



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y
LA CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA: “DESARROLLO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN
PARA TALUDES, MEDIANTE LA MEMBRANA DE
RECUBRIMIENTO DE ANHÍDRIDO POLIVINILO DE BÓRAX,
EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA LINEAL Y ZONAS DE
RIESGO DE DESLIZAMIENTOS”**

AUTOR: CAPT. MERINO YÁNEZ DENNIS VLADIMIR

DIRECTOR: ING. MORALES MUÑOZ BYRON OMAR

SANGOLQUÍ

2016



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA TALUDES, MEDIANTE LA MEMBRANA DE RECUBRIMIENTO DE ANHÍDRIDO POLIVINILO DE BÓRAX, EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA LINEAL Y ZONAS DE RIESGO DE DESLIZAMIENTOS”***, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor ***CAPT. MERINO YÁNEZ DENNIS VLADIMIR*** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 18 de julio del 2016

ING. MORALES MUÑOZ BYRON OMAR
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **CAPT. MERINO YÁNEZ DENNIS VLADIMIR**, con cédula de identidad N° 0603000506, declaro que este trabajo de titulación **“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA TALUDES, MEDIANTE LA MEMBRANA DE RECUBRIMIENTO DE ANHÍDRIDO POLIVINILO DE BÓRAX, EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA LINEAL Y ZONAS DE RIESGO DE DESLIZAMIENTOS”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 18 de julio del 2016

CAPT. MERINO YÁNEZ DENNIS VLADIMIR

C.C 0603000506



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **CAPT. MERINO YÁNEZ DENNIS VLADIMIR**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA TALUDES, MEDIANTE LA MEMBRANA DE RECUBRIMIENTO DE ANHÍDRIDO POLIVINILO DE BÓRAX, EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA LINEAL Y ZONAS DE RIESGO DE DESLIZAMIENTOS”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 18 de julio del 2016

CAPT. MERINO YÁNEZ DENNIS VLADIMIR
C.C 0603000506

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado cada día la vida, salud y fortaleza necesaria para alcanzar mis metas y objetivos.

A mis padres Franklin Merino y Ximena Yáñez, quienes con su trabajo incansable, ejemplo y sacrificio me sacaron adelante hasta ser un buen profesional.

A mis hermanos Fabián y Marcelo, como muestra de cariño fraterno que nos une y con los cuales siempre se podrá contar.

A mi amada Belén, por su amor, comprensión, entrega y apoyo incondicional, en aquellos momentos difíciles de mi vida.

A mis hijos Nicole, Marcelo y en especial a Nicolás, por su ternura, dulzura e inocencia, los cuales son el motor inspirador de mis días.

A mis abuelos Luz María Peñafiel y Luis Alberto Yáñez, que en paz descansen por enseñarme el camino de la humildad, sencillez y honestidad.

A toda mi familia, por sus muestras de cariño y consejos los cuales me alentaron para culminar con éxito esta meta.

AGRADECIMIENTO

A mi Ejército Ecuatoriano, por permitirme capacitarme y adquirir conocimientos, en beneficio de la Institución Armada y la sociedad.

A la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE, especialmente a la Carrera de Ingeniería Civil, por haberme abierto sus puertas y darme las facilidades e instrumentos necesarios para cumplir esta anhelada meta.

A mis maestros, por todos sus conocimientos, enseñanzas y experiencias compartidas durante toda la formación académica, que represento para la culminación de mi carrera.

Al Ing. Byron Morales, por su guía, consejos y tiempo invertido, en la dirección para la ejecución de este proyecto.

Al Ing. Hugo Bonifaz e Ing. Juan Haro, por su colaboración y ayuda desinteresada en el Laboratorio de Suelos.

A todos mis compañeros de armas por su apoyo moral y en especial a mi buen amigo John Castillo, con quien muchas veces tropezamos y supimos levantarnos para superar todos los obstáculos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT	xxii
CAPÍTULO I	1
ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Justificación e importancia del proyecto	3
1.4 Objetivo general del proyecto	4
1.5 Objetivos específicos.....	4
1.6 Metas del proyecto	4
1.7 Área de influencia.....	5
1.8 Metodología.....	5
1.9 Descripción Geográfica	6
CAPÍTULO II	7
GENERALIDADES DE LOS TALUDES	7
2.1 Definición de talud	7

2.2 Clasificación de los taludes.....	7
2.2.1 Taludes naturales	7
2.2.2 Taludes artificiales	7
2.3 Partes que conforma un talud.....	8
2.4 Tipos de movimientos.....	9
2.4.1 Desprendimientos.....	9
2.4.2 Vuelcos.....	10
2.4.2.1 Vuelco por flexión.....	10
2.4.2.2 Vuelco de bloques.....	11
2.4.2.3 Vuelco mixto	11
2.4.3 Deslizamientos	12
2.4.3.1 Deslizamiento rotacional	14
2.4.3.2 Deslizamiento traslacional	16
2.4.3.3 Esparcimiento lateral.....	16
2.4.4 Flujos o coladas.....	17
2.5 Estabilidad y protección de taludes	18
2.6 Factores que influyen en la estabilidad y protección	19
2.6.1 Erosión	19
2.6.2 Lluvia	20
2.6.3 Sismos.....	20
2.6.4 Aspectos Geológicos.....	21
2.6.5 Cargas externas	21
2.6.6 Actividades de la construcción	22
2.6.7 Otros tipos de factores.....	22

CAPÍTULO III	24
TÉCNICAS DE PROTECCIÓN DE TALUDES.....	24
3.1 Antecedentes.....	24
3.2 Técnicas de protección.....	25
3.2.1 Modificación de la geometría del talud	25
3.2.1.1 Descabezamiento	25
3.2.1.2 Tacones de tierra	26
3.2.1.3 Bermas.....	27
3.2.2 Protección por drenaje.....	27
3.2.2.1 Drenaje superficial	28
3.2.2.2 Drenaje profundo	29
3.2.3 Protección por anclajes	32
3.2.4 Protección mediante muros de contención.....	33
3.2.4.1 Muro de gravedad.....	33
3.2.4.2 Muro en voladizo.....	34
3.2.4.3 Muro con contrafuertes	35
3.2.5 Hormigón proyectado	35
3.2.5.1 Proyección por vía seca.....	36
3.2.5.2 Proyección por vía húmeda	36
3.2.6 Protección con mortero asfáltico	37
3.2.7 Protección con vegetación.....	38
CAPÍTULO IV	40
LOS GEOSINTÉTICOS APLICADOS A LA PROTECCIÓN DE TALUDES.....	40
4.1 Aspectos Generales	40
4.2 Definición de los geosintéticos.....	41

4.3 Componentes de los geosintéticos	41
4.3.1 Polietileno (PE).....	42
4.3.2 Polipropileno (PP).....	42
4.3.3 Poliéster (PS)	43
4.3.4 Policloruro de vinilo (PVC).....	43
4.3.5 Poliuretano (PU)	44
4.4 Campos de aplicación general.....	45
4.5 Clasificación de los geosintéticos	45
4.5.1 Geotextiles.....	45
4.5.1.1 Tipos de Geotextiles	46
4.5.1.2 Funciones de los Geotextiles	47
4.5.1.3 Características y Aplicación de los Geotextiles.....	48
4.5.2 Geomallas	49
4.5.2.1 Tipos de Geomallas	49
4.5.2.2 Funciones de las Geomallas.....	50
4.5.2.3 Características y Aplicaciones de las Geomallas.....	50
4.5.3 Georedes.....	51
4.5.3.1 Tipos de Georedes.....	52
4.5.3.2 Funciones de las Georedes	52
4.5.3.3 Características y Aplicaciones de las Georedes	53
4.5.4 Geomembranas.....	54
4.5.4.1 Tipos de Geomembranas.....	54
4.5.4.2 Funciones de las Geomembranas	55
4.5.4.3 Características y Aplicaciones de las Geomembranas	55
4.5.5 Geomantos	55
4.5.5.1 Tipos de Geomantos.....	56

4.5.5.2 Funciones de las Geomantas	57
4.5.5.3 Características y Aplicaciones de las Geomantas	57
CAPÍTULO V	58
ESTUDIO DEL ANHÍDRIDO POLIVINILO DE BÓRAX COMO MEMBRANA DE RECUBRIMIENTO	58
5.1 Introducción	58
5.2 Conceptos generales.....	59
5.2.1 Monómeros.....	59
5.2.2 Polímeros	59
5.2.3 Polimerización	60
5.2.3.1 Polimerización por adición	61
5.2.3.2 Polimerización por condensación	62
5.2.4 Membrana	62
5.2.5 Recubrimiento	63
5.2.6 Acetato de vinilo	63
5.2.7 Acetato de polivinilo.....	63
5.2.8 Bórax	63
5.2.9 Termohigrómetro	63
5.2.10 Dióxido de titanio	64
5.2.11 Pigmentos naturales.....	64
5.3 Composición química del anhídrido polivinilo de bórax (APB).....	64
5.4 Localización de las muestras.....	68
5.5 Ensayos y materiales.....	70
5.6 Ensayo de contenido de humedad	71
5.6.1 Equipo	72
5.6.2 Procedimiento.....	73

5.6.3 Hoja de registro	73
5.7 Ensayo de peso específico	77
5.7.1 Equipo	78
5.7.2 Procedimiento.....	79
5.7.3 Hoja de registro	79
5.8 Ensayo de límites de consistencia.....	83
5.8.1 Equipo Límite líquido	84
5.8.2 Equipo Límite plástico.....	85
5.8.3 Procedimiento Límite líquido	85
5.8.4 Procedimiento Límite plástico.....	87
5.8.5 Hoja de registro límite líquido	87
5.8.6 Hoja de registro límite plástico.....	91
5.8.7 Hoja de registro índice de plasticidad	94
5.9 Ensayo de granulometría.....	95
5.9.1 Equipo	96
5.9.2 Procedimiento.....	96
5.9.3 Hoja de registro	97
5.9.4 Clasificación por el sistema SUCS	101
5.10 Ensayo triaxial	103
5.10.1 Equipo	105
5.10.2 Procedimiento.....	106
5.10.3 Hoja de registro	108
5.11 Aplicación del sistema de protección.....	118
5.11.1 Obtención de muestras cúbicas	118
5.11.2 Dosificación de la membrana de recubrimiento.....	120
5.11.3 Cambios climatológicos.....	122

5.11.4 Proceso de aplicación.....	127
5.11.5 Otras aplicaciones	132
5.11.5.1 Aplicación en la ingeniería biotécnica	132
5.11.5.2 Aplicación como fotocatalizador.....	135
5.12 Análisis de presupuestos y costos.....	139
CAPÍTULO VI	144
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	144
6.1 Conclusiones	144
6.2 Recomendaciones	146
CAPÍTULO VII.....	147
BIBLIOGRAFIA.....	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Partes de un deslizamiento.....	13
Tabla 2 Comparación proyección seca y húmeda.....	37
Tabla 3 Tipo de polímero empleado en los geosintéticos.....	45
Tabla 4 Clasificación de los polímeros	60
Tabla 5 Especificación técnica del acetato de polivinilo	65
Tabla 6 Especificación técnica del bórax grado técnico	66
Tabla 7 Localización muestra 1	68
Tabla 8 Localización muestra 2	69
Tabla 9 Localización muestra 3	70
Tabla 10 Registro de humedad muestra 1.....	74
Tabla 11 Registro de humedad muestra 2.....	75
Tabla 12 Registro de humedad muestra 3.....	76
Tabla 13 Registro de Gs muestra 1	80
Tabla 14 Registro de Gs muestra 2.....	81
Tabla 15 Registro de Gs muestra 3.....	82
Tabla 16 Registro LL muestra 1.....	88
Tabla 17 Registro LL muestra 2.....	89
Tabla 18 Registro LL muestra 3.....	90
Tabla 19 Registro LP muestra 1	91
Tabla 20 Registro LP muestra 2	92
Tabla 21 Registro LP muestra 3	93
Tabla 22 Registro IP muestra 1	94
Tabla 23 Registro IP muestra 2	94
Tabla 24 Registro IP muestra 3	95
Tabla 25 Registro tamizado muestra 1	98
Tabla 26 Registro tamizado muestra 2.....	99
Tabla 27 Registro tamizado muestra 3	100
Tabla 28 Símbolos de grupo SUCS.....	101
Tabla 29 Resumen clasificación de muestras	103
Tabla 30 Registro triaxial muestra 1	109

Tabla 31 Resultados muestra 1	111
Tabla 32 Registro triaxial muestra 2	112
Tabla 33 Resultados muestra 2.....	114
Tabla 34 Registro triaxial muestra 3	115
Tabla 35 Resultados muestra 3.....	117
Tabla 36 Ángulo de talud en muestras	119
Tabla 37 Cuadro de dosificaciones.....	121
Tabla 38 Características estación meteorológica	123
Tabla 39 Viento dominante.....	124
Tabla 40 Distribución porcentual del viento	125
Tabla 41 Temperatura del aire en C°.....	125
Tabla 42 Temperatura en el punto de rocío en C°	126
Tabla 43 Humedad relativa en %.....	126
Tabla 44 Precipitaciones en mm.....	127
Tabla 45 Dosificación lechada	130
Tabla 46 Tiempo de secado y temperatura	131
Tabla 47 Dosificación final de la membrana	131
Tabla 48 Características pasto azul.....	133
Tabla 49 Especificación técnica del dióxido de titanio	137
Tabla 50 Ensayo sin probeta	138
Tabla 51 Ensayo con probeta.....	138
Tabla 52 Resumen de ensayo	139
Tabla 53 Localización talud de análisis	140
Tabla 54 Presupuesto referencial muro estructural	141
Tabla 55 Presupuesto referencial hormigón proyectado	141
Tabla 56 Presupuesto referencial pernos de anclaje.....	141
Tabla 57 Presupuesto referencial geomanta	142
Tabla 58 Presupuesto referencial membrana de recubrimiento	142
Tabla 59 Cuadro resumen de presupuestos.....	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Talud.....	7
Figura 2 Partes de un talud	8
Figura 3 Partes de talud natural.....	8
Figura 4 Partes de talud artificial	9
Figura 5 Desprendimiento	10
Figura 6 Vuelco por flexión	11
Figura 7 Vuelco de bloques	11
Figura 8 Vuelco mixto	12
Figura 9 Deslizamiento	12
Figura 10 Partes de un deslizamiento	14
Figura 11 Rotura de talud	15
Figura 12 Rotura de pie	15
Figura 13 Rotura de base	15
Figura 14 Deslizamiento traslacional.....	16
Figura 15 Esparcimiento Lateral.....	17
Figura 16 Flujo de diferentes velocidades	17
Figura 17 Efecto de erosión.....	20
Figura 18 Talud sometido a lluvia	20
Figura 19 Talud sometido a sismo.....	21
Figura 20 Aspecto geológicos en talud.....	21
Figura 21 Carga en la cima del talud.....	22
Figura 22 Excavación al pie del talud	22
Figura 23 Descabezamiento de talud	26
Figura 24 Tacón por el pie.....	26
Figura 25 Tacón por la base.....	27
Figura 26 Berma en talud	27
Figura 27 Zanja de drenaje en un talud.....	29
Figura 28 Dren horizontal	30
Figura 29 Pozo vertical	30
Figura 30 Galería de drenaje.....	31

Figura 31 Zanja con relleno drenante	32
Figura 32 Anclaje.....	32
Figura 33 Anclaje en talud.....	33
Figura 33 Muros de gravedad.....	34
Figura 34 Muro en voladizo o T	34
Figura 35 Muro con contrafuerte.....	35
Figura 36 Hormigón proyectado	36
Figura 37 Proyección vía seca.....	36
Figura 38 Proyección por vía húmeda	37
Figura 39 Mortero asfáltico	38
Figura 40 Recubrimiento vegetal en talud	39
Figura 41 Polietileno.....	42
Figura 42 Polipropileno	43
Figura 43 Poliéster.....	43
Figura 44 Policloruro de vinilo.....	44
Figura 45 Poliuretano	44
Figura 46 Geotextil	46
Figura 47 Geotextil tejido.....	46
Figura 48 Geotextil no tejido.....	47
Figura 49 Geomalla mono-orientada	49
Figura 50 Geomalla bi-orientada	50
Figura 51 Geored.....	51
Figura 52 Geored biplanar.....	52
Figura 53 Geored triplanar.....	52
Figura 54 Geomembrana.....	54
Figura 55 Geomanta de fibras de coco.....	56
Figura 56 Geomanta permanente.....	57
Figura 57 Monómero de Etileno.....	59
Figura 58 Polímero de polietileno	60
Figura 59 Etapa de iniciación.....	61
Figura 60 Etapa de propagación.....	61
Figura 61 Etapa de terminación.....	62

Figura 62 Polimerización por condensación	62
Figura 63 Termohigrómetro	64
Figura 64 Cola blanca.....	65
Figura 65 Bórax	65
Figura 66 Formación del polímero de goma blanca.....	66
Figura 67 Formación del polímero APB.....	67
Figura 68 Ubicación en planta muestra 1	68
Figura 69 Talud No 1	68
Figura 70 Ubicación en planta muestra 2	69
Figura 71 Talud No 2.....	69
Figura 72 Ubicación en planta muestra 3	70
Figura 73 Talud No 3 en zona de riesgo.....	70
Figura 74 Horno.....	72
Figura 75 Balanza.....	72
Figura 76 Cápsulas.....	73
Figura 77 Bomba de vacío y picnómetro	78
Figura 78 Embudo	78
Figura 79 Tamices metálicos.....	79
Figura 80 Copa de casagrande	84
Figura 81 Muestra taras y ranurador	85
Figura 82 Placa de vidrio con rollos de 5mm.....	85
Figura 83 Límite líquido muestra 1	88
Figura 84 Límite líquido muestra 2	89
Figura 85 Límite líquido muestra 3	90
Figura 86 Curva granulométrica muestra 1	98
Figura 87 Curva granulométrica muestra 2	99
Figura 88 Curva granulométrica muestra 3	100
Figura 89 Clasificación SUCS muestra 1.....	101
Figura 90 Clasificación SUCS muestra 2.....	102
Figura 91 Clasificación SUCS muestra 3.....	102
Figura 92 Cámara triaxial	105
Figura 93 Deformación probeta	105

Figura 94 Máquina Triaxial	106
Figura 95 Tallado de probeta.....	106
Figura 96 Probeta con membrana	107
Figura 97 Probeta confinada	107
Figura 98 Fisura.....	108
Figura 99 Curva esfuerzo deformación muestra 1	111
Figura 100 Círculos de Mohr muestra 1	111
Figura 101 Curva esfuerzo deformación muestra 2.....	114
Figura 102 Círculos de Mohr muestra 2	114
Figura 103 Curva esfuerzo deformación muestra 3.....	117
Figura 104 Círculos de Mohr muestra 3	117
Figura 105 Excavación de la muestras.....	118
Figura 106 Esculpido de la muestra	119
Figura 107 Cobertura y transporte.....	119
Figura 108 Tallado de probetas.....	120
Figura 109 Muestras con dosificaciones.....	121
Figura 110 Ubicación estación Iasa.....	123
Figura 111 Estación meteorológica tipo.....	123
Figura 112 Velocidad máxima (m/s)	124
Figura 113 Dirección del viento en rumbos	125
Figura 114 Temperatura máxima y mínima (C°).....	125
Figura 115 Temperatura de rocío (C°)	126
Figura 116 Humedad relativa (%).....	127
Figura 117 Precipitación (mm) y número de días	127
Figura 118 Materiales de la membrana	128
Figura 119 Compresor.....	129
Figura 120 Equipo y materiales	129
Figura 121 Probeta de ensayo.....	130
Figura 122 Lanzado de lechada	131
Figura 123 Probeta final	132
Figura 124 Pasto azul.....	134
Figura 125 Perforación	134

Figura 126 Crecimiento pasto.....	135
Figura 127 Dióxido de titanio	136
Figura 128 Caja hermética	137
Figura 129 Disminución de gases en ensayo	139
Figura 130 Talud de análisis sector San Rafael	140
Figura 131 Presupuesto comparativo	143

RESUMEN

En la actualidad existen varias técnicas de prevención y protección de taludes, que van desde la utilización de los geosintéticos, hasta el diseño de complejas estructuras que necesitan de varios materiales para su adecuado funcionamiento y que intentan que el riesgo de falla sea mínimo o a su vez nulo, pero que eventualmente no se escapan de una gran inversión económica y de una notable afectación del medio ambiente en general. Este proyecto de graduación busca implementar un sistema de protección de taludes, a través del uso de una membrana de recubrimiento, la misma que involucra el empleo del anhídrido polivinilo de bórax en condiciones de variación térmica, climática y diferentes porcentajes de talud de corte, además de sus considerables beneficios en la aplicación tanto en obras de infraestructura vial como en zonas de riesgo de deslizamientos, para que de esta manera se conserven en buenas condiciones y presten el servicio para el cual fueron construidos. Ante esto se realiza una recopilación preliminar de información y se ejecuta una serie de ensayos tanto de las características geotécnicas del suelo como de los elementos que conforman dicha membrana, para de esta manera establecer una comparación costo beneficio entre las técnicas tradicionales empleadas comúnmente y esta nueva tecnología que busca abrirse campo en la construcción ingenieril.

Palabras clave:

- **PROTECCIÓN DE TALUDES**
- **DESLIZAMIENTOS**
- **GEOSINTÉTICOS**
- **MEMBRANA DE RECUBRIMIENTO**
- **ANHÍDRIDO POLIVINILO DE BORAX**

ABSTRACT

At present there are several techniques for prevention and slope protection, ranging from the use of geosynthetic, to the design of complex structures of various materials needed for its proper functioning and trying that the risk of failure is minimal or zero turn, but eventually not escape a major economic investment and a significant effects on the environment in general. This graduation project seeks to implement a slope protection system, through the use of a membrane coating, the same one that involves the use of polyvinyl borax anhydride under thermal, climatic and different percentages of variation slope cutting, in addition to its considerable benefits in implementing both road infrastructure and landslide risk áreas, o that in this way are kept in good condition and provide the service for which they were built. At this preliminary information gathering is done and runs a series of tests both the geotechnical characteristics of the soil as the elements that make up the membrane, to thereby establish a comparison cost benefit between traditional techniques commonly used and new technology that seeks to gain ground in engineering construction.

Keywords:

- **PROTECTION OF SLOPES**
- **SLIDES**
- **GEOSYNTHETICS**
- **COATING MEMBRANE**
- **POLYVINYL BORAX ANHYDRIDE**

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

Actualmente el crecimiento de la población y el continuo desarrollo de las vías de comunicación que conectan con las demás ciudades del país y que permiten llevar una vida social y económicamente activa, han impulsado al diseño de vías, caminos, puentes, túneles, presas de tierra, infraestructura de protección contra las inundaciones, crecidas de los ríos, entre otras, por lo que la construcción de taludes ha alcanzado una gran relevancia en la parte ingenieril.

De esta manera los taludes son proyectos cuyos movimientos de grandes volúmenes de suelo, necesitan tener especial atención debido a los daños que se pueden originar sean estos de índole material o humano, los deslizamientos de tierras especialmente en las zonas montañosas tienen con frecuencia a sufrir este tipo de problemas, debido que para su ocurrencia están involucrados elementos importantes como son la topografía, la sismicidad del sector, la meteorización, la erosión o desgaste significativo del suelo y las condiciones meteorológicas existentes en la zona.

Estas estructuras conservan un diseño tanto en corte como en relleno, ya sean en estado natural como construido artificialmente, es por esto que el factor de seguridad, la inclinación adecuada, las condiciones originales del terreno, el empleo de elementos soportantes, entre otros, deben ser tomados muy en cuenta ya que con el transcurso del tiempo tendrán una notable influencia en su costo y permanencia.

Estos dos elementos, costo y tiempo, han llevado a la búsqueda de nuevos materiales los cuales permitan optimizar los esfuerzos, tanto por el aspecto de inversión, como por las consecuencias derivadas de sus fallas, por ende los taludes hoy en día son una de las estructuras en la ingeniería civil que exigen mayor cuidado, protección y mantenimiento por parte del proyectista.

Por esta razón el presente proyecto, busca desarrollar una membrana de protección, empleando materiales básicos para su fabricación y como una nueva alternativa de construcción la cual garantice el esfuerzo, tiempo y recursos económicos, para mejorar su rendimiento, durabilidad, pero sobre todo poder comparar con técnicas de protección que actualmente se disponen en nuestro mercado.

1.2 Antecedentes

Años atrás los taludes se diseñaban con normas puramente empíricas, sin ningún criterio generalizador de las experiencias adquiridas, sin embargo y en especial los trabajos realizados dentro de la infraestructura vial, ha motivado a llevar a cabo los primeros estudios racionales de taludes; en los cuales se consideran las características mecánicas de los suelos la cual ha permitido adquirir nuevas experiencias sobre bases firmes y desarrollar ideas teóricas para conocer de manera más detallada el funcionamiento particular de estas estructuras.

Los taludes son tan antiguos como la misma humanidad, por esta razón constituyen una de las estructuras dentro de la ingeniería civil que exigen un mayor cuidado por parte del constructor, para obtener como resultado un talud que ofrezca las condiciones de seguridad, durabilidad y economía, sin embargo durante casi toda la historia han constituido un gran problema para conseguir su estabilidad y protección.

Es por esto que desde la antigüedad existió el uso de materiales como las pieles de animales, las fibras vegetales cuyo fin era el reforzamiento de suelos, sin embargo estas técnicas surgen en los años 60 con el uso ya de textiles en el campo de la ingeniería y no fue hasta la década de los 70 que se procede con la fabricación de los materiales textiles justamente para este fin.

El empleo de los geosintéticos en Ecuador, ha tenido notoriedad en los últimos años, cuya necesidad cada vez se hace más crítica en los diferentes proyectos de ingeniería, la cual se basa en la ejecución de obras civiles con

un alto grado técnico que permite disminuir el impacto ambiental con materiales y procesos que promuevan la no afectación del medio ambiente.

Esta tecnología de aplicación de los geosintéticos se ha convertido en una alternativa para dar solución a un sin número de problemas, pero especialmente a los relacionados con la parte técnica y económica de las obras, cuya implementación en la mayoría de los casos ha sido de forma empírica, basándose en resultados y experiencias anteriormente ejecutados.

En muchas ocasiones los geosintéticos representan una solución exitosa en varios ámbitos de la construcción, pero la falta de una metodología y un conocimiento definido en cuanto a su diseño, materiales constitutivos, proceso constructivo entre otras, no han permitido ser de esta tecnología una de las más aplicadas en la actualidad y con beneficios altamente sustanciales.

Durante las últimas décadas, los fabricantes de productos geosintéticos han invertido en el desarrollo de nuevos productos, es así que se desarrollan sistemas de refuerzo y protección mediante geotextiles, geomallas, geomantas, geomembranas, geocompuestos, entre otros.

1.3 Justificación e importancia del proyecto

Los problemas relacionados a la protección de taludes se presentan con frecuencia en todo el territorio Ecuatoriano, ocasionando la obstrucción del tráfico vehicular, destrucción de la infraestructura vial, así como también colocando en riesgo la vida de aquellas personas cuyas viviendas por la expansión y los asentamientos sin control, se han ubicado sobre laderas y taludes consideradas zonas de alto riesgo produciendo un grave perjuicio económico para la sociedad y el estado.

Existe entonces diversas alternativas empleadas en la protección de taludes, sin embargo no todas satisfacen y cumplen con las características deseables en el ámbito de la construcción, por lo que se necesita de diferentes procesos, mejoras y tratamientos para lograr modificar y optimizar su comportamiento a las condiciones y aplicaciones deseadas.

Es por esto que actualmente el empleo de los geosintéticos, refuerzan y protegen las falencias que presentan los diferentes suelos, permitiendo alcanzar ventajas técnicas y económicas significativas a la solución de los problemas de protección en taludes.

Actualmente esta membrana no está disponible en el mercado y considerando que la importancia, aplicabilidad e incorporación de nuevas técnicas en el campo de la ingeniería civil se ha considerado desarrollar el presente proyecto que busca establecer una aplicación óptima de la membrana de recubrimiento de protección para taludes, con el fin de mejorar las propiedades de los materiales superficiales de los mismos.

1.4 Objetivo general del proyecto

Implementar un nuevo sistema de protección de taludes, a través del uso de una membrana de recubrimiento, que involucra el empleo del anhídrido polivinilo de bórax.

1.5 Objetivos específicos

- Definir los parámetros geomecánicos que se emplean en la protección de taludes, mediante ensayos de laboratorio y campo en muestras inalteradas.
- Investigar el comportamiento de la membrana de recubrimiento de anhídrido polivinilo de bórax, en diferentes porcentajes de talud de corte y condiciones de variación térmica y climática.
- Determinar un nuevo sistema de protección, apropiado para los taludes de las carreteras y los asentamientos de viviendas en zonas consideradas de alto riesgo.

1.6 Metas del proyecto

- Recopilar la información teórica y técnica relacionada al proyecto.
- Ejecutar los ensayos respectivos en el laboratorio del material muestreado en el talud.
- Investigar normativas y especificaciones vigentes en cuanto al empleo de los geosintéticos para protección de taludes.
- Determinar las características del anhídrido polivinilo de bórax.

- Conocer y transmitir nuevas tecnologías, en cuanto a la protección de taludes en zonas de riesgo moderado.
- Determinar si este nuevo material puede ser empleado como membrana de recubrimiento de protección.

1.7 Área de influencia

En el Ecuador las carreteras sufren generalmente interrupciones de tráfico debido a los deslizamientos de laderas y taludes, sean estos por un mal diseño o por falta de un oportuno mantenimiento, este problema se agrava en zonas donde las condiciones climatológicas son rigurosas, la alta peligrosidad sísmica y las características de los suelos son poco favorables para su estabilidad.

Por tal motivo las carreteras en nuestro país constituyen la vía de comunicación terrestre más importante en la que la mayoría de la población se transporta a través de ellas que forman parte de la red vial del país, sin embargo cuando hay deslizamientos de suelos sobre estas se genera un grave problema de seguridad a la sociedad e infraestructura existe ya que estos constituyen procesos geológicos destructivos.

De igual manera debido al incremento poblacional existente en el país en estos últimos años, han hecho que las familias se desplacen y se asienten en zonas que representan un alto riesgo a sufrir daños parciales o totales, representados en bienes materiales y en vidas humanas, por la ocurrencia misma de movimientos de suelos en un sitio determinado.

1.8 Metodología

La metodología de investigación que se empleara en el proyecto será descriptiva y técnica, descriptiva ya que se recopilara e investigará la información y documentación existente del tema, con la colaboración de los docentes especializados en cada área de estudio, las mismas que servirán para alcanzar los objetivos y metas propuestas en forma Técnica.

1.9 Descripción Geográfica

El proyecto abarca a nivel local, regional y nacional, en la que los taludes que delimitan la infraestructura lineal y sobre los cuales las poblaciones generalmente han expandido sus viviendas, han cumplido con su vida útil generando un riesgo eminente para la seguridad y economía del país.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES DE LOS TALUDES

2.1 Definición de talud

Representa a una superficie inclinada sea esta de suelo o roca respecto de la horizontal, cuya posición que adopte sea de forma temporal o permanente, el talud por ende constituye una estructura compleja de analizar y estudiar debido a que en su estudio está presente los problemas relacionados a mecánica e ingeniería de suelos.



Figura 1 Talud

Fuente: (GEOBRUGG; s.f)

2.2 Clasificación de los taludes

Se clasifican en dos grupos:

2.2.1 Taludes naturales

Se llama talud natural a cualquier superficie que tenga una inclinación y son formadas por la naturaleza a través de la historia, en el cual no existió la intervención humana.

2.2.2 Taludes artificiales

Se llama talud artificial a cualquier superficie inclinada, en el cual para su ejecución y construcción ha sido necesario la intervención de mano del hombre.

2.3 Partes que conforma un talud

En el talud se define los siguientes elementos:

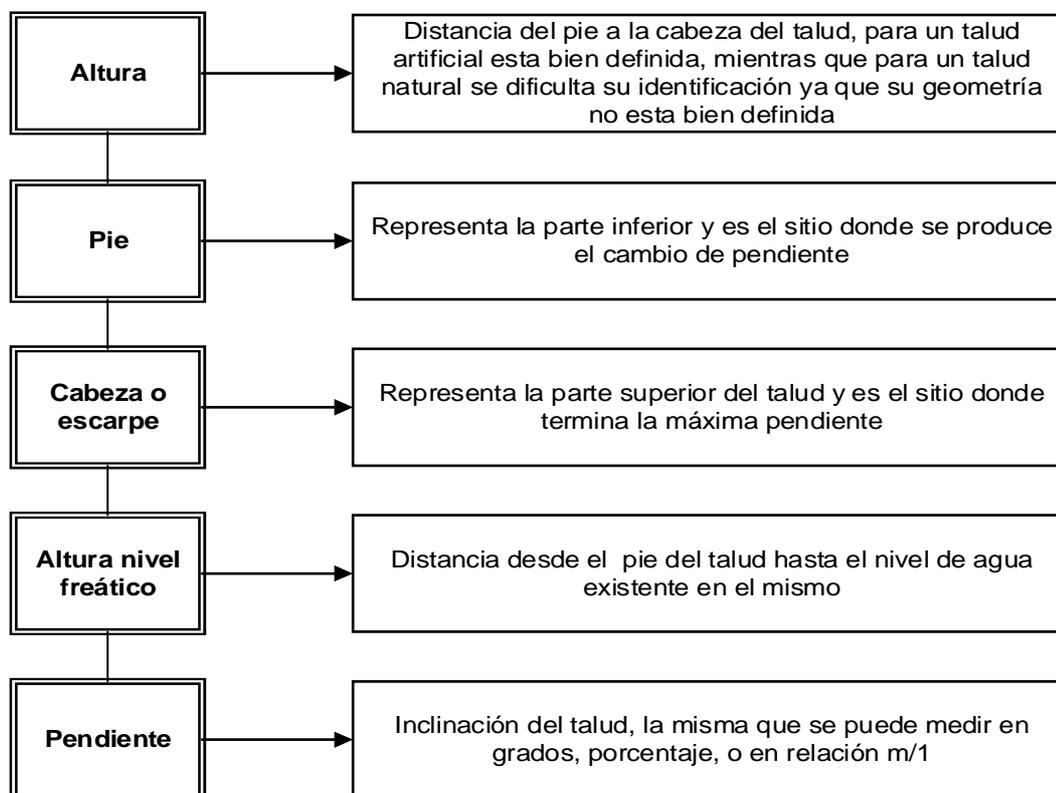


Figura 2 Partes de un talud

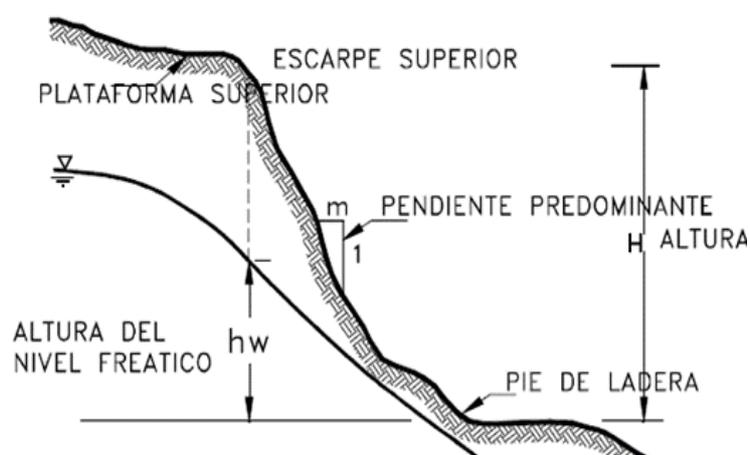


Figura 3 Partes de talud natural

Fuente: (Súarez; 1998, p. 2)

Continúa 

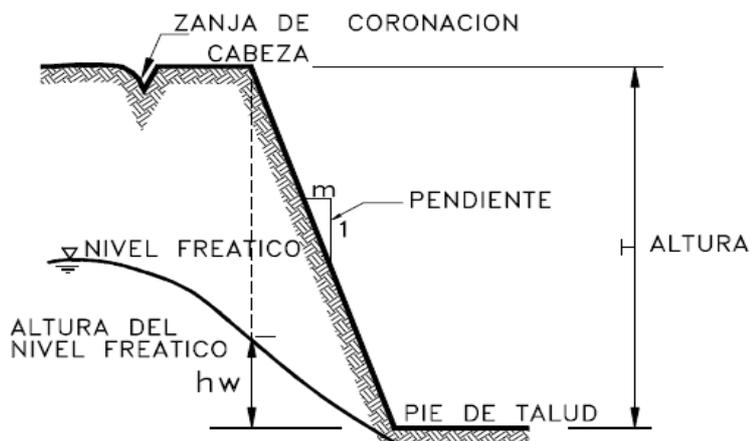


Figura 4 Partes de talud artificial

Fuente: (Súarez; 1998, p. 2)

2.4 Tipos de movimientos

La falta de estabilidad y seguridad en los taludes se presenta gracias a una serie de movimientos de tierra, en la que principalmente se trata de poder identificar el mecanismo actuante, así como sus características geomorfológicas y geométricas, por lo que se describe la siguiente clasificación:

2.4.1 Desprendimientos

Este movimiento se produce por una falta de resistencia al esfuerzo al corte, a través de una pequeña masa de tierra que se separa del talud y cuya trayectoria se la realiza en el aire hasta impactar en la superficie.

Esta se produce por la separación de una masa considerable de suelo o roca de la parte empinada de la ladera, el movimiento que se da es por caída libre, rebote y posterior rodadura, la cual al impactar contra la superficie del terreno tiende a romperse en muchos fragmentos.

Los mecanismos que pueden llevar a este tipo de movimientos, generalmente sucesivos son: la meteorización¹ de capas blandas, acumulación de presiones en el borde y rotura por flexotracción².

¹ Desintegración y descomposición de las rocas por contacto con la atmósfera.

² Esfuerzo al que está sometido un cuerpo por la aplicación de fuerzas que actúan en sentido contrario.

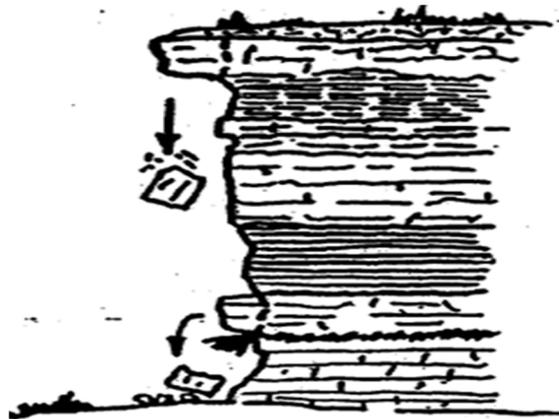


Figura 5 Desprendimiento

Fuente: (IGME; 1986, p. 12)

2.4.2 Vuelcos

Es un movimiento en el que se produce un giro, este a la vez lo realiza en forma de columna o bloque de suelo sobre una base, pero para que esto acontezca es necesario tanto de la acción de la gravedad así como de las fuerzas producidas a su alrededor y sin olvidarse además la influencia que tiene la filtración de agua por sus agrietamientos.

Los vuelcos son exclusivos de medios rocosos, los cuales se condicionan por la disposición estructural de los estratos hacia la parte interna del talud y por un sistema de discontinuidades bien desarrollado, dentro de los cuales se puede encontrar a los siguientes:

2.4.2.1 Vuelco por flexión

Este movimiento se produce por flexiones continuas del material que conforma el talud en donde se forma una serie de columnas por efecto de la acumulación simultánea de movimientos en todo el trayecto de falla.

Es decir que el movimiento se inicia por la transferencia de la carga en la parte inferior, esto permite que la fuerza progrese hacia el interior del material rocoso, lo que origina una sucesión de grietas de tracción a una profundidad y con anchos variables.

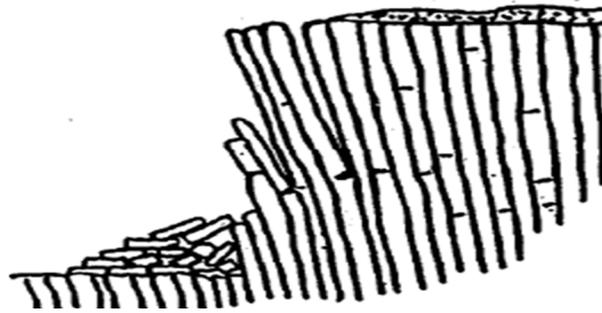


Figura 6 Vuelco por flexión

Fuente: (IGME; 1986, p. 15)

2.4.2.2 Vuelco de bloques

Este movimiento es muy peculiar y se presenta en suelos rocosos, cuyas fragmentaciones se caracterizan porque se producen de forma de columnas debido a que sus discontinuidades son en ángulo recto separadas en bloques.

El empuje que se produce sobre los bloques que se localizan al pie de la ladera dan origen a su desplazamiento y el movimiento del suelo se prolonga hacia la cabeza del talud por lo que las columnas menos esbeltas son desplazadas hacia afuera del talud como efecto del esfuerzo generado por los bloques anteriormente girados, reiniciandose este proceso simultaneamente.

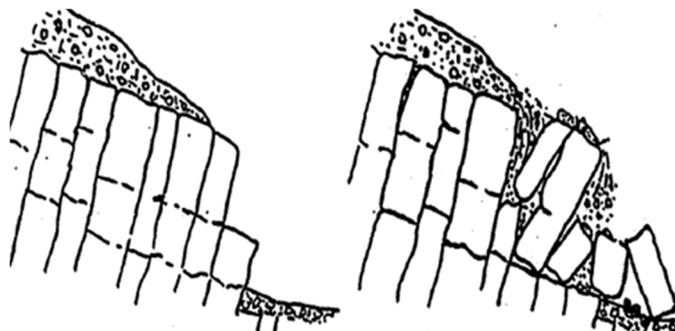


Figura 7 Vuelco de bloques

Fuente: (IGME; 1986, p. 16)

2.4.2.3 Vuelco mixto

“Es un caso en el cual se participa de las características de los dos anteriormente descritos. Se produce cuando los bloques son alargados,

debido a flexiones en el pie del talud e inter-movimientos relativos de las distintas unidades". (IGME; 1986, p.16)



Figura 8 Vuelco mixto

Fuente: (IGME; 1986, p. 16)

2.4.3 Deslizamientos

Este movimiento se produce por falta de resistencia al esfuerzo cortante a lo largo de varias superficies de terreno o de alguna zona relativamente delgada, el cual puede presentarse de forma progresivamente o simultánea abarcando toda el área de falla.

Los deslizamientos están conformados por una o varias masas de tierra que se mueven de forma semi-independientes ya que estos obedecen a procesos naturales o a desestabilización de tierra por el efecto de cortes, rellenos, erosión, deforestación, entre otros.



Figura 9 Deslizamiento

Fuente: (Súarez; 1998, p. 16)

Este movimiento suele producirse con frecuencia en nuestro territorio por lo que es importante conocer un deslizamiento o movimiento en masa típico, con sus diversas partes.

Tabla 1
Partes de un deslizamiento

Escarpe principal	Superficie inclinada en la periferia del área en movimiento, originado por el desplazamiento del material.
Escarpe secundario	Superficie inclinada, originada por desplazamientos diferenciales de la masa de suelo.
Cabeza	Es el material que se mueve en las partes superiores, a lo largo del escarpe principal.
Cima	Es el punto mas alto por encima del escarpe principal
Corona	Es aquel material que no se ha movido y que de igual forma esta en la parte mas alta del escarpe principal.
Superficie de falla	Es el área que se encuentra debajo del movimiento de la masa de suelo.
Pie de la superficie de falla	Se encuentra entre la superficie de rotura y la superficie original del terreno, en muchos de los casos queda tapada.
Base	Esta debajo del pie y representa el área cubierta por el material desplazado.
Punta o uña	Es aquel punto de la base más distante de la cima.
Costado o flanco	Representa el lado o perfil lateral del movimiento.
Superficie original del terreno	Es el área que existia antes del movimiento de la masa de tierra.
Derecha e izquierda	Se usa este termino cuando se refiere al movimiento de tierras visto desde la corona hacia el pie.

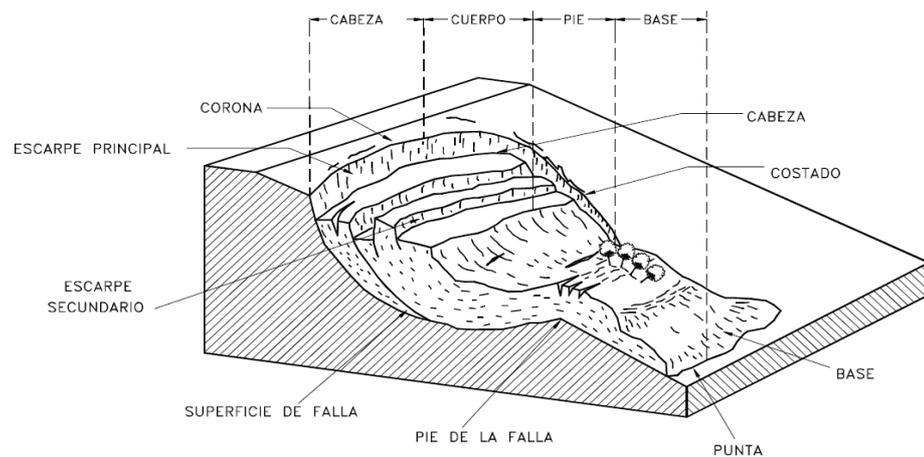


Figura 10 Partes de un deslizamiento

Fuente: (Súarez, 1998, p. 3)

De igual manera existen algunos tipos de deslizamientos entre los cuales podemos distinguir los siguientes:

2.4.3.1 Deslizamiento rotacional

Este tipo de falla se forma por una curva, en donde su centro de giro se localiza por encima del centro de gravedad del cuerpo de la masa en movimiento, lo que origina que el deslizamiento tenga lugar a lo largo de la superficie interna del talud adoptando una forma cóncava.

Según las propiedades geomecánicas de los suelos, así como también la altura, pendiente y la zona donde se encuentra el talud, ocasiona que la salida de las superficies circulares sobre las que se presenta la rotura, puedan originarse en tres partes diferentes del talud como se indica a continuación:

- a) Llámese superficie de rotura de talud, si la superficie de rotura corta al mismo por arriba de su pie.

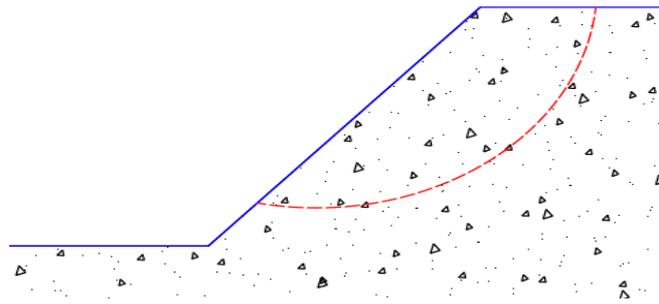


Figura 11 Rotura de talud

Fuente: (Cando & Chiquin; 2014, p. 26)

- b) Llámese superficie de rotura de pie de talud, si la salida se origina desde el pie del mismo hasta la cabeza que conforma dicho talud.

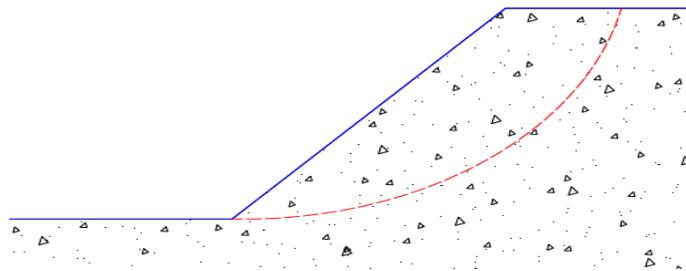


Figura 12 Rotura de pie

Fuente: (Cando & Chiquin; 2014, p. 26)

- c) Llámese superficie de rotura de base de talud, si la rotura sobrepasa el pie del talud, con una salida en la del mismo y distanciada del pie.

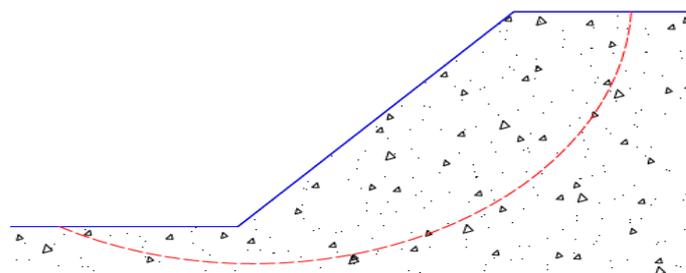


Figura 13 Rotura de base

Fuente: (Cando & Chiquin; 2014, p. 27)

2.4.3.2 Deslizamiento traslacional

Aquí el movimiento de la masa se desplaza hacia abajo a lo largo de una superficie plana o levemente ondulada, pero en la cual no se puede evidenciar movimiento de rotación o volteo.

La continuidad de estos movimientos de masas tiende a ser indefinido, siempre que la inclinación de la superficie de deslizamiento sea lo suficientemente grande y la resistencia al corte inferior a las fuerzas desestabilizadoras.

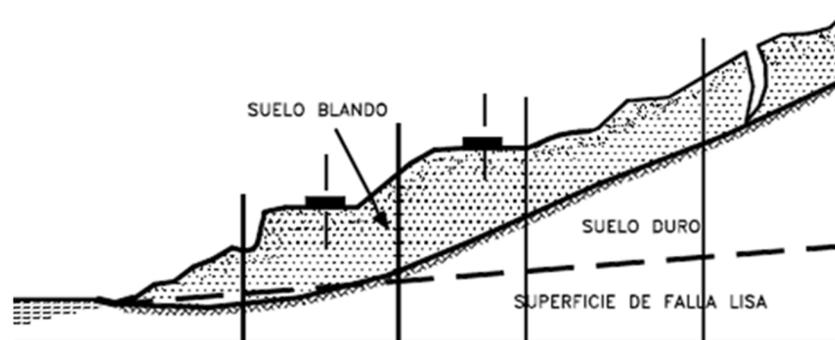


Figura 14 Deslizamiento traslacional

Fuente: (Súarez; 1998, p. 19)

2.4.3.3 Esparcimiento lateral

El movimiento que domina a los esparcimientos, son la extensión lateral acompañada por fracturas de corte y tensión, por lo que se suma la superficie de falla movimientos de rotación, translación y de flujo.

Estos movimientos son complicados de caracterizar ya que pueden presentarse en masas de roca sobre suelos plásticos y en suelos finos tales como arcillas y limos.

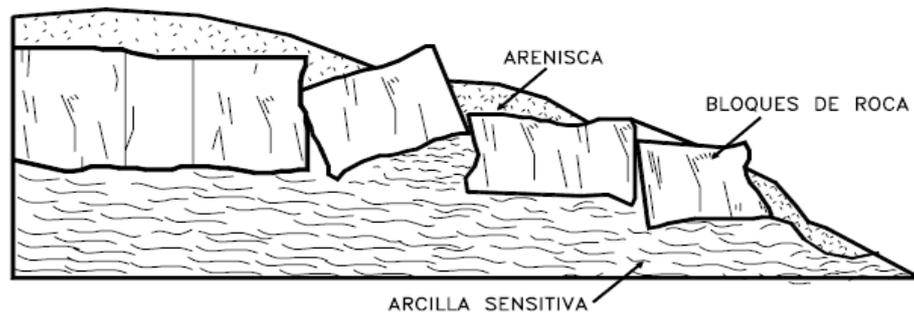


Figura 15 Esparcimiento Lateral

Fuente: (Súarez; 1998, p. 19)

2.4.4 Flujos o coladas

En un flujo o colada existen movimientos relativos de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre la superficie del talud, estos flujos por su velocidad pueden ser lentos, rápidos o muy rápidos, así como también secos o húmedos dependiendo del sector donde se localicen y los puede haber de diferentes materiales como roca, de residuos o de suelo o tierra.

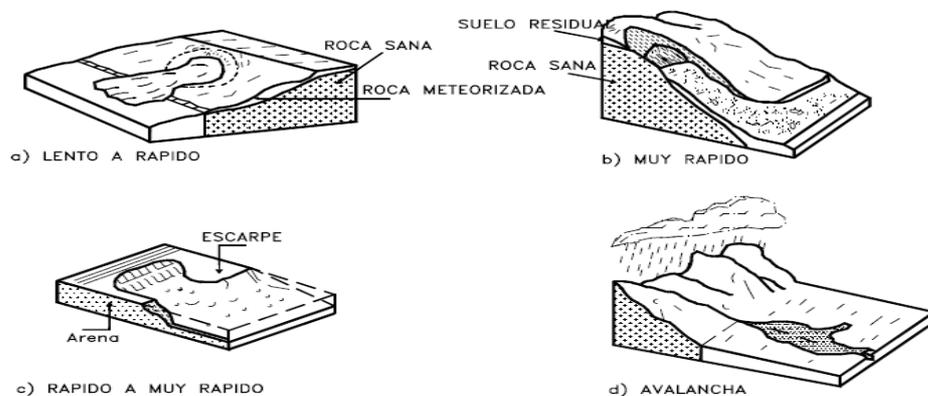


Figura 16 Flujo de diferentes velocidades

Fuente: (Súarez; 1998, p. 22)

Entre los principales tipos de flujos se pueden destacar los siguientes:

- a) Flujo en roca: son aquellas deformaciones que se distribuyen a lo largo dejando en su camino fracturas grandes y pequeñas, este flujo tiene gran ocurrencia en zonas tropicales montañosas y de poca vegetación como lo es en la cordillera de los Andes.

- b) Flujo de residuos: un flujo de roca generalmente termina en un flujo de residuos, puesto que el movimiento de los materiales se van disgregando, es decir que es posible observar una diferencia de tamaños entre la cabeza y el pie del talud, su iniciación se presenta por la cantidad e intensidad de lluvias en las zonas debido a la pérdida de resistencia de sus materiales constitutivos y cuyos daños por efecto de este flujo cubren áreas grandes.
- c) Flujo de suelo: por lo general suelen ser secos y lentos de acuerdo a la humedad existente en el sector y a la pendiente en que se encuentre diseñado el talud, en las zonas montañosas y desérticas ocurren flujos pequeños y muy secos pero que alcanzan velocidades consideradas altas.
- d) Flujos de lodo: en este tipo de flujo los materiales de suelo son sumamente finos y las humedades extremadamente altas, por lo que se puede hablar de una viscosidad propiamente dicha, llegando al punto de encontrar suelos suspendidos en agua, este flujo tiene una fuerza destructora que abarca grandes áreas y que depende de su velocidad y caudal.

2.5 Estabilidad y protección de taludes

Se entiende por estabilidad a la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento, la conformación de taludes demanda una serie de actividades y estudios previos ya que si las mismas se efectúan en condiciones topográficamente difíciles es necesario el empleo de materiales, diseños y sistemas tecnológicos que mejoren las características del talud, para de esta manera lograr un factor de seguridad que garantice su estabilidad a futuro.

Es así que los taludes estarán estables y protegidos dependiendo de la resistencia del material que están compuestos, los empujes a los que son sometidos o las discontinuidades que presenten; estos a su vez pueden ser de diferente material como:

- a) Roca: esta es dura y firme por lo que se encuentra intacta en su lugar antes de la iniciación del movimiento.
- b) Residuos: cuyo suelo contiene una significativa proporción de material grueso, es decir que si más del 20% del material en peso es mayor de 2 mm de diámetro equivalente este debe llamarse residuos, por lo que deben existir partículas mayores de 2 milímetros para que pueda considerarse de este modo.
- c) Tierra: el material que contiene más del 80% de las partículas menores a 2 mm, es decir desde arenas a arcillas muy plásticas se les considera de este tipo.

Hoy en día en nuestro medio no solamente se busca una estabilización segura, sino que también existen diversas formas de protección de taludes los cuales permiten lograr aislarlos de aquellos agentes destructores, entre los cuales y por citar un ejemplo tenemos: las hidrosiembras, hormigones proyectados, el empleo de los geosintéticos entre otros, pero la aplicación de estas medidas protectoras dependerá de algunos factores que al analizarlos se podrá tener una solución óptima e ideal.

2.6 Factores que influyen en la estabilidad y protección

Entre los factores que afectan la estabilidad y protección de un talud natural o diseñado podemos mencionar los siguientes:

2.6.1 Erosión

“El agua y el viento erosionan continuamente pendientes naturales y artificiales” (Budhu; 2010, p. 690). Lo que ocasiona un cambio en la geometría de la pendiente del talud y se traduce en un derrumbe o más acertadamente un deslizamiento de tierra, algo similar ocurre con los ríos y corrientes los cuales al recorrer continuamente sus flancos socavan el pie de las pendientes.

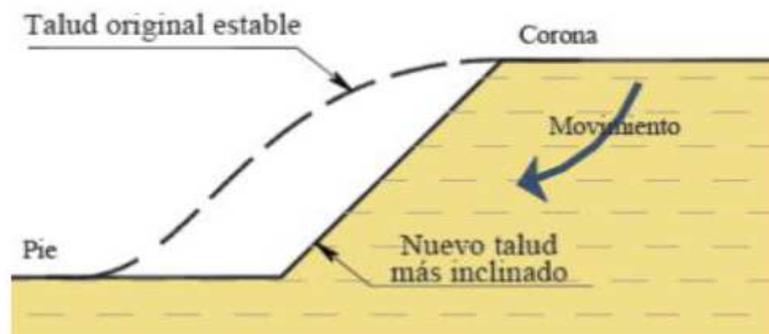


Figura 17 Efecto de erosión

Fuente: (Valladares; 2015, p. 5)

2.6.2 Lluvia

“Los largos períodos de lluvias, saturan, suavizan y erosionan los suelos” (Budhu; 2010, p. 691), lo que produce un aumento de peso en la masa de tierra que conforma el talud y por ende una disminución en su resistencia al esfuerzo cortante, además el agua que cae a la superficie entra en las grietas y debilita las capas subyacentes del suelo, lo que conlleva al colapso de la misma.

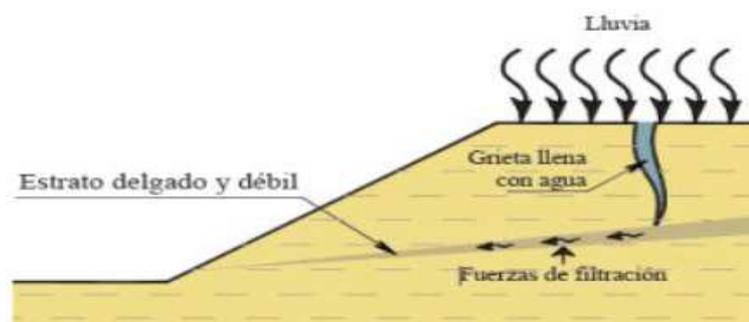


Figura 18 Talud sometido a lluvia

Fuente: (Valladares; 2015, p. 5)

2.6.3 Sismos

Los sismos producen en el talud: fisuración, fracturación, disminución en su resistencia, generación de fuerzas de tipo dinámico sobre las masas de tierra y un aumento en la presión de poros formados por materiales granulares que pueden provocar lo que se conoce como licuefacción³,

³ Comportamiento del suelo, que sujeto a una fuerza externa pasan de un estado sólido a un estado líquido o adquiere la consistencia de un líquido pesado.

siendo este último uno de los fenómenos más destructivos por acciones sísmicas.

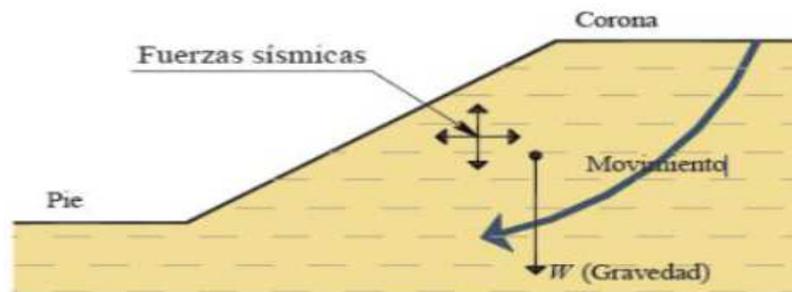


Figura 19 Talud sometido a sismo

Fuente: (Valladares; 2015, p. 6)

2.6.4 Aspectos Geológicos

Muchos de los errores que conllevan a las fallas en taludes, son el resultado de características geológicas no detectadas durante los trabajos de levantamiento y exploración in-situ, los mismos que al no ser considerados durante la evaluación inicial de la estabilidad del talud ocasionan serios problemas y aumentan la incertidumbre del factor de seguridad a futuro.

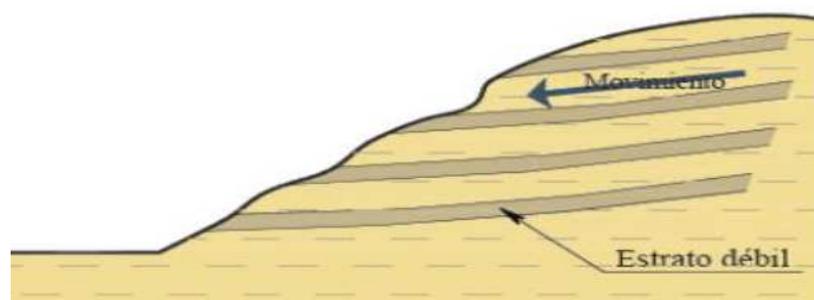


Figura 20 Aspecto geológicos en talud

Fuente: (Valladares; 2015, p. 6)

2.6.5 Cargas externas

“Las cargas colocadas en la parte superior de la pendiente del talud y sumadas a la carga gravitatoria pueden provocar una falla del mismo” (Budhu; 2010, p. 691), es por esta razón que mencionadas cargas deben ser tomadas en cuenta durante la evaluación y diseño del talud.



Figura 21 Carga en la cima del talud

Fuente: (Valladares; 2015, p. 7)

2.6.6 Actividades de la construcción

Si la construcción se la realiza cerca del pie del talud pueden provocar un colapso del mismo, ya que la resistencia total disminuye, generando en el suelo un incremento negativo de la presión de poro y durante el tiempo que este incremento se disipe puede presentarse la falla, por lo que se puede distinguir dos casos las excavaciones y los rellenos.

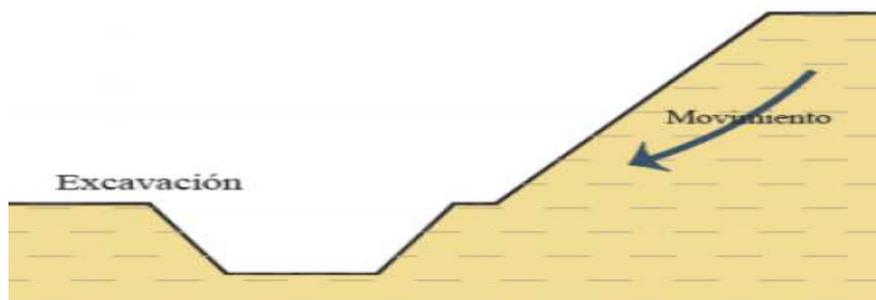


Figura 22 Excavación al pie del talud

Fuente: (Valladares; 2015, p. 8)

2.6.7 Otros tipos de factores

Adicional a los factores anteriormente descritos, existen otros que de igual manera afectan en el transcurrir de los años y que si no son tratados pueden dañar el talud severamente entre estos tenemos los siguientes:

- La irrigación que facilita la infiltración y los cambios de humedad y presión de poros.
- Las constantes fugas de agua, producto de las instalaciones defectuosas en las redes de servicios.

- El descuido y no mantenimiento de los drenes y subdrenes existentes en el talud.
- La falta de revegetación del talud afecta la resistencia del suelo, ya que sus raíces al crecer al interior del talud ayudan a darle una mayor estabilidad y protección. .
- El constante tráfico vehicular, así como la detonación de explosivos, vibraciones artificiales, entre otras, generan fuerzas dinámicas y causan un debilitamiento interno de los materiales del talud.

CAPÍTULO III

TÉCNICAS DE PROTECCIÓN DE TALUDES

3.1 Antecedentes

En la actualidad la protección de taludes considera técnicas de prevención, mitigación y mantenimiento, así como la incorporación de nuevas tecnologías muchas de las cuales se basan en estructuras encaminadas a estabilizar el terreno y otras orientadas a controlar la erosión superficial.

Pero para la evaluación de la estabilidad es necesario conocer las características con las cuales está conformada la masa de suelo y a su vez identificar las propiedades entre las cuales se encuentran: contenido de humedad, peso específico, granulometría, límites de consistencia, ángulo de fricción, cohesión y resistencia al corte.

Muchas de estas técnicas buscan optimizar el control de la erosión y estabilidad del talud, pero para que esto ocurra es necesario identificar algunos factores que influyen y están involucrados en su proceso constructivo como son: su diseño y el costo económico que representa para el proyectista.

La protección de taludes ha ido adquiriendo cada vez una importancia mayor dentro de las obras civiles, en nuestro país la mayoría del transporte se realiza por vía terrestre, la misma que se ve interrumpida debido a los desmoronamientos de los taludes especialmente en épocas invernales, produciendo grandes pérdidas económicas y arriesgando la seguridad de las personas.

No olvidemos que las normas y la parte ecologista, pide mantener el medio ambiente lo más inalterado posible, por lo tanto no solamente es necesario preocuparse por la protección y estabilidad de los terrenos, sino que además es necesario dejarlos lo más parecido posible de cómo estaban antes de la intervención de la mano del hombre.

3.2 Técnicas de protección

Hoy en día la construcción de taludes, sobre todo en aquellos lugares donde la topografía presenta dificultades y las condiciones meteorológicas son muy adversas, han originado que la conformación de los mismos no deben de ir solo sino acompañados de elementos resistentes que mejoren su estabilidad y durabilidad en el transcurso de los años, ante los cual mencionaremos algunas técnicas empleadas para conseguir dicho fin.

3.2.1 Modificación de la geometría del talud

Si el talud presenta inestabilidad es decir que su protección es precaria, una forma de solventar este problema es realizar una modificación en su geometría original, para de esta manera tener una nueva configuración que resulte estable y óptima.

Mediante esto se busca disminuir las fuerzas que tienden al movimiento de la masa, ante lo cual se reduce el volumen de tierra que se encuentra en la cabeza del talud para lograr un aumento en su resistencia al corte el mismo que se obtiene al incrementar el volumen en la parte inferior del mismo.

Existen algunas formas que permiten modificar la geometría del talud y mejorar su estabilidad entre las que se tiene a las siguientes:

3.2.1.1 Descabezamiento

En movimiento consiste en eliminar aquel material que esta en la cabeza del talud y que por efecto de su peso contribuye más al deslizamiento y menos a la resistencia al cortante, ya que en la parte alta del mismo se tiene su maxima inclinacion.

Esta técnica es efectiva y se aplica fundamentalmente cuando la excavación no presenta dificultades serias, que pueden deberse tanto a las características del material como a la accesibilidad a la zona de excavación puesto que esto daría lugar a una inversión economica alta.

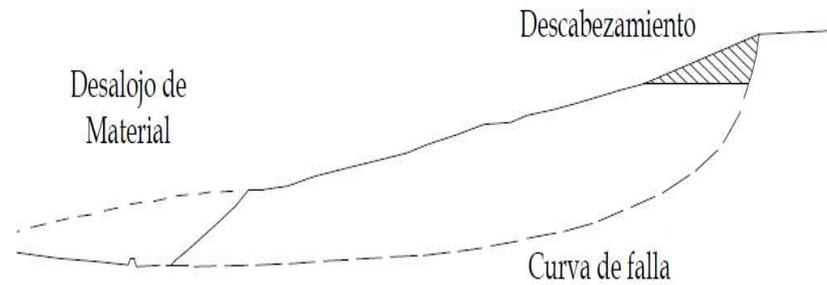


Figura 23 Descabezamiento de talud

Fuente: (IGME; 1986, p. 297)

3.2.1.2 Tacones de tierra

Los tacones de tierra, se asientan en el pie del talud y pueden efectuarse en combinación con el descabezamiento siempre que el material de la cabeza del talud sea útil, para de esta forma economizar los gastos.

El peso propio del tacón aumenta las tensiones normales en la parte baja de la superficie de deslizamiento, lo que permite aumentar su resistencia.

Si el movimiento de tierras se produce por el pie del talud, es recomendable colocar el tación por encima del mismo.



Figura 24 Tacón por el pie

Fuente: (IGME; 1986, p. 298)

Pero si el movimiento suele ser por la base del talud, es posible colocar el tacón al frente del pie del talud.

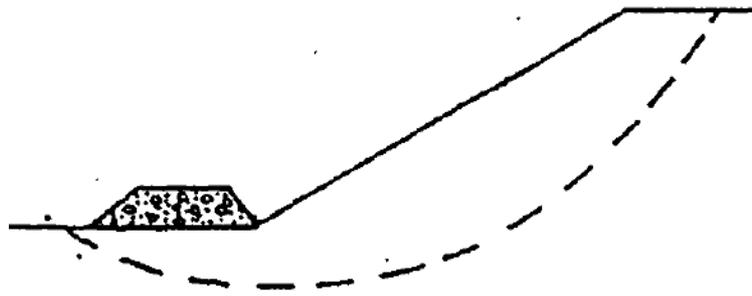


Figura 25 Tacón por la base

Fuente: (IGME; 1986, p. 298)

3.2.1.3 Bermas

Estas se ejecutan con frecuencia en taludes naturales o a su vez ya construidos o cuando se prevén deslizamientos que ya han comenzado a producirse, por otra parte las bermas son aconsejables porque: facilita los procesos constructivos y operaciones de mantenimiento del talud, retiene las caídas de fragmentos de roca y permite evacuar las aguas de escorrentía, siempre y cuando tengan zanjas de drenaje.



Figura 26 Berma en talud Multipropósito Chone

3.2.2 Protección por drenaje

Cuando en un talud existe y se aprecia de manera significativa problemas de inestabilidad e inseguridad, se tiende a tomar medidas de protección como son los drenajes ya que estas técnicas tienen por objeto reducir las presiones intersticiales originadas por la presencia de agua en el

interior del talud, lo que con lleva aumentar su resistencia y disminuir tanto el peso total como las fuerza desestabilizadora.

En ocasiones los drenajes son poco o nada eficaces debido al desconocimiento previo de las condiciones hidrogeológicas del terreno, por lo que se recomienda tener un estudio preliminar el cual nos permita alcanzar un mejor aprovechamiento de esta técnica.

Entre las técnicas de drenaje, existen dos tipos los cuales se detalla a continuación:

3.2.2.1 Drenaje superficial

Este drenaje permite recoger tanto las aguas superficiales como las conducidas por los drenajes profundos, para de esta forma llevar y evacuar dichas aguas fuera del talud y evitar su posible filtración.

El drenaje superficial tienen dos propósitos en la superficie del talud, los cuales son:

- a) Evitar que las aguas producto de la escorrentía⁴ lleguen a zonas próximas al talud ya sea por filtración o grietas formadas en el terreno, las cuales producen un aumento significativo del nivel freático, de la presión intersticial y del peso en la masa deslizable.
- b) Evitar en lo posible los efectos erosivos de las aguas lluvia las mismas que impactan contra sobre la superficie del talud, lo que conlleva con el tiempo a socavaciones del mismo.

Las aguas producto de las lluvias se evacuan por medio de cunetas de drenaje, las cuales están dispuestas en forma paralela al talud, las mismas que deben ser colocadas a una distancia corta de la cresta del talud y detrás de la misma, con la finalidad de evitar que el agua se penetre en el terreno por alguna fisura o grieta.

⁴ Flujo de agua, lluvia, nieve u otras fuentes sobre la tierra.



Figura 27 Zanja de drenaje en un talud

Fuente: (Rios; s.f)

3.2.2.2 Drenaje profundo

Esta técnica se aplica en taludes excavados y naturales con indicios de inestabilidad. “Los drenajes profundos consisten en orificios que penetran en el suelo y que recogen el agua contenida en el mismo, atrayendo las líneas de corriente y deprimiendo el nivel freático⁵” (IGME; 1986, p. 300), con la siguiente disminución de las presiones intersticiales, estos drenajes a su vez se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- a) Drenes horizontales: son perforaciones que poseen un diámetro pequeño y una gran longitud, efectuados en el interior del terreno, en la que se colocan tubos los mismos que tienen ranuras o perforaciones que permiten evacuar el agua, entre sus ventajas se puede mencionar, que su aplicación es rápida y sencilla, el drenaje se realiza por gravedad, requiere poco mantenimiento y es una técnica flexible ante cualquier tipo de geología existente, de igual manera es aplicable a taludes de altura pequeña o mediana altura.

⁵ Corriente de agua, que está acumulado en el subsuelo sobre una capa impermeable y puede aprovecharse mediante pozos.



Figura 28 Dren horizontal

Fuente: (Recuperación de Pozos Pérez; s.f)

- b) Pozos verticales: son perforados desde la superficie superior del talud y el agua que se recoge es extraída por bombas colocadas en fondo del pozo, la gran ventaja de esta técnica es que pueden instalarse y entrar en funcionamiento antes que inicie la excavación lo que garantiza la estabilidad del talud durante su construcción.

Este drenaje además representa un costo significativo para el proyectista por el empleo del equipo de bombeo y de la energía necesaria para su funcionamiento, sin embargo este problema puede eliminarse conectando a los pozos con drenes horizontales para obtener una bajante de agua por gravedad hasta la zanja recolectora.

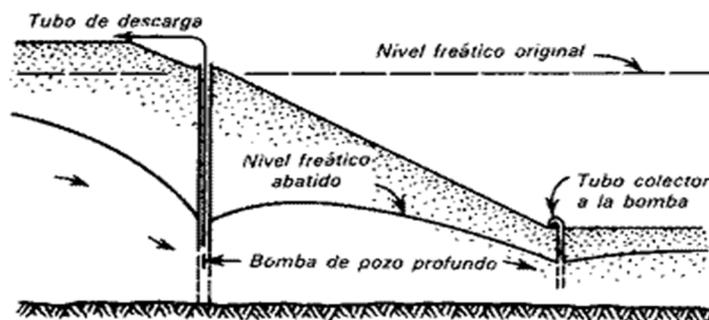


Figura 29 Pozo vertical

Fuente: (Constructor Civil; 2011)

- c) Galerías de drenaje: estas se construyen de forma paralela al talud a gran profundidad, excavadas en el terreno natural y que permite tanto la captación como la evacuación de aguas subterráneas, esta técnica de protección se utiliza en condiciones críticas y en taludes de gran altura, los mismos que suelen ser más efectivos pero a la vez costosos, por lo que es necesario tener un estudio previo de las características geotécnicas y de las condiciones hidrogeológicas de la zona.

Entre su principal ventaja es que se tiene una mayor capacidad drenante debido a su sección transversal la cual no afecta al suelo del talud, por lo que su vida útil es mucho mayor convirtiéndose en un medio excelente para determinar las propiedades del terreno.

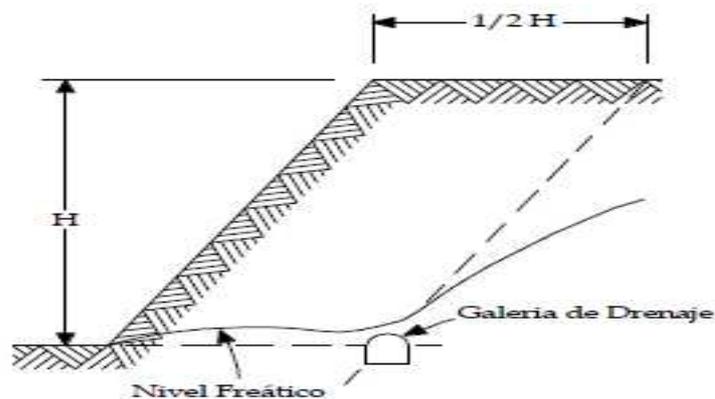


Figura 30 Galería de drenaje

Fuente: (IGME; 1986, p. 308)

- d) Zanjas con relleno drenante: consiste en zanjas rellenas de material drenante, adecuadamente compactado y excavadas en el talud o más allá del pie del mismo cuyas profundidades son pequeñas y pueden ser de dos tipos: zanjas de talud y zanjas horizontales, la primera sigue la pendiente del talud y la segunda son paralelas y se colocan al pie del mismo.

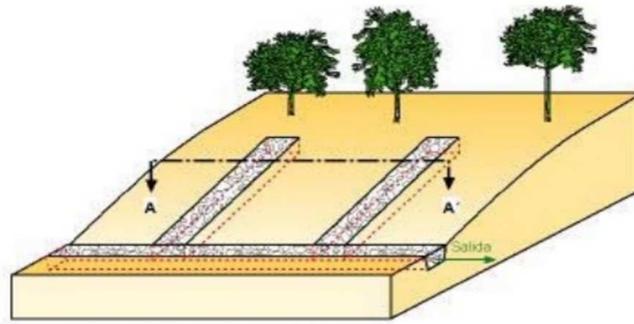


Figura 31 Zanja con relleno drenante

Fuente: (Ortuño; 2004, p. 27)

3.2.3 Protección por anclajes

Un ancla es un elemento diseñado para transmitir un esfuerzo de tensión que permite soportar estructuras de tierra natural o artificial, con la cual se restringe el desplazamiento o giro de la masa deslizante del talud, aquí se distinguen tres partes fundamentales que son: la cabeza, zona de anclaje y zona libre.

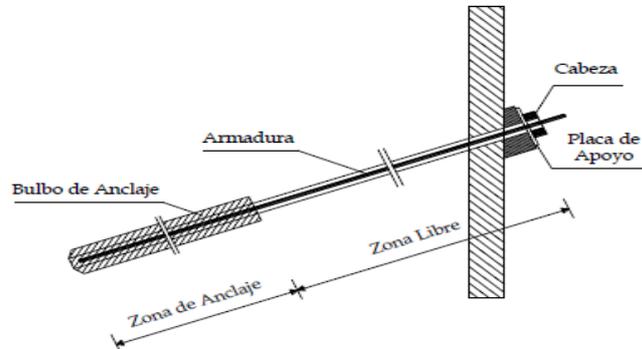


Figura 32 Anclaje tipo

Fuente: (IGME; 1986, p. 310)

Para diseñar un anclaje hay que considerar tanto las propiedades mecánicas del suelo como las condiciones meteorológicas y la vida útil proyectada, el uso de esta técnica por lo general es seguro y confiable.

Además se tiene anclajes provisionales que se emplean por un tiempo determinado y anclajes permanentes cuya instalación es definitiva, los materiales que comúnmente se utiliza para su fabricación son de

alambres de acero de alta resistencia, cordones constituidos por hilos de acero y barras de acero especial.



Figura 33 Anclaje en talud

Fuente: (Reino de Navarra Arena; s.f)

3.2.4 Protección mediante muros de contención

Su finalidad es resistir el empuje producido por las masas de tierra u otros materiales sueltos retenidos detrás de ellos, estos estabilizan los deslizamientos existentes o potenciales y su protección la deben fundamentalmente tanto al peso propio como al del material que está sobre su fundación.

El colocar estos muros pueden acarrear inconvenientes ya que su colocación exige una cierta excavación en la parte inferior del talud por lo que favorece la inestabilidad, de igual forma su construcción es costosa sin embargo son empleados con frecuencia ya que en muchos casos representa la única alternativa viable.

Existen diversos tipos de muros de contención, por lo que los de uso más frecuente son:

3.2.4.1 Muro de gravedad

Este permite resistir el empuje mediante la aplicación de su propio peso y del suelo que se apoya en ellos, se aplica para muros de hasta 5m de altura y son económicas, estos pueden adoptar varias formas y estar contruidos de concreto ciclópeo, mampostería, piedra o gaviones.

Estos muros deben ser lo suficientemente anchos para proporcionar protección y estabilidad contra el posible volcamiento y deslizamiento de material pétreo que conforma el talud.

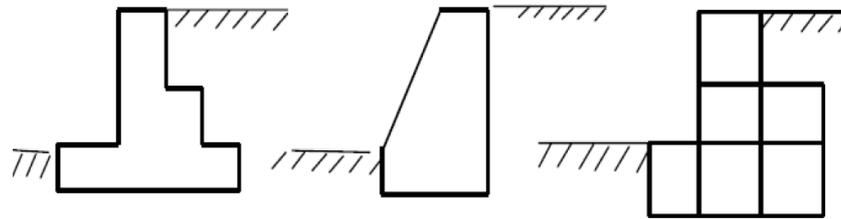


Figura 33 Muros de gravedad

Fuente: (Guevara; 2008, p. 5)

3.2.4.2 Muro en voladizo

Están diseñados para tolerar la presión que ejerce la tierra, a través de la acción de una pantalla de hormigón armado que se encuentra en voladizo, la cual esta empotrada en una zapata y que permiten resistir los momentos y fuerzas cortantes.

Este muro es recomendable para alturas menores de 10m y la forma que más se utiliza en su construcción es la denominada T, la cual logra alcanzar su estabilidad por el ancho que tenga su zapata, de tal manera que impide el volcamiento y mejora la seguridad del muro al deslizamiento.

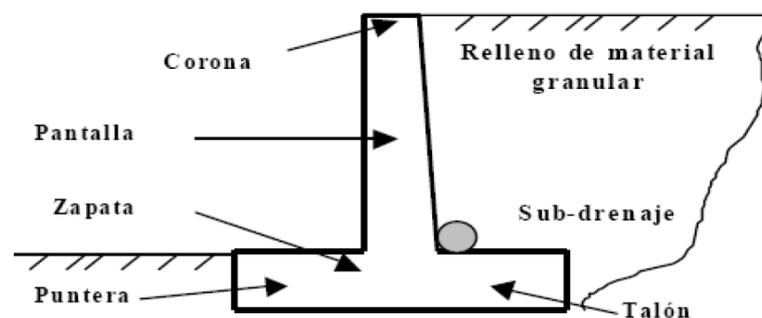


Figura 34 Muro en voladizo o T

Fuente: (Guevara; 2008, p. 6)

3.2.4.3 Muro con contrafuertes

El efecto del empuje producido por el terreno, es soportado por una pantalla y transmitido al suelo por una zapata de cimentación, pero para que esta unión entre la pantalla y la zapata sea óptima se construye unos contrafuertes.

Estos contrafuertes son de hormigón armado, los mismos que se diseñan en el interior de la pantalla en contacto con la zapata del muro o en su cara exterior donde no es muy frecuente colocarlas, de igual forma al aumentar la altura del muro incrementa el espesor de la pantalla el cual es sustituido por los contrafuertes, lo que conlleva a requerir de un armado, encofrado y vaciado de hormigón más dificultoso.

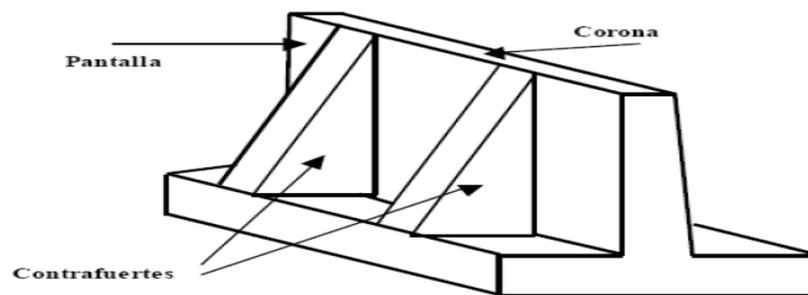


Figura 35 Muro con contrafuerte

Fuente: (Guevara; 2008, p. 7)

3.2.5 Hormigón proyectado

Actualmente esta técnica de protección se ha consolidado dentro de la ingeniería civil como uno de los procedimientos importantes, tanto en la protección, sostenimiento y revestimiento de taludes, el mismo que consiste en la proyección del material sobre una superficie mediante el empleo de máquinas de bombeo y a través de una manguera y boquilla.



Figura 36 Hormigón proyectado

Fuente: (GEOTRAVER; s.f)

Usualmente esta técnica se clasifica en dos tipos según el proceso de proyección

3.2.5.1 Proyección por vía seca

En esta técnica el cemento y sus agregados se mezclan sin hidratar el cemento, para luego ser transportado a través de mangueras a la boquilla en donde se introduce el agua, en este hormigón se puede incluir aditivos o fibras en polvo.



Figura 37 Proyección vía seca

Fuente: (ICH; 2015, p. 13)

3.2.5.2 Proyección por vía húmeda

En esta técnica el cemento, agregado, agua y otros componentes se mezclan juntos, para luego ser transportado y descargado en una bomba, para que a través de mangueras lleguen a la boquilla, en este hormigón se incorpora el aditivo antes de ingresar a la boquilla.



Figura 38 Proyección por vía húmeda

Fuente: (ICH; 2015, p. 13)

Finalmente la proyección seca se aplica para aplicaciones de volúmenes pequeños, distancias largas e interrupciones repetidas, mientras que la proyección húmeda se aplica en todo tipo de trabajo relacionado al soporte de rocas, a continuación se presenta una tabla entre ambas técnicas.

Tabla 2
Comparación proyección seca y húmeda

PROYECCIÓN SECA	PROYECCIÓN HÚMEDA
Equipo más económico	Mayor costo de equipo
Alto costo de mantenimiento	Bajo costo de mantenimiento
Mezcla en lugar de trabajo	Mezcla exacta en planta
Alto rebote	Bajo rebote
Variación de la calidad	Calidad consistente
Elevada velocidad de proyección	Velocidad de proyección inferior
Mayor contaminación ambiental	Menos contaminación
Mayor producción de polvo	Se genera menos polvo

3.2.6 Protección con mortero asfáltico

Las nuevas tecnologías han evolucionado, dando el inicio a técnicas innovadoras, como es el uso del mortero asfáltico el mismo que involucra la combinación de agregados pétreos, agua, emulsión asfáltica, aditivos los cuales deben ir dosificados en proporciones exactas.

Esta mezcla debe ser durable para que permita resistir las acciones como la falta de adherencia de la película de asfalto con el agregado por

efectos de la erosión causada por la lluvia o por algún tipo de movimiento de tierras que inducen el agrietamiento del mismo.

El uso de este mortero asfáltico permite mejorar las características geomecánicas de los materiales constitutivos del talud, pero es necesario un estudio riguroso de sus agregados para el cual se debe diseñar el tipo de emulsión asfáltica apropiada, que brinde las facilidades tanto en su elaboración como en la ejecución y aplicación del mismo.



Figura 39 Mortero asfáltico

Fuente: (Cando & Chiquin; 2014, p. 247)

3.2.7 Protección con vegetación

Otra técnica que permite la protección, conservación y el control de procesos erosivos de los suelos es el empleo de la vegetación, tanto en superficie como en profundidad aumentando la resistencia y cohesión, lo que influye de manera significativa en su humedad y en la capacidad para retener el agua.

Pero no todas las especies de plantas son aptas para desempeñar las características deseadas como son proteger la estabilidad y erodabilidad⁶ de taludes, es por esto que se debe tener en cuenta sus exigencias agroclimáticas, edáficas⁷, hídricas, morfológicas, entre otras.

La vegetación busca encontrar técnicas efectivas, económicas y en especial encaminadas al cuidado del medio ambiente, es un proceso que no demanda de mucho esfuerzo pero sus resultados son a largo plazo en

⁶ Índice que indica la vulnerabilidad o susceptibilidad a la erosión

⁷ Organismos que se encuentran en el suelo y que pueden ser mejorados

donde es necesario la asesoría de personal capacitado en el conocimiento y manejo adecuado de las especies típicas de la región.

Finalmente el recubrimiento vegetal cumple con algunas funciones las cuales se detallan a continuación:

- Evita derrumbes del talud, por el entramado de sus raíces, así mismo estas refuerzan el suelo, ya que actúan como pilotes que anclan a los estratos duros.
- Controla la filtración de agua, la misma que se origina por el agrietamiento del suelo.
- Impide el impacto directo del agua sobre el suelo, ya que amortigua la energía con la que caen las gotas de lluvia.
- La evapotranspiración⁸, permite extraer la humedad existente en el suelo.
- Permite que el entorno ambiental no se vea afectado en comparación con las otras técnicas en donde la zona o sector pierde las características paisajísticas.



Figura 40 Recubrimiento vegetal en talud

⁸ Cantidad de agua del suelo que vuelve a la atmósfera como consecuencia de la evaporación y la transpiración de las plantas.

CAPÍTULO IV

LOS GEOSINTÉTICOS APLICADOS A LA PROTECCIÓN DE TALUDES

4.1 Aspectos Generales

El uso de los geosintéticos abarca un sin número de aplicaciones dentro de los trabajos de la parte ingenieril, ya que estos se han desarrollado con la intención de mejorar las características de los materiales constitutivos del talud, para así lograr una buena ejecución y minimizar los costos de los diferentes proyectos.

Los diferentes estudios, ensayos y prácticas realizadas, han permitido determinar su buen desempeño, en vista que mencionados materiales pueden soportar las exigencias de humedad dentro del suelo y proporcionar un refuerzo gracias a la composición química con las que son fabricadas, lo que le permite adquirir propiedades mecánicas importantes.

En la actualidad los geosintéticos nos facilitan varias soluciones, por lo que han logrado tener una gran apertura y nos representa una de las primeras alternativas en la protección de taludes en especial en aquellas obras de infraestructura lineal existente en el país, por lo que es prudente destacar las siguientes las ventajas que ofrece:

- Fácil de transportar e instalar en obra.
- Uso de materiales de calidad los cuales pueden ser verificados.
- Permite cumplir con las normas existentes, a través de soluciones ambientales.
- Permite ahorrar de tiempo y esfuerzos en cuanto al diseño y ejecución de las obras.
- Económicamente es factible ya sea por la menor inversión que se necesita.
- Permite dar una vida útil prolongada a la estructura.

- Finalmente por su estricto control de calidad y desarrollo tecnológico están calificados en el empleo de funciones concretas.

4.2 Definición de los geosintéticos

“La palabra geosintético se compone del prefijo geo (tierra/suelo) y la palabra sintético que designa los productos fabricados por procedimientos industriales o por síntesis química”. (Muñoz; 2012, p. 12)

Los geosintéticos en general son materiales en el que por lo menos uno de sus componentes que lo conforman es a base de polímero⁹ sintético o natural, aunque a veces se emplea hule¹⁰, fibras de vidrio u otros materiales, para ser convertidos mediante uno o más procesos químicos, en láminas, fibras, perfiles, películas, tejidos, mallas, etc, los cuales al tomar contacto con el suelo tienden a mejorar las características geotécnicas del mismo.

4.3 Componentes de los geosintéticos

Antiguamente muchos de nuestros antepasados utilizaron las pieles de una u otra forma ya sea para protegerse de las inclemencias del tiempo o para su comercialización, pero además de eso entendieron que una piel de animal al dejarla en la intemperie en especial a los rayos del sol, esta después de un determinado tiempo se secaba poniéndose quebradiza y cuarteándose, pero en cambio al ser sometido al lavado con agua, cal y con el tanino¹¹ se conseguía obtener características como la impermeabilidad y flexibilidad del cuero.

Estos materiales son fabricados a partir de procesos industriales por medio de sustancias químicas llamadas polímeros, del tipo conocido genericamente como el plástico, estos polímeros están formados por la unión de otras moléculas más pequeñas que toman el nombre de monómeros, los cuales se enlazan entre sí para formar una especie de cadena.

⁹ Macromoléculas que se forman con la vinculación de otras moléculas llamadas monómeros.

¹⁰ Tela cubierta por una capa de barniz o material sintético que la hace impermeable.

¹¹ Sustancia que produce desecación y contracción de los tejidos.

Sin embargo los polimeros mas utilizados en la elaboración de geosinteticos son los siguientes:

4.3.1 Polietileno (PE)

Es un material termoplástico¹² blanquecino fabricado en finas láminas transparentes, sus secciones gruesas son translúcidas y dan una apariencia de cera, de igual manera al usar colorantes se puede obtener una gama de productos de varios colores.

Algunas propiedades que hacen del polietileno muy conveniente para su empleo se puede mencionar que tienen poco peso, flexibilidad, tenacidad y una alta resistencia química.



Figura 41 Polietileno

Fuente: (Arkiplus; 2013)

4.3.2 Polipropileno (PP)

Es un plástico opaco, duro y resistente al impacto, capaz de absorber el calor, pues este se ablanda a temperaturas superiores a los 150 °C, se lo puede doblar con facilidad a tal punto que es posible realizar múltiples doblados, además que resiste a los productos corrosivos.

Tiene muy buenas propiedades mecánicas, entre las cuales se tiene: que es un material más rígido que la mayoría de los termoplásticos, tiene gran capacidad de recuperación elástica, excelente compatibilidad con el medio, fácil de reciclar y una buena resistencia superficial.

¹² Plástico que a temperaturas relativamente altas se vuelve deformable o flexible.



Figura 42 Polipropileno

Fuente: (Allbiz; s.f)

4.3.3 Poliéster (PS)

Este es uno de los materiales que con más frecuencia se usa en la fabricación de los geotextiles, sus diferentes fibras se emplean en la arquitectura textil combinadas con una matriz termoplástica, normalmente conocida como el policloruro de vinilo (PVC).

Entre sus principales propiedades se tiene que su contracción posterior es insignificante, buena resistencia a la fisuración, humedad, al calor y a los cambios bruscos de temperatura que existen en las zonas.



Figura 43 Poliéster

Fuente: (FURGOVW; 2009)

4.3.4 Policloruro de vinilo (PVC)

Es una resina¹³ termoplástica, la misma que se obtiene a partir de la polimerización del cloruro de sodio o sal común y el gas natural, entre sus

¹³ Sustancia pastosa, pegajosa, transparente que se solidifica en contacto con el aire.

propiedades se puede distinguir: una elevada resistencia a la abrasión¹⁴ e impacto, lo que le permite ser ideal para la edificación y construcción.



Figura 44 Policloruro de vinilo

Fuente: (León; 2012)

4.3.5 Poliuretano (PU)

Es una resina que se la encuentra comúnmente como una espuma rígida y cuya finalidad es la fabricación de georedes, ya que presenta una alta resistencia a la deformación por compresión mecánica, al igual que una alta resistencia a la abrasión, al desgaste, al oxígeno, al ozono y a las temperaturas muy bajas.



Figura 45 Poliuretano

Fuente:(VILSSA; 2013)

A continuación presentamos un cuadro en el que se indica los tipos de geosintéticos que se fabrican según el tipo de polímero.

¹⁴ Acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material.

Tabla 3
Tipo de polímero empleado en los geosintéticos

Polímero	Geotextil	Geomalla	Geored	Geomembrana	Geocompuesto
PE	x		x	x	x
PP	x	x		x	x
PS	x	x			
PVC				x	x
PU			x		x

4.4 Campos de aplicación general

Los campos de aplicación de estos materiales son muchos pero entre los que se puede mencionar son los siguientes:

- Obras viales
- Obras hidráulicas
- Procedimientos de control de erosión
- Sistemas de protección y estabilización de taludes
- Aplicaciones medioambientales

En cada una de las anteriores obras, los geosintéticos fueron diseñados y utilizados para cumplir algunas funciones como de separación, refuerzo, filtración, drenaje, barrera, protección, revestimiento entre otros.

4.5 Clasificación de los geosintéticos

Según sus características, propiedades y aplicación se puede diferenciar algunos tipos de geosintéticos entre los cuales se podría destacar a los siguientes:

4.5.1 Geotextiles

Es un material textil plano de apreciable deformabilidad, cuyos elementos están constituidas de fibras poliméricas que siguen diversos patrones de distribución que permiten su cruzamiento entre sí a través de diversos procesos cuyo fin es someterlos a acciones mecánicas, térmicas,

químicas, para de esta manera obtener estructuras continuas, delgadas y permeables en forma de telas no biodegradables¹⁵.



Figura 46 Geotextil

Fuente: (ACgeosintéticos; s.f)

4.5.1.1 Tipos de Geotextiles

Según su método de fabricación se tiene:

- a) Geotextiles tejidos: formados por cintas entrecruzadas, cuyas estructuras se realizan en una máquina de tejer.

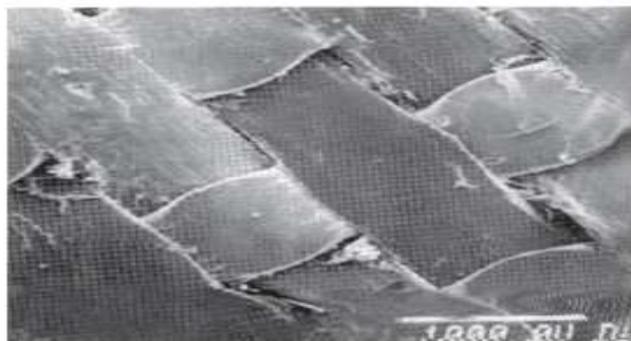


Figura 47 Geotextil tejido

Fuente: (PAVCO; 2009, p. 8)

- b) Geotextiles no tejidos: formados por fibras o filamentos superpuestos en forma laminar.

¹⁵ Que pueden descomponerse por la acción de agentes biológicos como las plantas y animales.

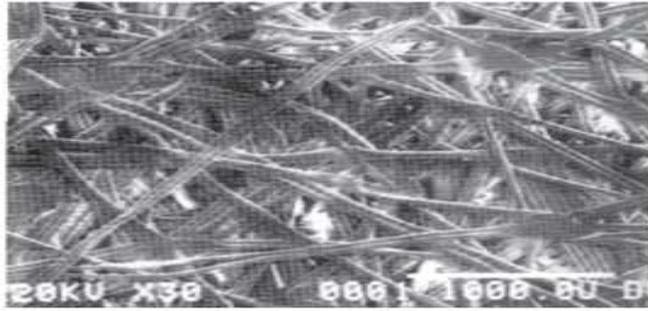


Figura 48 Geotextil no tejido

Fuente: (PAVCO; 2009, p. 8)

También encontramos geotextiles que por su composición se clasifican en:

- a) Geotextiles de fibras naturales: que pueden ser de origen animal como: lana, seda, pelos, o vegetal entre los cuales se tiene: el algodón, yute¹⁶, coco, lino, los cuales son biodegradables.
- b) Geotextiles de fibras artificiales: se extraen de los derivados de la celulosa como el rayón¹⁷, la viscosa¹⁸ y el acetato.
- c) Geotextiles de fibras sintéticas: son fibras o filamentos obtenidos de polímeros sintéticos, lo que les permite tener una mayor durabilidad.

4.5.1.2 Funciones de los Geotextiles

Entre las principales se puede mencionar los siguientes:

- a) Función de separación: permite la separación de dos capas de suelo, evitando permanentemente que se mezclen los materiales y sus propiedades geomecánicas.
- b) Función de refuerzo: permite controlar los esfuerzos transmitidos tanto en la fase de construcción como en la de servicio de las estructuras, confinando los granos del suelo lo que le permite repartir las tensiones locales.

¹⁶ Fibra textil que se extrae de la corteza interior del yute.

¹⁷ Fibra artificial parecida a la seda que se obtiene de la celulosa.

¹⁸ Fibra textil obtenida mediante el tratamiento de la celulosa.

- c) Función de drenaje: lo que se logra con estos materiales es impedir el lavado o transporte de agregados finos, las cuales al depositarse en él reducen su permeabilidad horizontal.
- d) Función de filtro: no permite el ingreso de ciertas partículas de suelo a través del geotextil, sin impedir el paso normal de fluidos o gases.
- e) Función de protección: previene un posible deterioro del terreno y de algún otro sistema geotécnico empleado, además de evitar las perforaciones que se ocasionan las plantas al crecer.

4.5.1.3 Características y Aplicación de los Geotextiles

Entre sus características más relevantes se tiene:

- Su resistencia a la tensión, con la cual absorbe los esfuerzos producidos por las de diversas cargas actuantes sobre la estructura.
- Debido a su elongación, su acoplamiento en superficies irregulares no presenta problemas, lo que ayuda a mantener su resistencia bajo deformaciones iniciales.
- La composición química, nos brinda tener una resistencia y protección contra agentes oxidantes, ácidos e insectos, que tienden a deteriorar el material.
- Permite resistir altas temperaturas, por la composición química de sus elementos constitutivos.
- A través de la abertura de sus poros, permiten el flujo normal del agua y retiene materiales finos.

Entre sus principales aplicaciones tenemos:

- Entre taludes y bermas de estabilidad aguas abajo
- Para construir muros en suelo reforzado
- Para reforzar terraplenes
- Para ayudar en la construcción de taludes pronunciados
- Para estabilizar de manera temporal los taludes

- Para detener o disminuir la reptación¹⁹ en taludes de suelo
- Para formar taludes laterales ya que su alta resistencia a la fricción dan mayor estabilidad y protección.
- Para disipar el agua lluvia que se filtra desde la superficies de suelo.
- Como separador del suelo de relleno y muros de gaviones

4.5.2 Geomallas

Este material de apariencia a la de una red regular conformada por elementos conectados de forma íntegra, cuya estructura es de forma plana, hecha mediante polímeros químicos, resistentes a los procesos degenerativos de los suelos con el paso del tiempo, lo que permite incrementar la característica a la tensión, dando una mayor adherencia y durabilidad.

4.5.2.1 Tipos de Geomallas

Encontramos dos tipos:

- a) Geomallas Mono-Orientadas: diseñadas para proyectos de refuerzo de suelos y cuya capacidad de carga está alineada en una sola dirección.

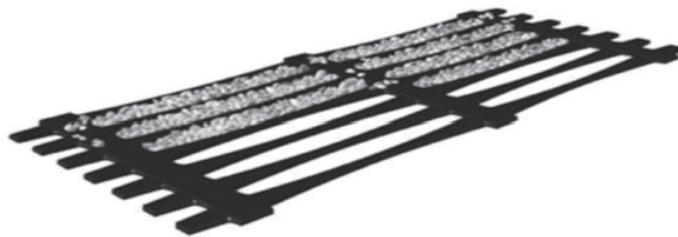


Figura 49 Geomalla mono-orientada

Fuente: (PAVCO; 2009, p. 15)

- b) Geomallas Bi-Orientadas: son estructuras de distribución uniforme y homogénea, que permite resistir a la tensión en ambas direcciones y se utiliza para refuerzos con carga de dirección variable.

¹⁹ Movimiento lento de deslizamiento de los materiales situados en una superficie.



Figura 50 Geomalla bi-orientada

Fuente: (PAVCO; 2009, p. 16)

4.5.2.2 Funciones de las Geomallas

La principal función que cumple este material es el refuerzo del suelo para realizar estabilizaciones y protecciones superficiales, es así que este geosintético tiene una estrecha relación con la dirección en que los esfuerzos actúan en la estructura, por esta razón las geomallas mono-orientadas resisten y son más rígidas en sentido longitud, mientras que en las bi-orientadas esa disipación de esfuerzos se la realiza en forma aleatoria.

Tanto los componentes como sus nudos rígidos, crean un aumento en la resistencia al cortante del suelo, lo que origina una reducción de la resistencia al movimiento incluso en materiales granulares.

Igualmente presenta un mecanismo de funcionamiento a la fricción, ya que el confinamiento de las partículas de suelo que se alojan en sus aberturas dependerá de los diferentes tipos de malla.

4.5.2.3 Características y Aplicaciones de las Geomallas

Las geomallas varían según sus características químicas con las que están fabricadas, pero entre las cuales se destaca las siguientes:

- Su resistencia a la tracción, depende básicamente de la disposición geométrica de la malla y sobrecargas que actúan.
- Su resistencia a largo plazo, tiene que ver con los diferentes factores reductores como son los ambientales y de instalación in-situ.

- El coeficiente de interacción con el suelo, tiene relación con la capacidad de adherencia de la geomalla y el suelo circundante de la zona.
- Tiene gran capacidad del flujo de agua, lo que permite colocarse como un material permeable.

Estos materiales actualmente han tenido una gran aceptación, por cuanto reemplazan a sistemas tradicionales empleados en las obras ingenieriles, por lo que se presentan algunas de sus aplicaciones:

- En refuerzo de muros y taludes
- En refuerzos de terraplenes con taludes pronunciados
- En el mantenimiento y reparación de deslizamientos
- En la ampliación de la cresta de los taludes
- En la reparación de cortes realizados a taludes
- Como un sistema de contención y protección sobre rocas fisuradas
- Como estrategia para disminuir y economizar los mantenimientos

4.5.3 Georedes

Es un material manufacturado cuya forma representa a la de una malla abierta, formado por una estructura de dos y hasta tres filamentos paralelos entretnejidos que forman canales con una gran capacidad para permitir el flujo y drenaje, ya que sus nervaduras ayudan a aumentar la capacidad de tensión y resistencia tanto a la comprensión como a los agentes químicos y biológicos existentes en el terreno.



Figura 51 Geored

Fuente: (Interempresas; s.f)

4.5.3.1 Tipos de Georedes

Encontramos dos tipos:

- a) Georedes biplanares: en este material comúnmente se incorpora dos nervaduras superpuestas en ángulo y en dirección del flujo de los líquidos, sin embargo pueden perder capacidad de flujo, y ver limitada su resistencia a la compresión debido a la intrusión del geotextil en la red.



Figura 52 Geored biplanar

Fuente: (TENAX; s.f)

- b) Georedes triplanares: este material excede las propiedades de la geored biplanar porque al incorporar a su sistema elementos verticales rígidos, permite que tanto la capacidad de tensión como la resistencia a la compresión aumente considerablemente, para así obtener un índice alto en la vida útil de la estructura.



Figura 53 Geored triplanar

Fuente: (TENAX; s.f)

4.5.3.2 Funciones de las Georedes

Están diseñados básicamente como sistemas de drenaje, su principal empleo es bajo barreras de impermeabilización primaria, ya

que por cada uno de sus elementos lleva todos los fluidos a lo largo de su propia estructura y evita de una manera óptima que se almacene el agua en la base del suelo, así mismo permite un incremento en su capacidad de carga por lo que reduce notablemente el desplazamiento lateral.

Su forma romboidal dispuesta por tendones sobrepuestos que se conectan unos a otros, forman canales con gran capacidad drenante y útiles en aplicaciones de ingeniería civil, geotécnica, ambiental, hidráulica y de transporte.

4.5.3.3 Características y Aplicaciones de las Georedes

Entre sus características se podría mencionar las siguientes:

- Su resistencia a la tensión permite absorber aquellos esfuerzos producidos en la estructura por efecto de una carga
- La transmisividad que nos es más que el parámetro que nos indica la facilidad del agua para circular horizontalmente es variable
- Este material al tener amplias aberturas en su diseño, ayuda a mejorar la interacción con los diferentes agregados
- Por sus propiedades hidráulicas y mecánicas han permitido que se implementen en proyectos de construcción relacionados a la mecánica de suelos
- Las georedes reemplazan a la arena y grava puesto que estos materiales crean limitaciones de construcción y calidad
- Resisten la degradación de rayos ultravioleta (UV)

Entre sus principales aplicaciones tenemos:

- En muros de contención, como drenaje de aguas infiltradas
- Debajo de las geomembranas en presas y canales de igual manera como drenaje
- En campos deportivos, como subdrenes
- En cimentaciones de edificios como subdrenes
- En rellenos sanitarios, para la evacuación de gases

- En suelos susceptibles a heladas

4.5.4 Geomembranas

Son láminas continuas y flexibles elaboradas por materiales sintéticos, se les considera como un revestimiento de muy baja permeabilidad y por lo general se la emplea con diferente tipo de material, básicamente su aplicación está ligada con la ingeniería geotécnica ya que permite el control de la salida de fluidos, para su fabricación usan hojas delgadas de polímeros los mismos que permiten efectuar uniones entre estos, a través de algunos procesos como la fusión térmica o química para que de esta manera no se alterar sus propiedades.



Figura 54 Geomembrana

Fuente: (ACgeosintéticos; s.f)

4.5.4.1 Tipos de Geomembranas

Encontramos dos tipos:

- Geomembranas de PVC (Cloruro de Polivinilo): son láminas flexibles e impermeables usadas en el recubrimiento de túneles, pero también existen membranas texturizadas que desarrollan más fricción con el suelo en especial en los taludes que tienen pendientes importantes.
- Geomembranas de polietileno²⁰ de alta densidad: son láminas de baja permeabilidad y flexibilidad, cuya materia prima son las

²⁰ Es uno de los plásticos más comunes y usados en el mundo, obtenido de la polimerización del etileno.

resinas poliméricas cuya principal característica es poseer una alta resistencia para contener fluidos.

4.5.4.2 Funciones de las Geomembranas

Estos materiales cumplen básicamente dos funciones primordiales la primera se emplean como recubrimiento es decir se usan como una interfase entre dos suelos o como un revestimiento superficial y la segundo como una barrera puesto que estas membranas se disponen en el interior del suelo, lo que permite alcanzar mayor durabilidad que otros polímeros cuando se encuentran expuestos a condiciones ambientales extremas y a los agentes químicos tóxicos.

4.5.4.3 Características y Aplicaciones de las Geomembranas

Entre sus principales características tenemos que tienen una alta durabilidad, resistencia tanto a la radiación ultra violeta (UV), agentes químicos como a la mayoría de los líquidos peligrosos y resultan económicamente apropiados en comparación con otros sistemas.

Entre sus principales aplicaciones tenemos:

- Para recubrir reservorios de agua
- Como recubrimiento para desperdicios líquidos
- Para recubrir los canales que permiten el paso del agua
- Para recubrir algunos muros verticales
- Para recubrir e impermeabilizar el interior de los túneles
- Permite el control de la filtración de agua en presas de tierra
- Como medio para confinar los suelos como las arcillas expansivas
- En los rellenos para evitar que tanto los olores y gases salgan a la superficie.

4.5.5 Geomantos

Son láminas formadas con filamentos cortos o largos de plástico y que se agrupan por medio de redecillas flexibles, costuras muy sencillas y fuertemente entrelazadas, las mismas que pueden incluir en su fabricación fibras de origen vegetal, estos geomantos se colocan en taludes para evitar

el desgaste del suelo y por consiguiente su erosión por esta razón permiten darle al talud una protección permanente o temporal.

4.5.5.1 Tipos de Geomantos

Estos mantos se dividen en dos grandes grupos:

- a) Geomantas temporales: se utilizan donde la vegetación natural por si sola provee suficiente protección contra la erosión, su durabilidad comprende entre 1 a 48 meses, estos mantos son biodegradables o fotodegradables²¹, dentro de esta clasificación se encuentran el agromanto constituido por un tejido de fibras de fique²² y/o fique-coco y el ecomatrix compuesto de polipropileno de apariencia natural de color verde.



Figura 55 Geomanta de fibras de coco

Fuente: (Irap; 2012)

- b) Geomantas permanentes: conformados por fibras sintéticas no degradables resistentes a los químicos que existen en el suelo, estos se instalan donde la vegetación natural no es suficiente para proteger el terreno de la erosión a largo plazo, su durabilidad o longevidad va desde los 48 meses hasta los 50 años aproximadamente.

²¹ Que puede degradarse por la acción de la luz.

²² Planta cuyas hojas largas, permiten la fabricación de fibras textiles.



Figura 56 Geomanta permanente

Fuente: (Lazarus; s.f)

4.5.5.2 Funciones de las Geomantas

Las principales funciones para los diferentes tipos de mantos son:

Reducir la erosión de los escurrimientos superficiales, ya que si las características geométricas del terreno no son las adecuadas tiende a generar el deslizamiento de la tierra.

De igual manera en canales donde genera un medio hidráulico funcional, ya que retiene sedimentos en lugares donde se esperan velocidades de agua y esfuerzos cortantes altos.

4.5.5.3 Características y Aplicaciones de las Geomantas

El geomanto a utilizar dependerá mucho del clima, las precipitaciones en el sector, la conformación geotécnica del suelo, entre otros, por lo que su principal característica es garantizar la protección, el refuerzo y el buen establecimiento de la vegetación en los taludes para de esta manera lograr un equilibrio en cuanto al cuidado del medio ambiente.

De igual forma su aplicación esencial radica en brindar a los taludes un sistema de estabilización que evite los derrumbes de tierras y las socavaciones producto de las lluvias sobre las rocas, conocidas a estas también como erosión hídrica.

CAPÍTULO V

ESTUDIO DEL ANHÍDRIDO POLIVINILO DE BÓRAX COMO MEMBRANA DE RECUBRIMIENTO

5.1 Introducción

En el Ecuador existe una gran variedad de sistemas de protección de taludes utilizados a lo largo del tiempo para tratar de resolver problemas que se presentan en las obras de infraestructura lineal ya sea por cortes, rellenos y mantenimientos que se efectúan, lo que ocasiona comúnmente derrumbes o desprendimientos de grandes cantidades de masas de tierra convirtiéndose en zonas de riesgo para la sociedad.

Actualmente el empleo de los geosintéticos que son materiales textiles poliméricos, han tenido gran acogida ya que se emplean en obras de ingeniería con aplicaciones geotécnicas especialmente cuando se trata de construcciones donde intervienen los diferentes tipos de suelo cuyo objetivo es dar una mayor resistencia, refuerzo y protección.

Sin embargo hoy en día se tiene que evidenciar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente tanto a nivel nacional, provincial y local, en la propuesta e implantación de proyectos para prevenir, mitigar o remediar los efectos indeseables que pueden causar en el medio ambiente, por este motivo hay que tener muy en cuenta la ingeniería biotécnica y la bioingeniería que en los últimos años ha tenido una aplicación impresionante en lo que tiene que ver a sistemas de protección de taludes.

De forma general se podría mencionar que la ingeniería biotécnica emplea además de la vegetación algunos elementos estructurales prefabricados de tipo mecánico que se acoplan entre sí para lograr una sinergia entre ellos que ayude a prevenir la erosión y los deslizamientos, no así la bioingeniería de suelos que usa solamente vegetación viva como elemento estructural de prevención, esta última ha venido combinándose gradualmente con la

biotécnica, por lo que hoy en día es cada vez más frecuente observar protecciones de taludes con vegetación y mantos de control de erosión.

Finalmente hay que tomar en cuenta que lo que se busca es encontrar nuevos métodos y tecnologías las cuales se logren implementar en la protección de taludes, las mismas que sean más eficientes, menos costosas, acordes con el medio ambiente, pero sobre todo funcionalmente prácticas, por lo que el desarrollo de la membrana de anhídrido polivinilo de bórax es de suma importancia y utilidad.

5.2 Conceptos generales

La combinación de los elementos que conforman el anhídrido polivinilo de bórax, nos va a permitir obtener la membrana de recubrimiento la cual servirá como protección de obras, en las que están expuestas los taludes y zonas de riesgo.

5.2.1 Monómeros

La palabra monómeros viene del griego mono “uno” y meros “partes”, que cuando se combinan las palabras literalmente significa “una parte”, por lo que es una molécula cuya masa molecular es pequeña y generalmente está unida a cientos o miles de otros monómeros a través de reacciones químicas formando a su vez macromoléculas llamadas polímeros.



Figura 57 Monómero de Etileno

Fuente: (Video Ciencias; 2011)

5.2.2 Polímeros

La palabra polímero viene del griego poly “muchos” y mero “parte”, lo que significa “muchas partes” y son macromoléculas que tienen elevadas masas moleculares que pueden formar cadenas ya sean estas lineales o

ramificadas, algunas se asemejan a las escaleras y otras son como redes tridimensionales.

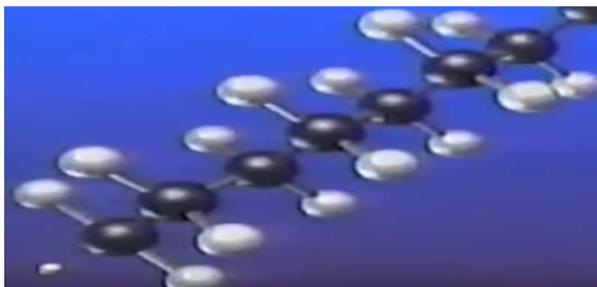


Figura 58 Polímero de polietileno

Fuente: (Video Ciencias; 2011)

Los polímeros a su vez se clasifican por su origen y su aplicación, la cual se observa en el siguiente cuadro:

Tabla 4
Clasificación de los polímeros

Clasificación	Tipo	Ejemplo
Por su origen	Naturales	proteínas, celulosa
	Naturales transformados	celofán, peinillas
	Sintéticos	silicona, fundas
Por la aplicación	Termoplásticos	envases, cintas al aumentar la T°, cambia su forma
	Termoestables	enchufes, mangos de sartén mantiene su forma con cambios de T°
	Fibras	Tejidos, textiles impermeables
	Elastómeros	neopreno, cauchos, látex resiste esfuerzos y deformaciones

5.2.3 Polimerización

Es el conjunto de reacciones químicas, por el cual mediante el calor, la luz o un catalizador²³, se proceden a unir los monómeros para formar una

²³ Sustancia que acelera o retarda una reacción química sin participar en ella.

cadena múltiple denominada polímero, según el mecanismo por el cual se produce la reacción de polimerización está se clasifica en:

5.2.3.1 Polimerización por adición

Consiste en la adición de un monómero insaturado es decir con doble enlace a la cadena en crecimiento y la reacción se produce a través de tres etapas las cuales son:

- **Iniciación:** en esta etapa se añade un iniciador es decir una molécula inestable que produce radicales libres (R) estos a su vez se pueden producir de varias formas como son: por acción del calor, por acción fotoquímica²⁴ y por acción de compuestos productores de radicales libres, este último siendo el más utilizado, la acción de este radical libre sobre el monómero (M) da lugar a la formación de un monómero activado (M*).



Figura 59 Etapa de iniciación

Fuente: (U.P.V; 2011)

- **Propagación:** en esta etapa de la reacción el monómero activado (M*) que se ha formado en la iniciación se van adicionando los monómeros y se obtiene la cadena activa (Mn*).

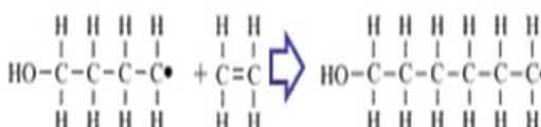


Figura 60 Etapa de propagación

Fuente: (U.P.V; 2011)

²⁴ Estudio de las interacciones entre átomos, moléculas pequeñas y la luz.

- Terminación: se caracteriza por la pérdida de actividad de las cadenas activas formadas en la propagación y puede ocurrir de dos formas la primera que la cadena finalice combinándose con otra cadena o bien una cadena se encuentra con un iniciador, razón por la cual se obtiene el polímero

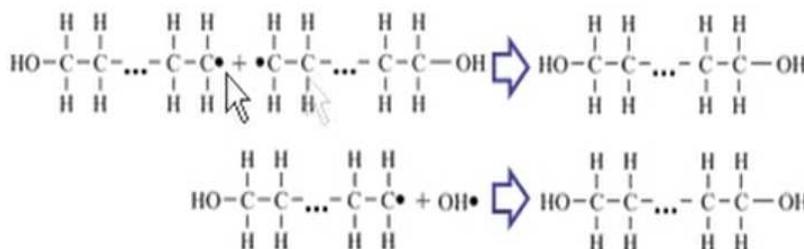


Figura 61 Etapa de terminación

Fuente: (U.P.V; 2011)

5.2.3.2 Polimerización por condensación

Es el proceso donde se produce la eliminación de un subproducto de bajo peso molecular como el agua, el amoníaco, de entre diversas especies de monómeros.

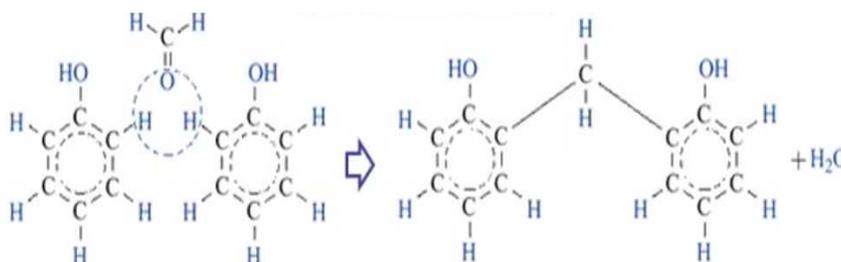


Figura 62 Polimerización por condensación

Fuente: (U.P.V; 2011)

5.2.4 Membrana

Por lo general se conoce con el nombre de membrana, a toda lámina blanda, fina, flexible y resistente, cuya función primordial es la de proteger, aislar o prevenir algún tipo de estructura de los agentes externos que puedan ocasionar daños severos en su composición o elementos.

5.2.5 Recubrimiento

Es un proceso en el que se busca recubrir la superficie de un objeto, pero lo que importa en si es que se convierta en una defensa que mejore hasta cierto punto las propiedades o cualidades tales como: aspecto, adhesión, características de mojado, resistencia a los agentes corrosivos, al desgaste y a la durabilidad con el paso de los años, sin embargo hay que tener en cuenta que la aplicación de recubrimientos se lo puede realizar de forma líquida, gaseosa o sólida.

5.2.6 Acetato de vinilo

Es un químico líquido, transparente e incoloro, de poca toxicidad, con un olor descrito como dulce, el cual se evapora de forma rápida en el aire y se disuelve con facilidad en el agua, generalmente al ser un monómero se lo utiliza para producir otras sustancias químicas poliméricas.

5.2.7 Acetato de polivinilo

Es un polímero sintético que se presenta por lo general en forma de emulsión, ampliamente usado como cola de madera, cola escolar o cola blanca y el cual se obtiene mediante el proceso de polimerización por adición de radicales libres del acetato de vinilo.

5.2.8 Bórax

Conocido como borato de sodio o tetraborato de sodio, es un material no perjudicial para el medio ambiente, cuya forma es de un cristal blanco, suave y que se disuelve con facilidad en el agua, las personas lo han utilizado por muchos años específicamente en detergentes, suavizantes, desinfectantes, en productos de limpieza caseros, control de plagas entre otros.

5.2.9 Termohigrómetro

Es un instrumento que simula a un tipo de estación meteorológica, la cual se caracteriza por tener termómetro e higrómetro que permite medir la temperatura y la humedad, dependiendo del modelo de este dispositivo se puede obtener mediciones tanto del exterior como del interior de un ambiente como: saunas, gimnasios, almacenes, habitaciones, etc.



Figura 63 Termohigrómetro

5.2.10 Dióxido de titanio

Es una sustancia química que permite reflejar la radiación visible que le llega, se usa como pigmento blanco por sus propiedades de dispersión, estabilidad química y su no toxicidad, actualmente se está empleando como un catalizador en lo que tiene que ver a los contaminantes atmosféricos mediante un proceso el cual es activado por la energía solar.

5.2.11 Pigmentos naturales

Es un material que posee propiedades especiales, es decir que por su fuerza teñidora le permite de forma ideal colorear otros materiales, así como permanecer estable en forma sólida y a temperatura ambiente.

5.3 Composición química del anhídrido polivinilo de bórax (APB)

El anhídrido polivinilo de bórax, es un compuesto químico, el cual se obtiene al reaccionar dos elementos el primero es el acetato de polivinilo ($C_4H_6O_2$)_n comúnmente conocido como la cola blanca, de uso escolar en todo tipo de trabajos manuales como pegamento, base, relleno, entre otros y el segundo es el bórax o tetraborato de sodio $NaB(OH)_4$, que de igual forma se usa en actividades de limpieza, ambos productos son fáciles de encontrar en el mercado local, su toxicidad es muy reducida, fácil de manipular y sobre todo no causan ningún daño al medio ambiente.

El acetato de polivinilo es un adhesivo o pegamento de gran tenacidad, buena extensibilidad, alta viscosidad, gran rendimiento y fácil manejo en su aplicación, se lo puede encontrar en presentación sólida o líquida.



Figura 64 Cola blanca

A diferencia del bórax que es un cristal blanco, suave y estable el cual se disuelve fácilmente en el agua, no es inflamable, combustible o explosivo, en cuanto a su aplicación no necesita precauciones especiales en su manipulación.



Figura 65 Bórax

De igual manera es importante tener en cuenta algunas características y propiedades básicas de estos compuestos, las mismas que nos permitan conocer más sobre sus elementos constitutivos y los que se resumen a continuación:

Tabla 5
Especificación técnica del acetato de polivinilo

Estado físico	Líquido
Color	Blanco y amarillo
Olor	Inodoro
Densidad	1´10 gr/cc
Rendimiento	8 a 14 m ² /L
Sólidos	46% en volumen
Tiempo abierto de trabajo	20-30 min a 20°C
Manipulación	3 horas-según T° ambiente
Pegado total	12 horas- según T° ambiente
Diluyente/limpieza	Agua

Tabla 6
Especificación técnica del bórax grado técnico

Estado físico	Sólido cristalino
Color	Blanco
Olor	Inodoro
Peso molecular	291.35
Peso específico	1.81
Temperatura de fusión	200°C en espacio cerrado
Punto de ebullición	1575°C
Peligro de inflamación	No inflamable
Peligro de explosión	No explosivo
Solubilidad en agua 1%	3.94

Sin embargo hay que reconocer que para obtener el polímero de acetato de polivinilo (goma blanca), se parte inicialmente de un monómero llamado acetato de vinilo que es un derivado del petróleo, el cual a través del proceso de polimerización por adición de radicales libres permite que sus moléculas se entrelacen en forma de cadena lineal, dando como resultado el polímero de cola blanca.



Figura 66 Formación del polímero de goma blanca

Una vez formado el polímero de acetato de polivinilo, el cual se encuentra entrelazado en miles y millones de moléculas polivinílicas, se procede a añadir el bórax o tetraborato de sodio (Na B (OH)₄), el cual al ser disuelto en agua nos da un ión²⁵ positivo de sodio (Na +) y un ión negativo de tetraborato (B (OH)₄ -), este último enlaza las largas cadenas del polímero de goma blanca mediante enlaces de hidrógeno aprisionando moléculas de agua, las mismas que escapan a través del proceso de polimerización por

²⁵ Átomo o grupo de átomos que tienen carga positiva o negativa.

condensación, para de esta manera obtener un polímero elastómero²⁶ más grande denominado Anhídrido Polivinilo de Bórax (APB).

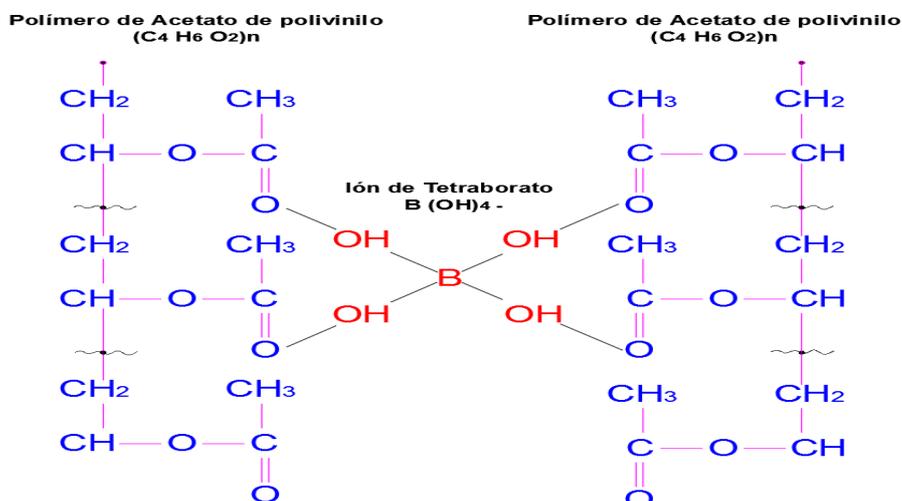


Figura 67 Formación del polímero APB

Este nuevo polímero que se forma y que será usado como membrana de recubrimiento presenta las siguientes propiedades notables:

- Los diferentes materiales con los que se forma este compuesto no son tóxicos ni dañinos, por lo que no tiene implicación alguna en la salud.
- Al ser un elastómero mantiene aproximadamente su forma al someterse a deformaciones bruscas y rápidas, puede extenderse de manera extraordinaria y luego recuperar su forma.
- Al someterse a deformaciones lentas, este polímero modifica su forma de manera acorde con la deformación.
- Al tener una deformación por gravedad, es decir abandonado a sí mismo, con el paso del tiempo este toma la forma del recipiente en el que se encuentre.
- Si las deformaciones son muy intensas, los enlaces débiles entre cadenas que se formaron durante la polimerización comienzan a romperse internamente, lo que produce el desgaste y el polímero se desgaja²⁷.

²⁶ Compuestos que muestran un comportamiento elástico.

²⁷ Desgarrar, arrancar, desprenderse una cosa de otra.

5.4 Localización de las muestras

Para proceder a realizar los respectivos ensayos de laboratorio las muestras fueron obtenidas de los siguientes sectores.

a) Talud No. 1

Tabla 7
Localización muestra 1

MUESTRA 1	
Ubicación	Carretera E-25, Pifo - Papallacta
Sector	Mulauco
Coordenadas	(S: 0° 19' 47.1'; W: 78° 25' 13.5")

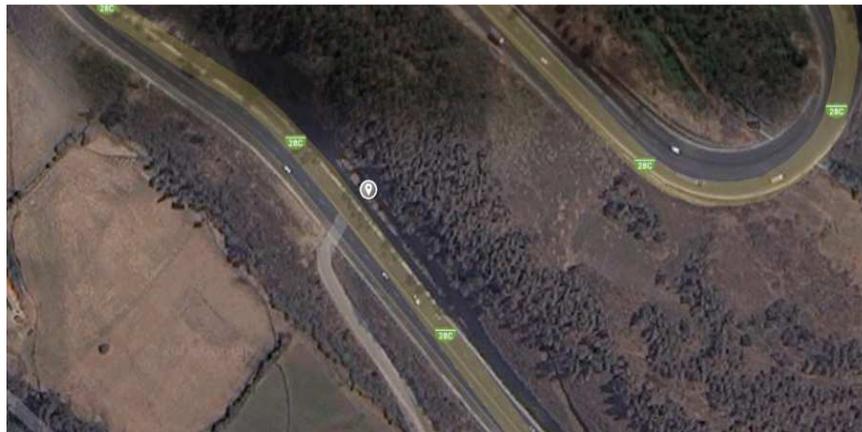


Figura 68 Ubicación en planta muestra 1

Fuente: (Google maps; 2016)



Figura 69 Talud No 1

b) Talud No. 2

Tabla 8
Localización muestra 2

MUESTRA 2	
Ubicación	Carretera E-35, Colibrí - Píntag
Sector	Campo Santo Jardines del Valle
Coordenadas	(S: 0° 15' 27.8'; W: 78° 18' 11.3")



Figura 70 Ubicación en planta muestra 2

Fuente: (Google maps; 2016)



Figura 71 Talud No 2

c) Talud No. 3

Tabla 9
Localización muestra 3

MUESTRA 3	
Ubicación	Calle Pedro Pinto Guzmán
Sector	San José de Mongas
Coordenadas	(S: 0° 14' 32.4'; W: 78° 30' 05.5")

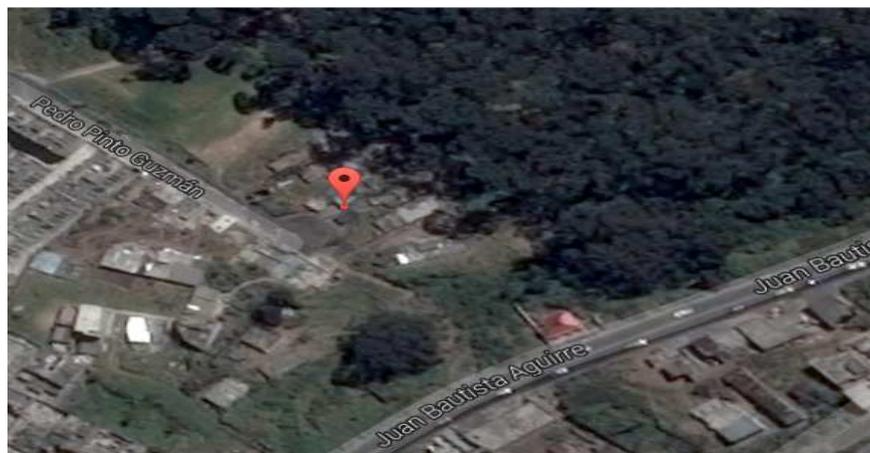


Figura 72 Ubicación en planta muestra 3

Fuente: (Google maps; 2016)



Figura 73 Talud No 3 en zona de riesgo

5.5 Ensayos y materiales

El suelo es un material que está constituido por partículas sólidas rodeado de espacios libres que generalmente son ocupados por agua, aire y que

depende de las variaciones climáticas de su zona como son: el tipo de precipitaciones, los cambios bruscos de temperatura, los organismos que se desarrollan en ella, así como también el tiempo transcurrido desde su proceso de formación o modificación del mismo, por todo esto es importante conocer sus propiedades, sus características físicas y mecánicas mediante el muestreo en taludes existentes, con la finalidad de someterlos a una serie de ensayos de laboratorio, para de esta manera procesar la información que nos permita obtener resultados técnicos y esenciales para la investigación del proyecto.

5.6 Ensayo de contenido de humedad

Este ensayo es conocido como el Método de prueba estándar para determinación en laboratorio de contenido de agua (humedad) de suelos y rocas en relación a su masa, ASTM²⁸ D-2216-98.

El contenido de humedad del suelo se lo define como la relación porcentual (%W) del peso de agua contenida en la muestra y el peso de la muestra seca o peso de los sólidos, existen diferentes métodos para hallar el contenido de humedad, tales como:

- Método de secado al horno, a temperatura constante ($105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)
- Métodos de secado, al horno microondas
- Método de secado instantáneo
- Método nuclear

Estos tres últimos métodos son rápidos y se utiliza cuando se desea un resultado inmediato en controles de campo, sin embargo el primer método será el que se emplee para determinar la humedad en las diferentes muestras de estudio expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas es decir el peso del suelo seco, esta definición se la expresa en la siguiente ecuación:

²⁸ American Society for Testing Materials, organización internacional del desarrollo de Normas.

$$\%W = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

Donde:

%W = porcentaje de humedad

W_w = peso del agua existente en la masa del suelo

W_s = peso del suelo seco

5.6.1 Equipo

Para el respectivo ensayo se requiere del siguiente equipo:

- Horno de temperatura constante ($105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)
- Balanza de precisión
- Cápsulas metálicas o taras con identificación
- Espátulas
- Tenazas, guantes para manipular contenedores calientes
- Cuchillos, cuarteadores, según se requiera



Figura 74 Horno



Figura 75 Balanza



Figura 76 Cápsulas

5.6.2 Procedimiento

- Tomar las taras vacías con identificación y pesarlas en la balanza.
- Tomar una muestra de suelo húmedo y colocar una cantidad determinada de suelo en las diferentes taras (100 g).
- Pesar las taras con la muestra de suelo húmedo.
- Colocar las taras con muestras y poner en el horno durante 24 horas a una temperatura constante de 110°C.
- Transcurridas las 24 horas, sacar las taras y una vez enfriadas se pesa la tara con el suelo ya seco.

5.6.3 Hoja de registro

Al concluir con los ensayos en el laboratorio se procede a tabular los datos para calcular el porcentaje de humedad existente en las muestras de suelo obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 10
Registro de humedad muestra 1

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE																																			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																																			
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES																																			
CONTENIDO DE HUMEDAD NORMA ASTM-D-2216																																			
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Carretera E-25, Pifo - Papallacta, Sector Mulauco																																			
FECHA DE ENSAYO: 12/01/2016																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">NÚMERO DE LA CÁPSULA</th> <th>10A</th> <th>2A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PESO DE LA CÁPSULA (TARA)</td> <td>(g)</td> <td>120,99</td> <td>121,62</td> </tr> <tr> <td>PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO</td> <td>(g)</td> <td>183,89</td> <td>191,12</td> </tr> <tr> <td>PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO</td> <td>(g)</td> <td>173,69</td> <td>179,69</td> </tr> <tr> <td>PESO DEL AGUA</td> <td>(g)</td> <td>10,20</td> <td>11,43</td> </tr> <tr> <td>PESO DEL SUELO SECO</td> <td>(g)</td> <td>52,70</td> <td>58,07</td> </tr> <tr> <td>CONTENIDO DE HUMEDAD</td> <td>(%)</td> <td>19,35</td> <td>19,68</td> </tr> <tr> <td>CONTENIDO DE HUMEDAD MEDIO</td> <td>(%)</td> <td colspan="2">19,52</td> </tr> </tbody> </table>				NÚMERO DE LA CÁPSULA		10A	2A	PESO DE LA CÁPSULA (TARA)	(g)	120,99	121,62	PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO	(g)	183,89	191,12	PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO	(g)	173,69	179,69	PESO DEL AGUA	(g)	10,20	11,43	PESO DEL SUELO SECO	(g)	52,70	58,07	CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	19,35	19,68	CONTENIDO DE HUMEDAD MEDIO	(%)	19,52	
NÚMERO DE LA CÁPSULA		10A	2A																																
PESO DE LA CÁPSULA (TARA)	(g)	120,99	121,62																																
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO	(g)	183,89	191,12																																
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO	(g)	173,69	179,69																																
PESO DEL AGUA	(g)	10,20	11,43																																
PESO DEL SUELO SECO	(g)	52,70	58,07																																
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	19,35	19,68																																
CONTENIDO DE HUMEDAD MEDIO	(%)	19,52																																	
OBSERVACIONES:																																			
EL PORCENTAJE DE HUMEDAD ES DEL 19,52 % DEL SUELO																																			
ENSAYÓ:	CALCULÓ:	VERIFICÓ:																																	
CAPT. Merino Dennis	CAPT. Merino Dennis	Ing. Morales Byron																																	

Tabla 11
Registro de humedad muestra 2

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE																																			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																																			
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES																																			
CONTENIDO DE HUMEDAD NORMA ASTM-D-2216																																			
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Carretera E-35, Colibrí - Píntag, Sector Jardines del Valle																																			
FECHA DE ENSAYO: 12/01/2016																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">NÚMERO DE LA CÁPSULA</th> <th>A00</th> <th>BASE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PESO DE LA CÁPSULA (TARA)</td> <td>(g)</td> <td>119,42</td> <td>118,95</td> </tr> <tr> <td>PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO</td> <td>(g)</td> <td>187,83</td> <td>189,62</td> </tr> <tr> <td>PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO</td> <td>(g)</td> <td>176,73</td> <td>177,87</td> </tr> <tr> <td>PESO DEL AGUA</td> <td>(g)</td> <td>11,10</td> <td>11,75</td> </tr> <tr> <td>PESO DEL SUELO SECO</td> <td>(g)</td> <td>57,31</td> <td>58,92</td> </tr> <tr> <td>CONTENIDO DE HUMEDAD</td> <td>(%)</td> <td>19,37</td> <td>19,94</td> </tr> <tr> <td>CONTENIDO DE HUMEDAD MEDIO</td> <td>(%)</td> <td colspan="2">19,66</td> </tr> </tbody> </table>				NÚMERO DE LA CÁPSULA		A00	BASE	PESO DE LA CÁPSULA (TARA)	(g)	119,42	118,95	PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO	(g)	187,83	189,62	PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO	(g)	176,73	177,87	PESO DEL AGUA	(g)	11,10	11,75	PESO DEL SUELO SECO	(g)	57,31	58,92	CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	19,37	19,94	CONTENIDO DE HUMEDAD MEDIO	(%)	19,66	
NÚMERO DE LA CÁPSULA		A00	BASE																																
PESO DE LA CÁPSULA (TARA)	(g)	119,42	118,95																																
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO	(g)	187,83	189,62																																
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO	(g)	176,73	177,87																																
PESO DEL AGUA	(g)	11,10	11,75																																
PESO DEL SUELO SECO	(g)	57,31	58,92																																
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	19,37	19,94																																
CONTENIDO DE HUMEDAD MEDIO	(%)	19,66																																	
OBSERVACIONES:																																			
EL PORCENTAJE DE HUMEDAD ES DEL 19,66 % DEL SUELO																																			
ENSAYÓ:	CALCULÓ:	VERIFICÓ:																																	
CAPT. Merino Dennis	CAPT. Merino Dennis	Ing. Morales Byron																																	

Tabla 12
Registro de humedad muestra 3

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE																																			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																																			
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES																																			
CONTENIDO DE HUMEDAD NORMA ASTM-D-2216																																			
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Calle Pedro Guzman, Sector San José de Mongas																																			
FECHA DE ENSAYO: 12/01/2016																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td colspan="2">NÚMERO DE LA CÁPSULA</td> <td>24A</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>PESO DE LA CÁPSULA (TARA)</td> <td>(g)</td> <td>120,23</td> <td>120,58</td> </tr> <tr> <td>PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO</td> <td>(g)</td> <td>177,88</td> <td>189,23</td> </tr> <tr> <td>PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO</td> <td>(g)</td> <td>163,60</td> <td>172,75</td> </tr> <tr> <td>PESO DEL AGUA</td> <td>(g)</td> <td>14,28</td> <td>16,48</td> </tr> <tr> <td>PESO DEL SUELO SECO</td> <td>(g)</td> <td>43,37</td> <td>52,17</td> </tr> <tr> <td>CONTENIDO DE HUMEDAD</td> <td>(%)</td> <td>32,93</td> <td>31,59</td> </tr> <tr> <td>CONTENIDO DE HUMEDAD MEDIO</td> <td>(%)</td> <td colspan="2">32,26</td> </tr> </table>				NÚMERO DE LA CÁPSULA		24A	20	PESO DE LA CÁPSULA (TARA)	(g)	120,23	120,58	PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO	(g)	177,88	189,23	PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO	(g)	163,60	172,75	PESO DEL AGUA	(g)	14,28	16,48	PESO DEL SUELO SECO	(g)	43,37	52,17	CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	32,93	31,59	CONTENIDO DE HUMEDAD MEDIO	(%)	32,26	
NÚMERO DE LA CÁPSULA		24A	20																																
PESO DE LA CÁPSULA (TARA)	(g)	120,23	120,58																																
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO	(g)	177,88	189,23																																
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO	(g)	163,60	172,75																																
PESO DEL AGUA	(g)	14,28	16,48																																
PESO DEL SUELO SECO	(g)	43,37	52,17																																
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	32,93	31,59																																
CONTENIDO DE HUMEDAD MEDIO	(%)	32,26																																	
OBSERVACIONES:																																			
EL PORCENTAJE DE HUMEDAD ES DEL 32,26 % DEL SUELO																																			
ENSAYÓ:	CALCULÓ:	VERIFICÓ:																																	
CAPT. Merino Dennis	CAPT. Merino Dennis	Ing. Morales Byron																																	

5.7 Ensayo de peso específico

Este ensayo es conocido como el Método de ensayo normalizado, para determinar la gravedad específica de los sólidos del suelo mediante un picnómetro de agua ASTM D-854-02.

El peso específico o gravedad específica (Gs) de un suelo es la relación entre el peso de sus partículas minerales y el peso de igual volumen de agua destilada, también se puede definir al peso específico como la relación entre el peso de una muestra de suelo y el volumen de sus partículas sólidas, así:

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso de la muestra seca}}{\text{Volumen de los granos de la muestra}}$$

Sin embargo la fuente de error más seria en la determinación del peso específico de los granos de una muestra de suelo no es la temperatura del agua del picnómetro ni el uso de agua común, sino la inadecuada desaireación de la mezcla suelo con agua, puesto que el agua en condiciones normales contiene aire disuelto al igual que las partículas de suelo y si este aire no es removido de ambos materiales el volumen de aire producirá una disminución en el peso del frasco que contiene la mezcla.

Para lograr eliminar las partículas de aire en la mezcla se aplica un método conocido como al vacío que consiste en colocar el picnómetro en un bomba de vacío la cual eliminara todas las partículas de aire que existan tanto en el suelo como en las partículas de aire del agua.

El picnómetro es también conocido como botella de gravedad específica, es un frasco volumétrico, con una capacidad de 500 ml, este permite medir la densidad de un fluido, en referencia a la de un fluido de densidad conocida como el agua o el mercurio y para utilizarlo en la determinación del peso específico indirectamente se desplaza el volumen del material al vaciarlo dentro de este.

5.7.1 Equipo

Para el respectivo ensayo se requiere del siguiente equipo:

- Bomba de vacío
- Picnómetro
- Embudo metálico
- Balanza de precisión
- Tamiz No.4 (4.75mm)
- Tara con muestra de suelo
- Agua destilada
- Cuchillos, espátulas, según se requiera



Figura 77 Bomba de vacío y picnómetro



Figura 78 Embudo



Figura 79 Tamices metálicos

5.7.2 Procedimiento

- Tomar una muestra de suelo que pase por el tamiz No.4, y pesar entre 100 a 200 g.
- Pesarse la tara más la muestra de suelo.
- Pesarse el picnómetro de 500 ml sin agua en la balanza.
- Colocar agua destilada en el picnómetro hasta la marca de aforo, pesarla en la balanza y vaciar el agua.
- Con el embudo sobre el picnómetro colocar una cantidad determinada de muestra de suelo y pesarse en conjunto.
- Colocar de nuevo agua destilada hasta cubrir aproximadamente unos 3/4 la muestra de suelo y llevar el mismo a la bomba de vacío durante 10 a 15 minutos, para sacar el aire que se encuentra en su interior.
- Completar con agua destilada la muestra anterior, la cual está ya sin aire ni burbujas hasta la marca de aforo del picnómetro.
- Pesarse el picnómetro, más agua destilada y más la muestra de suelo seco en la balanza.

5.7.3 Hoja de registro

Al concluir con los ensayos en el laboratorio se procede a tabular los datos para calcular el peso específico existente en las muestras de suelo obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 13
Registro de Gs muestra 1

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES			
PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS NORMA ASTM D-854-02			
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Carretera E-25, Pifo - Papallacta, Sector Mulauco			
FECHA DE ENSAYO: 13/01/2016			
NUMERO DEL PICNÓMETRO			
A	PESO DEL PICNÓMETRO + MUESTRA SECA	(g)	285,69
B	PESO DEL PICNÓMETRO + MUESTRA SECA + AGUA DESTILADA	(g)	722,66
C	PESO DEL PICNÓMETRO	(g)	157,74
D	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA DESTILADA	(g)	655,43
E = A - C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	127,95
F = D - C	VOLUMEN DEL FRASCO	(cm³)	497,69
G = B - A	VOLUMEN DEL FRASCO - VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm³)	436,97
H = F - G	VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm³)	60,72
Gs= E / H	PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS	(g/cm³)	2,11
ENSAYÓ: CAPT. Merino Dennis		CALCULÓ: CAPT. Merino Dennis	
		VERIFICÓ: Ing. Morales Byron	

Tabla 14
Registro de Gs muestra 2

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES			
PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS NORMA ASTM D-854-02			
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Carretera E-35, Colibrí - Pintag, Sector Jardines del Vall			
FECHA DE ENSAYO: 13/01/2016			
NUMERO DEL PICNÓMETRO			
A	PESO DEL PICNÓMETRO + MUESTRA SECA	(g)	286,38
B	PESO DEL PICNÓMETRO + MUESTRA SECA + AGUA DESTILADA	(g)	722,59
C	PESO DEL PICNÓMETRO	(g)	158,53
D	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA DESTILADA	(g)	655,48
E = A - C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	127,85
F = D - C	VOLUMEN DEL FRASCO	(cm³)	496,95
G = B - A	VOLUMEN DEL FRASCO - VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm³)	436,21
H = F - G	VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm³)	60,74
Gs= E / H	PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS	(g/cm³)	2,10
ENSAYÓ: CAPT. Merino Dennis		CALCULÓ: CAPT. Merino Dennis	
		VERIFICÓ: Ing. Morales Byron	

Tabla 15
Registro de Gs muestra 3

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES			
PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS NORMA ASTM D-854-02			
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Calle Pedro Guzman, Sector San José de Mongas			
FECHA DE ENSAYO: 13/01/2016			
NUMERO DEL PICNÓMETRO			
A	PESO DEL PICNÓMETRO + MUESTRA SECA	(g)	288,49
B	PESO DEL PICNÓMETRO + MUESTRA SECA + AGUA DESTILADA	(g)	728,09
C	PESO DEL PICNÓMETRO	(g)	158,29
D	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA DESTILADA	(g)	655,68
E = A - C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	130,20
F = D - C	VOLUMEN DEL FRASCO	(cm³)	497,39
G = B - A	VOLUMEN DEL FRASCO - VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm³)	439,60
H = F - G	VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm³)	57,79
Gs= E / H	PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS	(g/cm³)	2,25
ENSAYÓ: CAPT. Merino Dennis		CALCULÓ: CAPT. Merino Dennis	
		VERIFICÓ: Ing. Morales Byron	

5.8 Ensayo de límites de consistencia

Este ensayo es conocido como el Método estándar para la determinación de límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos ASTM D-4318-05.

La experiencia mostró que para los suelos en cuya textura hay un cierto porcentaje de fracción fina no basta el análisis granulométrico para caracterizarlos y clasificarlos, pues sus propiedades plásticas dependen del contenido de humedad, además de la forma de las partículas y de su composición química y mineralógica.

La consistencia en este caso generalmente es concebida como la propiedad de los suelos finos tipo arcillas, que consiste en la menor o mayor capacidad de ser moldeados en la manos bajo ciertas condiciones de humedad sin variación de volumen, siendo esta una de las propiedades más importantes de las arcillas y para su determinación se tiene que determinar los siguientes límites:

- a) Límite líquido (LL): es el contenido de humedad límite que tiene el suelo al pasar del estado líquido al plástico y se define como el contenido de agua en porcentaje que tiene el suelo para que una ranura abierta en una porción del mismo, con dimensiones normalizadas se cierre al someterla al impacto de 25 golpes dados sobre una superficie dura. La determinación de este límite se hace utilizando el aparato de casagrande, que consiste en un plato de latón en forma de concha que descansa sobre un soporte de caucho duro, por medio de una manivela excéntrica se imprime al plato repetidas caídas de altura 1 cm., e intensidad constante.
- b) Límite plástico (LP): es el contenido de humedad límite que tiene el suelo para pasar del estado plástico al semisólido y es determinado por el cálculo del contenido de humedad para el cual se agrieta y rompe el suelo, cuando se intenta moldear con la palma de la mano sobre una superficie lisa un cilindro de 5 mm de diámetro por 10 cm de largo.

c) Índice de plasticidad (IP): Se denomina así a la diferencia que existe entre los límites líquido y plástico (LL-LP), este índice define la zona en que el terreno se halla en estado plástico y por ser máximo para las arcillas y mínimo o mejor nulo para las arenas nos proporciona un criterio para juzgar el carácter arcilloso de un suelo, así cuando mayor es el índice plástico, tanto más arcilloso será el suelo y cuando un material no tiene plasticidad como la arena por ejemplo se considera el índice plástico nulo $IP = NP$, es decir es un suelo no plástico.

5.8.1 Equipo Límite líquido

Para el respectivo ensayo se requiere del siguiente equipo:

- Copa de casagrande
- Ranurador
- Balanza de precisión
- Tamiz No.40
- Horno de temperatura constante ($105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)
- Cápsulas metálicas o taras con identificación
- Cuchillos, espátulas, según se requiera



Figura 80 Copa de casagrande



Figura 81 Muestra taras y ranurador

5.8.2 Equipo Límite plástico

Para el respectivo ensayo se requiere del siguiente equipo:

- Placa de vidrio base
- Cápsulas metálicas o taras con identificación
- Balanza de precisión
- Horno de temperatura constante ($105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)
- Cápsulas metálicas o taras con identificación
- Cuchillos, espátulas, según se requiera



Figura 82 Placa de vidrio con rollos de 5mm

5.8.3 Procedimiento Límite líquido

- Tomar y pesar aproximadamente una muestra de suelo de entre 100 a 150 g que pase por el tamiz No. 40.
- Añadir agua y amasar hasta que adopte una consistencia homogénea, suave y ligera, esta operación se hará mezclando el agua y el suelo con ayuda de espátulas, como indicación inicial puede comenzarse el amasado con la mitad del suelo y añadiendo una cantidad de agua del orden del 30% del peso seco.

- Una vez que la masa esta lista colocar en la copa de casagrande y se enrasa la superficie con la espátula, la cantidad de muestra debe ser tal que al quedar enrasada horizontalmente tenga una longitud en el centro de por lo menos 4 cm y un espesor de 1 cm aproximadamente.
- Realizar una ranura en el centro de la masa del suelo con el ranurador, moviendo éste de forma que permanezca perpendicular a la superficie interior de la copa.
- Dar vuelta a la manivela a razón de dos golpes por segundo hasta que los bordes de la ranura se unen en su base en una longitud de 1 cm aproximadamente y si el cierre es irregular por efecto del aire atrapado, se repite el ensayo.
- Si el número de vueltas fue superior a 25 golpes, humedecer más el suelo y repetir el procedimiento anterior, para lo cual se limpia plenamente la cuchara y si el número de vueltas es inferior a 25 golpes añadir suelo seco a la muestra y repetir de nuevo el proceso.
- Cuando los golpes están dentro del margen establecido se obtiene tres lecturas las cuales no deben diferir en más de un golpe, se toma el promedio de los resultados y se aproxima al inmediato superior, el resultado debe estar entre los siguientes rangos 12-20, 20-30 y 30-40 golpes.
- Luego de determinar los golpes correctos se toma una porción de la muestra húmeda que se encuentra en la copa de aproximadamente 10 gr, colocándole en una cápsula y pesándola.
- Las muestras húmedas se colocan 24 horas secando en el horno, para después determinar sus pesos secos y se calcula el contenido de humedades.
- Con los datos obtenidos de número de golpes y contenido de humedad se traza la recta de flujo y se calcula el límite líquido.

5.8.4 Procedimiento Límite plástico

- Tomar una porción de muestra sobrante del ensayo anterior del límite líquido.
- Se procede a formar una esfera, la cual se amasa entre los dedos evitando que se peguen en los mismos.
- Se le da a la muestra forma de elipsoide y se rueda después entre los dedos y una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros de 5mm de diámetro y 10 cm de longitud.
- Si al llegar el cilindro al diámetro de unos 5 mm no se ha agrietado, se vuelve a hacer un elipsoide y se repite el procedimiento hasta que se fisure el cilindro.
- Se coloca los pedazos del cilindro fisurado en un recipiente metálico y obtener el peso húmedo, luego introducir en el horno durante 24 horas para determinar su peso seco.
- Repetir la prueba 3 o 4 veces.
- Determinar el contenido de humedad de cada prueba.
- Si los resultados no difieren en 1% se saca la media y ese valor será el límite plástico.

5.8.5 Hoja de registro límite líquido

Al concluir con los ensayos en el laboratorio se procede a tabular los datos para calcular el límite líquido de las muestras de suelo obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 16
Registro LL muestra 1

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES				
LÍMITE LÍQUIDO NORMA ASTM-D-4318-05				
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Carretera E-25, Pifo - Papallacta, Sector Mulauco				
FECHA DE ENSAYO: 14/01/2016				
NÚMERO DE LA CÁPSULA		A5	C80	L4
PESO DE LA CÁPSULA (TARA)	(g)	13,92	12,16	13,42
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO	(g)	24,96	22,61	27,87
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO	(g)	21,78	19,64	23,93
PESO DEL AGUA	(g)	3,18	2,97	3,94
PESO DEL SUELO SECO	(g)	7,86	7,48	10,51
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	40,46	38,71	37,49
LÍMITE LÍQUIDO SEGÚN GRÁFICO (%H)	(%)	38,71		
NÚMERO DE GOLPES		13	25	39
ENSAYÓ:	CALCULÓ:	VERIFICÓ:		
CAPT. Merino Dennis	CAPT. Merino Dennis	Ing. Morales Byron		

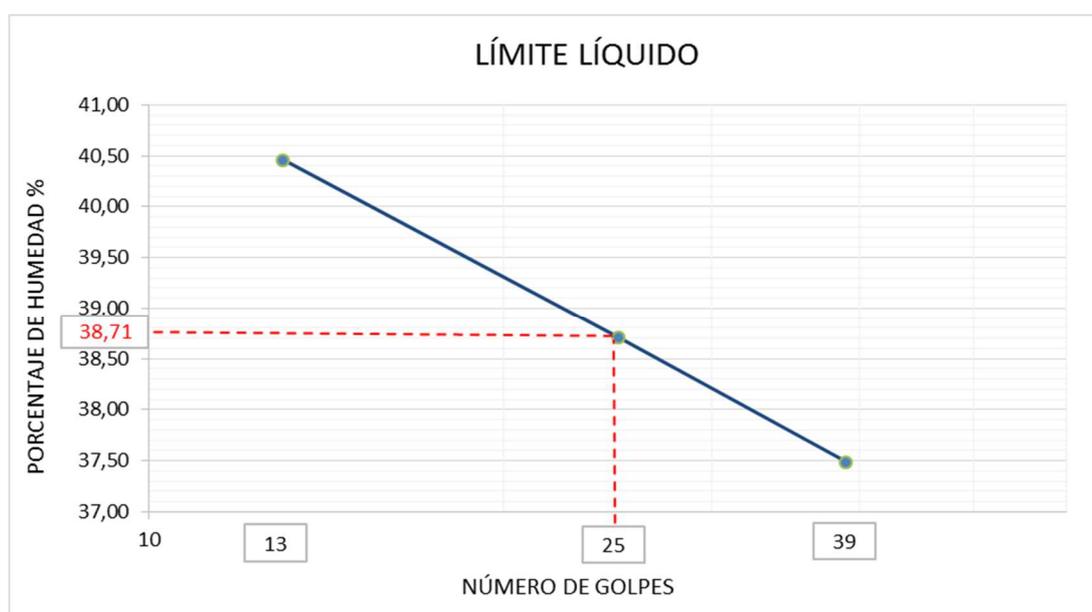


Figura 83 Límite líquido muestra 1

Tabla 17
Registro LL muestra 2

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES				
LÍMITE LÍQUIDO NORMA ASTM-D-4318-05				
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Carretera E-35, Colibrí - Pintag, Sector Jardines del Valle				
FECHA DE ENSAYO: 14/01/2016				
NÚMERO DE LA CÁPSULA		E41	LG4	36
PESO DE LA CÁPSULA (TARA)	(g)	13,78	10,79	13,99
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO	(g)	28,81	24,33	28,22
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO	(g)	25,00	20,90	24,71
PESO DEL AGUA	(g)	3,81	3,43	3,51
PESO DEL SUELO SECO	(g)	11,22	10,11	10,72
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	35,76	34,20	33,14
LÍMITE LÍQUIDO SEGÚN GRÁFICO (%H)	(%)	34,50		
NÚMERO DE GOLPES		16	27	38
ENSAYÓ: CAPT. Merino Dennis	CALCULÓ: CAPT. Merino Dennis		VERIFICÓ: Ing. Morales Byron	

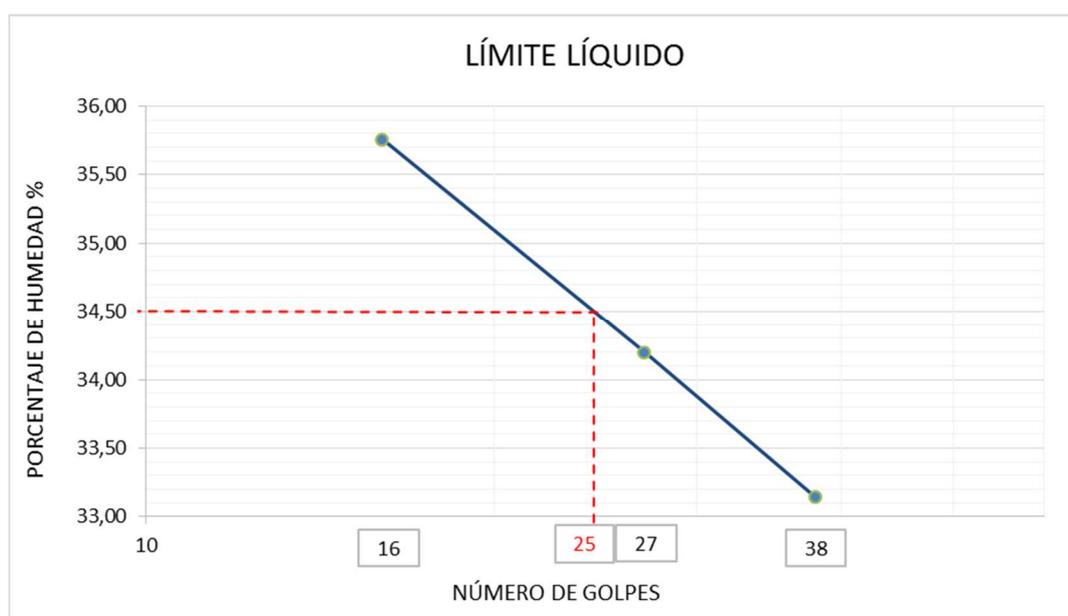


Figura 84 Límite líquido muestra 2

Tabla 18
Registro LL muestra 3

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES				
LÍMITE LÍQUIDO NORMA ASTM-D-4318-05				
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Calle Pedro Guzman, Sector San José de Mongas				
FECHA DE ENSAYO: 14/01/2016				
NÚMERO DE LA CÁPSULA		1Kp	16A	13A
PESO DE LA CÁPSULA (TARA)	(g)	119,57	121,10	120,66
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO	(g)	136,87	139,14	138,20
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO	(g)	132,20	134,55	133,84
PESO DEL AGUA	(g)	4,67	4,59	4,36
PESO DEL SUELO SECO	(g)	12,63	13,45	13,18
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	36,98	34,13	32,45
LÍMITE LÍQUIDO SEGÚN GRÁFICO (%H)	(%)	35,00		
NÚMERO DE GOLPES		18	28	36
ENSAYÓ: CAPT. Merino Dennis	CALCULÓ: CAPT. Merino Dennis	VERIFICÓ: Ing. Morales Byron		

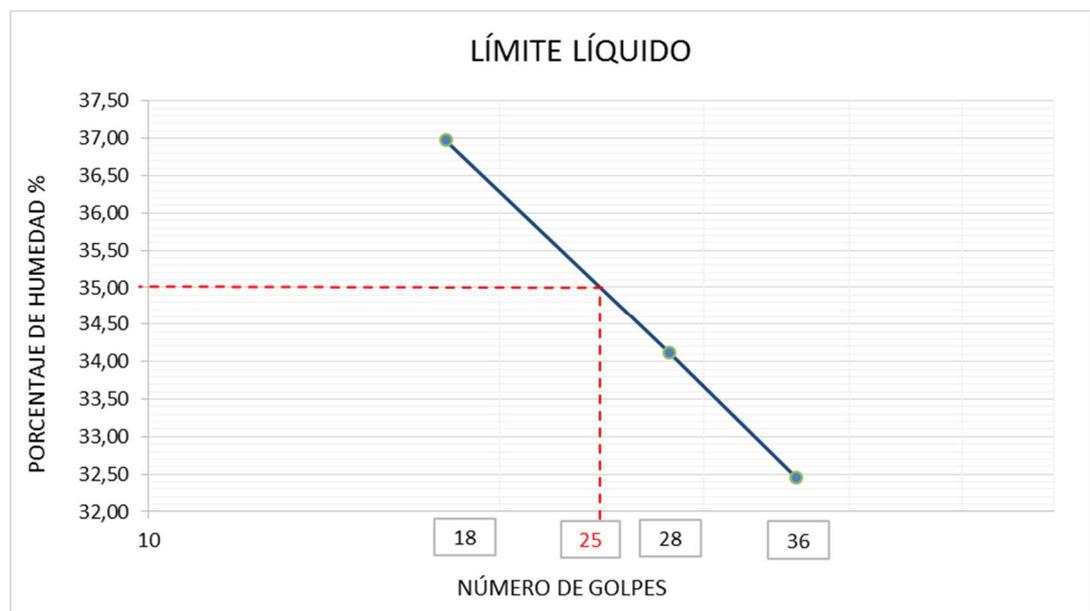


Figura 85 Límite Líquido muestra 3

5.8.6 Hoja de registro límite plástico

Al concluir con los ensayos en el laboratorio se procede a tabular los datos para calcular el límite plástico de las muestras de suelo obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 19
Registro LP muestra 1

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE																																												
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																																												
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES																																												
LÍMITE PLÁSTICO NORMA ASTM-D-4318-05																																												
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Carretera E-25, Pifo - Papallacta, Sector Mulauco																																												
FECHA DE ENSAYO: 14/01/2016																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: left;">NÚMERO DE LA CÁPSULA</th> <th style="text-align: center;">2000</th> <th style="text-align: center;">JILIII</th> <th style="text-align: center;">Pz</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 45%;">PESO DE LA CÁPSULA (TARA)</td> <td style="text-align: center;">(g)</td> <td style="text-align: center;">13,99</td> <td style="text-align: center;">13,61</td> <td style="text-align: center;">13,67</td> </tr> <tr> <td>PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO</td> <td style="text-align: center;">(g)</td> <td style="text-align: center;">15,53</td> <td style="text-align: center;">15,23</td> <td style="text-align: center;">15,34</td> </tr> <tr> <td>PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO</td> <td style="text-align: center;">(g)</td> <td style="text-align: center;">15,12</td> <td style="text-align: center;">14,78</td> <td style="text-align: center;">14,92</td> </tr> <tr> <td>PESO DEL AGUA</td> <td style="text-align: center;">(g)</td> <td style="text-align: center;">0,41</td> <td style="text-align: center;">0,45</td> <td style="text-align: center;">0,42</td> </tr> <tr> <td>PESO DEL SUELO SECO</td> <td style="text-align: center;">(g)</td> <td style="text-align: center;">1,13</td> <td style="text-align: center;">1,17</td> <td style="text-align: center;">1,25</td> </tr> <tr> <td>CONTENIDO DE HUMEDAD</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td style="text-align: center;">36,28</td> <td style="text-align: center;">38,46</td> <td style="text-align: center;">33,60</td> </tr> <tr> <td>LÍMITE PLÁSTICO</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">36,11</td> </tr> </tbody> </table>					NÚMERO DE LA CÁPSULA		2000	JILIII	Pz	PESO DE LA CÁPSULA (TARA)	(g)	13,99	13,61	13,67	PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO	(g)	15,53	15,23	15,34	PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO	(g)	15,12	14,78	14,92	PESO DEL AGUA	(g)	0,41	0,45	0,42	PESO DEL SUELO SECO	(g)	1,13	1,17	1,25	CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	36,28	38,46	33,60	LÍMITE PLÁSTICO	(%)	36,11		
NÚMERO DE LA CÁPSULA		2000	JILIII	Pz																																								
PESO DE LA CÁPSULA (TARA)	(g)	13,99	13,61	13,67																																								
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO	(g)	15,53	15,23	15,34																																								
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO	(g)	15,12	14,78	14,92																																								
PESO DEL AGUA	(g)	0,41	0,45	0,42																																								
PESO DEL SUELO SECO	(g)	1,13	1,17	1,25																																								
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	36,28	38,46	33,60																																								
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	36,11																																										
ENSAYÓ:	CALCULÓ:		VERIFICÓ:																																									
CAPT. Merino Dennis	CAPT. Merino Dennis		Ing. Morales Byron																																									

Tabla 20
Registro LP muestra 2

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE																																												
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																																												
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES																																												
LÍMITE PLÁSTICO NORMA ASTM-D-4318-05																																												
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Carretera E-35, Colibrí - Pintag, Sector Jardines del Valle																																												
FECHA DE ENSAYO: 14/01/2016																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">NÚMERO DE LA CÁPSULA</th> <th>A36</th> <th>A16</th> <th>39</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PESO DE LA CÁPSULA (TARA)</td> <td style="text-align: center;">(g)</td> <td style="text-align: center;">12,03</td> <td style="text-align: center;">12,10</td> <td style="text-align: center;">11,40</td> </tr> <tr> <td>PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO</td> <td style="text-align: center;">(g)</td> <td style="text-align: center;">13,68</td> <td style="text-align: center;">14,96</td> <td style="text-align: center;">13,40</td> </tr> <tr> <td>PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO</td> <td style="text-align: center;">(g)</td> <td style="text-align: center;">13,24</td> <td style="text-align: center;">14,27</td> <td style="text-align: center;">12,90</td> </tr> <tr> <td>PESO DEL AGUA</td> <td style="text-align: center;">(g)</td> <td style="text-align: center;">0,44</td> <td style="text-align: center;">0,69</td> <td style="text-align: center;">0,50</td> </tr> <tr> <td>PESO DEL SUELO SECO</td> <td style="text-align: center;">(g)</td> <td style="text-align: center;">1,21</td> <td style="text-align: center;">2,17</td> <td style="text-align: center;">1,50</td> </tr> <tr> <td>CONTENIDO DE HUMEDAD</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td style="text-align: center;">36,36</td> <td style="text-align: center;">31,80</td> <td style="text-align: center;">33,33</td> </tr> <tr> <td>LÍMITE PLÁSTICO</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">33,83</td> </tr> </tbody> </table>					NÚMERO DE LA CÁPSULA		A36	A16	39	PESO DE LA CÁPSULA (TARA)	(g)	12,03	12,10	11,40	PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO	(g)	13,68	14,96	13,40	PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO	(g)	13,24	14,27	12,90	PESO DEL AGUA	(g)	0,44	0,69	0,50	PESO DEL SUELO SECO	(g)	1,21	2,17	1,50	CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	36,36	31,80	33,33	LÍMITE PLÁSTICO	(%)	33,83		
NÚMERO DE LA CÁPSULA		A36	A16	39																																								
PESO DE LA CÁPSULA (TARA)	(g)	12,03	12,10	11,40																																								
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO	(g)	13,68	14,96	13,40																																								
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO	(g)	13,24	14,27	12,90																																								
PESO DEL AGUA	(g)	0,44	0,69	0,50																																								
PESO DEL SUELO SECO	(g)	1,21	2,17	1,50																																								
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	36,36	31,80	33,33																																								
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	33,83																																										
ENSAYÓ:	CALCULÓ:		VERIFICÓ:																																									
CAPT. Merino Dennis	CAPT. Merino Dennis		Ing. Morales Byron																																									

Tabla 21
Registro LP muestra 3

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE																																												
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																																												
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES																																												
LÍMITE PLÁSTICO NORMA ASTM-D-4318-05																																												
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Calle Pedro Guzman, Sector San José de Mongas																																												
FECHA DE ENSAYO: 14/01/2016																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: left;">NÚMERO DE LA CÁPSULA</th> <th style="text-align: center;">114</th> <th style="text-align: center;">H8</th> <th style="text-align: center;">71</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 45%;">PESO DE LA CÁPSULA (TARA)</td> <td style="text-align: center;">(g)</td> <td style="text-align: center;">11,36</td> <td style="text-align: center;">10,87</td> <td style="text-align: center;">12,53</td> </tr> <tr> <td>PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO</td> <td style="text-align: center;">(g)</td> <td style="text-align: center;">12,50</td> <td style="text-align: center;">11,75</td> <td style="text-align: center;">13,59</td> </tr> <tr> <td>PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO</td> <td style="text-align: center;">(g)</td> <td style="text-align: center;">12,24</td> <td style="text-align: center;">11,55</td> <td style="text-align: center;">13,32</td> </tr> <tr> <td>PESO DEL AGUA</td> <td style="text-align: center;">(g)</td> <td style="text-align: center;">0,26</td> <td style="text-align: center;">0,20</td> <td style="text-align: center;">0,27</td> </tr> <tr> <td>PESO DEL SUELO SECO</td> <td style="text-align: center;">(g)</td> <td style="text-align: center;">0,88</td> <td style="text-align: center;">0,68</td> <td style="text-align: center;">0,79</td> </tr> <tr> <td>CONTENIDO DE HUMEDAD</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td style="text-align: center;">29,55</td> <td style="text-align: center;">29,41</td> <td style="text-align: center;">34,17</td> </tr> <tr> <td>LÍMITE PLÁSTICO</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">31,04</td> </tr> </tbody> </table>					NÚMERO DE LA CÁPSULA		114	H8	71	PESO DE LA CÁPSULA (TARA)	(g)	11,36	10,87	12,53	PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO	(g)	12,50	11,75	13,59	PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO	(g)	12,24	11,55	13,32	PESO DEL AGUA	(g)	0,26	0,20	0,27	PESO DEL SUELO SECO	(g)	0,88	0,68	0,79	CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	29,55	29,41	34,17	LÍMITE PLÁSTICO	(%)	31,04		
NÚMERO DE LA CÁPSULA		114	H8	71																																								
PESO DE LA CÁPSULA (TARA)	(g)	11,36	10,87	12,53																																								
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO	(g)	12,50	11,75	13,59																																								
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO	(g)	12,24	11,55	13,32																																								
PESO DEL AGUA	(g)	0,26	0,20	0,27																																								
PESO DEL SUELO SECO	(g)	0,88	0,68	0,79																																								
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	29,55	29,41	34,17																																								
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	31,04																																										
ENSAYÓ:	CALCULÓ:		VERIFICÓ:																																									
CAPT. Merino Dennis	CAPT. Merino Dennis		Ing. Morales Byron																																									

5.8.7 Hoja de registro índice de plásticidad

Al concluir con los ensayos en el laboratorio se procede a tabular los datos para calcular el índice de plásticidad, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 22
Registro IP muestra 1

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE											
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL											
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES											
ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD NORMA ASTM-D-4318-05											
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Carretera E-25, Pífo - Papallacta, Sector Mulauco											
FECHA DE ENSAYO: 14/01/2016											
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>LÍMITE LÍQUIDO</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td style="text-align: right;">38,71</td> </tr> <tr> <td>LÍMITE PLÁSTICO</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td style="text-align: right;">36,11</td> </tr> <tr> <td>ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td style="text-align: right;">2,60</td> </tr> </table>			LÍMITE LÍQUIDO	(%)	38,71	LÍMITE PLÁSTICO	(%)	36,11	ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD	(%)	2,60
LÍMITE LÍQUIDO	(%)	38,71									
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	36,11									
ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD	(%)	2,60									
ENSAYÓ: CAPT. Merino Dennis	CALCULÓ: CAPT. Merino Dennis	VERIFICÓ: Ing. Morales Byron									

Tabla 23
Registro IP muestra 2

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE											
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL											
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES											
ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD NORMA ASTM-D-4318-05											
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Carretera E-25, Pífo - Papallacta, Sector Mulauco											
FECHA DE ENSAYO: 14/01/2016											
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>LÍMITE LÍQUIDO</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td style="text-align: right;">34,50</td> </tr> <tr> <td>LÍMITE PLÁSTICO</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td style="text-align: right;">33,83</td> </tr> <tr> <td>ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td style="text-align: right;">0,67</td> </tr> </table>			LÍMITE LÍQUIDO	(%)	34,50	LÍMITE PLÁSTICO	(%)	33,83	ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD	(%)	0,67
LÍMITE LÍQUIDO	(%)	34,50									
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	33,83									
ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD	(%)	0,67									
ENSAYÓ: CAPT. Merino Dennis	CALCULÓ: CAPT. Merino Dennis	VERIFICÓ: Ing. Morales Byron									

Tabla 24
Registro IP muestra 3

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES		
ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD NORMA ASTM-D-4318-05		
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Carretera E-25, Pifo - Papallacta, Sector Mulauco		
FECHA DE ENSAYO: 14/01/2016		
LÍMITE LÍQUIDO	(%)	35,00
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	31,04
ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD	(%)	3,96
ENSAYÓ: CAPT. Merino Dennis	CALCULÓ: CAPT. Merino Dennis	VERIFICÓ: Ing. Morales Byron

5.9 Ensayo de granulometría

Este ensayo es conocido como el Análisis del tamaño de las partículas de suelo, ASTM D-422-63.

Los granos que conforman el suelo y tienen diferente tamaño, van desde los grandes que son los que se pueden tomar fácilmente con las manos, hasta los granos pequeños, los que no se pueden ver con un microscopio, este análisis granulométrico al cuál se somete un suelo es de gran ayuda para la construcción de proyectos, tanto de estructuras como carreteras ya que con este se puede conocer la permeabilidad y la cohesión del suelo, así también el suelo analizado puede ser usado en mezclas de asfalto o concreto.

La granulometría consiste en separar los granos de una muestra de suelo según el tamaño y expresar el peso de esos tamaños en porcentaje comparado con el peso inicial de la muestra y expresarlo en porcentajes de pasante, dichos granos que pasen o se queden en el tamiz tienen sus características ya determinadas.

Al ser este un proceso mecánico en el cual se separan las partículas de un suelo en sus diferentes tamaños, su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo, para de esta

manera determinar su clasificación mediante sistemas como AASHTO²⁹ o SUCS³⁰.

Este ensayo se realiza en laboratorio, hasta las partículas de suelo retenidas en el tamiz N° 200 (0.074 mm) y para su realización se usa una serie de tamices con diferentes diámetros que son ensamblados en una columna, en la parte superior, donde se encuentra el tamiz de mayor diámetro, se agrega el material original y la columna de tamices se somete a vibración y movimientos, luego de algunos minutos, se retiran los tamices y se toman por separado los pesos de material retenido en cada uno de ellos.

Al final de este se obtiene la curva granulométrica, que es la representación gráfica de los resultados obtenidos en el análisis, los cuales son trazados en un diagrama semi logarítmico.

5.9.1 Equipo

Para el respectivo ensayo se requiere del siguiente equipo:

- Balanza de precisión
- Horno de temperatura constante ($105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)
- Tamices No 4, 10, 40 y 200
- Cápsulas metálicas o taras con identificación
- Recipiente para secar el suelo
- Cuchillos, espátulas, según se requiere

5.9.2 Procedimiento

- Tomar una muestra de suelo entre 150 a 200 g y pesarla, este valor corresponde al peso inicial húmedo (W_1).
- Determinar el contenido de humedad (%h) de la muestra, con la finalidad de obtener el peso seco (P_s) de la muestra con la siguiente fórmula:

²⁹ Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes, es un órgano que establece normas, publica especificaciones y hace pruebas de protocolo y guías.

³⁰ Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, usado en ingeniería y geología para describir el tamaño de las partículas del suelo.

$$P_s = \frac{W_1}{1 + \frac{\% h}{100}}$$

- Colocar la muestra en el recipiente agregar agua y dejar saturar por 24 horas.
- Una vez saturada se procede a lavar la muestra de suelo colocándola sobre el tamiz N° 40 y este sobre el tamiz N°200 con el objetivo de eliminar los limos y las arcillas, este proceso de lavado se lo realiza hasta que el agua que pasa por los tamices sea completamente cristalina es decir este limpia.
- Todo el material que se retiene en los tamices se coloca en un nuevo recipiente y se procede a colocar en el horno de temperatura constante por 24 horas para secar.
- Una vez ya con el material seco se pasa la muestra por los tamices N°4, N°10, N°40 y N°200, colocándolos uno sobre otro en el orden mencionado, la columna de tamices se somete a vibraciones y movimientos para permitir el paso del material.
- Al final se pesa el material retenido en cada una de los tamices y con la información se realiza la curva granulométrica, teniendo en cuenta que: las gravas se constituyen por partículas cuyo tamaño es mayor que 4.76 mm, las arenas constituidas por partículas menores que 4.76 mm y mayores que 0.074 mm, los limos y arcillas constituidos por partículas menores que 0.074 mm y mayores que 0.002 mm.

5.9.3 Hoja de registro

Al concluir con los ensayos en el laboratorio se procede a tabular los datos para realizar el análisis granulométrico, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 25
Registro tamizado muestra 1

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS SUELOS ASTM-D-422				
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Carretera E-25, Pifo - Papallacta, Sector Mulauco				
FECHA DE ENSAYO: 15/01/2016				
Peso W1	178,61	g	LL =	38,71
% Humedad	19,52	%	LP =	36,11
Peso seco	149,44	g	IP =	2,60
Pasante 200	46,72	g		
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
No. 4 (4,75mm)	7,17	7,17	4,80	95,20
No. 10 (2,00mm)	15,08	22,25	14,89	85,11
No. 40 (0,42mm)	27,16	49,41	33,06	66,94
No. 200 (0,075mm)	53,31	102,72	68,74	31,26
TOTAL	102,72			
ENSAYÓ:	CALCULÓ:		VERIFICÓ:	
CAPT. Merino Dennis	CAPT. Merino Dennis		Ing. Morales Byron	

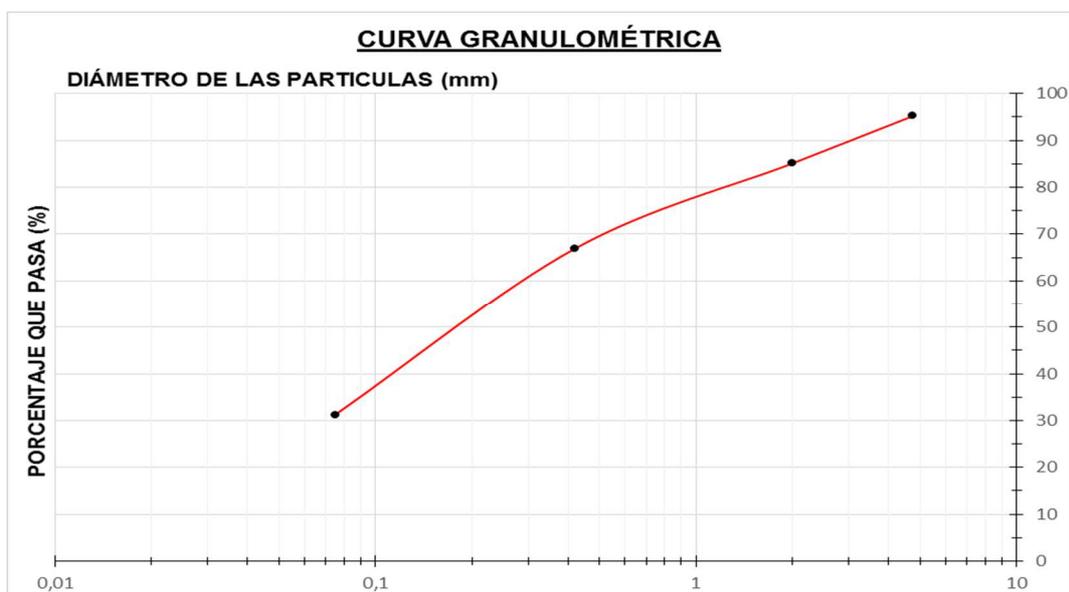


Figura 86 Curva granulométrica muestra 1

Tabla 26
Registro tamizado muestra 2

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS SUELOS ASTM-D-422				
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Carretera E-35, Colibrí - Píntag, Jardines del Valle				
FECHA DE ENSAYO: 15/01/2016				
Peso W1	178,61	g	LL =	34,50
% Humedad	19,66	%	LP =	33,83
Peso seco	149,27	g	IP =	0,67
Pasante 200	66,50	g		
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
No. 4 (4,75mm)	2,92	2,92	1,95	98,05
No. 10 (2,00mm)	4,07	6,99	4,68	95,32
No. 40 (0,42mm)	9,80	16,79	11,24	88,76
No. 200 (0,075mm)	65,98	82,77	55,39	44,61
TOTAL	82,77			
ENSAYÓ:	CALCULÓ:		VERIFICÓ:	
CAPT. Merino Dennis	CAPT. Merino Dennis		Ing. Morales Byron	

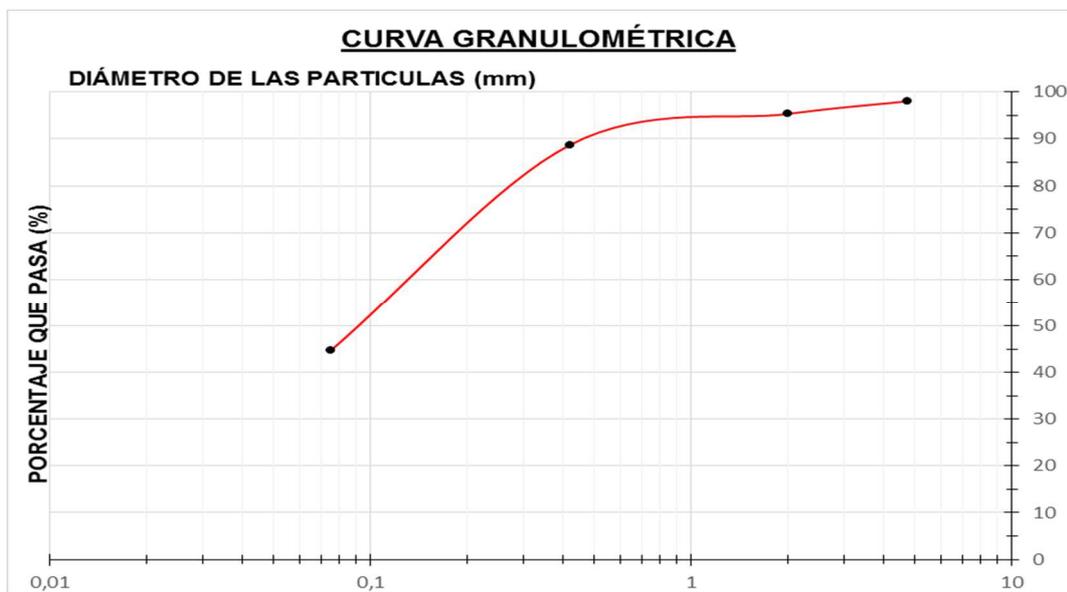


Figura 87 Curva granulométrica muestra 2

Tabla 27
Registro tamizado muestra 3

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS SUELOS ASTM-D-422				
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Talud de la Calle Pedro Guzman, Sector San José de Mongas				
FECHA DE ENSAYO: 15/01/2016				
Peso W1	181,56	g	LL =	35,00
% Humedad	32,26	%	LP =	31,04
Peso seco	137,28	g	IP =	3,96
Pasante 200	69,90	g		
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
No. 4 (4,75mm)	4,01	4,01	2,68	97,32
No. 10 (2,00mm)	2,90	6,91	4,62	95,38
No. 40 (0,42mm)	12,78	19,69	13,18	86,82
No. 200 (0,075mm)	47,69	67,38	45,09	54,91
TOTAL	67,38			
ENSAYÓ:	CALCULÓ:		VERIFICÓ:	
CAPT. Merino Dennis	CAPT. Merino Dennis		Ing. Morales Byron	

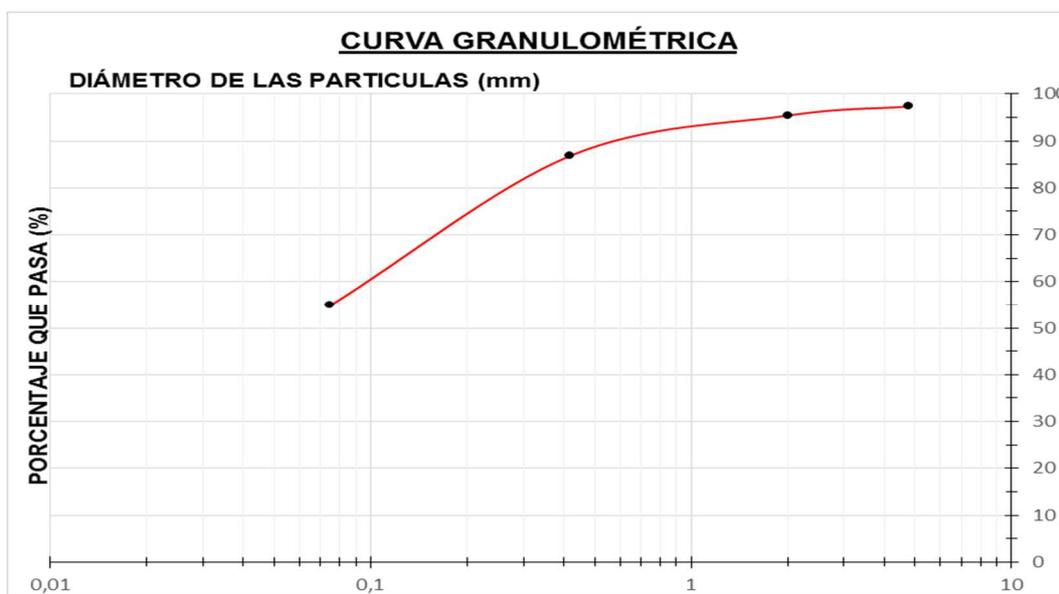


Figura 88 Curva granulométrica muestra 3

5.9.4 Clasificación por el sistema SUCS

Este sistema fue adoptado por la ASTM D-2487-11, como parte de sus métodos normalizados, dicha clasificación se vale de unos símbolos de grupo, consistente en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades.

Tabla 28
Símbolos de grupo SUCS

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite Líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite Líquido bajo (<50)	H

Con esta información preliminar sumada a los registros de tamizado anteriores, los cuales sirven de referencia se procede a caracterizar las muestras de suelo siguiendo el siguiente esquema

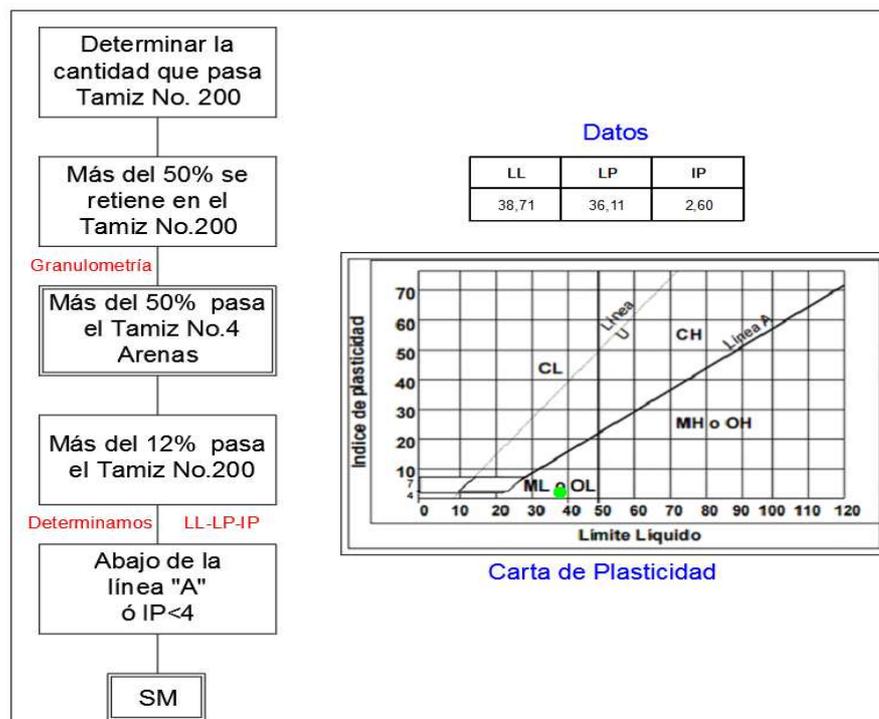


Figura 89 Clasificación SUCS muestra 1

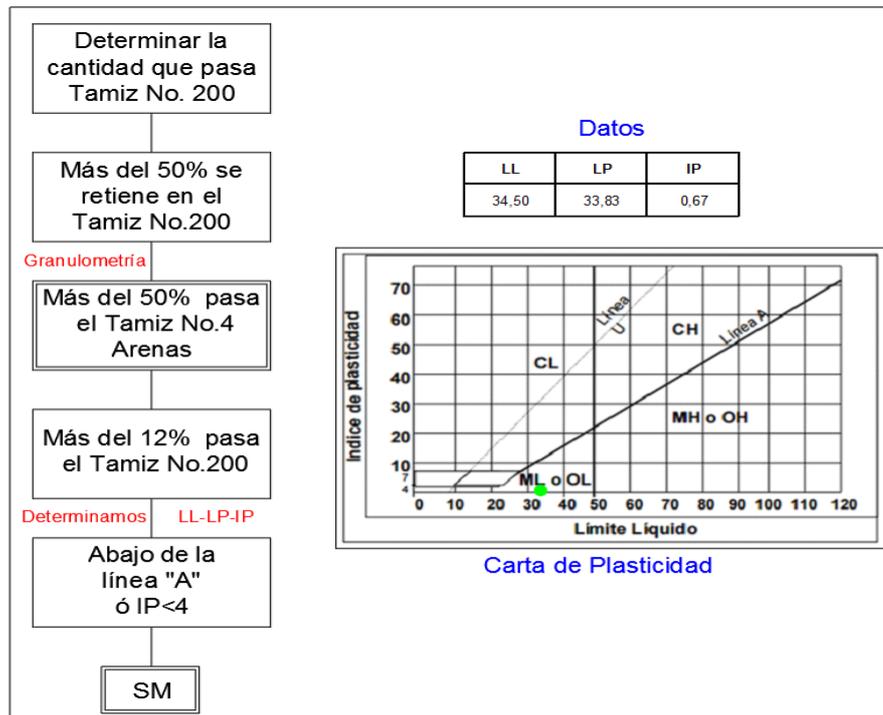


Figura 90 Clasificación SUCS muestra 2

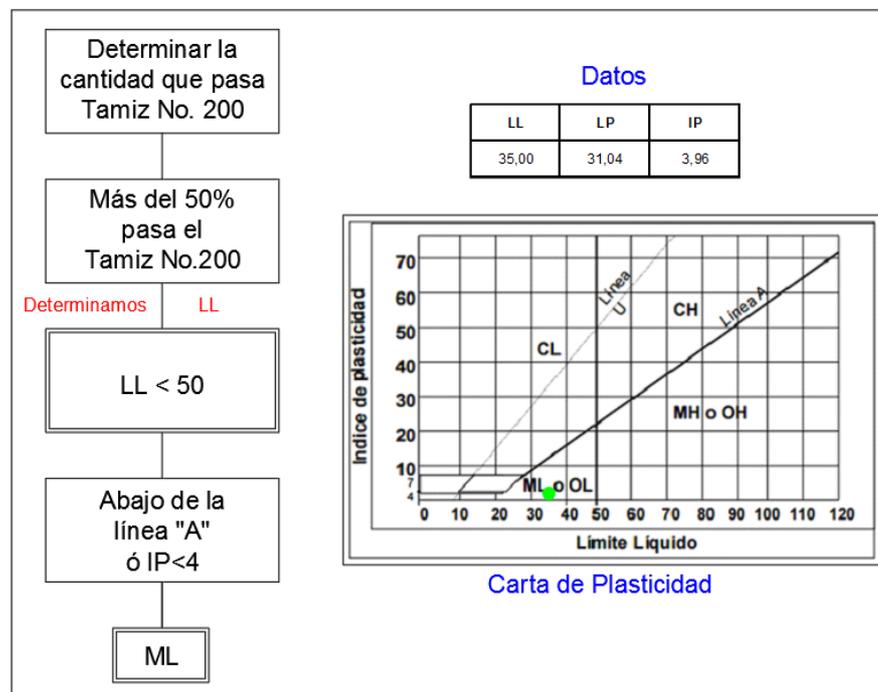


Figura 91 Clasificación SUCS muestra 3

Una vez identificado los símbolos de la caracterización de las diferentes muestras de suelo se presenta el siguiente cuadro resumen.

Tabla 29
Resumen clasificación de muestras

Muestra	Símbolo	Característica	Resistencia	Dilatación	Plasticidad
No1 No2	SM	Arena limosa, mezclas de arena y limo	Finos no plásticos o baja plasticidad		
No 3	ML	Limo inorgánico, arenas finas limosas	Ninguna a Ligera	Rápida a lenta	Ninguna

5.10 Ensayo triaxial

Este ensayo es conocido como el Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión no consolidada- no drenada (UU) de suelos cohesivos en compresión triaxial, ASTM D-2850-82.

El método de compresión triaxial es el más usado para determinar las características de esfuerzo-deformación y de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos en condiciones inalteradas, remoldeadas o compactadas

Dicho ensayo consiste en aplicar esfuerzos laterales y verticales diferentes, a las probetas cilíndricas de suelo para estudiar su comportamiento, por lo general se lo realiza en una cámara de pared transparente (cámara triaxial) llena de líquido, en la que se coloca la probeta cilíndrica de suelo que salvo que se adopten precauciones especiales, tiene una altura igual a dos veces su diámetro, forrada con una membrana de caucho, esta membrana va sujeta a un pedestal y a un cabezal sobre los que se apoyan los extremos de la probeta.

Así mismo esta puede ser dividida en dos etapas:

- a) La primera, en la que la probeta de suelo es sometida a una presión hidrostática de fluido, con esfuerzos verticales iguales a los horizontales. Durante esta etapa, se dice que la probeta es "consolidada" si se permite

el drenaje del fluido de los poros, alternativamente, si el drenaje no puede ocurrir se dice que la probeta es "no consolidada".

- b) En la segunda etapa, llamada de aplicación del esfuerzo desviador, se incrementan los esfuerzos verticales (desviadores) a través del pistón vertical de carga, hasta la falla, en esta etapa el operador tiene también la opción de permitir el drenaje y por lo tanto eliminar la presión neutra o mantener la válvula correspondiente cerrada sin drenaje, si la presión neutra es disipada se dice que el ensayo es "drenado", en caso contrario se dice que el ensayo es "no drenado".

Los ensayos triaxiales pueden ser clasificados en:

- No consolidados-no drenados (UU) o rápidos (Q), en el que se impide el drenaje durante las dos etapas del ensayo.
- Consolidados-no drenados (CU) o consolidados-rápidos (RC), en el que se permite el drenaje durante la primera etapa solamente.
- Consolidados-drenados (CD) o lentos (S), en el que se permite el drenaje durante todo el ensayo y no se dejan generar presiones neutras aplicando los incrementos de carga en forma pausada durante la segunda etapa y esperando que el suelo se consolide con cada incremento.

La Resistencia al Esfuerzo Cortante de un suelo en función de los esfuerzos totales, se determina usando la Ley de Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

Donde:

τ = Esfuerzo cortante

c = Cohesión

σ = Esfuerzo normal

ϕ = Ángulo de fricción interna

Generalmente cada prueba se realiza con tres o cinco probetas de la misma muestra de suelo, en los que varía la presión de confinamiento de la cámara triaxial, los resultados obtenidos se los presenta en el diagrama de Mohr-Coulomb la cual está constituida por una serie de círculos, cuya envolvente permite obtener los parámetros del ángulo de fricción y de la cohesión.

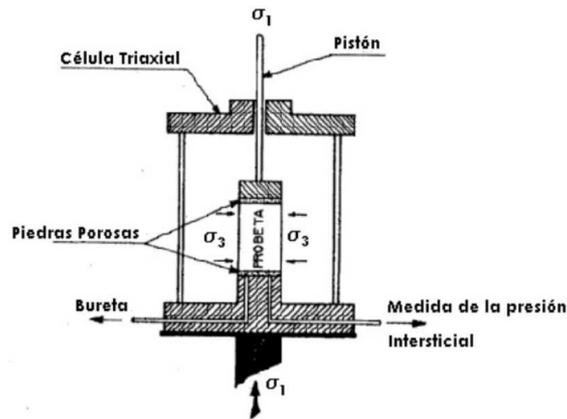


Figura 92 Cámara triaxial

Fuente: (Slideshare; 2013)

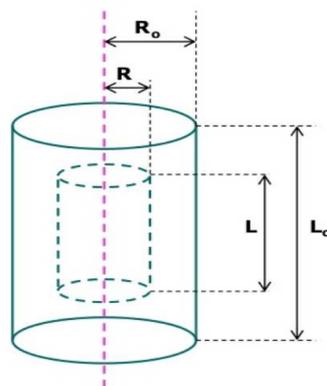


Figura 93 Deformación probeta

Fuente: (Slideshare; 2013)

5.10.1 Equipo

Para el respectivo ensayo se requiere del siguiente equipo:

- Balanza de precisión
- Horno de temperatura constante ($105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)
- Cámara triaxial

- Máquina de compresión triaxial
- Membrana de caucho
- Compresor de aire
- Bomba de vacío
- Calibrador
- Balanza de precisión
- Programa Triaxial Soiltest³¹
- Tallador de muestras, cuchillos, sierras



Figura 94 Máquina Triaxial

5.10.2 Procedimiento

- Tallar tres probetas cilíndricas de un suelo inalterado tomando en cuenta su estratificación, para medir su diámetro superior, medio, inferior, altura y pesarlo.



Figura 95 Tallado de probeta

³¹ Programa computacional que procesa toda la información del ensayo triaxial.

- Colocar una membrana de caucho (preservativo) en la probeta, para impermeabilizarla.



Figura 96 Probeta con membrana

- Colocar la probeta en la base de la cámara triaxial, utilizando una piedra porosa entre la muestra y dicha base, de igual manera se sitúa la cabeza de plástico con una piedra porosa entre ella y el espécimen.
- Al utilizar el triaxial Soiltest, conectar la cabeza de plástico en el tubo espiral que sale de la base y que se utiliza para el drenaje de la muestra.
- Colocar la cámara con su tapa y revisar que estén bien colocados los empaques para lo cual se aprieta los tornillos que sujetan la cámara uniformemente.
- Introducir el pistón en el hueco de la cabeza de plástico.
- Aplicar presión al tanque de almacenamiento de agua por lo que se abre las válvulas que permiten el paso de la misma a la cámara.
- Ajustar el vástago al cabezal y aplicar una ligera presión axial hasta que el dial marque un valor determinado y encerrar el dial de carga y el de deformación.
- Aplicar presión en la cámara, para lo cual se escoge el valor de la presión confinante con la cual se ensayara la probeta.



Figura 97 Probeta confinada

- En estas condiciones aplicamos el tipo de triaxial solicitado, llegando en cualquier caso a aplicar la carga hasta romper la muestra; anotándose las lecturas de las deformaciones axiales y de la carga aplicada.
- Una vez terminado el ensayo se reduce la presión y se devuelve el agua al tanque de almacenamiento, se seca la cámara y luego a la muestra con mucho cuidado con el objeto de graficar el plano de falla.



Figura 98 Fisura

- El procedimiento se repite por lo menos en tres probetas con diferente presión.

5.10.3 Hoja de registro

Al concluir con los ensayos en el laboratorio se procede a tabular los datos obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 30
Registro triaxial muestra 1

ENSAYO TRIAXIAL MUESTRA No.1								
DATOS INICIALES								
	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	HUMEDAD DE LA MUESTRA				
Ds [cm]	4,000	3,920	3,960	Pcap. (gr)	120,99 gr	121,62 gr		
Dc [cm]	4,000	4,050	4,150	P.cap+sh. (gr)	183,89 gr	191,12 gr		
Di [cm]	3,920	4,050	3,920	P.cap+ss.(gr)	173,69 gr	179,69 gr		
Hs [cm]	7,500	7,490	7,490	% Humedad	19,35 %	19,68 %		
Wo [g]	139,360	150,450	138,480	%Hum prom	19,52 %			
Vm [cm3]	93,626	95,474	97,983					
Am [cm2]	12,483	12,747	13,082					
ys	1,488	1,576	1,413					
yh	1,245	1,317	1,069					
DATOS DE ENSAYO TRIAXIAL								
PROBETA 1 0,50 kg/cm3			PROBETA 2 1,00 kg/cm3			PROBETA 3 1,50 kg/cm3		
Def. muestra σ_3 (mm)	Esfuerzo desviador (kg/cm2)	Def. unitaria (%)	Def. muestra σ_3 (mm)	Esfuerzo desviador (kg/cm2)	Def. unitaria (%)	Def. muestra σ_3 (mm)	Esfuerzo desviador (kg/cm2)	Def. unitaria (%)
0,007	0,008	0,009	0,024	0,318	0,032	0,003	0,263	0,004
0,000	0,002	0,000	0,062	0,845	0,083	0,006	0,291	0,008
0,000	0,005	0,000	0,092	1,288	0,123	0,013	0,574	0,017
0,000	0,008	0,000	0,113	1,531	0,151	0,019	0,830	0,026
0,000	0,009	0,000	0,129	1,799	0,172	0,033	1,172	0,044
0,000	0,011	0,001	0,141	2,178	0,188	0,051	1,649	0,069
0,050	0,014	0,066	0,155	2,622	0,207	0,067	2,101	0,090
0,032	0,014	0,043	0,168	2,877	0,224	0,079	2,446	0,105
0,034	0,014	0,045	0,180	3,098	0,240	0,084	2,615	0,111
0,034	0,014	0,045	0,189	3,458	0,253	0,087	2,751	0,116
0,034	0,010	0,045	0,206	3,964	0,275	0,093	2,990	0,125
0,031	0,009	0,042	0,222	4,295	0,297	0,101	3,272	0,135
0,030	0,009	0,040	0,242	4,651	0,323	0,114	3,743	0,152
0,029	0,008	0,039	0,264	5,167	0,352	0,124	4,176	0,166
0,028	0,006	0,037	0,290	5,750	0,387	0,136	4,490	0,182
0,023	0,001	0,031	0,316	6,292	0,422	0,149	4,753	0,200
0,007	0,021	0,009	0,344	6,703	0,459	0,166	5,124	0,222
0,035	0,059	0,046	0,378	7,272	0,504	0,182	5,603	0,243
0,063	0,064	0,083	0,409	7,867	0,546	0,202	6,275	0,270
0,078	0,078	0,105	0,442	8,477	0,591	0,229	7,008	0,305
0,117	0,129	0,156	0,471	8,810	0,629	0,254	7,653	0,339
0,151	0,155	0,202	0,504	9,144	0,672	0,277	8,133	0,369
0,181	0,167	0,242	0,535	9,559	0,715	0,300	8,516	0,400
0,225	0,215	0,300	0,572	10,148	0,763	0,326	8,895	0,435
0,321	0,280	0,428	0,607	10,568	0,811	0,351	9,338	0,469
0,381	0,339	0,508	0,648	10,767	0,866	0,376	9,850	0,502
0,441	0,428	0,588	0,690	11,016	0,921	0,406	10,426	0,542
0,533	0,555	0,711	0,732	11,381	0,977	0,438	11,038	0,585
0,598	0,665	0,798	0,787	11,763	1,050	0,473	11,498	0,631
0,635	0,749	0,847	0,871	11,031	1,163	0,508	11,801	0,678
0,668	0,822	0,891	0,956	10,335	1,277	0,549	12,055	0,733
0,693	0,903	0,924	1,022	10,245	1,364	0,598	12,259	0,799
0,711	0,997	0,948	1,102	10,188	1,471	0,649	12,531	0,867
0,729	1,073	0,973	1,228	8,858	1,639	0,704	12,791	0,939
0,759	1,268	1,012	1,296	8,348	1,731	0,754	13,112	1,007
0,796	1,454	1,061	1,355	8,180	1,809	0,805	13,510	1,075
0,825	1,586	1,100	1,409	8,305	1,881	0,851	13,800	1,136
0,854	1,714	1,139	1,481	8,330	1,977	0,893	13,921	1,193
0,880	1,833	1,173	1,549	7,959	2,068	0,940	13,998	1,255
0,908	2,049	1,211	1,608	7,733	2,147	0,986	14,110	1,316
0,937	2,296	1,249	1,666	7,778	2,224	1,038	14,201	1,386
0,970	2,583	1,293	1,742	7,903	2,325	1,090	14,246	1,455
1,002	2,876	1,336	1,816	7,677	2,424	1,148	14,254	1,533
1,025	3,096	1,367	1,883	7,356	2,514	1,208	14,324	1,612
1,044	3,274	1,392	1,943	7,275	2,594	1,266	14,223	1,691
1,061	3,434	1,414	2,008	7,526	2,681	1,326	13,939	1,771
1,078	3,637	1,437	2,081	7,453	2,778	1,387	13,544	1,851
1,095	3,890	1,460	2,136	7,201	2,851	1,453	13,128	1,940
1,111	4,191	1,482	2,188	7,080	2,922	1,515	12,906	2,022
1,128	4,528	1,505	2,239	7,238	2,989	1,581	12,656	2,110

Continúa 

1,144	4,838	1,526	2,310	7,349	3,084	1,646	12,574	2,197
1,165	5,105	1,553	2,375	7,151	3,171	1,714	12,543	2,289
1,184	5,363	1,579	2,432	6,957	3,247	1,775	12,325	2,370
1,188	5,692	1,584	2,490	7,006	3,325	1,825	12,119	2,437
1,214	6,040	1,619	2,562	7,158	3,421	1,876	11,907	2,505
1,318	6,420	1,758	2,637	7,046	3,520	1,930	11,795	2,576
1,358	6,823	1,811	2,701	6,765	3,607	1,981	11,825	2,645
1,396	7,152	1,861	2,766	6,677	3,693	2,035	11,967	2,717
1,433	7,468	1,910	2,838	6,756	3,789	2,097	12,232	2,800
1,468	7,684	1,957	2,915	6,647	3,892	2,161	12,292	2,885
1,501	7,809	2,001	2,978	6,369	3,976	2,219	12,195	2,962
1,539	7,800	2,052	3,035	6,228	4,053	2,276	12,002	3,039
1,577	7,780	2,102	3,091	6,311	4,127	2,328	11,873	3,109
1,620	7,700	2,161	3,161	6,309	4,220	2,385	11,830	3,185
1,674	7,600	2,232	3,226	6,163	4,308	2,437	11,814	3,254
1,755	7,500	2,340	3,285	6,037	4,385	2,493	12,032	3,329
1,846	7,394	2,462	3,346	6,091	4,467	2,551	12,289	3,406
1,921	7,133	2,561	3,419	6,104	4,564	2,606	12,276	3,479
1,985	6,850	2,647	3,496	6,002	4,668	2,660	12,177	3,551
2,047	6,571	2,729	3,569	5,802	4,766	2,714	12,028	3,623
2,116	6,347	2,822	3,643	5,742	4,864	2,766	11,895	3,693
2,183	6,130	2,911	3,717	5,767	4,962	2,819	11,902	3,764
2,258	5,953	3,011	3,790	5,774	5,060	2,875	11,999	3,838
2,350	5,611	3,133	3,852	5,588	5,142	2,938	12,129	3,923
2,429	5,380	3,239	3,907	5,453	5,216	3,001	12,208	4,007
2,493	5,152	3,325	3,964	5,481	5,293	3,063	12,145	4,090
2,543	4,973	3,390	4,031	5,497	5,381	3,122	11,949	4,168
2,597	4,815	3,463	4,108	5,380	5,484	3,178	11,825	4,243
2,656	4,715	3,541	4,169	5,198	5,566	3,233	11,798	4,317
2,714	4,762	3,619	4,226	5,153	5,642	3,290	11,801	4,392
2,780	4,748	3,707	4,292	5,222	5,730	3,343	11,969	4,464
2,852	4,656	3,802	4,370	5,275	5,835	3,399	12,064	4,538
2,923	4,515	3,897	4,446	5,048	5,936	3,455	12,104	4,613
2,983	4,341	3,978	4,504	4,888	6,014	3,507	12,016	4,682
3,049	4,185	4,066	4,568	4,892	6,099	3,559	11,889	4,751
3,107	4,106	4,143	4,627	5,082	6,178	3,614	11,795	4,825
3,165	4,152	4,220	4,696	5,005	6,270	3,668	11,836	4,897
3,225	4,208	4,300	4,748	4,787	6,340	3,724	11,942	4,972
3,293	4,249	4,391	4,793	4,718	6,399	3,783	12,012	5,050
3,355	4,162	4,474	4,845	4,835	6,469	3,846	12,134	5,135
3,401	4,071	4,535	4,921	4,855	6,570	3,908	12,102	5,218
3,453	3,939	4,603	4,978	4,687	6,646	3,968	11,973	5,297
3,505	3,907	4,674	5,026	4,543	6,710	4,024	11,861	5,372
3,557	3,978	4,742	5,084	4,614	6,787	4,079	11,780	5,446
3,613	4,073	4,817	5,158	4,765	6,887	4,132	11,814	5,516
3,679	4,104	4,905	5,241	4,610	6,997	4,185	11,766	5,587
3,750	4,014	5,000	5,300	4,411	7,076	4,239	11,803	5,659
3,815	3,907	5,087	5,361	4,385	7,157	4,297	11,876	5,737
3,881	3,775	5,175	5,423	4,528	7,241	4,357	11,867	5,816
3,945	3,704	5,260	5,501	4,482	7,345	4,413	11,734	5,892
4,008	3,757	5,344	5,560	4,284	7,423	4,466	11,559	5,963
4,069	3,782	5,425	5,609	4,217	7,489	4,524	11,396	6,041
4,137	3,773	5,516	5,664	4,336	7,562	4,582	11,277	6,117
4,199	3,733	5,599	5,743	4,335	7,668	4,638	11,246	6,192
4,248	3,675	5,663	5,805	4,173	7,750	4,699	11,274	6,274
4,297	3,616	5,729	5,860	4,056	7,824	4,766	11,397	6,363
4,346	3,606	5,794	5,921	4,143	7,906	4,831	11,359	6,450
4,400	3,677	5,867	6,002	4,181	8,014	4,889	11,227	6,527
4,460	3,705	5,947	6,084	4,003	8,123	4,938	11,032	6,593
4,521	3,700	6,028	6,147	3,871	8,207	4,988	10,872	6,660
4,591	3,683	6,122	6,213	3,953	8,294	5,034	10,821	6,721
4,654	3,637	6,205	6,284	4,004	8,390	5,083	10,862	6,787
4,720	3,579	6,293	6,360	3,897	8,491	5,139	10,983	6,861
4,786	3,529	6,382	6,417	3,747	8,567	5,198	11,088	6,939
4,846	3,579	6,461	6,467	3,748	8,634	5,257	11,078	7,019
4,904	3,620	6,538	6,531	3,803	8,720	5,320	10,920	7,102
4,964	3,648	6,618	6,604	3,750	8,817	5,376	10,681	7,178
5,030	3,617	6,707	6,666	3,600	8,900	5,432	10,493	7,252
5,083	3,581	6,778	6,730	3,576	8,986	5,495	10,328	7,336
5,139	3,493	6,852	6,804	3,617	9,084	5,551	10,307	7,411
5,193	3,418	6,925	6,881	3,579	9,187	5,612	10,454	7,492
5,252	3,374	7,002	6,961	3,456	9,293	5,676	10,613	7,578
5,306	3,374	7,075	7,028	3,392	9,383	5,736	10,557	7,658
5,365	3,422	7,154	7,102	3,465	9,482	5,793	10,381	7,734
5,436	3,436	7,248	7,175	3,492	9,580	5,844	10,229	7,803
5,504	3,403	7,339	7,250	3,377	9,680	5,898	10,077	7,875
5,582	3,305	7,442	7,308	3,219	9,757	5,955	10,030	7,950
5,640	3,227	7,521	7,356	3,205	9,821	6,010	10,070	8,024
5,700	3,183	7,600	7,417	3,262	9,902	6,068	10,231	8,101
5,754	3,167	7,672	7,499	3,239	10,012	6,133	10,244	8,188
5,804	3,175	7,738	7,563	3,080	10,098	6,198	10,088	8,275
5,861	3,240	7,814	7,618	2,996	10,171	6,258	9,904	8,356
5,916	3,199	7,888	7,681	3,026	10,254	6,320	9,669	8,437
5,973	3,105	7,964	7,755	3,094	10,354	6,382	9,552	8,520
6,028	3,006	8,037	7,841	2,988	10,469	6,442	9,617	8,600
6,087	2,914	8,116	7,904	2,827	10,552	6,501	9,653	8,679
6,149	2,825	8,199	7,969	2,786	10,639	6,567	9,688	8,767
6,210	2,797	8,280	8,028	2,892	10,718	6,630	9,634	8,852
6,286	2,834	8,381	8,103	2,900	10,818	6,681	9,531	8,920
6,361	2,839	8,481	8,115	2,655	10,834	6,734	9,402	8,991

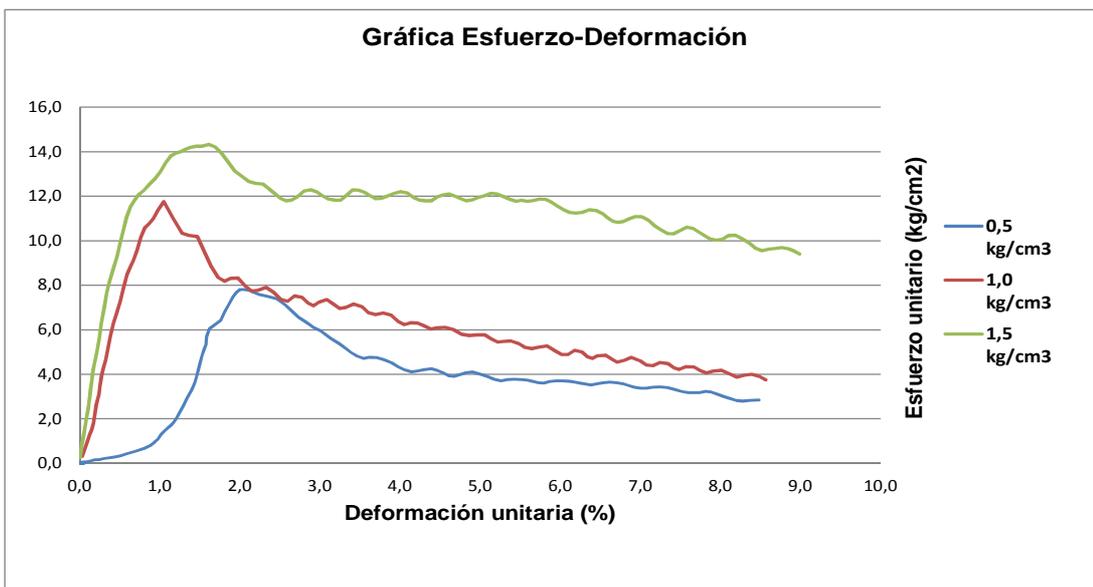


Figura 99 Curva esfuerzo deformación muestra 1

Tabla 31
Resultados muestra 1

DATOS DEL CÍRCULO DE MOHR			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
σ_1	8,31 kg/cm ³	12,76 kg/cm ³	15,82 kg/cm ³
σ_3	0,50 kg/cm ³	1,00 kg/cm ³	1,50 kg/cm ³
σ desviador ($\sigma_1 - \sigma_3$)	7,81 kg/cm ³	11,76 kg/cm ³	14,32 kg/cm ³

Ángulo de fricción: 49,92 °
Cohesión: 0,83 kg/cm²

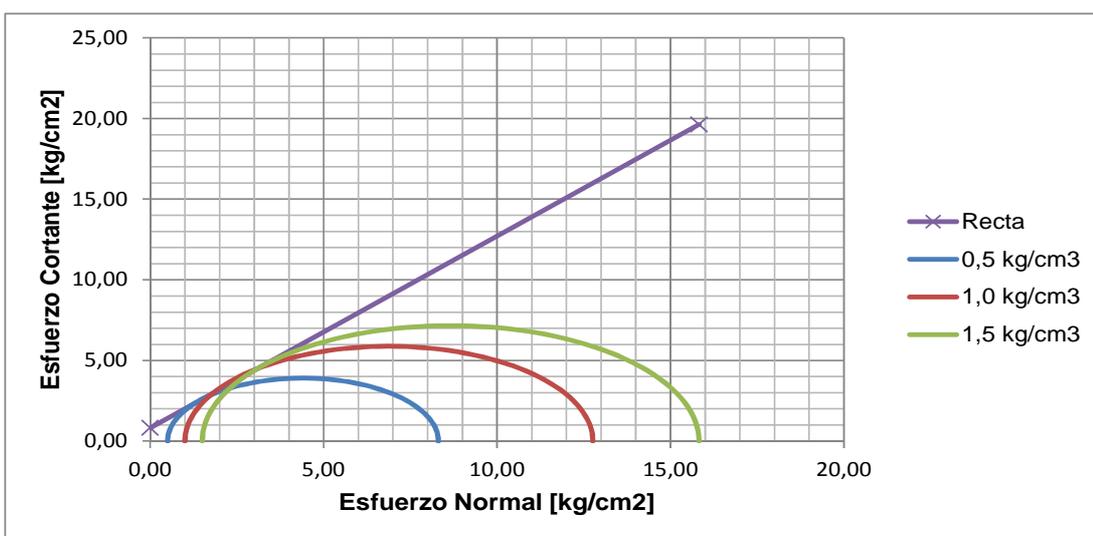


Figura 100 Círculos de Mohr muestra 1

Tabla 32
Registro triaxial muestra 2

ENSAYO TRIAXIAL MUESTRA No.2									
DATOS INICIALES									
	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3			HUMEDAD DE LA MUESTRA			
Ds [cm]	3,960	3,980	4,400			Pcap. (gr)	119,42 gr	118,95 gr	
Dc [cm]	4,000	4,000	4,400			P.cap+sh. (gr)	187,83 gr	189,62 gr	
Di [cm]	3,940	4,000	4,000			P.cap+ss.(gr)	176,73 gr	177,87 gr	
Hs [cm]	7,600	7,600	7,450			% Humedad	19,37 %	19,94 %	
Wo [g]	159,680	164,690	161,280			%Hum prom	19,66 %		
Vm [cm3]	94,714	95,346	110,003						
Am [cm2]	12,462	12,545	14,765						
ys	1,686	1,727	1,466						
yh	1,409	1,401	1,182						
DATOS DE ENSAYO TRIAXIAL									
PROBETA 1 0,50 kg/cm3			PROBETA 2 1,00 kg/cm3			PROBETA 3 1,50 kg/cm3			
Def. muestra σ3 (mm)	Esfuerzo desviador (kg/cm2)	Def. unitaria (%)	Def. muestra σ3 (mm)	Esfuerzo desviador (kg/cm2)	Def. unitaria (%)	Def. muestra σ3 (mm)	Esfuerzo desviador (kg/cm2)	Def. unitaria (%)	
0,049	0,142	0,064	0,045	0,018	0,059	0,030	0,265	0,041	
0,084	0,296	0,111	0,022	0,119	0,029	0,062	0,434	0,083	
0,122	0,422	0,160	0,005	0,241	0,006	0,091	0,589	0,122	
0,157	0,489	0,206	0,040	0,368	0,053	0,123	0,788	0,165	
0,191	0,603	0,252	0,077	0,470	0,101	0,163	0,907	0,218	
0,245	0,844	0,322	0,114	0,620	0,149	0,206	1,079	0,276	
0,293	0,929	0,386	0,162	0,781	0,213	0,254	1,230	0,341	
0,334	0,971	0,440	0,202	0,886	0,266	0,301	1,323	0,404	
0,367	1,009	0,483	0,237	0,955	0,312	0,343	1,435	0,460	
0,408	1,102	0,537	0,275	1,025	0,361	0,397	1,610	0,532	
0,444	1,184	0,584	0,305	1,106	0,401	0,458	1,819	0,615	
0,489	1,224	0,643	0,335	1,183	0,441	0,525	1,997	0,704	
0,533	1,213	0,701	0,366	1,249	0,481	0,581	2,113	0,780	
0,562	1,177	0,739	0,400	1,423	0,527	0,634	2,182	0,851	
0,592	1,154	0,779	0,446	1,565	0,587	0,681	2,248	0,914	
0,632	1,142	0,831	0,489	1,639	0,643	0,721	2,268	0,968	
0,678	1,174	0,892	0,527	1,690	0,694	0,759	2,309	1,019	
0,718	1,238	0,944	0,568	1,743	0,747	0,794	2,440	1,066	
0,763	1,292	1,004	0,605	1,837	0,796	0,841	2,587	1,129	
0,820	1,362	1,078	0,645	1,946	0,849	0,894	2,755	1,201	
0,877	1,453	1,153	0,697	2,095	0,918	0,950	2,841	1,275	
0,946	1,559	1,245	0,761	2,263	1,001	0,999	2,828	1,340	
1,010	1,597	1,328	0,822	2,393	1,081	1,047	2,843	1,406	
1,069	1,614	1,407	0,872	2,426	1,147	1,093	2,868	1,467	
1,122	1,605	1,477	0,917	2,450	1,207	1,136	2,964	1,524	
1,168	1,577	1,537	0,961	2,468	1,264	1,197	3,135	1,607	
1,206	1,530	1,587	1,000	2,518	1,316	1,258	3,303	1,689	
1,246	1,502	1,640	1,034	2,602	1,360	1,317	3,359	1,768	
1,274	1,543	1,677	1,083	2,724	1,425	1,364	3,306	1,831	
1,316	1,582	1,731	1,133	2,825	1,491	1,402	3,239	1,882	
1,363	1,596	1,793	1,188	2,899	1,563	1,440	3,194	1,933	
1,412	1,646	1,858	1,239	2,931	1,630	1,467	3,265	1,969	
1,469	1,698	1,933	1,287	2,949	1,693	1,507	3,427	2,023	
1,522	1,720	2,002	1,341	2,974	1,765	1,563	3,615	2,098	
1,583	1,727	2,083	1,395	3,037	1,836	1,615	3,634	2,168	
1,651	1,694	2,173	1,462	3,141	1,923	1,663	3,583	2,232	
1,717	1,670	2,259	1,524	3,186	2,005	1,713	3,540	2,299	
1,774	1,651	2,334	1,589	3,255	2,091	1,763	3,502	2,367	
1,847	1,629	2,431	1,645	3,289	2,165	1,811	3,583	2,430	
1,888	1,657	2,484	1,700	3,287	2,236	1,873	3,704	2,515	
1,945	1,718	2,559	1,749	3,250	2,301	1,937	3,863	2,600	
1,995	1,727	2,626	1,783	3,199	2,345	2,004	3,917	2,689	
2,041	1,716	2,686	1,825	3,177	2,402	2,055	3,834	2,758	
2,091	1,788	2,751	1,871	3,159	2,462	2,098	3,740	2,816	
2,149	1,815	2,827	1,924	3,170	2,532	2,142	3,693	2,875	
2,202	1,826	2,897	1,982	3,133	2,608	2,178	3,754	2,924	
2,258	1,819	2,971	2,049	3,135	2,696	2,228	3,872	2,990	
2,315	1,794	3,046	2,126	3,091	2,797	2,286	4,010	3,069	
2,372	1,817	3,121	2,190	3,011	2,882	2,342	4,042	3,144	
2,437	1,815	3,207	2,258	2,928	2,971	2,392	3,965	3,211	

Continúa 

2,502	1,838	3,292	2,315	2,869	3,046	2,442	3,923	3,278
2,577	1,848	3,390	2,370	2,835	3,118	2,494	3,915	3,347
2,641	1,813	3,476	2,424	2,822	3,189	2,552	4,006	3,426
2,713	1,822	3,569	2,472	2,819	3,253	2,615	4,116	3,510
2,764	1,837	3,637	2,524	2,924	3,321	2,675	4,196	3,591
2,819	1,835	3,709	2,571	2,948	3,382	2,735	4,199	3,671
2,871	1,840	3,777	2,619	2,975	3,445	2,791	4,137	3,747
2,908	1,835	3,826	2,667	2,903	3,510	2,843	4,057	3,816
2,953	1,804	3,886	2,720	2,833	3,578	2,893	4,032	3,884
2,999	1,777	3,946	2,768	2,767	3,642	2,937	4,126	3,943
3,050	1,769	4,013	2,815	2,760	3,703	2,995	4,217	4,020
3,102	1,782	4,082	2,871	2,752	3,778	3,056	4,282	4,102
3,157	1,835	4,154	2,934	2,816	3,860	3,119	4,285	4,186
3,213	1,829	4,228	3,013	2,901	3,964	3,176	4,228	4,263
3,272	1,869	4,305	3,085	2,833	4,059	3,231	4,199	4,337
3,336	1,932	4,389	3,143	2,743	4,136	3,290	4,196	4,415
3,404	1,935	4,480	3,202	2,678	4,213	3,351	4,283	4,498
3,467	1,931	4,561	3,251	2,606	4,277	3,426	4,361	4,599
3,524	1,896	4,636	3,294	2,594	4,334	3,494	4,376	4,690
3,572	1,852	4,699	3,336	2,582	4,389	3,562	4,365	4,781
3,612	1,799	4,752	3,370	2,643	4,434	3,621	4,312	4,860
3,656	1,724	4,810	3,424	2,753	4,505	3,668	4,211	4,924
3,684	1,753	4,847	3,485	2,746	4,586	3,718	4,169	4,991
3,718	1,781	4,892	3,540	2,678	4,657	3,754	4,176	5,039
3,761	1,805	4,949	3,590	2,607	4,723	3,804	4,275	5,106
3,813	1,846	5,017	3,642	2,565	4,792	3,863	4,391	5,185
3,870	1,921	5,092	3,697	2,545	4,865	3,927	4,445	5,271
3,936	1,938	5,179	3,760	2,573	4,947	3,985	4,375	5,349
4,002	1,889	5,265	3,830	2,650	5,040	4,042	4,287	5,425
4,060	1,844	5,342	3,897	2,686	5,128	4,097	4,206	5,499
4,124	1,779	5,426	3,965	2,651	5,217	4,146	4,181	5,566
4,178	1,744	5,497	4,026	2,589	5,297	4,208	4,202	5,649
4,229	1,738	5,565	4,079	2,517	5,367	4,270	4,311	5,731
4,282	1,724	5,635	4,130	2,479	5,435	4,339	4,448	5,825
4,328	1,733	5,694	4,168	2,479	5,484	4,402	4,409	5,909
4,369	1,742	5,748	4,223	2,545	5,557	4,449	4,279	5,972
4,413	1,746	5,807	4,281	2,579	5,633	4,495	4,162	6,033
4,460	1,876	5,868	4,345	2,591	5,717	4,527	4,140	6,077
4,514	1,877	5,939	4,408	2,580	5,801	4,569	4,207	6,133
4,565	1,841	6,007	4,467	2,544	5,878	4,626	4,347	6,210
4,616	1,801	6,074	4,532	2,482	5,963	4,686	4,415	6,290
4,667	1,777	6,140	4,592	2,467	6,043	4,745	4,399	6,369
4,718	1,777	6,208	4,664	2,491	6,137	4,803	4,317	6,447
4,769	1,799	6,275	4,734	2,507	6,229	4,859	4,187	6,523
4,827	1,837	6,351	4,807	2,552	6,325	4,913	4,147	6,594
4,891	1,855	6,435	4,869	2,545	6,407	4,971	4,154	6,673
4,951	1,896	6,514	4,929	2,530	6,486	5,030	4,248	6,752
5,022	1,910	6,607	4,985	2,491	6,559	5,099	4,417	6,845
5,080	1,938	6,684	5,022	2,438	6,608	5,165	4,406	6,933
5,140	1,918	6,763	5,068	2,398	6,669	5,219	4,286	7,005
5,189	1,898	6,827	5,117	2,370	6,733	5,267	4,177	7,070
5,226	1,867	6,876	5,172	2,392	6,805	5,305	4,133	7,121
5,273	1,859	6,939	5,227	2,404	6,878	5,349	4,155	7,180
5,322	1,870	7,002	5,287	2,462	6,956	5,403	4,259	7,253
5,375	1,933	7,072	5,358	2,494	7,051	5,463	4,376	7,332
5,432	1,959	7,148	5,421	2,448	7,132	5,525	4,379	7,416
5,489	1,952	7,223	5,486	2,390	7,219	5,581	4,300	7,492
5,560	1,976	7,316	5,542	2,346	7,293	5,634	4,193	7,563
5,622	1,981	7,398	5,596	2,318	7,363	5,691	4,152	7,639
5,688	1,994	7,484	5,649	2,312	7,432	5,752	4,224	7,721
5,757	1,948	7,575	5,696	2,316	7,494	5,814	4,287	7,805
5,812	1,933	7,647	5,744	2,414	7,558	5,881	4,329	7,894
5,867	1,906	7,720	5,790	2,439	7,618	5,945	4,351	7,981
5,919	1,887	7,789	5,838	2,486	7,681	6,003	4,266	8,058
5,965	1,866	7,849	5,888	2,422	7,748	6,055	4,165	8,128
6,012	1,876	7,911	5,940	2,373	7,816	6,099	4,135	8,187
6,050	1,937	7,961	5,986	2,329	7,876	6,155	4,207	8,262
6,101	1,960	8,028	6,033	2,340	7,938	6,215	4,260	8,342
6,155	1,995	8,099	6,088	2,354	8,010	6,279	4,289	8,428
6,215	1,997	8,177	6,149	2,433	8,091	6,341	4,293	8,512
6,274	1,999	8,256	6,224	2,544	8,190	6,400	4,261	8,591
6,337	1,971	8,338	6,297	2,505	8,285	6,464	4,169	8,676
6,394	1,926	8,414	6,354	2,439	8,360	6,524	4,143	8,758
6,448	1,881	8,484	6,412	2,390	8,436	6,596	4,164	8,854
6,510	1,844	8,566	6,460	2,339	8,500	6,666	4,206	8,948
6,565	1,839	8,638	6,503	2,336	8,557	6,737	4,283	9,043
6,617	1,845	8,707	6,546	2,328	8,613	6,803	4,304	9,131
6,669	1,833	8,775	6,579	2,389	8,657	6,863	4,261	9,212
6,717	1,839	8,838	6,633	2,500	8,728	6,918	4,175	9,286
6,768	1,956	8,906	6,694	2,501	8,808	6,956	4,097	9,337
6,810	1,950	8,960	6,749	2,456	8,880	7,003	4,068	9,400
6,858	1,996	9,023	6,799	2,393	8,946	7,052	4,071	9,465
6,908	1,953	9,090	6,851	2,361	9,015	7,108	4,161	9,541
6,960	1,903	9,158	6,905	2,351	9,086	7,168	4,242	9,621
7,006	1,852	9,219	6,969	2,385	9,170	7,234	4,320	9,710
7,055	1,830	9,283	7,040	2,467	9,263	7,300	4,232	9,799
7,111	1,857	9,357	7,107	2,514	9,352	7,352	4,120	9,868
7,163	1,859	9,425	7,177	2,500	9,443	7,416	4,043	9,954
7,221	1,909	9,501	7,239	2,450	9,525	7,472	4,018	10,030
7,290	1,987	9,592	7,293	2,384	9,596	7,526	4,047	10,103

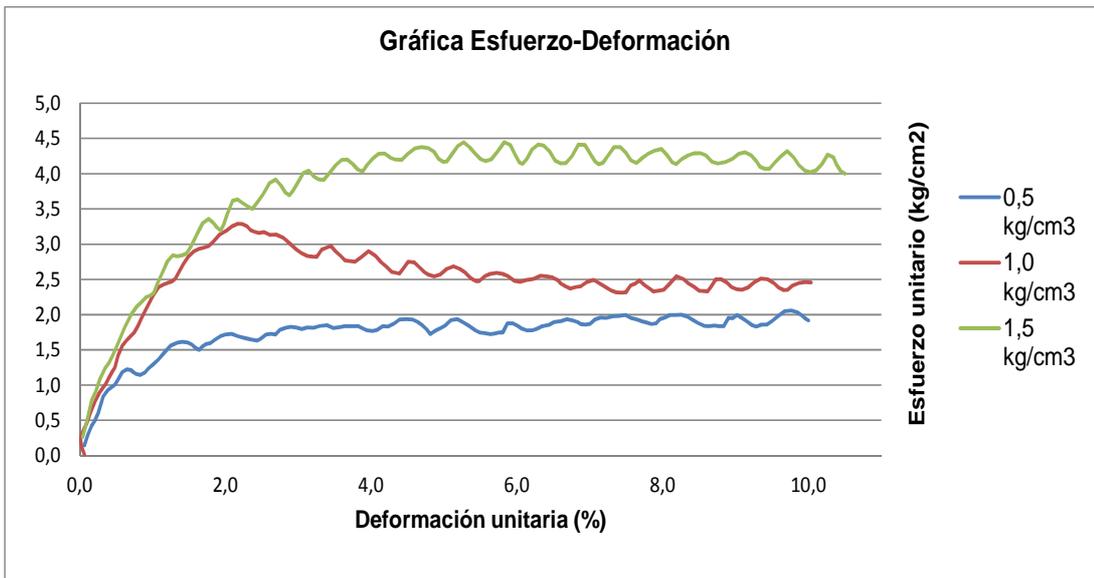


Figura 101 Curva esfuerzo deformación muestra 2

Tabla 33
Resultados muestra 2

DATOS DEL CÍRCULO DE MOHR			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
σ_1	2,50 kg/cm ³	4,29 kg/cm ³	5,95 kg/cm ³
σ_3	0,50 kg/cm ³	1,00 kg/cm ³	1,50 kg/cm ³
σ desviador ($\sigma_1 - \sigma_3$)	2,00 kg/cm ³	3,29 kg/cm ³	4,45 kg/cm ³

Ángulo de fricción: 33,39 °
Cohesión: 0,21 kg/cm²

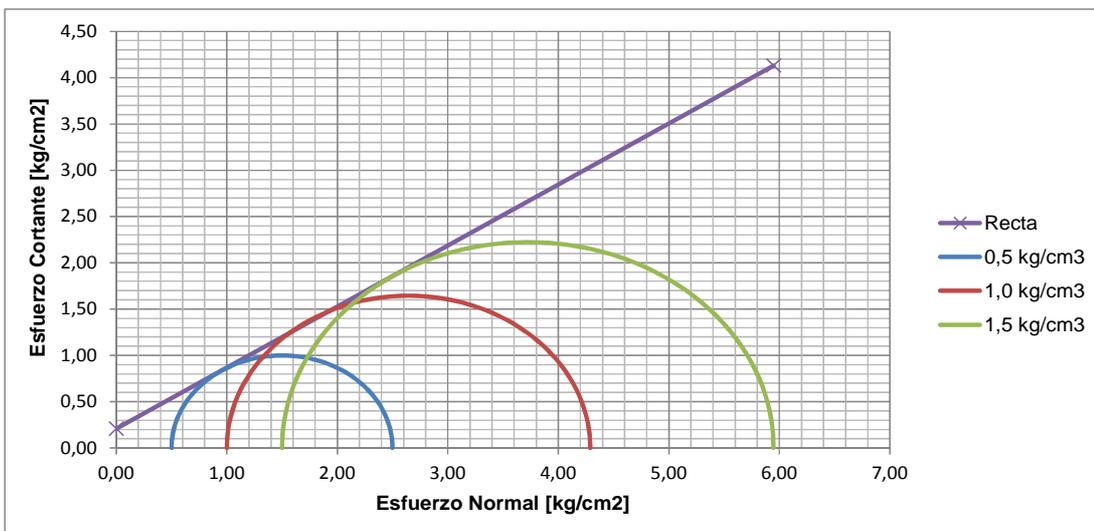


Figura 102 Círculos de Mohr muestra 2

Tabla 34
Registro triaxial muestra 3

ENSAYO TRIAXIAL MUESTRA No.3																							
DATOS INICIALES																							
	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3																				
Ds [cm]	3,960	3,920	3,800																				
Dc [cm]	4,100	4,000	4,200																				
Di [cm]	4,000	4,100	4,100																				
Hs [cm]	7,300	7,900	7,800																				
Wo [g]	157,220	139,860	157,840																				
Vm [cm ³]	94,526	99,457	103,950																				
Am [cm ²]	12,949	12,589	13,327																				
ys	1,663	1,406	1,518																				
yh	1,258	1,140	1,224																				
				<table border="1"> <tr> <td>Pcap. (gr)</td> <td>120,23 gr</td> <td>120,58 gr</td> </tr> <tr> <td>P.cap+sh. (gr)</td> <td>177,88 gr</td> <td>189,23 gr</td> </tr> <tr> <td>P.cap+ss.(gr)</td> <td>163,60 gr</td> <td>172,75 gr</td> </tr> <tr> <td>% Humedad</td> <td>32,93 %</td> <td>31,59 %</td> </tr> <tr> <td>%Hum prom</td> <td colspan="2">32,26 %</td> </tr> </table>					Pcap. (gr)	120,23 gr	120,58 gr	P.cap+sh. (gr)	177,88 gr	189,23 gr	P.cap+ss.(gr)	163,60 gr	172,75 gr	% Humedad	32,93 %	31,59 %	%Hum prom	32,26 %	
Pcap. (gr)	120,23 gr	120,58 gr																					
P.cap+sh. (gr)	177,88 gr	189,23 gr																					
P.cap+ss.(gr)	163,60 gr	172,75 gr																					
% Humedad	32,93 %	31,59 %																					
%Hum prom	32,26 %																						
DATOS DE ENSAYO TRIAXIAL																							
PROBETA 1			PROBETA 2			PROBETA 3																	
0,50 kg/cm ³			1,00 kg/cm ³			1,50 kg/cm ³																	
Def. muestra σ_3 (mm)	Esfuerzo desviador (kg/cm ²)	Def. unitaria (%)	Def. muestra σ_3 (mm)	Esfuerzo desviador (kg/cm ²)	Def. unitaria (%)	Def. muestra σ_3 (mm)	Esfuerzo desviador (kg/cm ²)	Def. unitaria (%)															
0,027	0,094	0,037	0,015	0,101	0,019	0,037	0,179	0,047															
0,056	0,192	0,077	0,056	0,315	0,070	0,057	0,292	0,072															
0,095	0,282	0,131	0,108	0,471	0,137	0,114	0,462	0,147															
0,143	0,388	0,196	0,167	0,593	0,211	0,207	0,581	0,266															
0,178	0,426	0,244	0,211	0,660	0,267	0,242	0,601	0,310															
0,197	0,405	0,270	0,270	0,767	0,342	0,282	0,688	0,361															
0,222	0,473	0,304	0,342	0,903	0,432	0,343	0,873	0,440															
0,264	0,599	0,362	0,417	0,990	0,528	0,403	0,897	0,517															
0,315	0,703	0,432	0,473	1,031	0,598	0,454	0,942	0,581															
0,352	0,735	0,482	0,522	1,037	0,660	0,506	1,053	0,649															
0,382	0,730	0,524	0,570	1,090	0,721	0,577	1,169	0,739															
0,410	0,781	0,562	0,622	1,198	0,787	0,626	1,142	0,803															
0,448	0,930	0,614	0,666	1,226	0,843	0,667	1,176	0,855															
0,497	1,036	0,681	0,715	1,277	0,905	0,713	1,262	0,915															
0,532	1,059	0,729	0,757	1,254	0,958	0,768	1,344	0,985															
0,566	1,046	0,775	0,804	1,293	1,018	0,811	1,308	1,040															
0,595	1,093	0,816	0,860	1,366	1,088	0,861	1,428	1,103															
0,628	1,196	0,860	0,926	1,481	1,172	0,922	1,501	1,183															
0,666	1,280	0,913	0,992	1,482	1,255	0,978	1,501	1,253															
0,705	1,294	0,966	1,039	1,429	1,315	1,037	1,526	1,329															
0,745	1,267	1,021	1,094	1,447	1,384	1,110	1,656	1,423															
0,784	1,297	1,074	1,150	1,528	1,455	1,195	1,684	1,532															
0,830	1,373	1,137	1,223	1,658	1,548	1,250	1,652	1,602															
0,889	1,453	1,218	1,283	1,640	1,624	1,303	1,678	1,670															
0,950	1,459	1,302	1,325	1,562	1,677	1,366	1,781	1,752															
0,999	1,414	1,368	1,365	1,537	1,727	1,431	1,816	1,834															
1,054	1,441	1,443	1,395	1,594	1,765	1,468	1,744	1,882															
1,111	1,498	1,522	1,456	1,771	1,843	1,512	1,790	1,939															
1,178	1,543	1,613	1,513	1,726	1,916	1,577	1,896	2,021															
1,235	1,539	1,691	1,559	1,640	1,973	1,644	1,895	2,108															
1,283	1,494	1,757	1,604	1,654	2,031	1,695	1,831	2,174															
1,331	1,488	1,823	1,663	1,773	2,105	1,752	1,896	2,247															
1,377	1,537	1,886	1,739	1,880	2,202	1,826	2,009	2,341															
1,441	1,569	1,974	1,811	1,831	2,292	1,899	1,947	2,435															
1,505	1,552	2,062	1,866	1,744	2,362	1,957	1,901	2,509															
1,561	1,502	2,139	1,914	1,757	2,423	2,015	1,997	2,583															
1,617	1,490	2,215	1,971	1,807	2,495	2,092	2,087	2,683															
1,686	1,508	2,310	2,042	1,951	2,584	2,145	1,973	2,750															
1,760	1,501	2,410	2,090	1,870	2,645	2,186	1,924	2,802															
1,843	1,492	2,524	2,127	1,803	2,692	2,222	2,034	2,849															

Continúa 

1,914	1,428	2,622	2,167	1,845	2,744	2,285	2,089	2,930
1,975	1,402	2,706	2,228	1,946	2,820	2,339	1,964	2,999
2,036	1,417	2,789	2,293	1,997	2,902	2,381	1,982	3,053
2,103	1,433	2,881	2,349	1,921	2,974	2,448	2,179	3,138
2,180	1,404	2,986	2,403	1,877	3,042	2,523	2,127	3,235
2,227	1,343	3,051	2,461	1,913	3,116	2,574	2,028	3,300
2,276	1,309	3,118	2,528	1,992	3,200	2,632	2,071	3,374
2,328	1,307	3,190	2,600	2,005	3,291	2,709	2,261	3,473
2,390	1,346	3,274	2,665	1,945	3,373	2,777	2,171	3,560
2,462	1,365	3,372	2,724	1,883	3,448	2,825	2,091	3,622
2,534	1,318	3,471	2,781	1,910	3,520	2,870	2,186	3,679
2,589	1,268	3,547	2,846	1,981	3,602	2,924	2,268	3,749
2,640	1,255	3,617	2,903	1,975	3,675	2,969	2,171	3,807
2,710	1,263	3,712	2,957	1,921	3,743	3,013	2,157	3,862
2,791	1,299	3,823	3,011	1,876	3,811	3,069	2,300	3,934
2,864	1,259	3,924	3,071	1,947	3,888	3,139	2,314	4,025
2,916	1,202	3,995	3,139	1,968	3,973	3,195	2,221	4,096
2,963	1,178	4,058	3,207	1,973	4,060	3,251	2,250	4,169
3,007	1,170	4,119	3,276	1,900	4,147	3,331	2,418	4,271
3,053	1,256	4,182	3,340	1,895	4,228	3,402	2,331	4,362
3,120	1,210	4,274	3,424	1,973	4,334	3,460	2,277	4,437
3,176	1,147	4,351	3,499	1,966	4,429	3,512	2,333	4,503
3,223	1,111	4,416	3,574	1,946	4,524	3,592	2,466	4,605
3,273	1,115	4,484	3,636	1,880	4,602	3,652	2,362	4,682
3,348	1,183	4,586	3,685	1,828	4,665	3,692	2,337	4,733
3,425	1,154	4,692	3,735	1,823	4,728	3,750	2,450	4,808
3,494	1,099	4,787	3,786	1,926	4,792	3,821	2,487	4,899
3,550	1,053	4,864	3,850	1,954	4,873	3,879	2,403	4,974
3,602	1,075	4,935	3,908	1,870	4,947	3,937	2,450	5,047
3,663	1,131	5,018	3,966	1,820	5,020	4,016	2,535	5,149
3,733	1,154	5,113	4,017	1,844	5,085	4,090	2,499	5,244
3,782	1,107	5,181	4,088	1,917	5,174	4,162	2,432	5,336
3,819	1,084	5,232	4,160	1,931	5,265	4,234	2,497	5,428
3,863	1,107	5,292	4,228	1,842	5,353	4,316	2,562	5,533
3,924	1,174	5,375	4,285	1,779	5,425	4,386	2,512	5,623
3,992	1,172	5,468	4,340	1,774	5,494	4,437	2,439	5,688
4,047	1,130	5,544	4,403	1,851	5,574	4,487	2,448	5,753
4,100	1,112	5,617	4,471	1,900	5,659	4,546	2,580	5,828
4,157	1,133	5,695	4,521	1,804	5,722	4,609	2,515	5,909
4,225	1,191	5,788	4,555	1,739	5,766	4,662	2,431	5,978
4,305	1,178	5,898	4,592	1,747	5,813	4,720	2,474	6,051
4,369	1,142	5,985	4,650	1,867	5,887	4,799	2,573	6,152
4,421	1,118	6,056	4,719	1,882	5,973	4,866	2,425	6,239
4,474	1,136	6,128	4,773	1,791	6,042	4,918	2,370	6,306
4,532	1,189	6,209	4,830	1,727	6,114	4,992	2,450	6,400
4,593	1,200	6,291	4,884	1,711	6,183	5,078	2,470	6,510
4,654	1,168	6,375	4,952	1,848	6,269	5,141	2,314	6,591
4,706	1,132	6,447	5,036	1,856	6,374	5,193	2,265	6,658
4,761	1,157	6,521	5,095	1,756	6,449	5,248	2,379	6,728
4,824	1,192	6,608	5,155	1,691	6,525	5,302	2,364	6,798
4,891	1,195	6,700	5,201	1,682	6,584	5,345	2,248	6,853
4,968	1,161	6,806	5,258	1,787	6,655	5,390	2,242	6,911
5,027	1,137	6,887	5,310	1,804	6,721	5,459	2,396	6,999
5,100	1,142	6,986	5,358	1,736	6,782	5,525	2,311	7,084
5,170	1,177	7,082	5,410	1,688	6,848	5,584	2,199	7,159
5,247	1,189	7,187	5,460	1,737	6,912	5,638	2,210	7,229
5,318	1,178	7,285	5,527	1,814	6,996	5,728	2,391	7,343
5,369	1,137	7,354	5,596	1,802	7,083	5,798	2,244	7,433
5,421	1,120	7,426	5,658	1,722	7,162	5,852	2,177	7,503
5,457	1,146	7,476	5,713	1,693	7,232	5,908	2,205	7,575
5,514	1,187	7,553	5,779	1,759	7,315	5,983	2,343	7,671
5,585	1,198	7,651	5,847	1,806	7,401	6,034	2,208	7,735
5,647	1,165	7,736	5,916	1,784	7,488	6,064	2,189	7,775
5,697	1,134	7,804	5,973	1,706	7,561	6,113	2,302	7,838
5,755	1,134	7,884	6,026	1,678	7,627	6,187	2,306	7,932
5,812	1,169	7,962	6,079	1,714	7,695	6,239	2,190	7,999
5,892	1,229	8,072	6,138	1,800	7,770	6,289	2,188	8,063
5,968	1,197	8,175	6,202	1,777	7,851	6,362	2,356	8,156
6,023	1,166	8,251	6,255	1,717	7,918	6,447	2,265	8,265
6,078	1,157	8,326	6,313	1,732	7,991	6,513	2,165	8,350
6,126	1,169	8,392	6,376	1,778	8,071	6,571	2,221	8,424
6,185	1,258	8,472	6,453	1,799	8,169	6,650	2,326	8,526
6,233	1,244	8,539	6,522	1,763	8,256	6,715	2,226	8,609
6,276	1,192	8,597	6,593	1,706	8,345	6,769	2,173	8,679
6,324	1,165	8,663	6,661	1,691	8,431	6,822	2,221	8,746
6,375	1,177	8,733	6,735	1,780	8,525	6,891	2,330	8,834

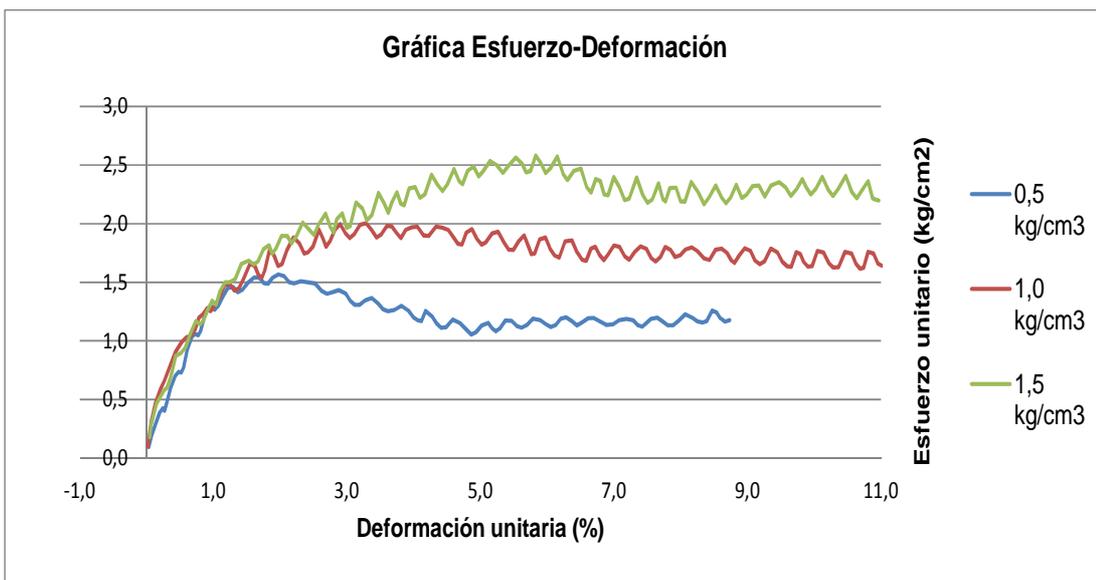


Figura 103 Curva esfuerzo deformación muestra 3

Tabla 35

Resultados muestra 3

DATOS DEL CÍRCULO DE MOHR			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
σ_1	2,07 kg/cm ³	3,00 kg/cm ³	4,08 kg/cm ³
σ_3	0,50 kg/cm ³	1,00 kg/cm ³	1,50 kg/cm ³
σ desviador ($\sigma_1 - \sigma_3$)	1,57 kg/cm ³	2,00 kg/cm ³	2,58 kg/cm ³

Ángulo de fricción: 19,63 °
 Cohesión: 0,37 kg/cm²

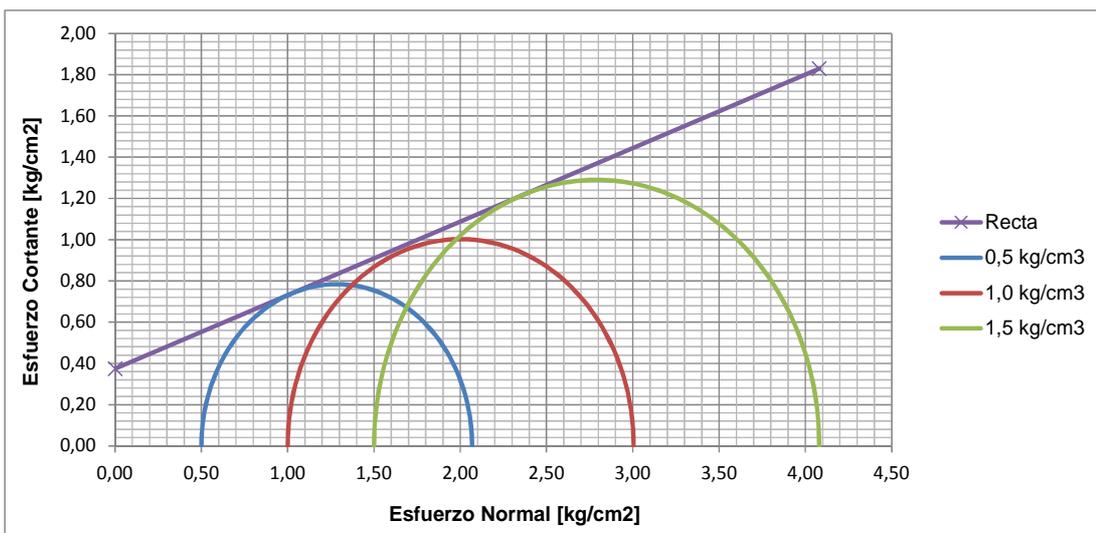


Figura 104 Círculos de Mohr muestra 3

5.11 Aplicación del sistema de protección

Para llevar a cabo el proceso de aplicación de la membrana de recubrimiento de anhídrido polivinilo de bórax, se procede a obtener tres muestras de los siguientes sectores: El Mulauco, El Colibrí y San José de Monjas, a los cuales se realizó un estudio previo de suelo para determinar sus características y definir los parámetros más importantes para proceder a ejecutar el proyecto.

5.11.1 Obtención de muestras cúbicas

Dichas muestras fueron obtenidas de la siguiente manera:

- Realizar una exploración de cada uno de los sectores mencionados, para tomar un talud representativo, por lo que se consideró que las dos primeras muestras sean de taludes construidos en obras de infraestructura lineal, mientras que la tercera muestra se encuentra en zona de riesgo de deslizamiento.
- Seleccionar un punto de muestreo, el cual permita el ingreso con las herramientas, materiales necesarios y la adecuada transitabilidad dentro de los márgenes de seguridad, para extraer las muestras.
- Con el GPS tomar las coordenadas del punto y se procede con la excavación, para lo cual se excavo un metro cuadrado de superficie por un metro de profundidad, hasta dejar en la mitad un cubo de aproximadamente 50 cm en cada uno de sus lados.



Figura 105 Excavación de la muestras

- Una vez que se tiene el cubo, se esculpe la muestra hasta obtener las medidas requeridas es decir de 35 cm en cada lado, para luego realizar la cobertura con plástico para mantener y conservar la humedad natural del mismo, seguido de eso se coloca en una caja de madera para evitar que sufra fisuramientos y poder transportarla con facilidad.



Figura 106 Esculpido de la muestra



Figura 107 Cobertura y transporte

- Con las tres muestras ya obtenidas se realiza un segundo tallado o esculpido, con la finalidad de obtener probetas pequeñas que representen a taludes con diferentes tipos de ángulos de corte como son: 45°, 60° y 75°.

Tabla 36

Ángulo de talud en muestras

PROBETA	SECTOR	Angulo
Probeta 1	Mulauco	45°
Probeta 2	San José de Mongas	60°
Probeta 3	El Colibrí	75°



Figura 108 Tallado de probetas

- Hay que mencionar que este procedimiento se realizó a cada una de las muestras obtenidas en los tres sectores, para posteriormente aplicar la membrana de recubrimiento.

5.11.2 Dosificación de la membrana de recubrimiento

Para obtener una dosificación que permita a la membrana adherirse de forma adecuada y óptima al suelo, para así garantizar una distribución uniforme que evite el desperdicio excesivo de los componentes constitutivos de la membrana, se tomó dos muestras indistintamente de su configuración y forma geométrica pero del mismo material de las probetas que fueron talladas para proceder a recubrirlas.

Cabe indicar que tanto el bórax como el polímero de goma blanca necesitan tomar contacto con el agua para obtener las propiedades requeridas, de igual manera en algunas mezclas se añadió pigmento de color verde para darle una apariencia lo más cercano con el entorno natural que rodea a los taludes en general, ante todo esto se realizaron las siguientes dosificaciones:



Figura 109 Muestras con dosificaciones

Tabla 37
Cuadro de dosificaciones

MUESTRAS	SECTOR	AGUA (ml)	BORAX (g)	AGUA (ml)	GOMA (ml)	PICMENTO VERDE (ml)
Muestra 1	Mulauco	250	0,25	250	100	10
muestra 2	Mulauco	250	0,30	250	125	15
Muestra 3	El Colibrí	250	0,15	250	50	No
Muestra 4	El Colibrí	250	0,15	75	100	50
Muestra 5	Monjas	250	0,15	250	100	No
Muestra 6	Monjas	250	0,20	250	75	30

Hay que mencionar que a cada muestra se la recubrió con una sola capa del compuesto, por lo que después de realizar las dosificaciones respectivas se pudo observar y determinar que las dosificaciones más apropiadas resultaron ser las muestras cuatro y cinco, ya que estas presentaron las proporciones apropiadas de los materiales que componen la membrana, a fin de obtener características de durabilidad, acabado y adherencia correctos.

Sin embargo para poder consolidar una estructura más consistente y eficiente se optó que para el recubrimiento definitivo se deberá emplear una lechada inicial compuesta con la dosificación correspondiente a la muestra cinco sin pigmento, para luego de que esta lechada este seca proceder a lanzar la membrana de protección final de coloración verde con la dosificación de la muestra cuatro.

5.11.3 Cambios climatológicos

Si bien es cierto uno de los factores que más problemas causan a las diferentes técnicas de protección de los taludes, es sin lugar a duda las condiciones meteorológicas que se viven hoy en día en el país como son: las precipitaciones, la temperatura, la humedad, el viento, entre otras, las cuales provocan con el paso del tiempo un desgaste de la superficie del talud, permitiendo de esta manera el movimiento considerables de masas de tierra y por ende la pérdida de la funcionalidad para la que fue diseñada el talud, con una alta vulnerabilidad a los procesos de deslizamientos y condiciones de riesgo.

Por esta razón se determinó realizar un monitoreo en las que estén inmersas principalmente estos factores, por lo que las tres probetas de estudio fueron expuestas a la interperie por un lapso de aproximadamente cinco meses, permitiendo identificar algún cambio brusco en los elementos constitutivos de la membrana frente a las diversas condiciones naturales.

Como las probetas fueran llevadas al laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, ubicada en la Provincia de Pichincha - Cantón Rumiñahui, se logró coordinar con el INAMHI³², entidad técnico-científica responsable en el Ecuador de la generación y difusión de la información hidrometeorológica necesarios para el desarrollo del país.

Ante esto se procedió a determinar la estación meteorológica más cercana al punto donde se encuentran las probetas, ya que este espacio físico destinado a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas, generalmente está conformado por un cerramiento de forma circular en cuyo interior se encuentran distribuidos y orientados de forma ordenados los soportes e instrumentos convencionales de medición, por lo que se tomó en cuenta a la estación del lasa la misma que presenta las siguientes características:

³² Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

Tabla 38
Características estación meteorológica

Estación	IASA
Codigo de Provincia	17
Codigo de Estación	M5049
Infraestructura	Pluviográfica
Coordenadas	S: 0° 23' 19" ; W: 78° 24' 43"
Distancia a la ESPE	Aproximadamente 10 km
Tiempo	Aproximadamente 2 horas

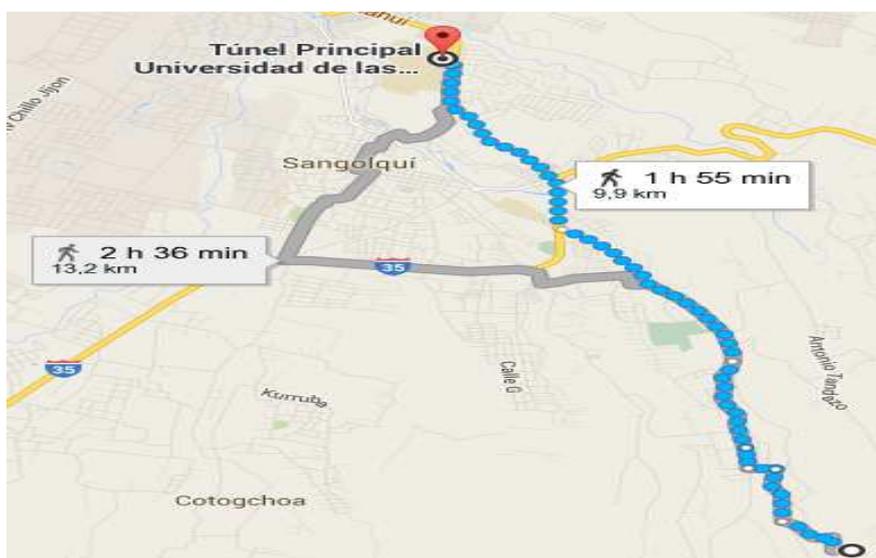


Figura 110 Ubicación estación Iasa

Fuente: (Google maps; 2016)



Figura 111 Estación meteorológica tipo

Fuente: (INAMHI; 2016)

Mencionadas características de la estación meteorológica nos permitió establecer registros en los meses de febrero a junio de las siguientes variables climatológicas:

- Viento dominante
- Distribución porcentual de la dirección del viento
- Temperatura del aire en C°
- Temperatura del punto del rocío en C°
- Humedad relativa del aire en %
- Cantidad total de precipitaciones en mm

Tabla 39
Viento dominante

MES	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Dirección Predominante	NNE	NE	ENE	E	ESE
Velocidad Media (m/s)	3,09	3,35	3,22	3,35	3,86
Velocidad Máxima (m/s)	11,84	12,87	16,99	12,35	14,41

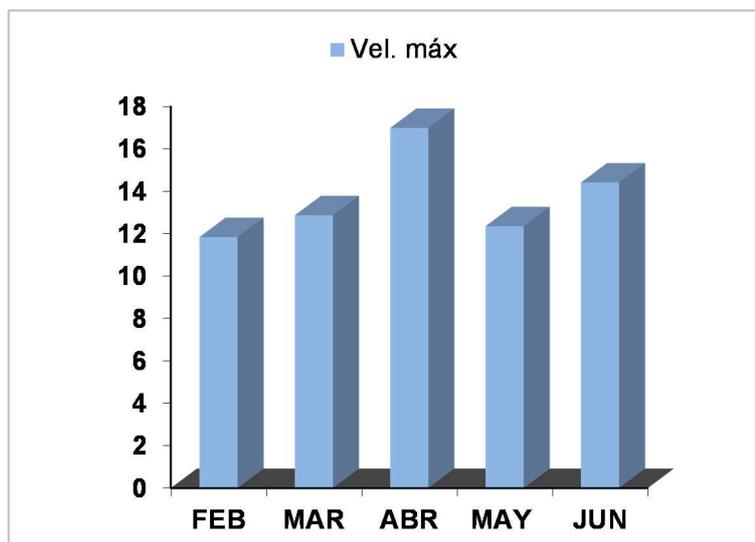


Figura 112 Velocidad máxima (m/s)

Tabla 40
Distribución porcentual del viento

MES	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Dirección	NNE	NE	ENE	E	ESE
%	33,43%	16,54%	13,41%	18,83%	17,79%

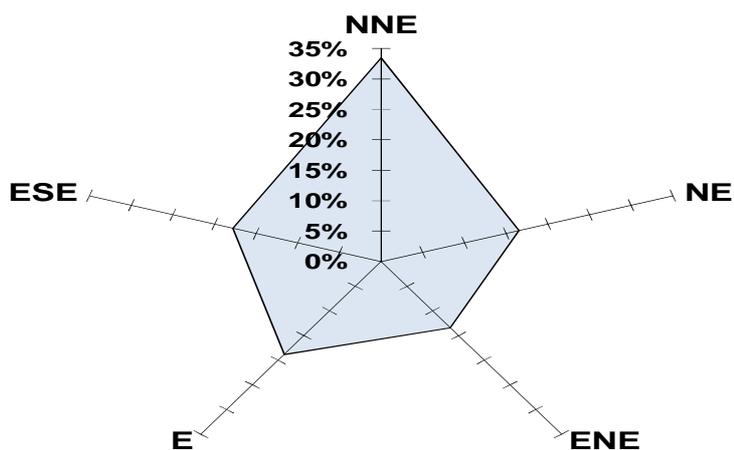


Figura 113 Dirección del viento en rumbos

Tabla 41
Temperatura del aire en C°

MES	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Media	15,23	15,53	15,30	15,43	15,10
Máxima	26,07	26,03	26,15	26,68	26,95
Mínima	7,33	6,95	6,85	7,25	5,55

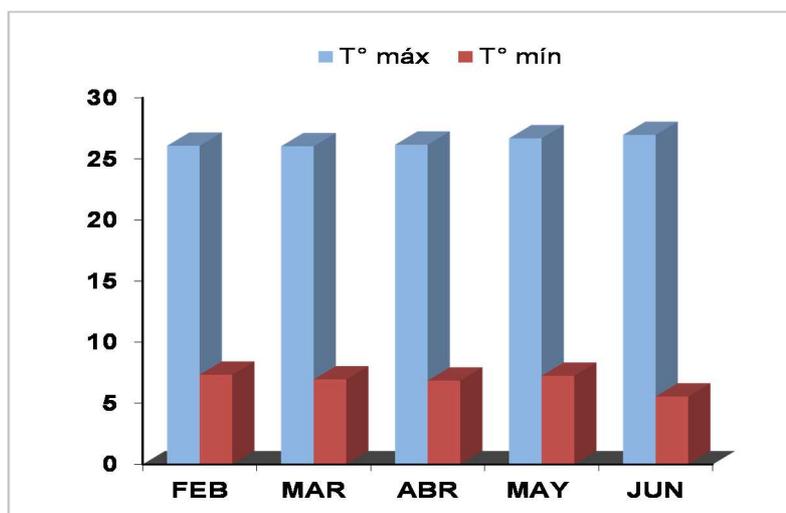


Figura 114 Temperatura máxima y mínima (C°)

Tabla 42
Temperatura en el punto de rocío en C°

MES	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Media	11,20	11,20	11,53	11,00	9,50
Máxima	11,20	12,00	11,80	12,10	10,20
Mínima	11,20	10,70	11,30	9,60	8,70

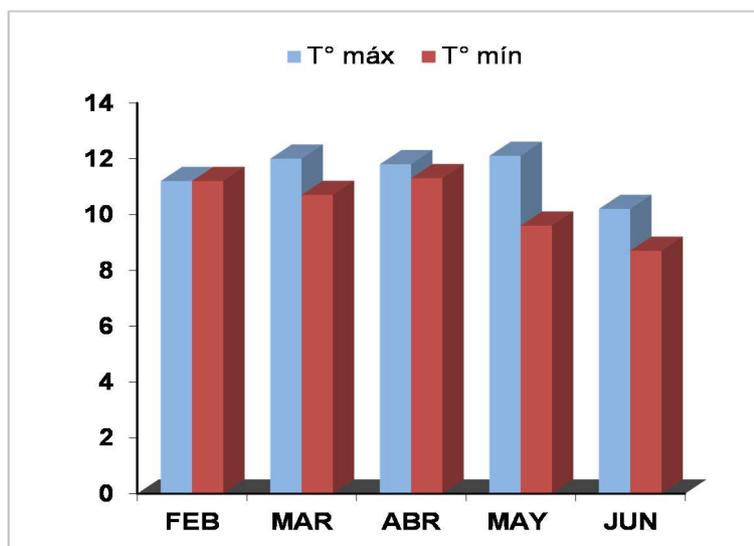


Figura 115 Temperatura de rocío (C°)

Tabla 43
Humedad relativa en %

MES	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Media	80	79	82	79	75
Máxima	83	81	84	84	79
Mínima	76	77	79	73	70

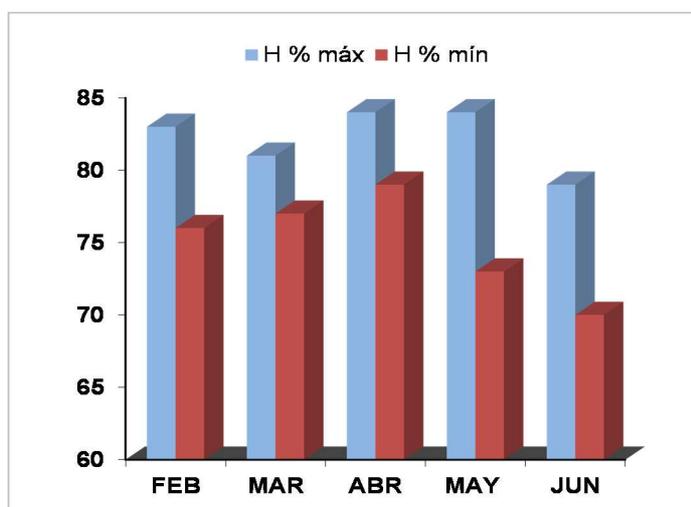


Figura 116 Humedad relativa (%)

Tabla 44
Precipitaciones en mm

MES	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Normal	46,70	48,38	90,60	45,35	17,15
Nºdía	17	15	16	15	7

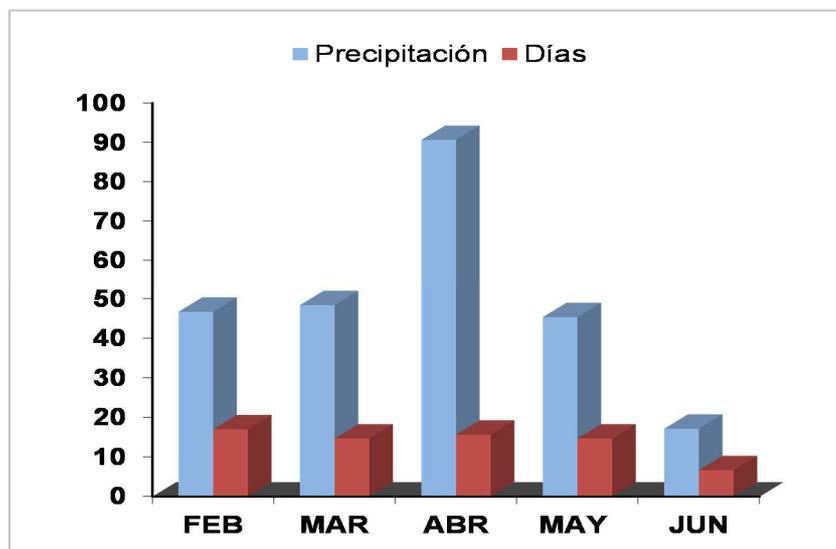


Figura 117 Precipitación (mm) y número de días

5.11.4 Proceso de aplicación

Para poder tener en cuenta como se realizará la mezcla constituida de los materiales y posteriormente la aplicación de la membrana de anhídrido polivinilo de bórax en las probetas diseñadas para el efecto, se describe a continuación el proceso más óptimo que garantice obtener los resultados

más beneficiosos, teniendo en cuenta que para el mismo se lo efectuó con una mezcla mixta de componentes los mismos que se detallan a continuación:

a) Seleccionar los componentes fundamentales de la membrana, los cuales deben cumplir con las especificaciones técnicas anteriormente descritas, los mismos que son:

- Agua natural que pueda beberse o no, pero que no presente un sabor u olor notable.
- Tetraborato de sodio grado técnico, conocido como bórax.
- Acetato de polivinilo o polímero de goma blanca.
- Pigmento de coloración verde ecológica.
- Balanza de precisión, recipientes volumétricos, paletas mezcladoras, guantes.



Figura 118 Materiales de la membrana

b) Preparar el equipo y materiales, para lo cual verificar que se encuentren limpios y en condiciones de empleo tanto para la preparación de la mezcla como para el lanzado, considerando los siguientes:

- Compresor de aire con potencia máxima de 2 ½ Hp, capacidad del tanque de 25 l y una presión máxima de 115 PSI.
- Pistolas de gravedad con conector rápido, cuya presión máxima es de 70 PSI y capacidad del vaso de 400 ml.
- Soplete tipo spray de succión con conector rápido, cuya presión máxima es de 90 PSI y capacidad del vaso de 1000ml.
- Manguera para compresor con acople rápido de ¼”.

- Balanza de precisión.
- Recipientes volumétricos con marcas graduadas.
- Guantes y gafas de protección personal.
- Espátula, cucharas para mezclar, tijeras de ser necesarios.



Figura 119 Compresor



Figura 120 Equipo y materiales

c) Una vez con los materiales y equipos listos, se procede a preparar la probeta teniendo cuidado de que al momento de retirar la envoltura plástica sobre la que ese encuentra esta no se golpee, para evitar algún tipo de fisuramiento que lleve a la rotura inminente de la probeta.



Figura 121 Probeta de ensayo

- d) Con la muestra ya colocada sobre una superficie plana que nos permita trabajar con seguridad, se procede inicialmente a cargar tanto la pistola a gravedad como el soplete spray a succión de los componentes de la membrana con la dosificación antes descritas, esta lechada posee las siguientes características:

Tabla 45
Dosificación lechada

Compuesto	Cantidad	Equipo
Agua (ml)	500	soplete spray
Bórax (g)	30	
Agua (ml)	500	pistola gravedad
Polímero goma (ml)	200	
Picmento verde		No

- e) Una vez ya cargadas la pistola y el spray con los componentes respectivos, en una primera instancia se procede a lanzar el bórax con la finalidad de humedecer toda la probeta, seguido de esta primicia inmediatamente y de forma simultánea se lanza tanto el bórax como el polímero de goma a una distancia de aproximadamente unos 60 cm, con una presión de vaciado de 40 PSI de los dos equipos, de arriba hacia abajo manteniendo una uniformidad constante.



Figura 122 Lanzado de lechada

- f) Terminado el lanzado de la lechada es prudente esperar que seque la misma, teniendo en cuenta la siguiente consideración:

Tabla 46
Tiempo de secado y temperatura

Ambiente	Tiempo secado (min)	Temperatura (°C)
Totalmente nublado	120	15 - 19
Parcialmente nublado	90	20 - 24
Despejado soleado	45	25 - 30
Noche	180	8. - 12
Lluvia	No recomendable	

- g) Secado la lechada inicial se procede a preparar el material definitivo el mismo que tiene las siguientes características:

Tabla 47
Dosificación final de la membrana

Compuesto	Cantidad	Equipo
Agua (ml)	500	soplete spray
Bórax (g)	30	
Agua (ml)	150	pistola gravedad
Polímero goma (ml)	200	
Picmento verde	Si (100 ml)	

- h) Una vez cargado los componentes en los equipos, en esta ocasión ya no se procede a humedecer la probeta sino que directamente tanto el bórax como el polímero de goma se lanzan igualmente de manera simultánea y uniforme, a una distancia de unos 60 cm con presión de

vaciado de 40 PSI para el soplete spray y 60 PSI para la pistola a gravedad.

- i) Finalmente se espera el tiempo establecido anteriormente, dependiendo de las condiciones climatológicas presentes en el día, para que seque los componentes y de esta manera lograr una membrana de recubrimiento de coloración verde que de una u otra forma pueden compaginar con el medio ambiente que lo rodea.



Figura 123 Probeta final

5.11.5 Otras aplicaciones

Al ser esta una membrana muy versátil se la podría considerar dentro de la ingeniería biotécnica o como una membrana fotocatalítica³³ para purificar el aire, puesto que sus variantes pueden interactuar no solamente como la estructura de la membrana propiamente dicha, sino que se le puede dar algunos usos y aplicaciones mejorando indiscutiblemente las características de la misma.

5.11.5.1 Aplicación en la ingeniería biotécnica

La membrana de recubrimiento al no ser tóxica, ni causar ningún efecto nocivo al medio ambiente que lo rodea, le permite interactuar de manera eficientemente con la vegetación del sector, algo que no sucede con los sistemas de protección tradicionales como lo son los de hormigón, asfalto, enrocado, entre otros; es decir que además de

³³ Que reacciona mediante luz activa una sustancia, para modificar la velocidad de una reacción química sin involucrarse.

recubrir el talud con la membrana, permite la plantación de semillas nativas de la zona lo que brinda una cubierta vegetal que proporciona los siguientes beneficios: protección de la superficie del suelo del impacto de las gotas de agua, incremento de la resistencia del suelo al esfuerzo de corte de la escorrentía gracias a las raíces, mejora de la capacidad de infiltración del suelo, aumento de la rugosidad hidráulica que disminuye la velocidad de la escorrentía y una menor humedad del suelo por la transpiración de las plantas.

Por esta razón se realizó de igual manera, una probeta de ensayo, la cual se la desarrollo con el siguiente proceso:

- a) Se procede de idéntica manera a lanzar la membrana de recubrimiento, como se detalló anteriormente.
- b) Una vez que ya se encuentre totalmente seca la membrana, se procede a seleccionar la semilla que se empleara para la plantación, entre la cual se optó por el pasto azul y que presenta las siguientes características:

Tabla 48
Características pasto azul

Nombre común	pasto azul
Altura (msnm)	1800 a 2800
Clima favorable	templado y frio
Tipo de suelo	de mediana a baja fertilidad
Altura del tallo (cm)	60 a120
Raíces (cm)	50 a 90
Temperatura	No crece a menos de 5°C



Figura 124 Pasto azul

- c) Seguido de la selección de las semillas, se perfora con un taladro a una profundidad no mayor a 1cm a lo largo de la probeta tipo talud con una separación de 6 cm entre orificio, para luego colocar en su interior las semillas de entre 5 a 10, para luego cubrirlas con la misma tierra y proceder a la irrigación e hidratación con agua.



Figura 125 Perforación

- d) Al pasar el tiempo se podrá observar el crecimiento del pasto azul sin ningún problema, lo que evidencia que la membrana no impide ni dificulta la proliferación en este caso de la vegetación formándose una especie de terraza natural que interactúa con la membrana.



Figura 126 Crecimiento pasto

e) Al final de este procedimiento es importante destacar que tanto como la membrana y la vegetación juntas mejoran considerablemente la protección del talud, ante lo cual se puede decir que ambas permiten disipar la energía de la lluvia previniendo la separación de las partículas del suelo por salpicadura, incrementan la presión de confinamiento de la capa de deslizamiento y retrasan el comienzo de la escorrentía.

5.11.5.2 Aplicación como fotocatalizador

Por su facilidad en la aplicación de la membrana de recubrimiento, esta permite adicionar un nuevo compuesto llamado dióxido de titanio (TiO_2), el cual tiene una gran importancia al ser un pigmento blanco por sus propiedades de dispersión, estabilidad química, su no toxicidad y el no ser atacado por la mayoría de los agentes orgánicos e inorgánicos.

Sin embargo el problema de la contaminación del aire en las ciudades se encuentra entre los temas más discutidos en el país, por este motivo la necesidad de reducir las emisiones nocivas de gases en la atmósfera causadas primordialmente por el creciente número de automóviles en circulación, han hecho de esta primicia la utilización de recubrimientos de dióxido de titanio los cuales resultan de especial interés, debido a que su efecto fotocatalítico provoca la desintegración de las sustancias nocivas en el aire, al igual que la fotosíntesis en las plantas que elimina dióxido de carbono gracias a la luz del sol.

La fotocatalisis es una reacción fotoquímica que convierte la energía de la luz natural o artificial en energía química que acelera la velocidad de reacción, la cual en presencia del aire y de la luz activa el proceso de oxidación que descompone las sustancias contaminantes que entran en contacto con la superficie fotocatalítica produciendo lo siguiente:

- El contaminante se absorbe en la superficie del material.
- El contaminante se oxida produciendo un compuesto inerte en este caso los nitratos.
- Este compuesto inerte es eliminado de la superficie del material por efecto de la lluvia.

Por esta razón se realizó una probeta de ensayo, la cual se la desarrollo con el siguiente proceso:

- a) Se procede a lanzar la membrana de recubrimiento como anteriormente se detalló.
- b) La gran diferencia aquí es que mientras se produce el secado del mismo y antes de que este seque totalmente, se lanza el polvo de dióxido de titanio por medio de una pistola a gravedad, a la cual se la carga del compuesto con 2 g y con una presión de vaciado de 60 PSI, para posteriormente esperar que sequen todos los compuestos adquiriendo un color verde brillante.



Figura 127 Dióxido de titanio

- c) Hay que tener en cuenta que el dióxido de titanio tiene una apariencia parecida a la del talco de uso común, teniendo una

distribución de aproximadamente 1 gr por cada 5 metros cuadrados.

Tabla 49
Especificación técnica del dióxido de titanio

Estado físico	Pigmento, polvo
Color	Blanco
Olor	Inodoro
Peso específico	3.8
Temperatura de fusión	1830°C en espacio cerrado
Punto de ebullición	2500°C
Peligro de inflamación	No inflamable
Peligro de explosión	No explosivo
Solubilidad en agua	Insoluble

d) Una vez con la probeta se procede a realizar un ensayo para poder determinar si los gases presentes en un ambiente cerrado disminuyen, para lo cual se empleó los siguientes materiales:

- Una caja de cristal cerrada herméticamente.
- Un fluorescente de luz negra
- Equipo de medición de gases
- Hielo seco 5 kg
- Probeta



Figura 128 Caja hermética

- e) Se coloca dentro de la caja inicialmente 5 kg de hielo seco, el cual por un lapso de una hora se toman las siguientes mediciones en los siguientes tiempos:

Tabla 50
Ensayo sin probeta

Minutos	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	O ₂ (ppm)	HC(ppm)
5	15000	700	91200	360
30	15000	700	59700	660
60	15000	700	8100	860

- f) Posterior a eso se vuelve a colocar la misma cantidad de hielo seco pero adicional a eso se prende el fluorescente de luz negra más la probeta a ensayar obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 51
Ensayo con probeta

Minutos	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	O ₂ (ppm)	HC(ppm)
5	15000	700	56100	280
30	14200	470	9800	360
60	13600	280	7400	250

- g) Como se puede observar en el siguiente cuadro resumen la membrana en si absorbió los siguientes gases, disminuyendo la parte de los contaminantes presentes en este caso en el medio de estudio.

Tabla 52
Resumen de ensayo

Probeta	CO2 (ppm)	CO (ppm)	O2 (ppm)	HC(ppm)
Sin probeta	15000	700	8100	860
Con probeta	13600	280	7400	250
Disminución	1400	420	700	610

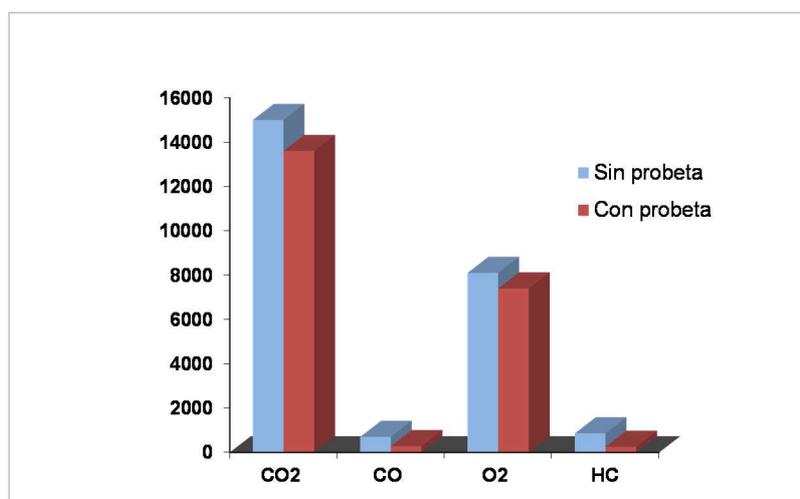


Figura 129 Disminución de gases en ensayo

5.12 Análisis de presupuestos y costos

Para poder realizar un análisis comparativo de precios más apegado a la realidad, se tomó como referencia un talud de análisis en donde determinamos las técnicas de protección más empleadas que pueden servir para lograr darle al talud una técnica de protección eficiente y en donde se pudo determinar los siguientes presupuestos referenciales, basándonos en valores estipulados en proyectos presentados al Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) y también de rubros establecidos de materiales de la construcción en la revista que presenta anualmente la Cámara de la Construcción de Quito.

Tabla 53
Localización talud de análisis

Talud de estudio	
Ubicación	Alfredo Dávila y Av. Avelina Lasso
Sector	Parque San Rafael
Coordenadas	(S: 0° 18' 36.0"; W: 78° 27' 12.9")
Área	775 m ²



Figura 130 Talud de análisis sector San Rafael

Entre las técnicas de protección que se logró establecer para realizar un análisis referencial de presupuestos fueron las siguientes alternativas:

- Protección con muro estructural
- Protección con hormigón proyectado
- Protección con pernos de anclaje
- Protección con geomanta
- Protección con membrana de recubrimiento

Tabla 54
Presupuesto referencial muro estructural

Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Limpieza manual del terreno	m ²	775	1,19	922,25
Desalojo manual tierra-escombros	m ³	300	3,50	1050,00
Desalojo volqueta/ tierra-escombros	m ³ .km	300	0,90	270,00
Hormigón estructural (f'c=210 kg/cm ²)	m ³	742	99,00	73458,00
Acero de refuerzo (fy=4200 kg/cm ²)	kg	57785	1,92	110947,20
Encofrado-Desencofrado tablero contrachapado	mes	250	19,84	4960,00
Limpieza final de la obra	m ²	300	1,19	357,00
				191964,45

Tabla 55
Presupuesto referencial hormigón proyectado

Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Limpieza manual del terreno	m ²	775	1,19	922,25
Desalojo manual tierra-escombros	m ³	300	3,50	1050,00
Desalojo volqueta/ tierra-escombros	m ³ .km	300	0,90	270,00
Hormigón para proyectar esp= 5cm (f'c=210 kg/cm ²) (hormigón, transporte, bomba)	m ²	775	26,72	20708,00
Malla electrosoldada 8mm 15 x 15	m ²	775	6,35	4921,25
Limpieza final de la obra	m ²	300	1,19	357,00
				28228,50

Tabla 56
Presupuesto referencial pernos de anclaje

Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Limpieza manual del terreno	m ²	775	1,19	922,25
Desalojo manual tierra-escombros	m ³	300	3,50	1050,00
Desalojo volqueta/ tierra-escombros	m ³ .km	300	0,90	270,00
Hormigón para proyectar (f'c=180 kg/cm ²)	m ²	775	19,45	15073,75
Pernos de anclaje A36 con inyección de lechada de cemento, D=25mm; L=2m	m	242	32,50	7865,00
Limpieza final de la obra	m ²	300	1,19	357,00
				25538,00

Tabla 57
Presupuesto referencial geomanta

Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Limpieza manual del terreno	m ²	775	1,19	922,25
Desalojo manual tierra-escombros	m ³	300	3,50	1050,00
Desalojo volqueta/ tierra-escombros	m ³ .km	300	0,90	270,00
Geo manta- (C-125 o similar)	m ²	775	8,30	6432,50
Malla hexagonal (triple torsión) 8x10 cm, D=2,7mm	m ²	775	7,05	5463,75
Limpieza final de la obra	m ²	250	1,19	297,50
				14436,00

Tabla 58
Presupuesto referencial membrana de recubrimiento

Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Limpieza manual del terreno	m ²	775	1,19	922,25
Desalojo manual tierra-escombros	m ³	300	3,50	1050,00
Desalojo volqueta/ tierra-escombros	m ³ .km	300	0,90	270,00
Anhidrido polivinilo	m ²	775	1,50	1162,50
Bórax	m ²	775	1,60	1240,00
Concreteira a diesel	semana	4	175	700,00
Bomba lanzadora de concreto 33 kw	semana	2	477,68	955,36
Maestro mayor	semana	1	199,92	199,92
Albañil	semana	4	180,32	721,28
Peón	semana	4	178,64	714,56
Limpieza final de la obra	m ²	300	1,19	357,00
				8292,87

Tabla 59
Cuadro resumen de presupuestos

Técnica de Protección	Costo total
Muro estructural	191964,45
Hormigón proyectado	28228,50
Pernos de anclaje	25538,00
Geomanta	14436,00
Membrana de recubrimiento	8292,87

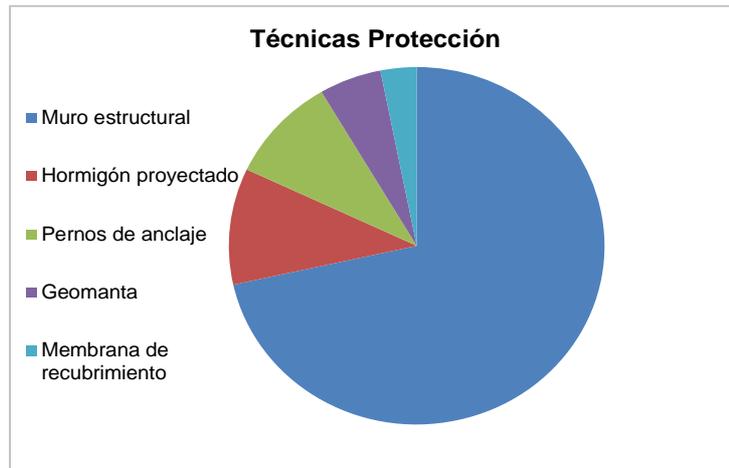


Figura 131 Presupuesto comparativo

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La implementación de la membrana de recubrimiento, se caracterizó ya que las pruebas realizadas en este proyecto, dan las posibilidades de mejorar con el empleo del anhídrido polivinilo de bórax, los factores que influyen en la protección y seguridad de un talud.
- Esta nueva técnica de protección a más de ser innovadora, nos permitió ensayar con tipos de suelos arenosos limosos y limos inorgánicos, con ángulos de corte de 45°, 60° y 75°, la misma que al ser aplicada permite someterse a deformaciones bruscas y rápidas en su estado inicial, mientras que a deformaciones más lentas cuando ya alcanzando su etapa final.
- Durante su proceso de fabricación, aplicación y especialmente de adherencia al suelo, esta no sufrió ningún daño visible como son los fisuramientos, descoloración del material, descascaramientos, ante los diferentes eventos climatológicos existentes en el sector de estudio, los cuales son la principal causa para el desgaste de los taludes.
- Al ser una membrana cuyos equipos y materiales constitutivos no escasean en el mercado nacional, permiten una fácil adquisición, manipulación y transporte de los mismos, lo que brinda un empleo apropiado no solamente para taludes en infraestructura lineal sino además en zonas consideradas de alto riesgo para la sociedad.
- Esta técnica de protección al estar compuesta por elementos no tóxicos, ni inflamables, pero sobre todo que no afectan a la salud, ni al entorno ambiental, se lo puede combinar con técnicas biológicas como es la revegetación ya que esta membrana no impide el crecimiento de las raíces hacia el interior del talud, mejorando de esta forma las condiciones de protección del mismo y dando un diseño paisajístico acorde con la naturaleza del sector.

- Esta técnica permite adicionar con facilidad el dióxido de titanio, el cual con la ayuda de la luz solar, adquiere una propiedad fotocatalítica, la cual absorbe los gases contaminantes que se encuentran en el medio ambiente para reducirlos considerablemente, es decir no solo protege al talud sino que purifica el medio ambiente.
- Realizando el análisis económico de las técnicas tradicionales de protección empleadas actualmente en nuestro país en comparación con la membrana de recubrimiento, resulta menos costosa en términos de diseño, ejecución y materiales.
- Al ser una tecnología amigable con el medio ambiente, optimiza los recursos ya que disminuye la explotación de materiales pétreos y no renovables.

6.2 Recomendaciones

- Realizar un estudio previo de las características geotécnicas del suelo antes de aplicar la membrana de recubrimiento.
- No realizar la preparación y el lanzamiento de los materiales constitutivos de la membrana cuando exista lluvia.
- Si se realiza la revegetación es necesario conocer las características de las semillas que se desean sembrar ya que estas deben ser nativas del sector.
- Hay que tener en cuenta la presión con la que sale el aire de la máquina, puesto que esta puede erosionar la probeta, causando desmoronamientos y socavación del mismo.

CAPÍTULO VII

BIBLIOGRAFIA

- ACgeosintéticos. (s.f). *Geotextiles tejidos*. Obtenido de <http://www.acgeosinteticos.com/productos/geotextiles-tejidos/>
- Allbiz. (s.f). *Polipropileno*. Obtenido de <http://www.pe.all.biz/polipropileno>
- Arkiplus. (25 de 07 de 2013). *Construcción Polietileno*. Obtenido de <http://www.arkiplus.com/polietileno>
- Budhu, M. (2010). *Soil Mechanics and Foundations*. United States of America: John Wiley & Sons Inc.
- Campaña, J., Mata , W., & Mendoza, X. (2011). *Los Geosintéticos Aplicados a Obras de Pavimento Flexible*. (Tesis de postgrado,Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral). Obtenido de http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-95113.pdf
- Cando, R., & Chiquin, D. (2014). *Estabilización de Taludes con Mortero Asfáltico*. (Tesis de postgrado,Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas). Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9666/1/T-ESPE-048002.pdf>
- Castro, A. (2010). *Técnicas de Protección de Taludes Viales Utilizadas en la Zona Central de Chile*. (Tesis de Postgrado, Santiago de Chile: Universidad de Chile). Obtenido de <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/103686>
- Constructor Civil. (23 de 04 de 2011). *Bombas de pozo profundo*. Obtenido de <http://civildocs.blogspot.com/2011/05/94-bombas-de-pozo-profundo.html>
- FURGOVW. (11 de 03 de 2009). *Furgovw*. Obtenido de <http://www.furgovw.org/>

GEOBRUGG. (s.f). *Estabilización de Taludes*. Obtenido de <http://www1.geobrugg.com/contenido/Espa%C3%B1ol/Inicio/Estabilizaci%C3%B3ndetaludes>

GEOTRAVER. (s.f). *Hormigón Proyectado*. Obtenido de <http://www.geotraver.com/servicios/hormigon-proyectado>

Google Maps. (01 de 06 de 2016). Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps/place>

Guevara, M. (2008). *Cálculo Estructural*. Recuperado el 28 de 04 de 2016, de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/muros-contencion-cimentaciones-superficiales/>

ICH. (28 de 04 de 2015). *Guía Chilena de Hormigón Proyectado*. Obtenido de Aplicaciones Especiales del Hormigón: <http://shotcrete.cl/?p=855>

IGME. (1986). *Manual de Taludes*. Madrid.

INAMHI. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

Interempresas. (s.f). *Georedes*. Obtenido de www.interempresas.net/Jardineria/FeriaVirtual/Producto-Georedes

Irap. (27 de 01 de 2012). *Ingeniería de la restauración ambiental y paisajismo*. Obtenido de http://ingenieriayrestauracionambiental.blogspot.com/2012_01_01_archive.html

Lazarus. (s.f). *Geomantas Macmat*. Obtenido de <http://lazarushn.com/geomantas-macmat-l/>

León, C. (07 de 11 de 2012). *Blogspot*. Obtenido de <http://itcpvc.blogspot.com/>

Muñoz, L. (2012). *Estudio del uso del polietileno tereftalato (PET) como material de restitución en suelos de baja capacidad de carga*. (Tesis de postgrado, México D.F: Universidad Nacional Autónoma de México). Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/>

Norma ASTM D-2216-98. Método de prueba estándar para determinación en laboratorio de contenido de agua (humedad) de suelos y rocas en relación a su masa.

Norma ASTM D-854-02. Método de ensayo normalizado, para determinar la gravedad específica de los sólidos del suelo mediante un picnómetro de agua.

Norma ASTM D-4318-05. Método estándar para la determinación de límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos.

Norma ASTM D-422-63. Análisis del tamaño de las partículas de suelo.

Norma ASTM D-2487-11. Práctica estándar para la clasificación de suelos para propósitos de ingeniería (SUCS).

Norma ASTM D-2850-82. Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión no consolidada- no drenada (UU) de suelos cohesivos en compresión triaxial.

Ortuño, L. (2004). *Estabilización de taludes en suelo*. (U. y. S.A, Ed.) Recuperado el 28 de 04 de 2016, de <http://www.urielyasociados.es/img/formacion/ponencia5.pdf>

PAVCO. (2009). *Manual de Diseño con Geosintéticos*. Bogotá: Zetta Comunicadores S.A.

Recuperación de Pozos Pérez. (s.f). *Limpieza de Pozos y Perforaciones*. Obtenido de <http://www.limpiezadepozosyperforaciones.com/pozos-y-perforaciones-en-sevilla/18/0/Drenes-californianos-y-barrenas-horizontales/>

Rios, G. (s.f). *Cueva del Ingeniero Civil*. Obtenido de <http://www.cuevadelcivil.com/2014/11/drenaje-superficial-en-carreteras>.

Slideshare. (12 de 07 de 2013). *Ensayo Triaxial*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/flores7982/ensayo-triaxial-24183760>

Súarez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Bucaramanga: Ingeniería de Suelos Ltda.

TENAX. (s.f). *Georedes biplanares vs Georedes y geocompuestos triplanares*.
Obtenido de <http://www.tenax.net/geosinteticos/productos/georedes-biplanares-vs-georedes-triplanares.htm>

Valladares, P. (2015). *Estabilidad de Taludes con Anclas*. (Tesis de postgrado, Mexico DF: Universidad Nacional Autónoma de México).
Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/8389/Tesis.pdf.pdf?sequence=2>

VILSSA. (25 de 11 de 2013). *Vilssa arquitectura construcción y diseño*.
Obtenido de <http://vilssa.com/que-aislamiento-es-mejor-el-proyectado-de-poliuretano-o-las-planchas-de-aislamiento>