes en embalse se pueden disminuir con la implementación y uso de barras auto perforantes con concreto lanzado y mallas.

¹⁶ DSI, Dywidag sistemas International, www.dywdag-sistemas.com, Mayor Central hidroeléctrica, Hidroituango, Colombia

Debido a que un embalse presenta alto riesgo por los altos caudales de agua que se van a manejar.

Así pues, una de las causas de la inestabilidad de los taludes se presenta por aspectos ecológicos y a la manipulación e interrupción humana con el fin de crear nuevos proyectos como vías, túneles, embalses y demás. Para lo que es necesaria la creación de alternativas que mejoren y ayuden a controlar desastres causados por derrumbes y demás movimientos de tierra. Retribuyéndole el servicio a la naturaleza se puede realizar un equilibrio ecológico, en el que busquemos el bien del ser humano y el de la naturaleza.

Según el periódico Boyacá 7 días del día 7 de julio del año 2014 muestra la importancia de tomar acciones para prevenir deslizamientos como los presentados en las veredas Siraquira y Centro de Boyacá localizadas en el municipio de Boyacá. Los habitantes de estas veredas han reclamado que se debe proteger los derechos fundamentales y colectivos causados por la sobresaturación de la capa vegetal a causa principalmente de las lluvias, el exceso y el mal manejo del agua. Estos deslizamientos pueden traer graves consecuencias como el taponamiento de la red de acueducto y alcantarillado, la caída total de la banca vial y la deforestación de bosque nativo como consecuencia de las avalanchas producidas.¹⁷

La saturación en el suelo y más específicamente en terrenos montañosos que se encuentran cerca de corrientes de agua. Presentan una gran cantidad de riesgo de presentar un porcentaje de infiltración de agua en el suelo. Lo que hace que ese terreno presente movimiento e inestabilidad de más. Si cerca se encuentran obras civiles que ayuden en el desarrollo y progreso de las comunidades estas se verán afectadas debido a este problema.

Debido a esto se ve la necesidad de crear y emplear sistemas de estabilización para controlar los movimientos que se presentan. Los anclajes nos ayudan a darle solución a los problemas de derrumbes y desprendimientos de masas de terrenos. De acuerdo a esto podemos resaltar la importancia que tiene estabilizar las zonas más desfavorables y con mayor probabilidad de falla. En caso de los deslizamientos de tierra se busca encontrar formas efectivas que ayuden a contrarrestar la fuerza que ejerce la masa inestable de los taludes.

El Sistema Flexible Pentifix® Active y el Sistema Tecco Mesh G-65 (S), en dos variantes, el S-15 Pasivo con soporte de 15 kN/m², y el S-30 a S-55 Activo, con soportes entre 30 y 55 kN/m². El primero se utilizó en la estabilización de un talud

¹⁷ Periódico Boyacá 7 días, 7 de Julio de 2014

de desmonte en la Autovía del Cantábrico A-8, en el Tramo Llanes-Llovio (Desmonte de San Antolín); y el segundo en el desmonte ubicado en los accesos a un túnel en la Autovía del Noroeste A-6, Tramo Villafranca del Bierzo-Ambasmestas (PK 706+400).¹⁸(foto 1-6)

Foto 1-6 Sistema Tecco Mesh G-65



Fuente: www.dywdag-sistemas.com

¹⁸ www.interempresas.net; Sistemas flexibles de sostenimiento para la estabilización; Juan Antonio Torres Vila, Julio Prieto Fernández; con redes de cables de acero.

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO DE MODELACIÓN

2.1 DISEÑO DEL EQUIPO DE LABORATORIO

A través de muchos años, la ingeniería ha buscado procedimientos para poder predecir y/o proyectar el comportamiento que pueden tener muchas de las estructuras en suelo utilizadas en el medio. Este proceso de proyección se ha valido de una herramienta que se ha vuelto muy indispensable como es el uso de los modelos.

En la actualidad en nuestro país es relativamente reciente el uso de modelos reducidos para el estudio de las estructuras de ingeniería civil. Es por eso que aún no se encuentran publicaciones que sean de fácil adquisición e incluso que todavía no se han investigado. Por lo tanto se inició un proceso investigativo en donde se comienzan a hacer evaluaciones de las posibles situaciones que pueden presentarse en el estudio de los taludes utilizando anclajes como refuerzo.

2.1.1 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LOS MODELOS.

En primer lugar cabe destacar que el proceso de modelación es hasta cierto punto un proceso complejo ya que son muchas las variables que influyen en su realización, puesto que simular en un modelo las condiciones que se presentan en la realidad, se necesita de pericia, imaginación, conocimiento y habilidad por parte del constructor del modelo, para que así mismo éste llegue a ser representativo de las condiciones que se pretenden simular. Entre algunos de los factores que hacen el proceso de modelación, un método algo complicado, está la resistencia de los materiales, el tamaño, la forma, las limitaciones en la escogencia de los elementos constitutivos, procesos constructivos entre otros. La complejidad del modelo depende de la precisión y la exactitud con la que se quiera obtener información ya que pueden haber modelos de tipo cualitativo en donde solo se pueda apreciar un comportamiento físico, como los que hay de tipo cualitativo-cuantitativo que son los que permiten obtener un mayor y mejor provecho, ya que con la información que se recopile se podrán conseguir mejores diseños de las estructuras reales y facilita a los diseñadores poder crear obras con diseños más versátiles y muy bien refinados de alta calidad y estética.

Los procesos de modelación han empezado a tener una gran aceptación por parte de los ingenieros diseñadores ya que se han podido realizar obras que pueden

presentar un mayor grado de confiabilidad, seguridad e incluso economía y esto ha hecho que en muchos países, antes de la realización de obras de ingeniería de determinada magnitud, es obligatorio el estudio de las estructuras en base a modelos reducidos donde se pueda verificar el comportamiento en forma muy aproximada al que se puede presentar en el tipo de obra a realizar. En algunos países desarrollados el proceso de modelamiento es tan perfecto y controlado con sistemas de medición de alta precisión que incluso se puede predecir con un alto grado de confiabilidad y en forma cuantitativa los valores de cargas, asentamientos, deflexiones, fuerzas, etc., y en general las múltiples variables que se pueden estudiar en las estructuras reales.

2.1.2 LINEAMIENTOS USADOS PARA EL DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA MÁQUINA PARA FALLA DE LOS MODELOS.

Dentro de las bases teóricas definitivas que se tuvieron en cuenta para la realización de los modelos de mayor precisión como los que se presentarán más adelante, el autor se basó en varios conceptos y principios generales tanto constructivos como geotécnicos.

Sistema de medición de la carga aplicada. El modelo que se realice, deberá contar con algún sistema que permita controlar cuánta carga tiene aplicada en algún momento determinado, en lo posible con mucha exactitud y así poder tener una concepción real de lo que se está haciendo.

Control de deformaciones. El sistema está provisto de mecanismos que permitan cuantificar el valor de las deformaciones y/o asentamientos que se van presentando a medida que se aplican las cargas.

Aplicación de la carga. Los mecanismos de los cuales debe estar provisto el modelo, deben permitir que se puedan aplicar cargas en forma vertical, lenta y/o rápida, progresiva y de tal forma que se pueda tener un perfecto control. Para esto se utilizó un sistema de corona –sinfín de lata capacidad de torque el cual se ensambla para tal fin.

Facilidad de armado y desarmado de los sistemas de carga. El modelo debe presentar un diseño que permita el arme y desarme de los mecanismos, de tal forma que éstos procedimientos sean accesibles para el usuario interesado en realizar algún ensayo.

Sencillez en la colocación de las muestras. La colocación de los modelos debe ser de gran facilidad de montaje y desmontaje de tal forma que ésta no se altere durante el proceso de colocación.

Libertad de desplazamiento del suelo. El sistema que se diseñe debe estar provisto de tal forma que permita libertad de deformación del suelo en el sentido en el que se diseñe, como también control en el desplazamiento en el sentido que no se requiera.

Resistencia. El material que se utilice en el modelo debe ser resistente a la aplicación de la carga que se le aplique, sin presentar deterioro o colapso, de tal forma que permita la realización de un considerable número de ensayos antes del primer mantenimiento o reparación.

Durabilidad. El modelo que se realice debe ser durable de tal forma que debe estar compuesto de materiales que no se deterioren con facilidad y que sean durables a través del tiempo. Por lo tanto se decidió construir en materiales metálicos con perfiles en canal tipo americano de 4 pulgadas de altura. Estos fueron utilizados tanto en las vigas como en las columnas.

Facilidad de observación. El modelo debe permitir la observación de lo que ocurre durante el procedimiento de carga e incluso se puede implementar un dispositivo para el registro de los fenómenos ocurridos durante el proceso. Por lo tanto se decidió utilizar vidrio semi-templado de 2cm de espesor y de alta capacidad a la flexión

Economía. Las muestras que utilicen en el modelo deben ser de fácil adquisición, colocación y que no impliquen gastos considerables o que se necesiten materiales de difícil consecución que impidan la realización de los ensayos.

Determinación de la densidad. El modelo debe estar diseñado de tal manera que permita calcularse la densidad en forma muy aproximada ya que éste es un valor de mucha relevancia en la falla de las muestras.

Deformabilidad. Al realizar ensayos en los modelos, los sistemas de carga como los de soporte donde se introduzca el modelo, deben presentar baja o casi nula deformación para así impedir la toma de datos errados y que por tal motivo se realicen malas apreciaciones.

Investigativo. El sistema debe permitir el uso de varias condiciones de carga tanto en dimensiones como en formas, lugar de aplicación y otras circunstancias que permitan sacar variadas conclusiones relevantes.

Portabilidad. Todos los componentes de que esté provisto el sistema deben ser de fácil desarme para así mismo poderlos trasladar con relativa facilidad.

Desplazamiento del sistema de carga hasta los posibles puntos de falla. El sistema diseñado debe permitir que en el momento en que se desplacen los sistemas de carga, el suelo ensayado pueda llegar hasta la falla.

Otros. En la realización de los ensayos en los modelos se puede llevar el control de algunos parámetros geotécnicos que no están relacionados directamente con él, como son por ejemplo la humedad, ángulo de fricción, cohesión, entre otros; que serán obtenidos a través de procedimientos universalmente estandarizados y que en ningún momento son hallados o calculados por los instrumentos de la máquina.

2.1.3 INSTRUMENTACIÓN DE LOS MODELOS

Los modelos realizados contaron con sistemas de medición que permiten cuantificar valores y así poder tener una idea clara de lo que se está controlando. Dentro de las variables que se tuvieron en cuenta para la realización de los ensayos, se controlaron las siguientes:

Humedad. Para el cálculo de la humedad se realizó tomando una muestra del suelo fallado en el modelo una vez terminado el ensayo y se procedió a trasladarla a las instalaciones de la universidad, guardándola en un termo debidamente protegido del calor y los rayos solares, para evitar que varíe su magnitud en el tiempo que dure su traslado. La humedad es un valor de gran importancia en los ensayos que se realizaron ya que están relacionados directamente con los valores

de carga-asentamiento que se obtienen durante el proceso de falla de las muestras.

Densidad. Como es sabido, el valor con que esté densificado un suelo influye directamente sobre su capacidad de soporte. Es por eso que fue indispensable calcular su valor para el desarrollo del proyecto. Para encontrar este valor se procedió a hallar los valores de volumen y peso del suelo usado. Este valor de densidad es un parámetro geotécnico que puede ser controlable en el modelo antes de iniciar cualquier ensayo.

Para densificar las muestras de suelo, se dividió el modelo en capas en donde para cada capa del suelo se dio un determinado número de pasadas procurando aplicar la misma energía de caída durante cada golpe y así poder obtener una compactación uniforme.

Calculo del volumen. El cálculo del volumen del modelo se realizó conociendo las dimensiones geométricas de la caja de almacenamiento de los modelos, las cuales eran de fácil obtención. Para evitar que el volumen del modelo en algún momento se viera deteriorado, el sistema está provisto de elementos que evitan que haya deformabilidad del modelo en el sentido que se requiera.

Calculo del peso. Para llevar a cabo el valor del cálculo del peso del modelo, el cual es indispensable para el cálculo de la densidad, se hizo necesario buscar mecanismos de acuerdo con el modelo realizado.

2.1.4 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE LOS MODELOS Y DE LAS MAQUINAS

En la fabricación de los modelos tanto para la máquina que se describirán más adelante, fue indispensable el uso de algunas herramientas y equipos para su realización, entre ellos encontramos principalmente las siguientes: en la foto 2.1 se observan las herramientas y equipos utilizados en la fabricación de las máquinas y los modelos.

Foto 2-1 herramientas utilizadas en la construcción de la maquina



Fuente: Autor

- Equipo de soldadura. Marca Lincoln Electric con un amperaje máximo de 220 Amp., corriente de entrada 110V - 220V; referencia AC 225 GLM.
- Prensa para metales. Prensa de alto agarre y de tamaño No 5,
- Pulidora. Marca Scryperles la cual tiene una velocidad de operación de 8500 r.p.m., tipo profesional que utiliza un disco de 7" para cortar y pulir.
- Caladora. Marca Jaguar Tram de 8500 r.p.m.
- Taladros. El primero de ellos es un taladro de baja capacidad y de alta revolución de marca Black & Decker con una velocidad de operación de 2400 r.p.m., y diámetro 5/64" hasta 3/8". El segundo aparato es un taladro de alta capacidad y baja revolución marca Black & Decker con una velocidad de operación de 0-900 r.p.m., tipo profesional.

- Soldadura. La soldadura utilizada fue principalmente E6013, diámetro 1/8" y E6013 de diámetro 5/64". Llaves y copas. Varían comúnmente entre diámetros de 3/8" hasta 3/4".
- Brocas. Brocas con diámetros entre 1/8" hasta 1/2".
- Equipos de seguridad industrial. Elementos de seguridad industrial necesarios, como caretas, guantes, gafas de protección, tapa-oidos, tapabocas
- Esta máquina se desarrolló debido a la necesidad que se tuvo de poder fallar suelos en condiciones de placas de grandes dimensiones, ya sea con suelo sin reforzar como en condiciones de suelo reforzado.

Para llevar a cabo su diseño, se basó en el dimensionamiento favorable construida en una estructura metálica en donde se usó una infraestructura de considerable magnitud y que además cumple con todas las bases teóricas descritas anteriormente, ya que permite:

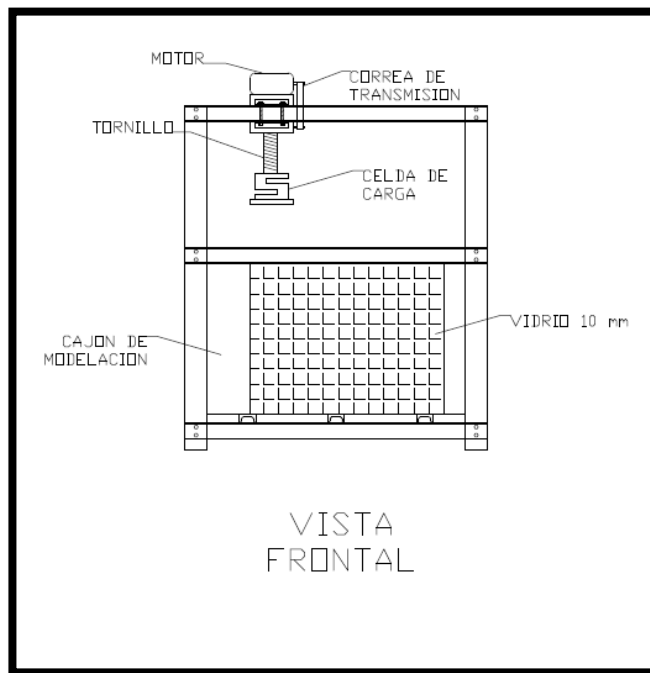
- Medir la cantidad de carga aplicada
- Medir deformaciones del suelo, a través del proceso de carga.
- Contiene mecanismos para aplicación de la carga
- Es de fácil armado y desarmado.
- Presenta sencillez en la armada de los modelos.
- Permite que el suelo se desplace en la dirección que se requiere.
- Presenta alta resistencia ante la aplicación de las cargas.
- Es una estructura metálica resistente a las cargas que se les imponga.
- Es durable
- Permite la observación de lo que ocurre en los modelos durante el proceso de carga.
- Es relativamente económica la realización de los ensayos.
- Permite calcular la densidad de forma muy aproximada.
- Gracias a que permite adecuarse a varias dimensiones, lo convierte en un mecanismo de alto poder de investigación debido a que es una estructura atornillada de fácil armado y desarmado, se convierte en una maquina portátil y de fácil traslado.
- Las líneas de falla que se generan al aplicar las cargas, no se cortan con el modelo, evitando así la toma de datos cerrados.

2.1.5 ELEMENTOS DE DISEÑO

Carro deslizante. Este carro está ubicado en la parte superior del modelo, permitiendo deslizarse a través de toda la máquina. Está compuesta principalmente una Placa maciza de apoyo, soporte de ajuste y bases atornilladas.

Vigas de soporte: Son 4 vigas principales metálicas tipo canal de dimensiones 100 mm * 40 mm * 6.3 mm, las cuales trabajan por esfuerzos de flexión en los centros de su longitud y a cortante en sus extremos. Estas vigas se encuentran unidas a la maquina mediante conexiones atornilladas con diámetro de ½" (figura 2.1) estas vigas presentan una longitudes de 1.40 m y de 0.50 m.

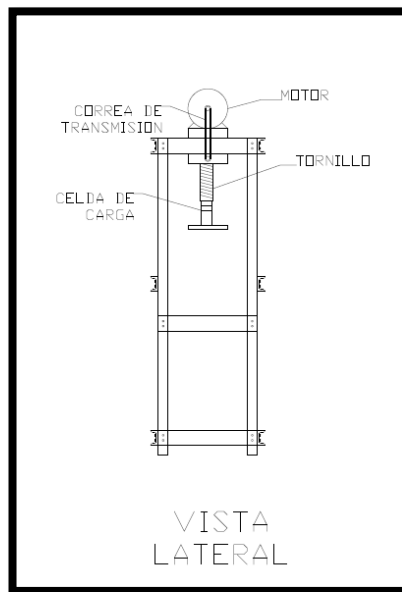
Figura 2-1 Vista frontal maquina



Fuente: Autor

Columnas. La máquina de alta capacidad, está compuesta por cuatro columnas metálicas que están diseñadas para trabajar principalmente las fuerzas de tensión. Estas columnas están compuestas por vigas principales metálicas tipo canal de dimensiones 100 mm * 40 mm * 6.3 mm que son los que se encuentran en la parte posterior de la máquina (figura 2.2) con longitud de 1.60 m.

Figura 2-2 Vista lateral Maquina



Fuente: Autor

Tornillos. Los tornillos utilizados en la estructura fueron principalmente de tres tipos. Tornillos de alta resistencia (24) (diámetro 1/2" grado 8, marca Caterpillar, resistencia al corte $V = 15$ tons), tornillos de baja resistencia, de diámetros 3/8" y 1/4".

Sistema de aplicación de cargas. Se utilizó un sistema corona sinfín de alta capacidad de torque por encima y tiene un desplazamiento de hasta 60cm el cual es suficiente para llevar hasta la falla innumerables modelos.

Soportes para deformímetros. La máquina está dispuesta con soportes para la colocación de deformímetros y así poder tener un control de los valores de la carga aplicada, como de los valores de deformación.

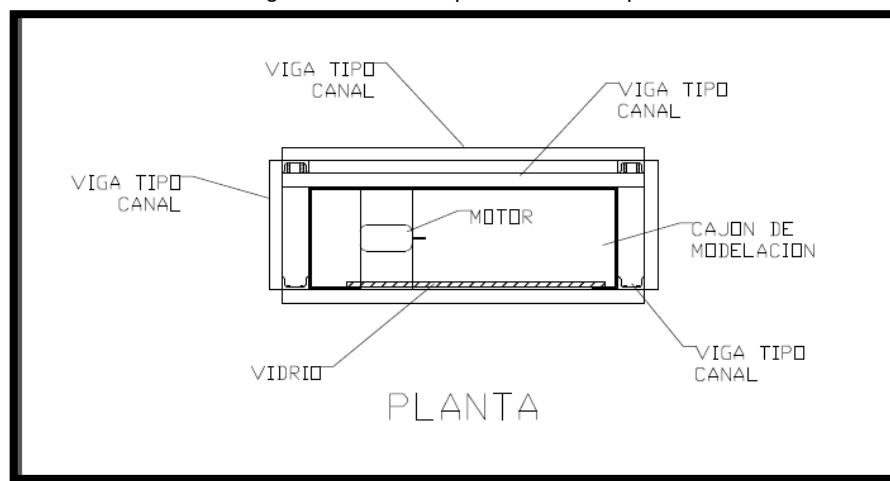
Deformación. El equipo de acuerdo al modelo generado está provista de medición de deformaciones con regleta graduada al milímetro sin embargo es posible localizar sistema de medición de alta precisión.

Riostras laterales. El mecanismo del que se ha discutido, posee cuatro riostras laterales los cuales controlan la deformación transversal.

Placas de carga. En el equipo se pueden disponer múltiples tipos de placas. Estas placas están dadas actualmente en dimensiones 11cm por 37.5cm; sin embargo es factible la colocación de variadas taños y formas.

Cajón de almacenamiento del modelo. Esta cajón está construido en lámina metálica calibre 16 en una de sus caras y reforzada con vigas laterales tipo canal y en la otra cara, la maquina esta provista de una placa de vidrio de alta resistencia (figura 2.3) que presenta una dimensiones de 0.70 de alto, 0.39 de ancho y 1.17 m de largo.

Figura 2-3 Vista en planta de la maquina



Fuente: Autor

2.2 CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO DE LABORATORIO

Para esto fue necesaria la adecuación del equipo de modelación el cual se encuentra basado en un diseño original y adecuado por el autor.

Se realizó la construcción de la máquina para la cual se necesitó tomar medidas y recortar perfiles para construir la estructura. Se empleó una lámina para el cajón donde se ubican los taludes. Se empleó un motor de 1200 rpm y poleas de diferentes pulgadas lo que ayudó a que el tornillo presentara un movimiento lento y la aplicación de la carga en el talud fuera lenta y constante. Para lo que se hizo necesario emplear equipos convenientes para realizar la construcción.

Se realizó la medición correspondiente a cada perfil y elementos necesarios en la construcción de equipo. Se cortaron las piezas suficientes para la construcción de las piezas de la maquina (foto 2.2).

Foto 2-2 Medición y corte de perfiles



Fuente: Autor

Se le realizan procesos de mecanizado que ayude en la perforación de los huecos necesarios con ayuda de un taladro, a cada uno de los perfiles para poder armar la estructura de la maquina (foto 2.3).

Foto 2-3 Taladrando los perfiles



Fuente: Autor

Después de tener todos los elementos y piezas necesarias. Se procedió con la construcción y unión de cada una de las partes para el armado final del marco para sostener los elementos de carga (foto 2.4).

Foto 2-4 Construcción del marco



Fuente: Autor

Para la construcción del cajón donde se modelaron los taludes. Se realizó la medición y corte de la lámina ubicada dentro del marco de la máquina para completar el cajo donde se armaron los taludes y fueron sometidos a procesos de carga (foto 2.5).

Foto 2-5 Medición y corte de la lámina para el cajón



Fuente: Autor

Se realizo la construcción de la caja donde se ubicaron los engranajes correspondientes al sistema de aplicación de la carga (foto 2.6).

Foto 2-6 Construcción de la caja de engranajes



Fuente: Autor

Caja de engranajes que permite transformar el movimiento rotacional de el motor a movimiento vertical. El cual permite el desplazamiento de la carga (figura 2.7). Para esto se construyó un sistema de poleas y engranajes interconectados y propulsados con un motor eléctrico.

Foto 2-7 Caja de engranajes



Fuente: Autor

Tornillo el cual permite la ubicación de la carga sobre el talud debido a que ejerce fuerza vertical (foto 2.8).

Foto 2-8 Tornillo



Fuente: Autor

Sistema para evitar la rotación del tornillo la cuales se contó con una cuña la cual fue ubicada en la ranura que presenta el tornillo lo que evita que el tornillo se salte cambie de movimiento (foto 2.9).

Foto 2-9 sistema de cuña para transformación de la rotación en carga axila



Fuente: Autor

Después de tener todas las partes de la maquina listas y pintadas se armó en el laboratorio de la universidad para poder realizar los las modelaciones correspondientes de los taludes. (Foto 2.10)

Foto 2-10 Armado final de la maquina



Fuente: Autor

El equipo con un sistema de cajón con dimensiones de 1.20 m de largo, 39.6 cm de ancho y con altura de modelo máxima de 70 cm.

La polea y la correa nos ayudaron a que el motor les transmita fuerza y así logren que el tornillo se desplace verticalmente y se cumpla el proceso de carga sobre el talud (foto 2.11).

Foto 2-11 Sistema de transmisión mediante el uso de Polea y correa



Fuente: Autor

1. Se realizo la conexión correspondiente para el funcionamiento del motor electrico adecuando instalaciones electricas dentro del laboratorio de la universidad. (foto 2.12)

Foto 2-12 Conexión eléctrica del motor



Fuente: Autor

2. Vista posterior del motor empleado para realizar el proceso de carga el cual transmite la energia de rotacion en desplazamiento vertical. Esta carga se aplica mediante un tornillo debidamente maquinado y con alta capacidad de carga. (foto 2.13)

Foto 2-13 Motor eléctrico. Permite el desplazamiento del tornillo



Fuente: Autor

2.3 CONSTRUCCIÓN DE LOS ANCLAJES EMPLEADOS COMO SISTEMA DE REFUERZO

Se realizó la construcción de los anclajes empleados como sistema de estabilización del suelo. Se emplearon tuercas y arandelas para la parte de la raíz de los anclajes. La varilla roscada hace parte del tendón de los anclajes y se usó una placa y un tornillo para la parte de la cabeza del anclaje. Se construyeron anclajes de 50 cm y anclajes de 30 cm para poder identificar y conocer el comportamiento que estos presentan al ser empleados.

Se maquinó la varilla roscada para preparar las probetas de los anclajes. Para realizar el laboratorio de tracción y así caracterizar el material empleado como sistema de estabilización (foto 2.14).

Foto 2-14 Mecanizado y arreglo de probetas de acero



Fuente: Autor

En la foto 2.15 se puede observar las probetas preparadas para la realización de las pruebas de tracción en la máquina universal las cuales garantizaron la rigidez de las mismas

Foto 2-15 Probetas mecanizadas y listas para prueba de tracción



Fuente: Autor

Para la fabricación de los anclajes se llevó a cabo procedimientos de medición y corte de las varillas roscadas empleadas como anclajes. Estas fueron cortadas con longitudes de 30 cm (anclajes cortos) y de 50 cm (anclajes largos). (Foto 2.16).

Foto 2-16 Medición y corte del tendón del anclaje



Fuente: Autor

Para poder generar un desarrollo en el bulbo de anclajes se utilizó una serie de arandelas y tuercas las cuales presentaron una longitud de 10 cm para los anclajes cortos y de 30 cm para los anclajes largos (foto 2.17). En la construcción y ubicación de las tuercas y arandelas se siguió un patrón de dos tuercas un anclaje, aunque al inicio y al final se coloca solo una tuerca.

Foto 2-17 Construcción de la raíz del anclaje



Fuente: Autor

Para la cabeza de los anclajes se emplearon placas cuadradas de 4 cm de lado las cuales se apoyaron con la ayuda de una tuerca generando una carga aproximada de 15 kg por anclaje. (Foto 2.18)

Foto 2-18 (cabeza del anclaje) Placa de asiento y tuerca



Fuente: Autor

En la foto 2.19 se puede apreciar la conformación definitiva para cada uno de los anclajes utilizados en la conformación de los modelos.

Foto 2-19 Anclajes Listos para los modelos de taludes



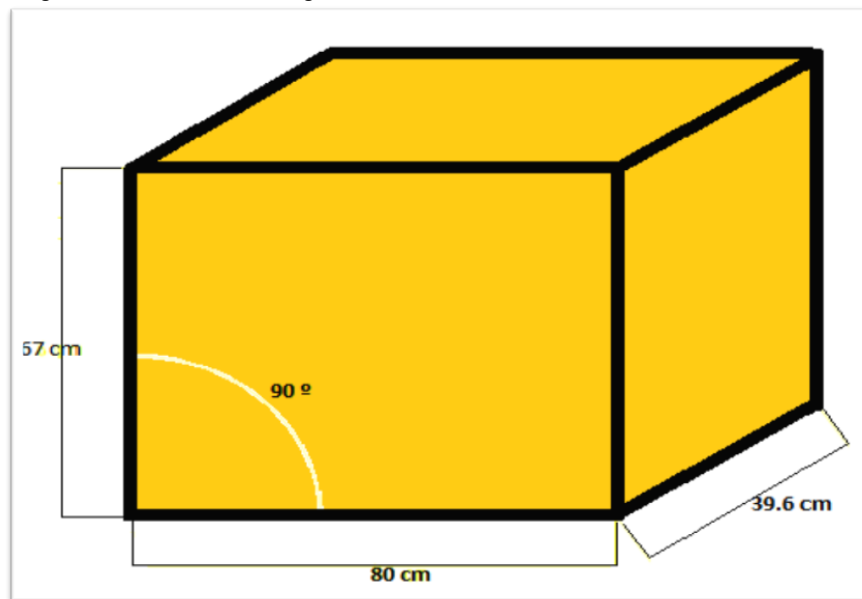
Fuente: Autor

3. CAPITULO: MODELACIÓN FÍSICA DE TALUDES EN ARENA

Para llevar a cabo el proceso de modelación se construyó inicialmente un modelo sin ningún tipo de refuerzo. El cual permitió decidir e identificar las características de los anclajes empleados en la estabilización del suelo. Debido a las características presentadas por la falla en el talud se decidió aplicar refuerzos de 2; 4 y 6 anclajes con dos longitudes de anclaje de 30 cm los anclajes cortos y de 50 cm los anclajes largos. Esto teniendo en cuenta que se interceptara la superficie potencial de falla evidenciando un trabajo favorable en los anclajes.

Para cada una de las pruebas se controlaron variables como la humedad, cantidad de golpes realizados por capa y la altura de caída del martillo; con el cual se compactó el suelo arenoso. Para definir una compactación estándar para todos los diseños de talud se asignaron 100 golpes por cada baldado de material, controlando el peso y de esta manera controlar el valor del peso unitario del material. Los taludes se diseñaron con las mismas características geométricas y de esta manera identificar los mecanismos de falla presentados una vez instalados los anclajes. (Figura 3.1).

Figura 3-1 Características geométricas de los modelos de taludes conformados



Fuente: Autor

El martillo empleado en la compactación del suelo presentaba un peso de 2.08 kg para el cual se le asignó una altura de caída de 15 cm, esta altura se aplicó en la construcción de todos y cada uno de los taludes (Foto 3.1).

Foto 3-1 Martillo compactador de suelo



Fuente: Autor

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS

Se realizó la caracterización los materiales empleados en las pruebas como a la arena y a los anclajes. Se decidió trabajar con suelo granular arenoso obtenida en el alto del moral de Tunja (foto 3.2).

Foto 3-2 Suelo granular arenoso



Fuente: Autor

Dentro de los ensayos de clasificación realizados se encuentran los de humedad, granulometría con lavado, peso unitario, masa unitaria, absorción y gravedad específica. Como ensayos de resistencia se tuvo como base la prueba de corte directo y proctor estándar como ensayo de compactación .

3.1.1 HUMEDAD

Se determinaron los valores de humedad teniendo en cuenta las recomendaciones que se presentan en la norma del INVIAS E-122. Esta norma hace referencia a los procedimientos para el cálculo del contenido de humedad presente en un material. En la realización de los ensayos de humedad del material se emplearon elementos como la balanza, hornos de secado y platones en el lugar del sitio en el cual se realizaron los diseños. (foto3.3)

En base al ensayo de laboratorio de proctor estándar se encontró que la humedad óptima del suelo es de 5.8% para una compactación óptima.

Foto 3-3 Muestras para humedad



Fuente: Autor

Se tomaron 5 muestras de material para el cálculo de la humedad y en las cuales podemos observar que en dos casos la humedad presente en el material superó la humedad óptima del suelo (tabla 3.1)

Tabla 3-1 Porcentajes de humedad

MUESTRA	PROF. (m)	W Cáp.(g)	W Cáp. + Mh (g)	W Cáp. + Ms (g)	HUMEDAD (%)
1	0.00	37.80	218.40	210.70	4.45
2	0.00	39.80	340.00	320.00	7.14
3	0.00	36.50	185.40	176.50	6.36
4	0.00	38.80	201.14	197.10	2.55
5	0.00	38.10	199.00	191.60	4.82

Fuente: Autor

3.1.2 PROCTOR ESTÁNDAR

El ensayo de compactación se ejecutó con base en la norma INVIAS INV E-141. Esta prueba se elaboró ya que la energía de compactación utilizada en la conformación de capas de suelo reforzado se ajustó al ensayo normal (foto 3.4).

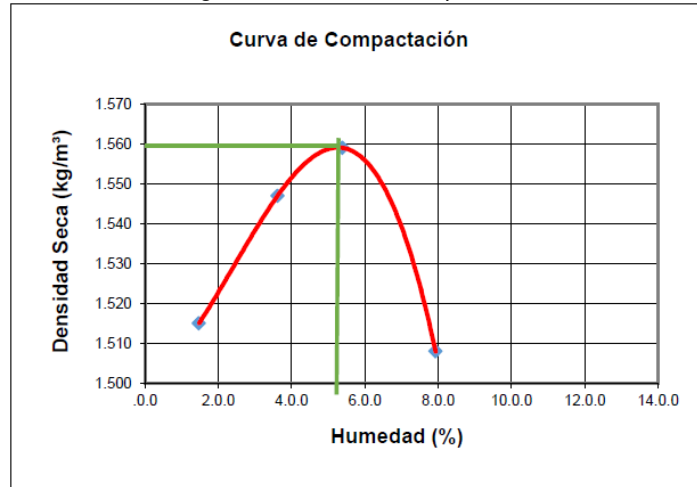
Foto 3-4 Ensayo proctor estándar



Fuente: Autor

La realización de la prueba nos arrojó resultados que nos permitieron el cálculo de energía de compactación, densidad máxima seca y la humedad óptima del material (figura 3.2) (tabla 3.2).

Figura 3-2 Curva de compactación



Fuente: Autor

Tabla 3-2 Cálculo de ensayo de proctor estándar

Energía de compactación (Lb/pie²)	
55.986	
Densidad Máxima Proctor Modificado (kg/m³)	
1.559	
Humedad Óptima (%)	
5.4	

Fuente: Autor

3.1.3 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA CON LAVADO:

El ensayo de granulometría se realizó de acuerdo a las especificaciones de la norma INVIAS E-123. Para este laboratorio solo se emplearon desde el tamiz 10, tamiz 16, tamiz 30, tamiz 40, tamiz 60, tamiz 100, tamiz 200 y el fondo (foto 3.5). Esto debido a que el material no presenta diámetro de gran tamaño.

Foto 3-5 Laboratorio granulometría

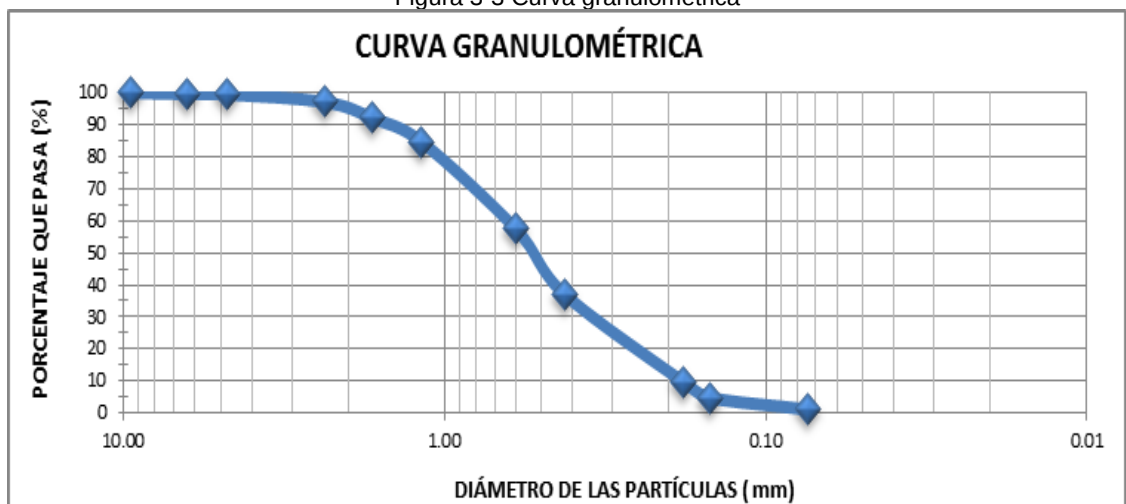


Fuente: Autor

Para el material utilizado el porcentaje que pasa el tamiz N°200 es del 1% y prácticamente la totalidad del material pasa el tamiz N°4. Por lo tanto de acuerdo con la clasificación unificada USCS el material corresponde a una arena pobremente gradada SP.

De acuerdo al ensayo podemos concluir que el suelo está conformado por arenas finas. Revisando la clasificación de suelos presentada por la AASHTO nos arroja una clasificación de grupo A-3 el cual está conformado por arenas finas con poca cantidad de limo que no presenta plasticidad (figura 3.3).

Figura 3-3 Curva granulométrica



Fuente: Autor

Calculo del coeficiente de uniformidad y el coeficiente de redondez teniendo en cuenta la tabla granulométrica.

$$C_u = \frac{0.65}{0.19} = 3.4$$

$$C_c = \frac{0.35^2}{0.65 * 0.19} = 0.99$$

Debido a lo anterior podemos decir es se trata de una arena pobremente gradada pero es un suelo bien distribuido.

3.1.4 ABSORCIÓN:

El ensayo de se realizó de acuerdo a las especificaciones de la norma INVIAS E-223. Cantidad de agua que llena los poros de las partículas del material.

La realización del laboratorio de absorción al material empleado en los modelos. Nos arroja un 11.72 % de absorción del material empleado en la modelación de los taludes (tabla 3.3).

Tabla 3-3 Laboratorio de absorción

peso platon	120
platon + suelo seca	2680
peso suelo seco	2560
platon+masa SSS	2980
masa SSS	2860
Absorción, (%)	11.72

Fuente: Autor

3.1.5 GRAVEDAD ESPECÍFICA

El ensayo de se realizó de acuerdo a las especificaciones de la norma INVIAS E-222. El laboratorio nos arrojó una cantidad de datos que no ayudo a calcular el peso específico del material (Tabla 3.4).

Tabla 3-4 resultados gravedad especifica

Prueba N°:	1
Peso Matraz + Suelo +Agua (g)	730.00
Temperatura de ensayo, T1 (°C)	36.0
Peso del Matraz + Agua a T1 (g)	651.0
Platón N°	29
Peso del Platón (g)	73.2
Peso del Platón + Suelo Seco (g)	198.2
Peso del Suelo Seco (Ws) g	125.0
Peso del mismo volumen de Agua (g)	46.0
Peso específico a T1° (g)	2.72
Peso específico Corregido a 20 °C (g)	2.7

Fuente: Autor

3.1.6 CORTE DIRECTO

Esta prueba se realizó teniendo como referencia las especificaciones presente en la norma INVIAS E-154. Se realizaron pruebas con tres probetas en la máquina de corte directo. Las pruebas permitieron obtener los valores de Cohesión y Angulo de fricción datos muy importantes para el análisis de los modelos. (Tabla 3.5).

Tabla 3-5 resultados obtenido por la prueba de corte directo

Parámetros de Resistencia		
PARÁMETRO	C (kg/cm ²)	ϕ (°)
Valor	0.09	10

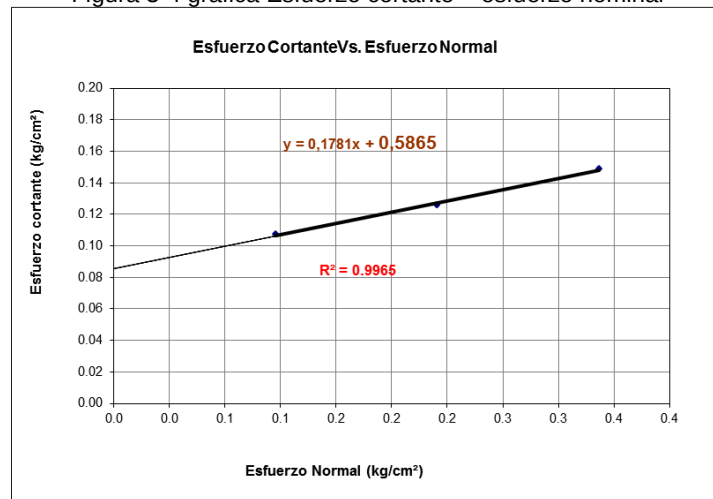
Esfuerzos normales y cortantes máximos			
σ_n (kg/cm ²)	0.12	0.23	0.35
$\tau_{m\acute{a}x}$ (kg/cm ²)	0.11	0.13	0.15

Fuente: Autor

De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de corte directo realizadas; se pudo determinar un ángulo de fricción interna aproximado de 10° grados y un valor de cohesión aparente de C=0.09 Kg/cm². Estos valores a pesar de que se consideran relativamente bajos se pueden justificar inicialmente por las condiciones de compacidad relativa muy suelta. Así mismo el material presenta circunstancias relativamente remoldeadas con muy bajas presiones de

confinamiento durante la realización de la prueba. Esto intentando garantizar condiciones similares de esfuerzo que muy posiblemente se desarrollaron en el modelo. De la misma manera el material presentó un coeficiente de uniformidad de $C_u=3.4$ y un coeficiente de curvatura de $C_c=0.99$; lo que corresponde a suelos mal gradados con tamaños de partículas uniformes (Figura 3.4).

Figura 3-4 grafica Esfuerzo cortante – esfuerzo nominal



Fuente: Autor

Paralelamente haciendo una descripción minuciosa de la forma que presentan las partículas de arena se puede encontrar muestras principalmente de forma redondeada a sub-redondeada con un valor estimativo de redondez entre 0.5 a 0.7 pudiendo interferir en la fricción generada y por lo tanto en su resultado.

3.1.7 MASA Y PESO UNITARIO

El ensayo de se realizó de acuerdo a las especificaciones de la norma INVIAS E-136 para la masa unitaria seca. Se realizó el cálculo de la masa unitaria min del material y la masa unitaria máxima (tabla 3.6)

Tabla 3-6 Masa y peso unitario

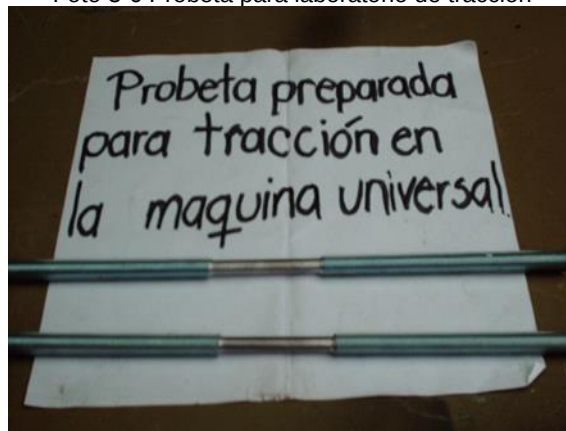
peso del molde (g)	1540					
peso del molde+suelo humedo (g)	5780	5740	5700	6160	6140	6120
peso del recipiente	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
volumen del molde (cm ³)	2173.22	2173.22	2173.22	2173.22	2173.22	2173.22
contenido de humedad (%)	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
masa unitaria seca (g/cm ³)	1.95	1.93	1.91	2.13	2.12	2.11
forma de ensayo	suelto	suelto	suelto	apriso.	apriso.	apriso.
promedio masa unitaria seca (g/cm ³)	1.93			2.12		

Fuente: Autor

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS ANCLAJES EMPLEADOS EN LA ESTABILIZACIÓN DE LOS MODELOS

Para la caracterización de los anclajes se solicitó apoyo en el laboratorio de materiales de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; donde fue posible la realización de pruebas de tracción obteniendo valores de fluencia del acero del orden de 36500 psi y un módulo de elasticidad aproximado de 168 Gpa. En la foto 3.6 se puede observar las probetas utilizadas para la prueba de tracción.

Foto 3-6 Probeta para laboratorio de tracción



Fuente: Autor

3.2.1 ENSAYO DE TRACCIÓN

Se realizó la prueba de tracción del material empleado para los anclajes en la maquina universal. Se emplearon varillas roscadas de acero como anclajes (foto 3.7).

Foto 3-7 . Prueba de tracción maquina universal



Fuente: Autor

Para determinar el módulo de elasticidad se utilizó el extensómetro el cual se encuentra patronado dentro de una longitud calibrada de 50 mm (foto 3.8).

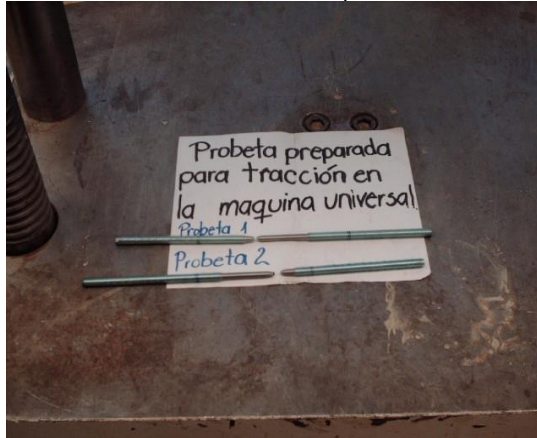
Foto 3-8 Extensómetro



Fuente: Autor

Una vez generado el proceso de falla de las probetas se pudo encontrar que el material presenta un comportamiento elastico generando una falla tipo cono copa y disminucion importante en el area de seccion de la garganta (foto 3.9).

Foto 3-9 Falla de las probetas



Fuente: Autor

Como resultados encontrados la máquina universal presenta una gráfica de esfuerzo- deformación donde se evidencia los valores máximos encontrados y la carga de rotura del material (foto 3.10).

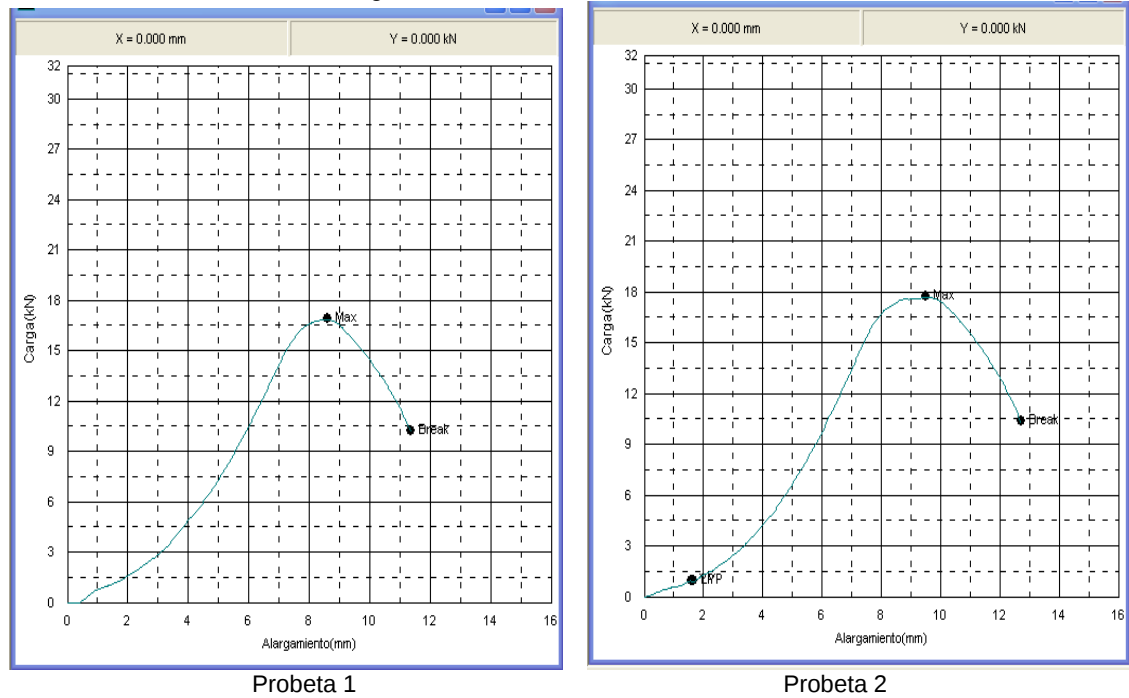
Foto 3-10 Obtención de los datos de la prueba a tracción



Fuente: Autor

En la figura se presentan las curvas generadas por el programa de la maquina universal en donde se encontró una carga máxima de 16,91953 kN para la probeta 1 y una carga máxima de 17,75156 kN para la probeta 2 (figura 3.5).

Figura 3-5 Grafica esfuerzo- deformación



Fuete: Laboratorio UPTC

3.3PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TALUD

Para la construcción cada uno de los taludes se realizó los siguientes pasos:

1. Se realizó la mezcla del material arenoso hasta que la humedad y textura presente en el material sea uniforme. Después se tomó una muestra del material para hallar la humedad presente (foto 3.11).

Foto 3-11 Mezcla y muestra para humedad del suelo arenoso



Fuente: Autor.

2. Se construyeron los taludes capa por capa. Cada capa presentaba un espesor de 10 cm la cual era compactada. De esta manera se controló la cantidad material necesario para completar la altura del talud y así obtener el paso unitario de los modelos (foto 3.12).

Foto 3-12 Construcción de los taludes por capas



Fuente: Autor

3. Cada capa de suelo se distribuyó por todo el espacio asignado para el talud. Para que fuera acorde al proceso de compactación. (foto 3.13).

Foto 3-13 Construcción del talud



Fuente: Autor

4. Se asignan 100 golpes por capa de material. Estos son compactados con un martillo, al cual se le aplicó una altura estándar de caída de 15 cm (foto 3.14).

Foto 3-14 Compactación del suelo con martillo



Fuente: Autor

5. Este procedimiento se realizó hasta completar la altura necesaria de cada talud y los golpes de compactación fueron constantes (foto 3.15).

Foto 3-15 La altura del talud



Fuente: Autor

6. Después de completar la altura escogida del talud se asigna y ubica el lugar en el cual se va a aplicar la carga. Para el cual se le asignó una distancia de 10 cm de la cara principal del talud el cual fue la misma distancia para cada uno de los ensayos (foto 3.16).

Se seleccionó esta ubicación para la carga ya que con una distancia mayor no se aprecia con igual claridad la de falla presentada por el talud. Debido a que la falla se sale de las dimensiones del talud y no se identifica de igual manera la reacción que presenta el talud al ser estabilizado.

Foto 3-16 Ubicación de la carga sobre el talud



Fuente: Autor

7. Después de tener el talud construido se procedió a preparar la máquina para aplicar la carga. (foto 3.17).

Foto 3-17 Aplicación de la carga



Fuente: Autor

Este procedimiento se realiza para cada uno de los taludes. En el caso de los taludes con refuerzo o aplicación del sistema de estabilización se tiene en cuenta el lugar exacto de asignación del refuerzo. Los anclajes fueron ubicados en el momento de la construcción del talud. Es decir cuando la construcción llegue al punto donde se ubica el sistema de estabilización se ubican los anclajes y se continúa con la fabricación del talud (foto 3.18).

Los anclajes fueron fijados aplicándoles una fuerza de 10 kg la cual fue medida mediante un torquímetro. Esta fue empleada para cada uno de los anclajes como fuerza estándar en cada una de las modelaciones que fueron estabilizadas.

Foto 3-18 Ubicación de los anclajes en el talud



Fuente: Autor

Después de tener listo todo el montaje se procedió con el mecanismo de falla. Se procede a prender el motor para que este con ayuda de un tornillo ubique la carga sobre el talud y ejerza la fuerza necesaria para que este falle. Mediante el uso de una celda se mide la carga y con una regla se mide la deformación presentada por el talud (foto 3.19).

Foto 3-19 Aplicación de carga



Fuente: Autor

3.1 PRUEBA # 1

TALUD SIN REFUERZOS

En la modelación del talud se tuvo en cuenta las propiedades del material empleado en la modelación (tabla 3.7).

Tabla 3-7 Información talud 1

W arena (kg)	394.1
N° baldados	11
Golpes por baldado	100
Caida del martillo (cm)	15
Peso martillo (Kg)	2.04
Peso platon (g)	38.3
humedad (%)	8.81

Fuente: Autor

Se realizó la construcción del talud el cual no presenta ninguna clase de refuerzo. El talud presentó las siguientes características geométricas: altura de 67 cm, longitud de 80 cm, espesor de 39.6 cm. (foto 3.20).

Foto 3-20 Talud listo para la prueba



Fuente: Autor

3.2 PRUEBA # 2

TALUD REFORZADO CON 2 ANCLAJES (30cm)

Al modelar el talud se tuvo en cuenta las propiedades del suelo granular arenoso y las características sobre la construcción (tabla 3.8).

Tabla 3-8 Información talud 2

W arena (kg)	360.9
N° baldados	12
Golpes por baldado	100
Caída del martillo (cm)	15
Peso martillo (Kg)	2.04
Peso platon (g)	38.3
humedad (%)	7.55

Fuente: Autor

El talud se reforzó mediante la aplicación de 2 anclajes de 30 cm, con una raíz de 10 cm (foto 3.21).

Foto 3-21 Anclajes de 30 cm la raíz es de 10 cm



Fuente: Autor

Los anclajes se encuentran ubicados en la cara principal a una distancia de 19.8 cm de ancho, y a unas distancias de 14.3 cm y 28.6 cm de la parte superior hacia abajo (imagen 3.22).

Foto 3-22 Ubicación de los anclajes



Fuente: Autor

El talud presento las siguientes dimensiones: altura de 67 cm, longitud de 80 cm, espesor de 39.6 cm, se construyó con 12 baldados de material (foto 3.23).

Foto 3-23 Talud reforzado con 2 anclajes



Fuente: Autor

3.3 PRUEBA # 3

TALUD REFORZADO CON 4 ANCLAJES (30cm)

Al modelar el talud se tuvo en cuenta las propiedades del suelo y las de la construcción del talud (tabla 3.9).

Tabla 3-9 Información talud 3

W arena (kg)	374.46
N° baldados	12
Golpes por baldado	100
Caída del martillo (cm)	15
Peso martillo (Kg)	2.04
Peso platon (g)	38.3
humedad (%)	8.50

Fuente: Autor

Se realizó la construcción del talud, este fue reforzado y estabilizado mediante 4 anclajes de 30 cm, con una raíz de 10 cm (foto 3.24)

Foto 3-24 Anclajes 30 cm



Fuete: Autor

Los anclajes se encuentran ubicados en la cara principal a una distancia de 9.9 cm de cada lado del talud y a unas distancias de 14.3 cm y el segundo a 28.6 cm de arriba hacia debajo de la cara del talud (foto 3.25).

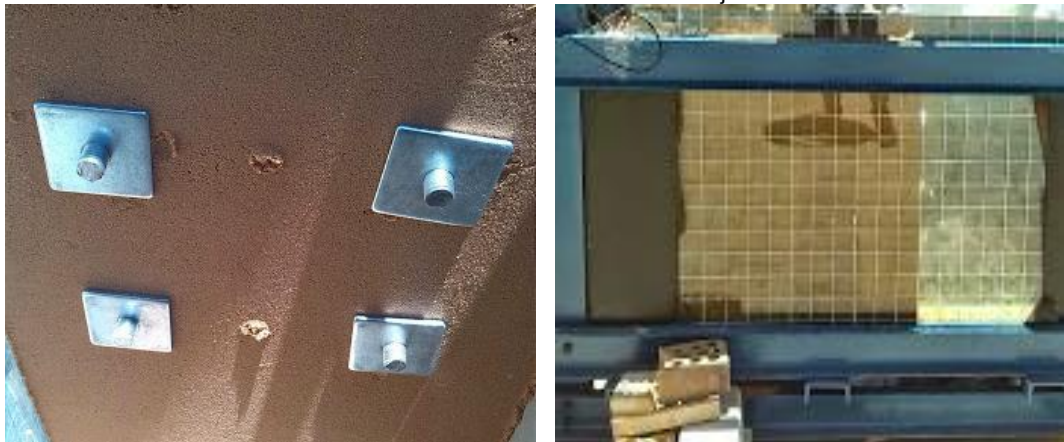
Foto 3-25 Ubicación de los anclajes



Fuete: Autor

El talud presenta: altura de 67 cm, longitud de 80 cm, espesor de 39.6 cm, se construyó con 12 baldados de material (foto 3.26).

Foto 3-26 talud reforzado con 4 anclajes



Fuente: Autor

3.4PRUEBA # 4

TALUD REFORZADO CON 6 ANCLAJES (30cm)

Al modelar el talud se tuvo en cuenta las propiedades del suelo y las de la construcción del talud (tabla 3.10).

Tabla 3-10 Información talud 4

W arena (kg)	346.76
N° baldados	11
Golpes por baldado	100
Caída del martillo (cm)	15
Peso martillo (Kg)	2.04
Peso platon (g)	32
humedad (%)	16.08

Fuente: Autor

Se realizó la construcción el cual fue reforzado con 6 anclajes de 30 cm de longitud y 10 cm de raíz (foto 3.27).

Foto 3-27 Anclajes 30 cm



Fuente: Autor

Los anclajes se encuentran ubicados en la cara principal a una distancia de 9.9 cm entre cada uno de los 3 anclajes y a una distancia de 14.3 cm y 28.6 cm de arriba hacia abajo de la cara del talud (foto 3.28).

Foto 3-28 Ubicación de los anclajes



Fuente: Autor

El talud presenta: altura de 67 cm, longitud de 80 cm, espesor de 39.6 cm, se construyó con 12 baldados (foto 3.29).

Foto 3-29 Talud reforzado con 6 anclajes



Fuente: Autor

3.5 PRUEBA # 5

TALUD REFORZADO CON 2 ANCLAJES (50cm)

Al modelar el talud se tuvo en cuenta las propiedades del suelo y las de la construcción del talud (tabla 3.11).

Tabla 3-11 Información talud 5

W arena (kg)	349.26
N° baldados	11
Golpes por baldado	100
Caída del martillo (cm)	15
Peso martillo (Kg)	2.04
Peso platon (g)	38.1
humedad (%)	8.90

Fuente: Autor

Se realizó la construcción del talud el cual fue estabilizado mediante 2 anclajes de 50 cm de longitud, y con una raíz de 30 cm (foto 3.30).

Foto 3-30 Anclajes de 50 cm



Fuente: Autor

Los anclajes se encuentran ubicados en la cara principal a una distancia de 19.8 cm de ancho, y a unas distancias de 14.3 cm y 28.6 cm de la parte superior hacia abajo (foto 3.31).

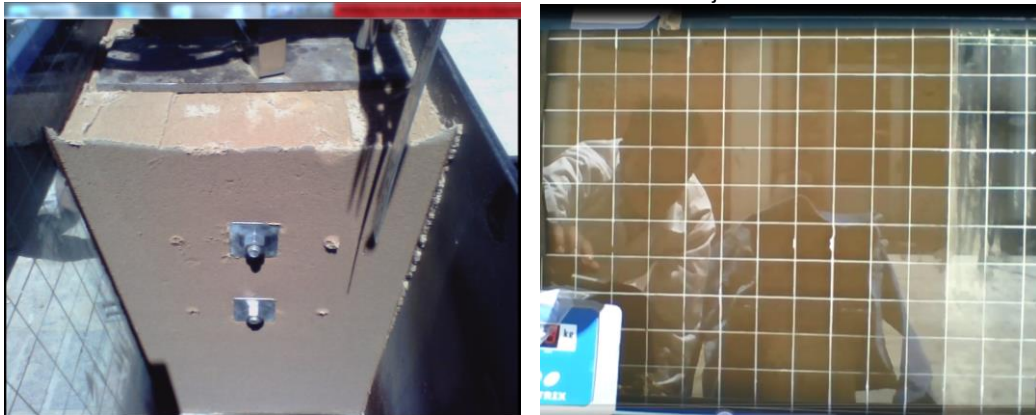
Foto 3-31 Ubicación de los anclajes



Fuente: Autor

El talud presenta: altura de 67 cm, longitud de 80 cm, espesor de 39.6 cm, se construyó con 12 baldados de material (foto 3.32).

Foto 3-32 Talud modelado con 2 anclajes



Fuente: Autor

3.6 PRUEBA # 6

TALUD REFORZADO CON 4 ANCLAJES (50cm)

Al modelar el talud se tuvo en cuenta las propiedades del suelo y las de la construcción del talud (tabla 3.12).

Tabla 3-12 Información talud 6

W arena (kg)	350.8
N° baldados	11
Golpes por baldado	100
Caída del martillo (cm)	15
Peso martillo (Kg)	2.04
W platon (g)	38.4
humedad de la muestra (%)	12.01

Fuente: Autor

Se realizó la construcción del talud y se reforzó con 4 anclajes de 50 cm de longitud y una raíz de 30 cm (foto 3.33).

Foto 3-33 Anclajes 50 cm



Fuente: Autor

Los anclajes se encuentran ubicados en la cara principal a una distancia de 9.9 cm de cada lado del talud y a unas distancias de 14.3 cm y el segundo a 28.6 cm de arriba hacia debajo de la cara del talud (foto 3.34).

Foto 3-34 Ubicación de los anclajes



Fuente: Autor

El talud presenta: altura de 67 cm, longitud de 80 cm, espesor de 39.6 cm, se construyó con 12 baldados de material (foto 3.35).

Foto 3-35 Talud reforzado con 4 anclajes



Fuente: Autor

3.7 PRUEBA # 7

TALUD REFORZADO CON 6 ANCLAJES (50cm)

Al modelar el talud se tuvo en cuenta las propiedades del suelo y las de la construcción del talud (tabla 3.13).

Tabla 3-13 Información talud 7

W arena (kg)	350.14
N° baldados	11
Golpes por baldado	100
Caída del martillo (cm)	15
Peso martillo (Kg)	2.04
W platon (g)	38.3
humedad de la muestra (%)	9.82

Fuente: Autor

Se realizó la construcción del talud y se reforzó con 4 anclajes de 50cm de longitud y una raíz de 30 cm (foto 3.36).

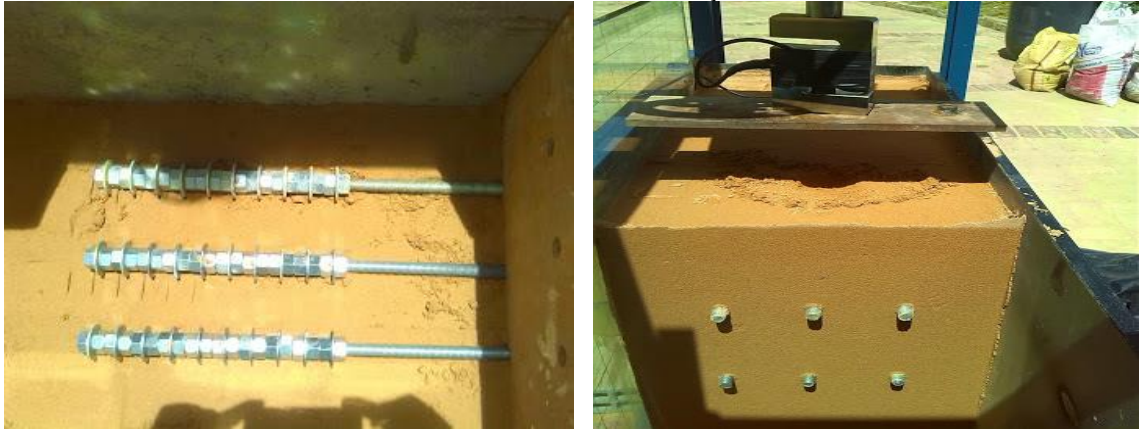
Foto 3-36 Anclajes 50 cm



Fuente: Autor

Los anclajes se encuentran ubicados en la cara principal a una distancia de 9.9 cm entre cada uno de los 3 anclajes y a una distancia de 14.3 cm y 28.6 cm de arriba hacia debajo de la cara del talud (foto 3.37).

Foto 3-37 Ubicación de anclajes



Fuente: Autor

El talud presenta: altura de 67 cm, longitud de 80 cm, espesor de 39.6 cm, se construyó con 12 baldados de material (foto 3.38).

Foto 3-38 Talud anclado con 6 anclajes



Fuente: Autor

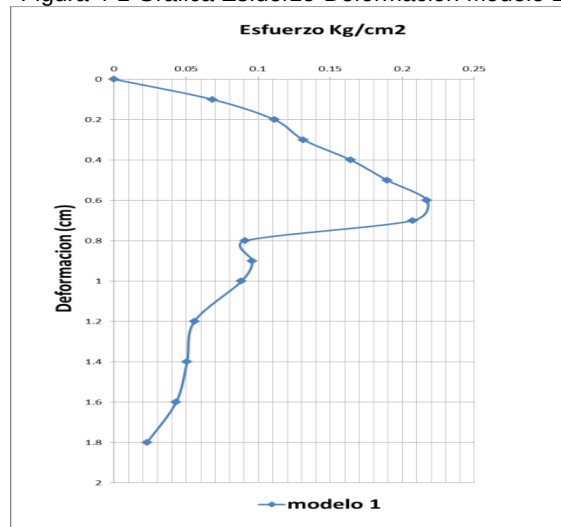
4 ANÁLISIS DE RESULTADO

4.1 PRUEBA # 1

TALUD SIN REFUERZO

Al fallar el talud arrojó una serie de datos los cuales indican la carga máxima que soportó el talud. Estos resultados son graficados para poder observar el comportamiento que presentó el talud en el momento de realizar los procesos de carga-deformación (figura 4.1).

Figura 4-1 Grafica Esfuerzo-Deformación Modelo 1



Fuente: Autor

El talud presentó movimiento y desprendimiento de suelo en la cara principal. Mostró una falla planar debido al movimiento de suelo a lo largo de una superficie plana. La falla manifestó dimensiones de 23 cm de larga y 43 cm alta, con un ángulo respecto a la horizontal de 62 grados. Resistió una carga máxima de 86 kg (foto 4.1).

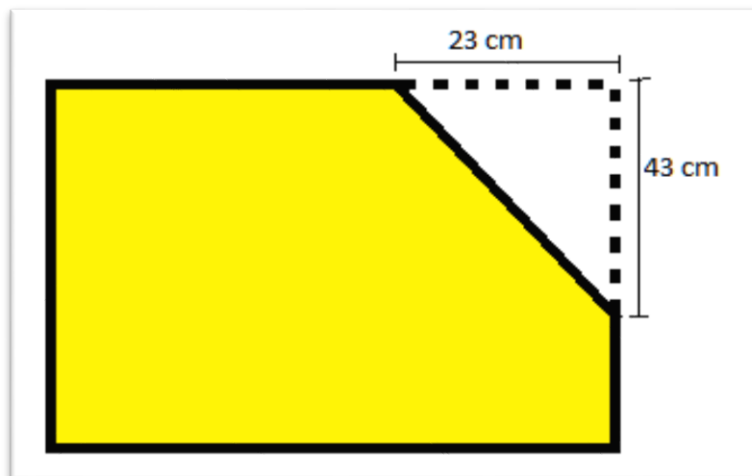
Foto 4-1 Falla de talud



Fuente: Autor

Representación gráfica de la falla planar presentada por el talud (figura 4.2).

Figura 4-2 Vista de perfil de la falla del talud



Fuente: Autor

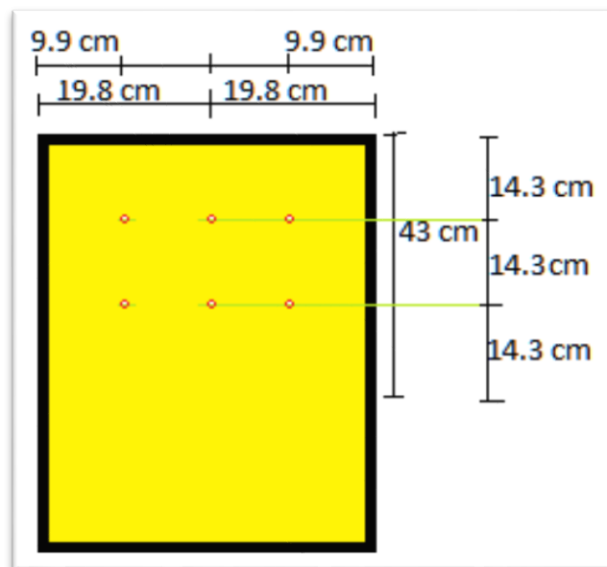
Se debe resaltar que para la localización de la placa de carga en la falla de los modelos; se realizaron pruebas preliminares que permitieron identificar la superficie potencial de falla. Esto de tal manera que cortara la cara libre del talud y no se interceptara con la caja donde se dispuso el modelo. Paralelamente se logró identificar las correspondientes dimensiones geométricas de la cuña de falla de los modelos sin refuerzo y a partir de estos se definieron la localización de los refuerzos de anclaje. Teniendo en cuenta estas consideraciones se desarrolló un criterio para la primera serie de modelos con una longitud de bulbo de anclaje aproximado de 10 cm; que correspondieron a los anclajes cortos y de 30 cm de bulbo de anclaje para los refuerzos largos. Así mismo se consideró esta diferencia

de longitudes esperando observar el efecto importante en la estabilidad del modelo.

Para el desarrollo del actual proyecto se definieron anclajes de tipo rígido de tal manera que se garantizara deformaciones del tirante prácticamente nulos. Así mismo que permitieran ajustar un sistema de bulbo que generara un efecto favorable de refuerzo: por lo tanto se decidió utilizar anclajes que comercialmente corresponden con varillas roscadas de 5/8" de diámetro y con un sistema de arandelas que permitieron definir un bulbo de anclaje el cual fue favorable para el desarrollo de las pruebas.

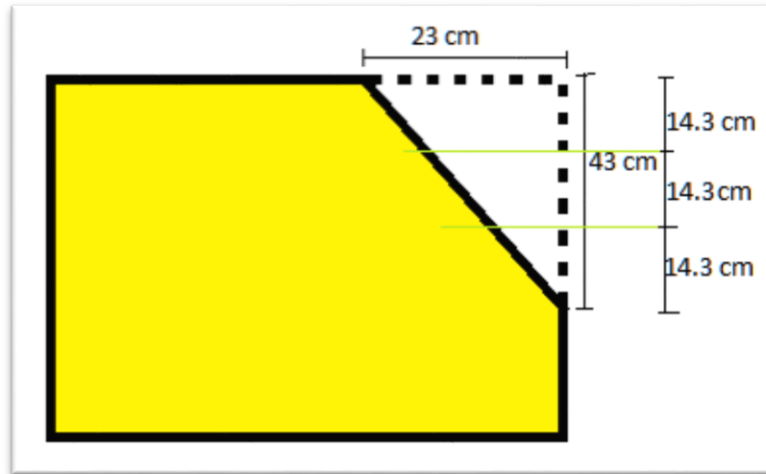
Para su localización se tuvo en cuenta las mayores condiciones de favorabilidad y conveniencia para los modelos; de tal forma que los anclajes interceptaran la superficie potencial de falla dentro de un tercio y dos tercios con respecto a la altura de la cuña de falla generada en las pruebas sin ningún refuerzo (figura 4.3). Paralelamente de acuerdo con el alcance del anteproyecto se definió la localización de los anclajes con un ángulo de inclinación de cero grados (figura 4.4).

Figura 4-3 Selección de los puntos para el refuerzo del talud



Fuente: Autor

Figura 4-4 Vista principal con los puntos seccionados para los refuerzos



Fuente: Autor

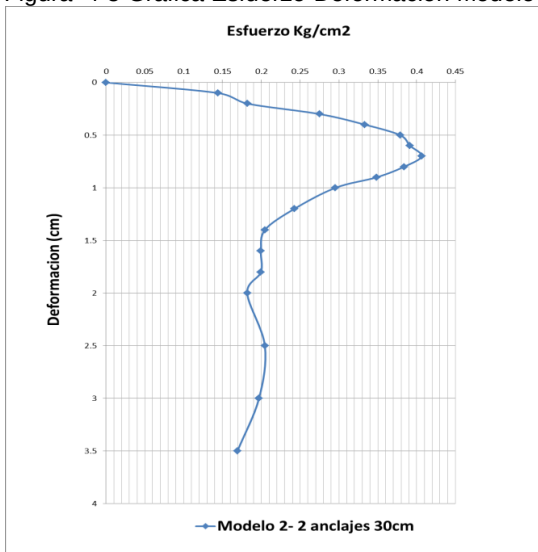
Se emplearon como sistema de estabilización del talud 2; 4 y 6 anclajes proporcionalmente distribuidos en la zona de falla. Las pruebas se realizaron con anclajes con diferentes longitudes. Esto ayuda a identificar las características presentadas por cada uno de los taludes debido a cada sistema de estabilización.

4.2 PRUEBA # 2

TALUD REFORZADO CON 2 ANCLAJES (30cm)

Al fallar el talud arrojó una serie de datos los cuales indican la carga máxima que soporto el talud. Estos resultados son graficados y esto muestra el comportamiento que presentó el talud en el momento realizar procesos de carga-deformación (figura 4.5).

Figura 4-5 Grafica Esfuerzo-Deformación Modelo 2



Fuente: Autor

Se realizó la prueba del talud estabilizado mediante 2 anclajes, los cuales ayudaron a que el talud resistiera mayor carga que el talud sin refuerzo. Este talud resistió una carga máxima de 161 kg.

El talud presentó desprendimiento de material en la parte inferior y grietas alrededor de los anclajes. No se presentaron ninguna clase de movimiento ni desprendimiento de material cerca a los anclajes. Mostró una falla en la cara principal desde la parte superior de 42.5 cm a un lado del talud y al otro lado a 30 cm, de ahí hacia abajo se presentó desprendimiento de materia. La falla es planar debido al movimiento de suelo a lo largo de una superficie plana. La falla manifestó dimensiones de 23 cm de larga y 43 cm alta, con un ángulo respecto a la horizontal de 59 grados (foto 4.2).

Foto 4-2 Falla presentada por el talud



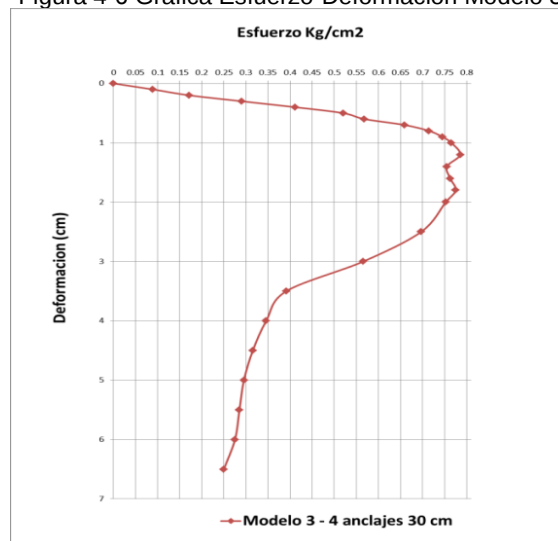
Fuente: Autor

4.3 PRUEBA # 3

TALUD REFORZADO CON 4 ANCLAJES (30cm)

Al fallar el talud arrojó una serie de datos los cuales indican la carga máxima que soporto el talud. Estos resultados son graficados y esto muestra el comportamiento que presentó el talud en el momento de realizar los procesos de carga-deformación (figura 4.6).

Figura 4-6 Grafica Esfuerzo-Deformación Modelo 3



Fuente: Autor

El talud reforzado y estabilizado con el uso de cuatro anclajes cortos, resistió una carga máxima de 311 kg.

El talud presento desprendimiento de material desde la parte inferior de los anclajes. Mostró una falla en la cara principal desde la parte superior de 34.4 cm a un lado del talud y al otro lado 39 cm, de ahí hacia abajo se presentó desprendimiento de materia.

En la parte donde se encontraban los anclajes se observaron fisuras alrededor de estos. El refuerzo no mostró ninguna clase de movimientos ni desprendimientos. La falla es planar debido al movimiento de suelo a lo largo de una superficie plana. La falla manifestó dimensiones de 66 cm de alta y 21.7 cm de largo, con un ángulo respecto a la horizontal de 72 grados (foto 4.3).

Foto 4-3 Falla presentada por el talud



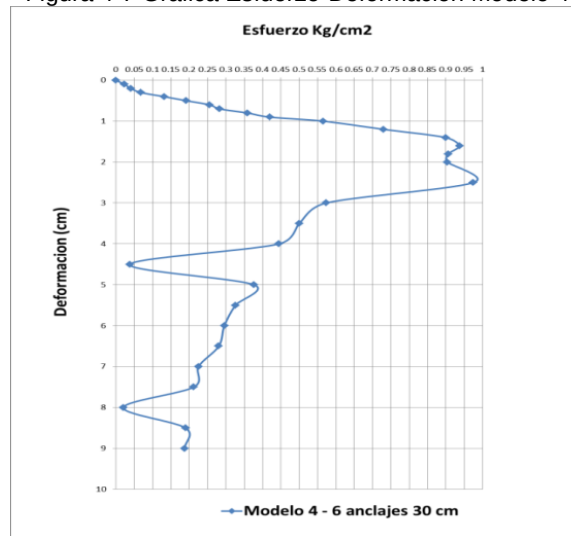
Autor: Fuente

4.4 PRUEBA # 4

TALUD REFORZADO CON 6 ANCLAJES (30cm)

Al fallar el talud arrojó una serie de datos los cuales indican la carga máxima que soporto el talud. Estos resultados son graficados y esto muestra el comportamiento que presentó el talud en el momento realizar procesos de carga-deformación (figura 4.7).

Figura 4-7 Grafica Esfuerzo-Deformación Modelo 4



Fuente: Autor

El talud reforzado y estabilizado con el uso de 6 anclajes cortos, este talud resistió una carga máxima de 386 kg.

El talud presentó desprendimiento de material desde la parte inferior de los anclajes a un lado a 32.3 cm y al otro lado de 34.7 cm hacia abajo.

En la parte donde se encontraban los anclajes se observaron fisuras alrededor del anclaje central superior pero a su vez una grieta que pasaba por debajo de los tres anclajes superiores de lado a lado del talud y una grieta en el centro del talud hacia arriba sobre el anclaje central superior. Mostró una falla en la cara principal desde la parte superior de 32 cm a un lado del talud y de 34.7 cm del otro lado. De ahí hacia abajo se presentó desprendimiento de materia (foto 4.4).

Foto 4-4 Falla presentada por el talud



Fuente: Autor

Estas fallas ocasionaron el material de suelo presente sobre los anclajes superiores se moviera y formaran un abultamiento en la parte delantera del talud sobre el refuerzo aunque los anclajes superiores no presentaron ningún movimiento pero no se presentó desprendimiento de masa en la parte superior del talud. El refuerzo y el material en la parte superior presento un desplazamiento de 3 cm. La falla es planar debido al movimiento de suelo a lo largo de una superficie plana. La falla manifestó dimensiones de 66 cm de alta y 20 cm de largo, con un ángulo respecto a la horizontal de 73 grados (foto 4.5).

Foto 4-5 Falla de perfil



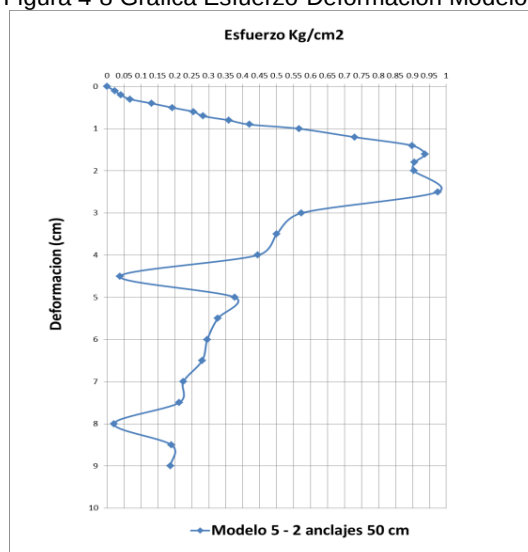
Fuente: Autor

4.5 PRUEBA # 5

TALUD REFORZADO CON 2 ANCLAJES (50cm)

Al fallar el talud arrojó una serie de datos los cuales indican la carga máxima que soporto el talud. Estos resultados son graficados y esto muestra el comportamiento que presenta el talud en el momento de realizar procesos de carga-deformación (figura 4.12).

Figura 4-8 Grafica Esfuerzo-Deformación Modelo 5



Fuente: Autores

El talud reforzado y estabilizado con el uso de 2 anclajes largos, este talud resistió una carga máxima de 252 kg.

El talud presento desprendimiento de material desde la parte superior hacia abajo del talud. Presento desprendimientos de material uno a cada extremo del talud. A los lados de los anclajes no presento mayor desprendimiento de suelo ya que estos se encuentran en el centro del talud. El del lado izquierdo de los anclajes presenta una longitud de 45 cm y el desprendimiento de material de lado derecho es de 49 cm (foto 4.6).

Foto 4-6 falla presentada por el talud



Fuente: Autor

El talud presento una falla planar debido al movimiento de suelo a lo largo de una superficie plana. La falla manifestó dimensiones de 52 cm de alta y 18 cm de largo, con un ángulo respecto a la horizontal de 71 grados (foto 4.7).

Foto 4-7 Vista en perfil de la falla



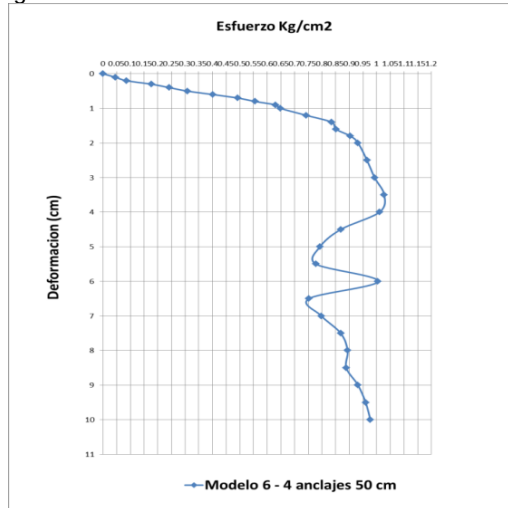
Fuente: Autor

4.6 PRUEBA # 6

TALUD REFORZADO CON 4 ANCLAJES (50cm)

Al fallar el talud arrojó una serie de datos los cuales indican la carga máxima que soporto el talud. Estos resultados son graficados y esto muestra el comportamiento que presentó el talud en el momento realizar procesos de carga-deformación (figura 4.9).

Figura 4-9 Grafica Esfuerzo-Deformación Modelo 6



Fuente: Autor

El talud reforzado y estabilizado con el uso de 4 anclajes largos, este talud resistió una carga máxima de 407 kg. Presentó desprendimiento de masa en el centro de los anclajes (foto 4.8). La parte que se encuentra después de la carga puntual del talud, presentó un movimiento o desplazamiento pero no se cayó completamente. Mostró gran variedad de grietas alrededor de los anclajes. Debido a los esfuerzos que ejercen los anclajes para estabilizar el talud para que este no presente desprendimientos

Foto 4-8 Vista principal Falla del talud



Fuente: Autor

Presentó falla es planar debido al movimiento de suelo a lo largo de una superficie plana. La falla manifestó dimensiones de 62 cm de alta y 15 cm de largo, con un ángulo respecto a la horizontal de 76 grados (foto 4.9).

Foto 4-9 Vista perfil falla



Fuente: Autor

También de presentaron grietas en la parte superior del talud y abultamiento (foto 4.10).

Foto 4-10 falla del talud por la parte superior



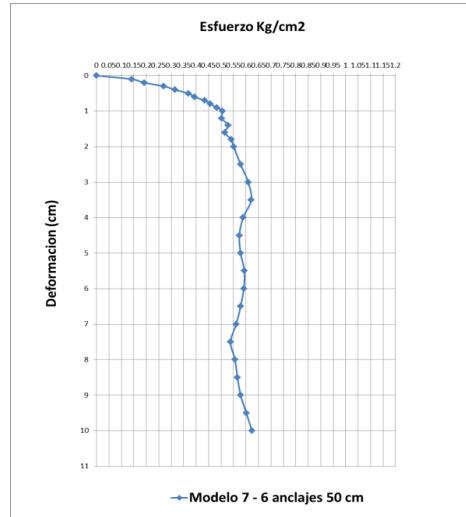
Fuente: Autor

3.1 PRUEBA # 7

TALUD REFORZADO CON 6 ANCLAJES (50cm)

Al fallar el talud arrojó una serie de datos los cuales indican la carga máxima que soporto el talud. Estos resultados son graficados y esto muestra el comportamiento que presentó el talud en el momento realizar procesos de carga-deformación (figura 4.10).

Figura 4-10 Grafica Esfuerzo-Deformación Moldeo 7



Fuente: Autor

El talud reforzado y estabilizado con el uso de 4 anclajes largos, este talud resistió una carga máxima de 200 kg.

Este talud presento desprendimiento de masa y la parte por debajo de los taludes. Se desprendió completamente un gran pedazo de materia y además gran parte de material que rodea los anclajes. Presentó falla es planar debido al movimiento de suelo a lo largo de una superficie plana. La falla manifestó dimensiones de 65 cm de alta y 11cm de largo, con un ángulo respecto a la horizontal de 80 grados (foto 4.11).

Foto 4-11 falla vista principal



Fuente: Autor

También de presentaron grietas en la parte superior del talud y abultamiento (foto 4.10).

Foto 4-12 falla por encima del talud

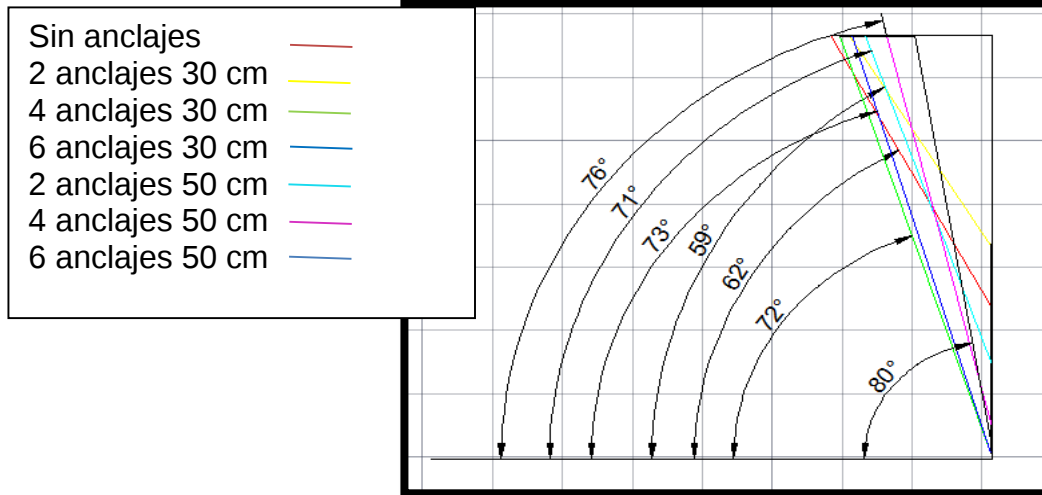


Fuente: Autor

Haciendo un análisis comparativo de los resultados obtenidos para los diferentes tipos de pruebas; son varios los planteamientos que se pueden generar. Estos hacen reseña principalmente a la forma de falla, variabilidad en los valores de resistencia en función del número de anclajes, porcentaje de deformación para los diversos tipos de pruebas; entre otros. Las características de falla evidenciadas en las pruebas tomadas como referencia fueron fallas por estabilidad interna de extensión y falla planar.

Los modelos presentaron ángulos respecto a la horizontal, presentados por la superficie potencial de falla son diferentes en cada modelo. Los cuales fueron aumentando a medida que el refuerzo presentaba un mayor grado de estabilización (figura 4.11)

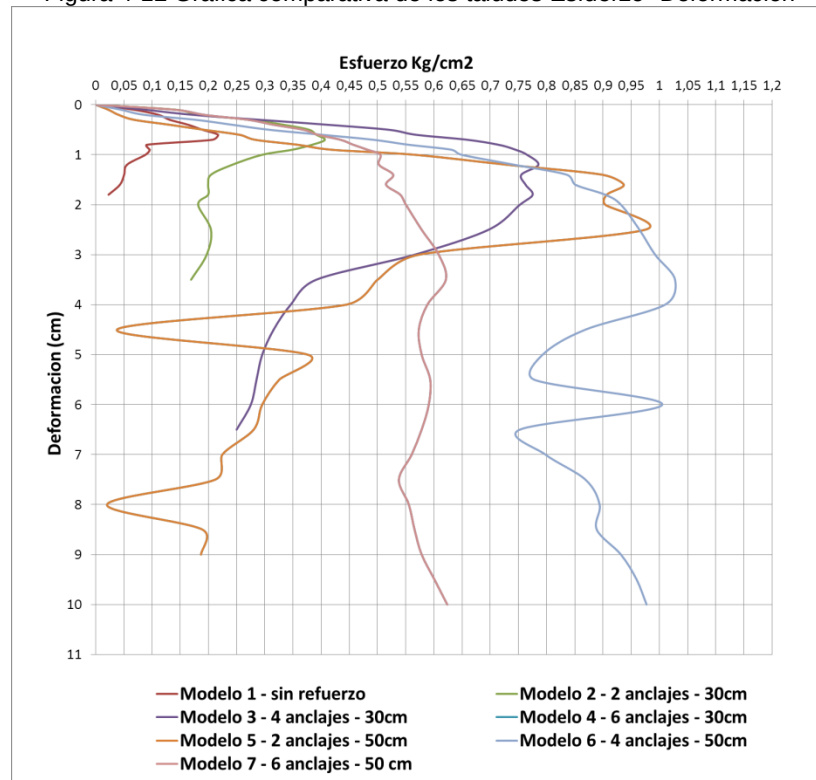
Figura 4-11 Ángulos de falla respecto a la horizontal



Fuente: Autor

Como se logra evidenciar es inminente el aumento de resistencia encontrado en función con el número y longitud de anclajes. Esto se puede observar claramente al confrontar los valores encontrados en cada uno de los tipos de pruebas desarrolladas en comparación con lo que sería la conformación del talud sin ningún tipo de refuerzo. Se observó que el modelo que más resistió carga fue el talud reforzado con 4 anclajes largos. Ya que recibió una carga máxima de 407 kg por lo que se puede evidenciar el importante aumento en la capacidad de soporte y la gran ventaja en la utilización del suelo reforzado. De acuerdo a los resultados obtenido durante la falla de cada uno de los taludes se encontró que presentaron un comportamiento diferente cada una de las prueba. (Figura 4.12).

Figura 4-12 Grafica comparativa de los taludes Esfuerzo- Deformación



Fuente: Autor

Realizado un análisis de regresión entre el número de anclajes empleado en las pruebas y la carga máxima soportada en cada prueba (tabla 4.1).

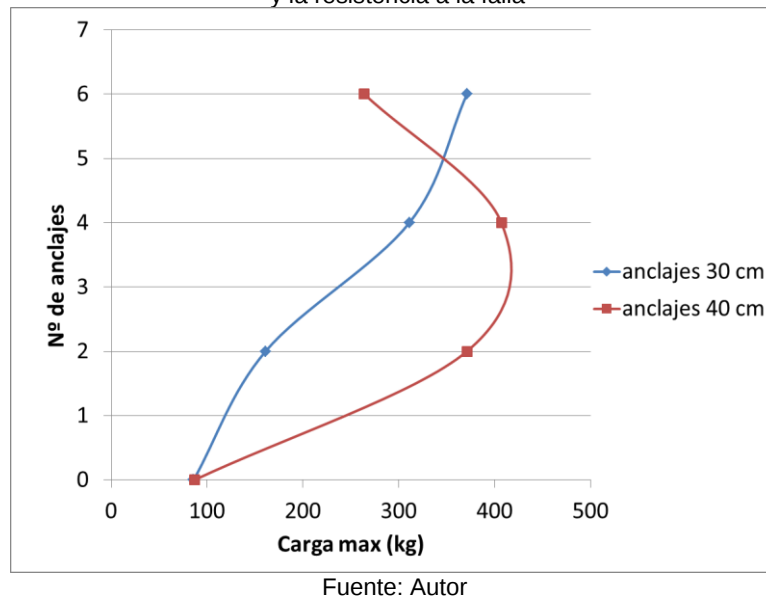
Tabla 4-1 cargas máximas para cada uno de los taludes

	anclajes 30 cm	anclaje 50 cm
Nº de anclajes	carga máx. (kg)	carga máx. (kg)
0	86	86
2	161	371
4	311	407
6	371	246

Fuente: Autor

Se puede determinar que los procesos de carga deformación presentan un comportamiento diferente para cada longitud de anclajes (figura 4.13)

Figura 4-13 Correlación entre el número de anclajes empleados en las pruebas y la resistencia a la falla



Cada uno de los taludes presentaron una resistencia diferente y soportaron una carga diferente, a medida que presentaban mayor cantidad de anclajes aumentaba la capacidad de soportar carga. Los taludes presentaron falla por debajo de los anclajes casi en todos los caso presentaron mayor estabilidad en la parte donde se encontraban ubicados los anclajes. El talud que soporto mayor carga fue el que se reforzó con cuatro anclajes largos ya que resistió 407 kg y no presento desprendimiento de masa solo desplazamiento de material. Todos los taludes presentaron una falla planar con diferentes condiciones y tamaños pero presentan un corte diagonal de abajo hacia arriba del talud. Los anclajes trabajan a tensión a medida que se aplica la carga.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. Se observa que las técnicas del suelo reforzado a pesar de ser una técnica relativamente reciente es aplicada desde hace muchos años. La evolución del concepto de estabilización con anclajes se dio gracias a los avances paralelos que otras áreas de la ciencia, como la de los materiales y las computacionales.
2. Se pudo encontrar que para la conformación de los modelos se utilizaron anclajes rígidos; que garantizarán valores de deformación prácticamente nulos para los valores de carga en los modelos; por lo que se definieron barras macizas de 5/8" de diámetro; sin embargo si se quisiera se pueden plantear variados sistemas de refuerzo que pudieran funcionar como anclajes.
3. Es importante resaltar que la modelación se realizó para material granular. Sería interesante realizar pruebas con materiales cohesivos. Sin embargo se podría esperar cambios importantes en la inclinación de la superficie potencial de falla por lo que sería conveniente corroborar con la construcción de los modelos adicionales.
4. Se encontró que durante la realización de las pruebas de carga- deformación en los modelos; la superficie potencial de falla presentaba cambio en la inclinación con respecto a la horizontal. En donde se observó que a medida que se aumentaba el número de anclajes paralelamente aumentaba el grado de inclinación.
5. A pesar del crecimiento bastante acelerado de las estructuras reforzadas con anclajes en todo el mundo desde la década de los 80, en Colombia la expansión ha sido muy limitada y aún más en su uso como refuerzo de suelos de cimentación.
6. Es indispensable identificar las funciones principales del material de anclajes por lo que es necesario conocer los alcances y limitaciones de cada tipo de refuerzo; esto con el fin de conocer la deformabilidad que puede presentar el suelo antes de que el refuerzo comience a soportar carga en forma conveniente.

7. Para el buen desarrollo del presente proyecto, se vio la necesidad de valerse de varias áreas de la ciencia como la ingeniería mecánica, la metalurgia, entre otras, convirtiendo este proyecto en un trabajo integral a nivel de conocimiento ya que este tipo de investigaciones hasta ahora van llegando al país.
8. Cabe resaltar que el equipo es práctico. Para realizar diversas cantidades de modelaciones con variables diferentes las cuales no requieren de mucha inversión en dinero. Aunque se pueden realizar arreglos para ampliar su potencial de investigación.
9. Es bueno asimilar que a pesar de que el presente proyecto se desarrolló en suelos arenosos. El equipo no limita la utilización de múltiples tipos de suelos. Por lo tanto puede ser conveniente la ampliación de otros tipos de suelo en otras investigaciones.
10. Teniendo en cuenta que dichos modelos principalmente son de carácter experimental; los resultados cualitativos y cuantitativos facilitaron estudiar y observar el comportamiento de los modelos y del refuerzo en la falla.
11. Los resultados obtenidos en la modelación de los taludes se puede observar una correlación directa entre la resistencia de los modelos y el número de anclajes.
12. Mientras se realizaban las pruebas, se llevó a cabo la obtención de los valores de humedad y densidad. Lo cual nos ayudó a identificar las propiedades de los materiales empleados en el diseño y modelación de los taludes. Esta disminución se debió a la pérdida de agua durante la conformación de los modelos y a las condiciones climáticas que pueden presentarse.
13. Se puede observar que los procesos de modelación son complejos, debido a que están sujetos a innumerables variables, la búsqueda de los materiales a utilizar y habilidad por parte del constructor del modelo para poder obtener los resultados esperados.
14. Con base en los resultados encontrados durante la realización de las pruebas se puede observar una correlación directa entre la resistencia de los modelos y el número anclajes.

15. Como se pudo evidenciar los modelos encuentran en condiciones sin confinamiento simulando las condiciones más críticas que podría presentarse en la realidad; sin embargo se realizaron modelos con confinamiento en donde se pudo evidenciar la sorprendente conveniencia ya que los valores de resistencia aumentaron en forma importante.
16. Con la realización de los modelos se pueden apreciar plenamente los mecanismos de falla que experimentan los taludes ensayados, lo cual permite predecir los comportamientos. Esto se puede evidenciar claramente en los registros secuenciales de la falla los cuales tiene en su poder el autor.
17. Un tema tan extenso de investigación como éste, requiere de más inversión de tipo económica y de recursos para estudiar y entender el comportamiento de estas estructuras de una forma más profunda y bajo la acción de diferentes variables; por lo tanto es conveniente dar continuidad al presente proyecto de investigación.
18. El talud que presento mayor estabilidad fue el reforzado con 4 anclajes de 50 cm debido a que soporto la mayor cantidad de carga y a su vez no presento mayor desprendimiento de masas debido a que los anclajes estabilizaron toda el área de el bulbo de falla y presentan una buena distribución. Se debe tener en cuenta que exceder la cantidad de refuerzo no da mayor estabilidad muchas de las veces no aplicar el refuerzo apropiado nos ayuda a desestabilizar el terreno. Esto se observó en la modelación en la cual re aplico refuerzo con 6 anclajes de 50 cm, la cual no soporto tanta carga.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Realizar modelos de laboratorio que ayuden en la representación a escala de problemas que observamos en el medio. Ya que son muchas las características que se pueden analizar
2. Hacer modelos en los cuales se trabajen simultáneamente con dos clases de materiales, el del lleno utilizado en la conformación de las capas y el que se usara en la fundación, con el objeto de analizar el comportamiento en cuanto a su estabilidad externa e interna.
3. De acuerdo con el alcance del anteproyecto se definió la disposición de los anclajes con un ángulo de inclinación de cero grados; sin embargo es posible plantear en proyectos posteriores la localización de refuerzos con diferentes grados de inclinación, espaciamientos verticales, tipos de refuerzo, diámetros del refuerzo entre otras muchas variables y así analizar la diversidad de los resultados.
4. Realizar investigaciones de referentes al tema en la cual se pueden aplicar variables diferentes a las aplicadas en el presente proyecto. Como pueden ser distintos diámetro, longitud y numero de anclajes; otro material de suelo, otro método de estabilización, otra área de aplicación de carga. Etc.
5. Realizar modelaciones como las realizadas, teniendo en cuenta características como aceleración sísmica y suelos saturados.

GLOSARIO

Anclajes: elemento estructural instalado en suelo o roca y que se utiliza para transmitir al terreno una carga de tracción aplicada

Anclajes activos: estos son pretensados después de haber sido instalados hasta encontrar su carga admisible de tal forma que comprima el terreno entre la zona del anclaje y la placa de apoyo de la cabeza.

Anclajes inyectados: armaduras metálicas, las cuales son introducidas en las rocas y cementadas completamente mediante inyecciones de lechada de cemento o mortero.

Anclajes pasivos: estos anclajes no son pretensados de pues de ser instalados ya que presenta tracción en el momento que el suelo o la roca presente movimientos.

Bulbo de anclaje: longitud de varilla cementada para transmitir cargas de tensión al suelo.

Capacidad de carga: la capacidad de carga es la presión última o de falla por corte del suelo y se determina utilizando las formulas aceptadas por la mecánica de suelos.

Deslizamientos: movimientos que deforman por corte y desplazamientos a lo largo de superficies. Este se puede dividir en deslizamiento rotacional y trasnacional.

Deslizamiento traslacionales: en este tipo de deslizamientos la masa de terreno se desplaza hacia afuera y abajo, a lo largo de una superficie más o menos planar o suavemente ondulada, con pequeños movimientos de rotación. Los deslizamientos traslacionales están controlados por las fracturas de las rocas y la resistencia de los materiales. Cuando este tipo de deslizamientos ocurre en rocas es muy lento.

Deslizamiento rotacional: la superficie del deslizamiento ocurre internamente en el material, de forma aproximadamente circular o cóncava. Las salidas de las superficies circulares de rotura pueden ocurrir en diferentes partes del talud. Asi tenemos: superficie de rotura del talud, superficie de rotura de pie de talud y superficie de rotura de base de talud. La velocidad de estos movimientos varia de lenta a moderada.

Desprendimiento: masa separada de un talud o ladera por una superficie de corte generalmente pequeña y cuyo recorrido se realiza principalmente a través del aire.

Estabilidad: resultado del proceso de estabilización.

Estabilización: procesos físicos o químicos, mediante el cual se mejora las condiciones mecánicas de un suelo.

Estabilización de taludes: solución geotécnica integral que se implementa en un talud, sea de terraplén, de excavación, de corte, natural u otros, capaz de incorporarle equilibrio suficiente y sostenible, que atienda los criterios gravitatorios y sísmicos, medidos por factores de seguridad, sin afectar negativamente a su entorno.

Falla: fractura en el terreno a lo largo de la cual hubo movimiento de uno de los lados respecto del otro

Humedad: agua que impregna un cuerpo o al vapor presente en la atmósfera.

Ladera: declive lateral de un monte o montaña, cuya pendiente es el ángulo de forma con la horizontal.

Refuerzo: un elemento mecánico destinado a disminuir las tensiones o deformaciones máximas de un elemento.

Roca: asociación de uno o varios minerales, natural, inorgánica, heterogénea, de composición química variable, sin forma geométrica determinada, como resultado de un proceso geológico definido.

Suelo: parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella.

Talud: acumulación de fragmentos de roca partida en la base de paredes de roca, acantilados de montañas o cuencas de valles.

BIBLIOGRAFÍA

SUAREZ DIAZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 1998.

GARCÍA NÚÑEZ. Jesús. HERNÁNDEZ. Félix. PEÑALOZA. Fernando. VII jornada geotécnicas “Geotecnia en la Infraestructura”. Foro sobre geotecnia de la sabana de Bogotá. Tomo II de Octubre 28 al 30 1992 en Santafé de Bogotá.

KLICHEEN. Charles. Rock Slope Stability

PÉREZ, María Celeste. Anclajes y sistemas de anclajes. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad regional Bs. As, 2004

YAGI, Norio. Slope stability engineering. Japón: Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1999.

UCAR NAVARRO. Roberto. Manual de Anclajes de Obras de Tierra , P h.

ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS. Convenio interadministrativo 0587-03 entre la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá y el ministerio de transporte de Colombia de octubre de 2006.

UCAR NAVARRO. Roberto. P h. Manual de Anclajes de Obras de Tierra

GARCÍA LÓPEZ. Manuel. Ingeniero Civil U.N., MSCE. Instituto nacional de vías. Diagnóstico sobre el Estado del Conocimiento en Estabilidad de Taludes en Carreteras de Colombia y la Eventual Necesidad de Usar Nuevas tecnologías (Orden de servicio OJ-0229 de Diciembre 4 de 1995.

DAVID F. Mc Essentials of Soil Mechanics and Foundations – Basic Geotechnics Carthy seventh Edition.

DELGADO VARGAS, Manuel. Ingeniería de fundaciones. Bogotá: Publicaciones ECI, 2001. p.541.

www.dywidag-sistemas.com

www.interempresas.net

ANEXO A
Resultados del proceso carga-deformación los modelos de taludes

ANEXO B.
Resultados de laboratorio

ANEXO C
Ensayos de laboratorio los anclajes

ANEXO
Plano máquina de laboratorio