



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

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

**AUTORES: CHIQUÍN REINOSO, DAYANA LIZETH
CANDO SALCEDO, ROBERT CANDO**

TEMA: ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON MORTERO ASFÁLTICO

**DIRECTOR: ING. FRANCO ROJAS.R, M.SC.
CODIRECTOR: DR. THEOFILOS TOULKERIDIS, PH.D.**

SANGOLQUÍ, MAYO 2014

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **ROBERT EDUARDO CANDO SALCEDO** y la Srta. **DAYANA LIZETH CHIQUÍN REINOSO** como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Sangolquí, Mayo de 2014

ING. FRANCO ROJAS.R
DIRECTOR DE TESIS

DR. THEOFILOS TOULKERIDIS
CODIRECTOR DE TESIS

REVISADO POR

DR. PABLO CAIZA
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Dayana Lizeth Chiquin Reinoso y Robert Eduardo Cando Salcedo** declaramos que:

El proyecto de grado denominado “ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON MORTERO ASFÁLTICO”, ha sido desarrollado en base a una investigación adecuada, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las referencias que constan en las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención parcial a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Sangolquí, Mayo de 2014

DAYANA LIZETH CHIQUÍN REINOSO

ROBERT EDUARDO CANDO SALCEDO

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Dayana Lizeth Chiquin Reinoso y Robert Eduardo Cando Salcedo** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, del trabajo “ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON MORTERO ASFÁLTICO”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Mayo de 2014

DAYANA LIZETH CHIQUÍN REINOSO

ROBERT EDUARDO CANDO SALCEDO

DEDICATORIA

A Dios por la sabiduría, fortaleza y guía diaria en mi vida, a mis padres Enma Reinoso y Patricio Chiquín, a quien dedico con amor y cariño, a mi hermano Christian Chiquín quien me ha brindado incondicionalmente su apoyo, a mi novio Andrés Orbe quien compartió su vida universitaria junto con la mía y a toda mi familia que son mi fortaleza, les dedico todo mi esfuerzo y mis metas proyectadas en mi vida.

Dayana Lizeth Chiquín Reinoso

A Dios por acompañar mi camino en todo momento, a mis padres Mélida Salcedo y Julio Cando ejemplos dignos de superación y entrega, quienes han sido pilares fundamentales en mi vida, les dedico todo mi esfuerzo, en reconocimiento a todo el sacrificio puesto para que yo pueda estudiar, a mis queridas hermanas Andrea y Fernanda, que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles, mis tíos Jairo Salcedo y Manuel Salcedo, que fomentaron en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

Robert Eduardo Cando Salcedo

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme aprender, disfrutar y tener todas las facultades para culminar con satisfacción mi carrera. A mis padres por los valores inculcados, su apoyo incondicional y por todo su esfuerzo durante mi preparación universitaria para llegar a ser una excelente profesional.

A mi hermano por ser fiel compañero, guía, apoyo en todo en mis dificultades, a Lucy mi cuñada quien estuvo en el momento que necesite su apoyo, a Sarahy por brindarme su amor, a Andrés Orbe por su cuidado, apoyo y su amor brindado.

A mis Directores de tesis, Ing. Franco Rojas.R, M.Sc y Dr. Theofilos Toulkeridis, Ph.D. por brindarnos sus conocimientos, su tiempo y su dedicación para poder culminar el proyecto de tesis.

A EMULDEC, empresa quien nos permitió cumplir la parte primordial de nuestro proyecto de tesis, por el uso de su laboratorio y por el personal que nos dedicó su tiempo para avanzar con nuestro proyecto de tesis.

Dayana Lizeth Chiquín Reinoso

A Dios por poner en mi vida a las personas que han hecho posible la culminación de mi carrera.

A mis Directores de Tesis, Ing. Franco Rojas. y Dr. Theofilos Toulkeridis, quienes con su apoyo, respaldo y conocimientos; han hecho posible desarrollar, y terminar nuestro proyecto de tesis.

A mi querida ESPE, en especial a la carrera de Ingeniería Civil, cuyos docentes, cada día con su vasta experiencia y conocimientos, han sabido formar personas de bien y buenos profesionales.

A quienes conforman el laboratorio de ensayo de materiales, que nos facilitaron de todos los equipos para llevar a cabo el desarrollo de nuestro proyecto.

Un especial agradecimiento a quienes forman parte de EMULDEC, empresa que con sus conocimientos y alta experiencia, permitieron realizar una parte primordial de nuestro proyecto *de tesis*.

Robert Eduardo Cando Salcedo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	II
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	III
AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XX
RESUMEN.....	XXIX
ABSTRACT.....	XXX
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1.- Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	8
1.3. Justificación e importancia.....	10
1.4. Objetivo General del Proyecto.....	11
1.5. Objetivos Específicos.....	11
1.6. Alcance del Proyecto.....	11
1.7. Descripción Geográfica.....	12

1.8.- Análisis de normas aplicables.....	14
--	----

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DE LAS FALLAS MAS COMUNES EN LOS TALUDES.....	16
2.1.- Introducción.....	16
2.2.- Causas.....	16
2.2.1.- Factores de los que depende la estabilidad.....	17
2.2.1.1. Factores geomorfológicos.....	17
2.2.1.2.- Factores internos.....	17
2.2.2.- Factores que causan la inestabilidad.....	17
2.2.2.1.- Factores que producen aumento de esfuerzos.....	17
2.2.2.2.- Factores que producen disminución de resistencia.....	18
2.3.- Fallas que afectan a las laderas naturales.....	19
2.3.1.- Deslizamiento superficial.....	19
2.3.1.1.- Causas.....	20
2.3.1.2.- Localización de un deslizamiento superficial.....	21
2.3.1.3.- Tipos de deslizamientos superficiales:.....	21
2.3.2.- Flujos.....	22
2.3.2.1.- Clasificación.....	22
2.3.2.1.1.- Flujos en materiales secos:.....	22
2.4.- Fallas que afectan a taludes artificiales.....	25

	X
2.4.1.- Fallas rotacionales.....	25
2.4.1.1.- Tipos de fallas rotacionales.....	26
2.4.2.- Fallas traslacionales.....	27
2.4.2.1.- Tipos de fallas traslacionales:.....	28
2.4.3.- Fallas con superficie compuesta.....	29
2.4.4.- Fallas múltiples.....	30
2.4.4.1.- Tipos de fallas múltiples.....	30
2.4.4.1.1.- Regresivas:.....	30
2.4.4.1.2.-Sucesivas:.....	31
2.4.4.1.3.-Fallas por licuefacción:.....	31
2.4.5.- Otros tipos de fallas.....	32
2.4.5.1.- Erosión.....	32
2.4.5.2.- Tubificación.....	33

**CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS DAÑOS QUE SE PRODUCEN POR
LA INESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS OBRAS INGENIERÍA
CIVIL, CENTROS POBLADOS Y EN ZONA RURALES Y URBANAS 35**

3.1.- Introducción.....	35
3.2.- Problemas de alto grado de afectación.....	39
3.2.1.- Los problemas de afectación.....	40
3.2.1.1.- Costos Públicos.....	40
3.2.1.2.- Costos privados.....	41

	XI
3.3.- Consecuencias que provocan estos fenómenos.....	42
3.3.1.- Problemas De Origen Natural.....	42
3.3.2.-Problemas por intervención humana	44
3.4.- Impacto ambiental dentro de los poblados.....	48
3.4.1.- Las emulsiones asfálticas desde el punto de vista energético ..	49
3.4.2.- Las emulsiones asfálticas desde el punto de vista residual.....	50
3.5.- Obras de ingeniería civil más perjudicadas.....	50
3.5.1.- Deslizamiento de La Josefina - 1993.....	51
3.5.2.- Deslizamiento San Cayetano	52
3.5.3.- Deslizamiento Sinincay.....	53
3.5.4.- Deslizamiento Pedernales	54
3.5.5.- Deslizamientos En Zonas Urbanas.....	54
3.5.6.- Vías Interrumpidas Por Deslizamientos De Tierra.....	55
CAPITULO IV: DISEÑO Y MÉTODOS DE CÁLCULO	56
4.1.- Introducción.....	56
4.2.- Conceptos generales diseño.....	57
4.2.1.- Angulo de reposo	57
4.2.2 Teoría de Mohr-Coulomb.....	58
4.2.2.- Superficie de falla	59
4.2.3.- Formas de la superficie de falla.....	60

4.2.3.1.- Análisis de superficies planas	60
4.2.3.2 Análisis de superficies curvas	61
4.2.4.- Las grietas de tensión.....	61
4.2.5.- Mortero Asfáltico.....	62
4.2.6.- Emulsión Asfáltica	62
4.3.- Factor de seguridad	63
4.4.- Análisis del diseño	65
4.4.1.- Método de diseño Taylor	65
4.4.2.- Método de diseño Bishop	66
Tabla 4.5 Análisis de FS método de Taylor.....	68
4.5.-Procedimiento de diseño.....	68
4.6.- Diseño del mortero asfáltico.....	69
4.6.1.- Materiales	70
4.6.1.1- El emulsión asfáltica	70
4.6.1.2.- El agregado.....	70
4.6.1.3.- Agua.....	71
4.6.2.- Pruebas de control de calidad en la producción:	71
4.7.- Elección de la malla adecuada.....	73
4.8.- Ensayos dentro del laboratorio.....	75
4.8.1.- Ensayo de suelos	75
4.8.1.1.-Ensayo de humedades	75

4.8.1.2.- Ensayo de peso específico	79
4.8.1.3.- Ensayo de sedimentación por hidrómetro	88
4.8.1.4.- Ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad	94
4.8.1.4.- Ensayos Triaxiales	106
4.8.2.- Ensayo de mortero asfáltico	111
4.8.2.1.- Granulometría del agregado	111
4.8.2.2.- Azul de metileno.....	113
4.8.2.3.- Equivalente de arena	114
4.8.2.4.- Ensayo de consistencia	116
4.8.2.5.- Ensayo de abrasión por humedad	117
4.5.2.6.- Ensayo de cohesión.....	120
4.5.2.7.- Ensayo de rueda de carga, exudación y deformación	121
4.5.2.8.- Penetración del residuo	123
4.5.2.9.- Viscosidad.....	125
4.5.2.10.- Asentamiento	127
4.5.2.11.- Tiempo de mezclado.....	129
4.5.2.12.- Porcentaje teórico de emulsión	130
4.9.- Procesamiento de resultados.....	130
4.9.1 Procesamiento muestras de suelo	130
4.9.1.1.- Muestra 1.....	130

4.9.1.2.- Muestra 2.....	145
4.9.1.3.- Muestra 3.....	160
4.9.2.- Procesamiento de mortero asfaltico.....	175
4.9.2.1.- Granulometría de los agregados (PINTAG).....	175
4.9.2.2 Equivalente de arena.....	177
4.9.2.3 Azul de metileno	177
4.9.2.4 Porcentaje teórico de emulsión.....	177
4.9.2.5 Tiempo de mezclado	179
4.9.2.6 Pérdida por abrasión y ganancia por rueda de carga	179
4.9.2.7.- Cohesión	180
4.9.2.8 Viscosidad, Penetración y % Asfalto Residual.....	181
4.9.2.9 Asentamiento.....	182
4.9.2.10 Consistencia	182
4.10.- Análisis y tabulación de los ensayos.....	183
4.11.- Software computacional.....	186
4.11.1.- Introducción	186
4.11.1.1.- Unidades.....	186
4.11.1.2.- Convenio de signos.....	188
4.11.2.- Introducción de datos	189
4.11.3.- Programa de introducción de datos (input).....	192
4.11.3.1.- Propiedades de los materiales	196

4.11.3.2.- Modelamiento del comportamiento del suelo	198
4.11.3.3.- Modelo del comportamiento del mortero	205
4.11.3.4.- Generación de la malla	206
4.11.3.5.- Condiciones iniciales.....	209
4.11.3.6.- Generación de esfuerzos iniciales (procedimiento k0)....	212
4.11.4.- Programa de cálculos (calculations)	216
4.11.4.1.- Reducción ϕ -C (phi-c-reduction)	218
4.11.5.- Programa de resultados (output)	223
4.11.5.1.- Desplazamientos totales, horizontales y verticales	224
4.11.5.2.- Desplazamientos Incrementales	226
4.11.5.3.- Deformaciones totales	228
4.11.5.5.- Esfuerzos efectivos	230
4.11.5.6.- Esfuerzos totales.....	232
4.11.6.- Programa de curvas	233
CAPITULO V: ELABORACIÓN PRÁCTICA DEL PROYECTO.....	235
5.1.- Drenes.....	236
5.2.- Proceso constructivo	238
5.1.4.1 Situación inicial.....	238
5.1.4.2 Limpieza y desbroce	239
5.1.4.3 Definir el ángulo de diseño	241

5.1.4.4 Colocación de la malla y drenes.....	242
5.1.4.5 Ubicación de semillas.....	244
5.1.4.6 Colocación del mortero asfaltico	244
5.3.- Diseño paisajístico	248
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	249
6.1.- Conclusiones:.....	249
6.2.- Recomendaciones	250
CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA	252
NETGRAFÍA:.....	253

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1	Parámetros de diseño para el modelo	65
Tabla 4.2	Análisis método de Taylor	66
Tabla 4.3	Datos del talud de análisis.....	67
Tabla 4.4	Características de suelo	67
Tabla 4.5	Análisis de FS método de Taylor	68
Tabla 4.6	Clasificación del agregado (ISSA A 105)	71
Tabla 4.7	Normas de aplicación a los ensayos para el agregado	72
Tabla 4.8	Caracterización de la malla	75
Tabla 4.9	Cantidad necesaria por tamiz	77
Tabla 4.10	Factores para Obtener el Limite Liquido	102
Tabla 4.11	Valor de azul de metileno y el comportamiento esperado de la mezcla AASHTO TP 57-01 (2004).....	114
Tabla 4.12	Registro de humedad (muestra 1)	131
Tabla 4.13	Registro de peso específico (muestra 1)	132
Tabla 4.14	Registro granulométrico (muestra1)	133
Tabla 4.15	Registro de clasificación (muestra 1).....	134
Tabla 4.16	Registro de ensayo triaxial 0.5kg/cm2 (Muestra 1).....	137
Tabla 4.17	Registro de ensayo triaxial 1.0 kg/cm2 (Muestra 1).....	139
Tabla 4.18	Registro de ensayo triaxial 1.5kg/cm2 (Muestra 1).....	141
Tabla 4.19	Registro de humedad (muestra 2)	146
Tabla 4.20	Registro de peso específico (muestra 2)	147
Tabla 4.21	Registro granulométrico (muestra 2)	148

Tabla 4.22	Registro de clasificación (muestra 2).....	149
Tabla 4.23	Registro de ensayo triaxial 0.5kg/cm2 (Muestra 2).....	152
Tabla 4.24	Registro de ensayo triaxial 1.0 kg/cm2 (Muestra 2).....	154
Tabla 4.25	Registro de ensayo triaxial 1.5kg/cm2 (Muestra 2).....	156
Tabla 4.26	Registro de humedad (muestra 3)	161
Tabla 4.27	Registro de peso específico (muestra 3)	162
Tabla 4.28	Registro granulométrico (muestra 3)	163
Tabla 4.29	Registro de clasificación (muestra 3).....	164
Tabla 4.30	Registro de ensayo triaxial 0.5kg/cm2 (Muestra 3).....	167
Tabla 4.31	Registro de ensayo triaxial 1.0 kg/cm2 (Muestra 3).....	169
Tabla 4.32	Registro de ensayo triaxial 1.5kg/cm2 (Muestra 3).....	171
Tabla 4.33	granulometría 1 de material pétreo (Pintag)	175
Tabla 4.34	granulometría 2 de material pétreo (Pintag)	175
Tabla 4.35	granulometría tipo III de material pétreo (Pintag)	176
Tabla 4.36	Ensayo equivalente de arena material pétreo (Pintag)	177
Tabla 4.37	Ensayo azul de metileno de material pétreo (Pintag)	177
Tabla 4.38	Granulometría tipo III de material pétreo (Pintag).....	177
Tabla 4.39	Contribución de área del agregado.....	178
Tabla 4.40	Factores del método de Duriez.....	178
Tabla 4.41	Método de Duriez	178
Tabla 4.42	% teórico de emulsión	178
Tabla 4.43	Tiempo de mezclado del slurry seal	179
Tabla 4.44:	Ensayo de rueda de carga	179
Tabla 4.45	Ensayo de cohesión # 1	180

Tabla 4.46 Ensayo de cohesión # 2	180
Tabla 4.47 Ensayo de cohesión # 3	180
Tabla 4.48 Cohesión promedio.....	181
Tabla 4.49 Resultado de ensayos	181
Tabla 4.50 Ensayos de asentamiento – Ensayo 1.....	182
Tabla 4.51 Ensayos de asentamiento – Ensayo 2.....	182
Tabla 4.52 Ensayo de consistencia	182
Tabla 4.53 Resumen de ensayos de suelos.....	183
Tabla 4.54 Tabulación de triaxiales- cohesión	183
Tabla 4.55 Tabulación de triaxiales- Angulo de fricción	184
Tabla 4.56: Tabulación de Triaxiales - Modulo de elasticidad.....	184
Tabla 4.57 Resultados de ensayos del agregado de Pintag	185
Tabla 4.58 Resultados de ensayos del mortero asfaltico – Emuldec	185
Tabla 4.59 unidades y conversiones disponibles	187

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Talud (www.ingeopres.es)	1
Figura 1.2 Partes del talud (SOYAO, 2004)	3
Figura 1.3 Ubicación del proyecto (Google Maps, 2014)	13
Figura 2.1 Falla de una masa de suelo (www.vanguardia.com)	16
Figura 2.2 Falla por efecto del aumento de peso unitario del suelo	18
Figura 2.3 Expansión de las arcillas por absorción de agua	18
Figura 2.4 Deslizamiento superficial (www.madrimasd.org)	20
Figura 2.5 Deslizamiento superficial del terreno (www.madrimasd.org)	20
Figura 2.6 Flujos de materiales secos (www.scielo.org.ve)	23
Figura 2.7 Flujos en materiales húmedos (www.wikipedia.org)	24
Figura 2.8 Falla rotacional en un talud artificial (smpmanizales.blogspot.es)	25
Figura 2.9 Superficie de rotura de talud (Autores)	26
Figura 2.10 Superficie de rotura de talud (Autores)	26
Figura 2.11 Superficie de rotura de base (Autores)	27
Figura 2.12 Falla traslacional en talud artificial (www.puertae.blogspot.com)	27
Figura 2.13 Falla por bloque (www.ingeroc.com)	28
Figura 2.14 Falla de franja (www.wikipedia.org)	29
Figura 2.15 Falla regresiva.....	30
Figura 2.16 Fallas sucesivas (www.wikipedia.org)	31
Figura 2.17 Falla por tubificación (www.monografias.com)	34
Figura 3.1 Cambios en la pendiente natural (www.elcomercio.com)	36

Figura 3.2 Alteraciones del escurrimiento (es.wikipedia.org)	36
Figura 3.3 Deforestación (www.wikipedia.org, Wikipedia)	36
Figura 3.4 Explotación de la cantera Tanlahua (FLACSO-ECUADOR, 2012)	37
Figura 3.5 Fenómenos que ocurren en los taludes (Autores)	42
Figura 3.6 Zona inestable en erosión.....	45
Figura 3.7 Componentes de la amenaza por deslizamiento sobre una comunidad (Autores).....	47
Figura 3.8 Devastación de poblaciones y construcciones Ecuador (www.agua.gob.ec)	50
Figura 3. 9 Deslizamiento la Josefina (www.elcomercio.com)	51
Figura 3.10 Deslizamiento en San Cayetano (www.elcomercio.com).....	52
Figura 3.11 Deslizamiento en Sinincay (www.elcomercio.com).....	53
Figura 3. 12 Deslizamiento en Pedernales (www.elcomercio.com)	54
Figura 4.1 Talud para el análisis (Autores)	57
Figura 4.2 Teoría de Mohr – Coulomb (Autores).....	59
Figura 4.3 Superficie de falla y dirección de la resistencia al cortante	60
Figura 4.4 Formas de superficie de falla (Soyao, 2004).....	62
Figura 4.5 Abaco de Taylor	65
Figura 4.6 Diagramas de método de Bishop	66
Figura 4.7 Representación del talud método de Bishop.....	67
Figura 4.8 Malla utilizada en el talud (Autores)	74
Figura 4.9 Muestras de suelo (Autores)	76
Figura 4.10 Especímenes de prueba representativos (Autores)	78

Figura 4.11 Picnometro (Autores)	79
Figura 4.12 Introducción de la muestra al picnómetro (Autores).....	84
Figura 4.13 Tamizado del material por lavado (Autores)	89
Figura 4.14 Muestras de suelo con agua destilada y anti floculantes (Autores)	89
Figura 4.15 Material lavado en la probeta graduada (Autores)	91
Figura 4.16 Realización de ensayos de límites de consistencia (Autores)	95
Figura 4.17 Realización de ensayos de límites de consistencia (Autores)	98
Figura 4.18 Copa de Casagrande con muestra de suelo (Autores)	101
Figura 4.19 Ensayo triaxial (Autores)	106
Figura 4.20 Maquina para ensayos triaxiales.....	107
Figura 4.21 Muestra tallada en cámara del triaxial (Autores)	111
Figura 4.22 Tamices para el ensayo (Autores)	112
Figura 4.23 Ensayo de azul de metileno (Autores)	114
Figura 4.24 Capsula de medidas estandarizadas (Autores)	115
Figura 4.25 Escala de flujo (Autores)	117
Figura 4.26 Muestras en el horno a 60°C (Autores).....	118
Figura 4.27 Maquina usada para el ensayo de abrasión en húmedo (Autores)	119
Figura 4.28 Muestra de ensayo (Autores)	119
Figura 4.29 Muestras del después del ensayo de cohesión (Autores).....	121

Figura 4.30 Colocación de los especímenes en el horno a 60 °C (Autores)	123
Figura 4.31 especímenes en la máquina de rueda cargada (Autores).....	123
Figura 4.32 Penetrometro (Autores).....	125
Figura 4.33 Viscosímetro del tipo Saybolt (Autores)	127
Figura 4.34 Muestra de emulsión asfáltica en probetas de ensayo (Autores)	129
Figura 4.35 Grafica del LL (muestra 1)	135
Figura 4.36 Curva de granulometría para clasificación (muestra 1).....	135
Figura 4.37 Curva granulométrica (muestra 1).....	136
Figura 4.38 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial 0.5kg/cm ² (Muestra 1)	138
Figura 4.39 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial 1.0kg/cm ² (Muestra 1)	140
Figura 4.40 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial 1.5kg/cm ² (Muestra 1)	142
Figura 4.41 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial (Muestra 1).....	143
Figura 4.42 Círculos de Mohr (muestra 1)	144
Figura 4.43: Curva de granulometría para clasificación (muestra 2).....	150
Figura 4.44 Grafica del LL (muestra 2)	150
Figura 4.45 Curva de granulometría (muestra 2)	151
Figura 4.46 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial 0.5kg/cm ² (Muestra 2)	153

Figura 4.47 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial	
1.0kg/cm ² (Muestra 2)	155
Figura 4.48 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial	
1.5kg/cm ² (Muestra 2)	157
Figura 4.49 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial	
(Muestra 2).....	158
Figura 4.50 Círculos de Mohr (muestra 2)	159
Figura 4.51 Grafica del LL (muestra 3)	165
Figura 4.52 Curva de granulometría para clasificación (muestra 3).....	165
Figura 4.53 Curva de granulometría (muestra 3)	166
Figura 4.54 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial	
0.5kg/cm ² (Muestra 3)	168
Figura 4.55 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial	
1.0kg/cm ² (Muestra 3)	170
Figura 4.56 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial	
1.5kg/cm ² (Muestra 3)	172
Figura 4.57 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial	
(Muestra 3).....	173
Figura 4. 58 Círculos de Mohr (muestra 3)	174
Figura 4.59 Curva granulometría III de material pétreo (Pintag)	176
Figura 4.60 Contenido de asfalto optimo	180
Figura 4.61 Ensayo de cohesión – ruptura y curado.....	181
Figura 4.62 Porcentaje óptimo de agua en la mezcla asfaltico	183
Figura 4.63 Subprogramas de PLAXIS	186

Figura 4.64 General Settings (Autores).....	188
Figura 4.65 Convención de signos (Autores)	189
Figura 4.66 Esquema 3D del modelo de análisis (Autores)	190
Figura 4.67 Área de la sección transversal del modelo (Autores).....	190
Figura 4.68 Modelo para análisis en PLAXIS (Autores)	191
Figura 4.69 Ventana principal del programa INPUT (Autores).....	192
Figura 4.70 Ventana de general settings para establecer el modelo y el tipo de elemento (Autores)	193
Figura 4.71 Coordenadas de los puntos del modelo geométrico (Autores)	194
Figura 4.72 Fijaciones estándar del modelo (Autores).....	195
Figura 4.73 Ventana de material sets (Autores).....	196
Figura 4.74 Ventana para la creación de un nuevo conjunto de datos	197
Figura 4.75 Modulo de elasticidad basado en el módulo medio (González de Vallejo, 2002).....	199
Figura 4.76 Módulo de elasticidad tangente medio (González de Vallejo, 2002).....	199
Figura 4.77 Modulo de elasticidad secante (González de Vallejo, 2002).....	200
Figura 4.78 Círculos de Mohr de un ensayo Triaxial (Autores)	201
Figura 4.79 Cono hexagonal de esfuerzos (Manual de PLAXIS).....	203
Figura 4.80 Parámetros del modelamiento de suelo en PLAXIS (Autores)	204
Figura 4.81 Parámetros para el modelo de Mohr – Coulomb (Autores)...	205

Figura 4.82 Parámetros para modelar el mortero asfáltico (Autores).....	206
Figura 4.83 Generación de malla por defecto (Autores)	207
Figura 4.84 Refinación de la malla (Autores)	208
Figura 4.85 Connectivity plot de la malla más refinada (Autores)	208
Figura 4.86 Ubicación en la ventana de INPUT del botón de condiciones iniciales (Autores).....	209
Figura 4.87 Ubicación del botón conmutador en la ventana de INPUT....	210
Figura 4.88 Introducción del peso específico del agua (Autores).....	210
Figura 4.89 Definición del dominio seco (Autores).....	211
Figura 4.90 Dominio sin presión de poros (Autores)	212
Figura 4.91 Ubicación del botón Generate initial stresses de la barra de herramientas (Autores).....	213
Figura 4.92 Ventana de generación de tensiones iniciales (Autores)	213
Figura 4.93 Resultados de la generación de esfuerzos iniciales.....	215
Figura 4.94 Puntos de tensión de la generación tensiones iniciales	216
Figura 4.95 Ventana principal del programa CALCULATIONS (Autores)	218
Figura 4.96 Ajuste de pasos adicionales e incrementos para el análisis (Autores)	220
Figura 4.97 puntos de la geometría para la generación de curvas de carga-desplazamiento o de trayectorias de tensiones (Autores)	221
Figura 4.98 Ubicación del botón calcular en el programa CALCULATIONS (Autores).....	222
Figura 4.99 botón para pasar al programa output (Autores)	223

Figura 4.100 Malla deformada del modelo (Autores)	224
Figura 4.101 Desplazamientos totales del modelo (Autores)	225
Figura 4.102 Desplazamientos horizontales del modelo (Autores)	225
Figura 4.103 Desplazamientos horizontales del modelo (Autores)	226
Figura 4.104 Desplazamientos incrementales totales del modelo (Autores)	227
Figura 4.105 Desplazamientos incrementales totales del modelo	227
Figura 4.106 Desplazamientos incrementales verticales del modelo.....	228
Figura 4.107 Deformaciones totales en direcciones principales (Autores)	229
Figura 4.108 Deformaciones volumétricas totales (Autores).....	229
Figura 4.109 Deformaciones de corte totales (Autores).....	230
Figura 4.110 Esfuerzos efectivos del modelo (Autores).....	232
Figura 4.111 Esfuerzos totales del modelo (Autores)	233
Figura 4.112 Ventana de Generación de curvas (Autores)	234
Figura 4. 113 Grafica desplazamiento - FS (Autores).....	235
Figura 5.1 Talud estado inicial (Autores).....	238
Figura 5.2 Talud previo la limpieza (Autores).....	239
Figura 5.3 Limpieza del talud (Autores)	239
Figura 5.4 Eliminación de vegetación del talud (Autores)	240
Figura 5.5 Talud después de la limpieza y desbroce	240
Figura 5.6 Nivelación y perfilado del talud (Autores).....	241
Figura 5.7 Angulo de reposo del talud (Autores).....	241
Figura 5.8 Colocación de malla (Autores)	242

Figura 5.9 Colocación de malla parte superior del talud (Autores).....	243
Figura 5.10 Ubicación de varillas para anclar la malla (Autores)	243
Figura 5.11 Talud con la malla colocada y anclada (Autores).....	244
Figura 5.12 Cantidad de emulsión necesaria para la mezcla (Autores)	245
Figura 5.13 Elaboración de la mezcla in-situ (Autores).....	245
Figura 5.14 Colocación del mortero asfáltico en el talud (Autores)	246
Figura 5.15 Colocación de la segunda capa del mortero asfáltico	246
Figura 5.16 Colocación de la 3 capa de mortero asfáltico	247
Figura 5.17 Finalización de la ubicación del mortero asfáltico (Autores)	247

RESUMEN

El proyecto de la “Estabilización de taludes con mortero asfáltico”, tiene como finalidad incorporación de nuevas tecnologías para la estabilización de taludes que mediante recopilación, análisis y preparación de criterios de diseño con nuevos materiales como lo es la emulsión asfáltica (Slurry seal). Se pretende lograr una guía de análisis de los parámetros que se deben considerar al momento de verificar la estabilidad de un talud.

El uso de mortero asfáltico permite mejorar las características físico-mecánicas de los materiales constitutivos del talud .Se debe entender que la aplicación práctica de este estudio dependerá del conocimiento del comportamiento del sistema en estudio, así como también de la experiencia, pero especialmente, de los lineamientos, y políticas generales establecidas por la institución o enfoque que proyecte la obra potencial.

Este documento presenta detalladamente los procedimientos que debe realizarse para los ensayos de caracterización del material pétreo y de la emulsión asfáltica. Se presenta un análisis de los parámetros de diseño e indicando las conclusiones y recomendaciones obtenidas del proyecto.

Palabras clave:

ESTABILIZACIÓN DE TALUDES, MORTERO ÁSFALTICO, NORMAS ASTM, SLURRY SEAL, EMULSIÓN

ABSTRACT

The thesis project named "Slope stabilization with slurry seal", aims to incorporate new technologies in slope stabilization which by use of data collection, analysis and preparation may be able to design criteria with new materials such as the asphalt emulsion (slurry seal) and here by achieve a guide of the analysis of parameters that need to be considered while stability of a slope is evaluated.

The use of slurry seal improves the physical and mechanical characteristics of the materials constituting the slope. The practical application of this study depends on the knowledge of the behavior of the studied system under study, as well as experience, and particularly the guidelines and general policies established by the institution or the potential approach of the projected which should the work.

This paper presents in detail the procedures be followed for specified testing of stone material and asphalt emulsion, finally an analysis of the design parameters is presented as well as conclusions and recommendations of the project

Keywords:

SLOPE STABILIZATION, ASPHALT MORTAR, ASTM, SLURRY SEAL, EMULSION

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1.- Introducción.

Se conoce por talud a toda superficie de tierra inclinada con respecto a una horizontal fig. 1.1. Las estructuras de tierra que de manera permanente toma esta inclinación se dice que forma un talud.



Figura 1.1: Talud (www.ingeopres.es)

Se puede clasificar en dos grupos:

- Taludes naturales: se define como talud natural a cualquier superficie que tenga inclinación, en el cual no habido intervención humana y en donde están en curso proceso geológico tales como deformaciones tectónicas, meteorizaciones o incluso erosiones de cualquier tipo.

- Taludes artificiales: se llama talud artificial a cualquier superficie inclinada, en el cual para su ejecución y proceso ha sido necesario la intervención de mano del hombre

Partes de un talud:

Un talud en forma general constas de las siguientes partes nombradas (Soyao, 2004):

- Terreno de cimentación: es la horizontal sobre la cual se levantara el cuerpo del talud propiamente dicho.
- El talud: es la parte de nuestro estudio y que viene a ser la parte que tiene inclinación.
- Angulo del talud: es la inclinación que tiene éste respecto a la horizontal.
- Altura del talud: será la altura vertical de la masa de tierra.
- Cuerpo del talud: es la masa de tierra de forma inclinada que está conformando el talud.
- Corona del talud: es la parte más elevada en la cual prácticamente se termina la inclinación del talud.

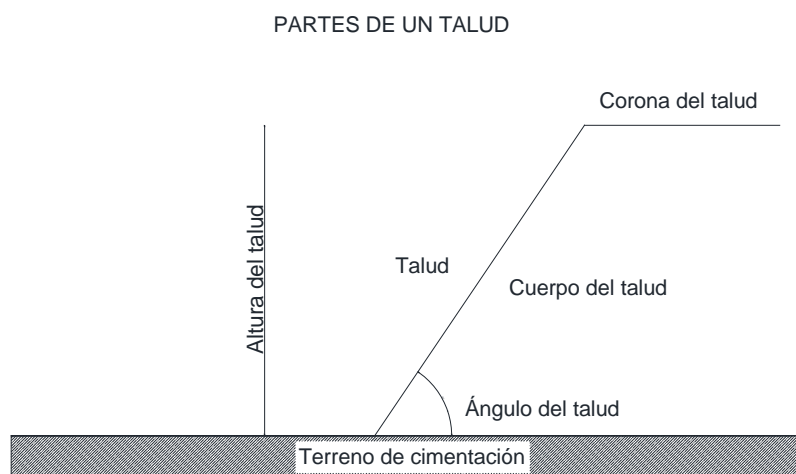


Figura 1.2 Partes del talud (SOYAO, 2004)

Los taludes constituyen una estructura compleja, razón por la cual, el tener un profundo conocimiento de mecánica de suelos, de criterios de la geología aplicada es de gran importancia en este estudio.

La estabilidad de un talud es la seguridad de la masa de tierra contra falla o movimiento.

El criterio principal que debe primar y al cual se debe hacer llegar, será necesariamente dar una solución adecuada definiendo un ángulo de inclinación justo para evitar el desplome del talud y así evitar riesgos básicos, verificar los esfuerzos necesarios para para que el talud se mantenga estable sin provocar derrumbes ni deslizamientos incluyendo a lo que se refiere estabilización del talud se verificará conjuntamente un nuevo sistema que se está planteando con el uso de emulsión asfáltica.

Cuando analizamos todos estos temas debemos tener presente factores como que el suelo sin aporte de vegetales, es inestable y puede erosionarse. Por esta razón, la eliminación de árboles, genera pérdida del soto bosque que se mantiene a expensa de aquellos y así ocurre la inestabilidad potencial.

Los taludes generalmente son estructuras que debe proyectarse y construir con una motivación esencialmente económica, dando como resultado el talud más escarpado posible pero que ofrezca las seguridades posibles.

Para realizar el estudio de la estabilización de taludes se puede empezar hacer una diferencia clara y precisa de conceptos, realizar una distinción en el tratamiento que requieren laderas naturales y artificiales; las diferencias que deberán tomarse en cuenta radican principalmente en la naturaleza de los materiales involucrados en el estudio, en la manera como se formó el talud en su historia geológica.

Esto genera una investigación de la formación y composición de los taludes, investigación de los esfuerzos a los que estuvieron y están sometidos, y que sufren grandes cambios por las condiciones climáticas; otro de los conceptos que se debe estudiar es la razón de la falla y determinar el tipo de falla que se está evaluando.

Desde el punto de vista de composición química, los asfaltos son mezclas complejas de hidrocarburos de alto peso molecular, con una notable

proporción de heteroátomos (Oxígeno, Azufre, Nitrógeno) y cierta cantidad de metales, tales como Vanadio y Níquel. Adicionalmente, la mayoría de los

Asfaltos muestran en su composición ciertas sales orgánicas solubles en la forma de microcristales. Todos estos constituyentes proporcionan las características físicas, reológicas, coloidales y de durabilidad en el asfalto. Desde el punto de vista estructural, se considera al asfalto como una sustancia coloidal compuesta de varias fracciones, siendo las principales los asfaltenos, los maltenos, las resinas, y los carbenos. Los asfaltenos son sustancias policíclicas de alto peso molecular (>5000), aglomeradas en forma de partículas sólidas y constituyen la fase coloidal dispersa en el asfalto. Se ha determinado que los asfaltenos son típicamente compuestos de hidrocarburos aromáticos con cadenas laterales parafínicas en grado variable, dependiente de la procedencia del crudo y las condiciones de elaboración del asfalto. Los asfaltenos pueden ser precipitados utilizando disolventes saturados y volátiles, tales como el "spirit" de petróleo IP (sulfonado y con rango de ebullición entre 60 y 80° C), n-pentano o n-heptano; son solubles en benceno, pero insolubles en hexano. La cantidad de asfaltenos precipitados, así como su naturaleza, puede variar dependiendo del tipo de solvente que se utilice. La parte no precipitada corresponde a los maltenos.

Los aceites (maltenos) representan los hidrocarburos de menor peso molecular, son líquidos a temperatura ambiente y constituyen la fase continua del sistema coloidal.

Los asfaltenos le confieren al asfalto la dureza y los maltenos le proporcionan las propiedades de adhesividad y ductilidad; las resinas y carbenos tienen influencia en la viscosidad, o propiedad de flujo del asfalto.

Las resinas son sustancias de consistencia semisólida o pastosa y un color más claro que los asfaltenos. Tienen un peso molecular más bajo que los asfaltenos (oscila entre el de los asfaltenos y el de los maltenos), están disueltas en el crudo y son parcialmente solubles en el hexano, pero insolubles en el propano. Constituyen el elemento que permite mantener la estabilidad del sistema coloidal al propiciar la interacción entre los asfaltenos y los maltenos. Cuanto mayor es el contenido de resinas, más dúctil y blando es el asfalto. Los carbenos son constituyentes de naturaleza muy aromática, y representan la pequeña parte insoluble en CS₂ sulfuro de carbono (en la cual el asfalto es prácticamente soluble).

Las características del asfalto dependen esencialmente de las proporciones relativas de sus constituyentes. A mayor proporción de asfaltenos, mayor dureza. Por oxidación al aire se pueden transformar las resinas y los maltenos en asfaltenos y por lo tanto aumentar la dureza.

Una emulsión asfáltica consiste de una dispersión de finas gotas de asfalto, estabilizadas en una fase acuosa, por la presencia de un agente emulsificante, obteniéndose un producto relativamente fluido. Pueden ser usadas sin adición de calor o de solventes, además, pueden ser bombeadas, almacenadas y aplicadas a temperaturas mucho más bajas que con otro tipo de utilización del asfalto. Básicamente, una emulsión está constituida por

asfalto, agua, un emulsificante, y en algunos casos, según los requerimientos, cierto tipo de aditivo.

Las emulsiones asfálticas, pueden ser utilizadas en una gran variedad de aplicaciones, desde la construcción, mantenimiento y pavimentación de carreteras y aeropuertos, hasta aquellas en las que el objetivo que se persigue es un cubrimiento que actúe como una capa protectora (ISSA, A 105); entre las más importantes se tiene:

- Fabricación de morteros asfálticos para impermeabilización.
- Impermeabilizaciones en automóviles, viviendas, y tableros de puentes.
- Construcción de carpetas de rodamiento.
- Control de erosión de suelos.
- Bacheos.
- Cubrimientos anticorrosivos de tuberías subterráneas.
- Riegos especiales de protección de taludes, canales, obras hidráulicas.
- Riegos de curado, de penetración y de imprimación.
- Estabilización de suelos, lechadas bituminosas, riegos de adherencia.
- Riegos antipolvo en la industria del carbón.

Se realiza la evaluación de la emulsión asfáltica siendo aplicada en el estudio de la estabilización que se irá desarrollando en la presente tesis.

1.2. Antecedentes

El acelerado crecimiento urbano que experimenta nuestro país en las últimas décadas implica el uso de suelos con alto grado de dificultad para construcción e incluso suelos que no son adecuados para ello por su baja resistencia, por su topografía, por su dificultad de acceso y por muchos otros factores en la actualidad se están considerando que puedan ser útiles en la construcción.

En todos estos casos el suelo ha tenido un alto impacto económico a causa de los procedimientos de estabilización que han debido seguirse para su conformación y uso. Por lo que, se impone el reto de asimilar, construir nuevos incluyendo cada vez más modernos métodos y técnicas de cálculo que relacionen la economía con la seguridad en cuanto a estabilización de taludes se refiere.

Podemos decir que por su complejidad en la naturaleza con ningún método de análisis, ni criterio de solución, puede ser considerado como suficiente.

El conocimiento más detallado posible del medio geológico, la geodinámica natural; las actividades, acciones antrópicas del pasado y del presente, medio en el cual se desarrolle el proyecto será suficiente.

En concordancia con lo mencionado, es conveniente hacer un enfoque que, aunque general, sirve para evaluar una parte importante de lo que constituye un estudio de los fenómenos de deslizamiento en función del origen e interacción natural de cada terreno, sometido a la acción antrópica.

Las vías de comunicación son de importancia vital para el desarrollo económico y social del país, sin embargo cuando existen desprendimientos de suelos sobre estas, se genera un grave problema y existe dificultad para solucionarlo provocando incluso consecuencias graves para lamentar en la sociedad.

El ejemplo más grave en Ecuador a causa de fenómenos naturales es el que se dio la noche del 5 de marzo de 1987, en el transcurso de tres horas ocurrieron dos grandes terremotos que causaron destrucción en la región de la Sierra y en la porción septentrional de las tierras bajas de Oriente.

En la región de Oriente, los terremotos causaron deslizamientos y derrumbes que desbordaron los ríos. Ambos fenómenos borraron del mapa a algunos poblados y granjas.

Las familias campesinas que trabajaban en las laderas donde ocurrieron los deslizamientos y las inundaciones sufrieron el mayor desquiciamiento en sus vidas. Por el cierre de las carreteras y los peligros del área de deslizamientos, fueron evacuadas de la región por un tiempo indeterminado. De 2000 a 3000 personas se fueron, probablemente a vivir con parientes en otros sitios, y unas 1000, se establecieron en campamentos de refugiados en las comunidades al sur de la zona de peligro. Tales damnificados quedaron así separados de sus casas y sus fuentes de ingresos, y casi todos vivieron en tiendas muchos meses después del desastre.

Como ocurrió con la región cercana a Colombia, hubo áreas donde se produjo muy poco daño físico, pero en las cuales la economía quedó afectada.

En particular, los habitantes de la porción septentrional de Oriente (70,000) durante muchos meses no pudieron llevar sus productos agrícolas al mercado a causa de la destrucción de los puentes y de la carretera, por los aludes.

Posiblemente lo más grave de los deslizamientos fue la destrucción de una parte del oleoducto transecuatoriano, que paralizó casi toda la producción de petróleo en Ecuador durante unos seis meses, e hizo que se perdiera más de la mitad de los ingresos por exportación. Por los problemas económicos surgidos a nivel nacional, cabría decir que el desastre afectó a todos los ecuatorianos.

Cada desastre plantea nuevas interrogantes y brinda oportunidades para investigación de los factores psicológicos, sociales y económicos que agravan o alivian los problemas emocionales entre los damnificados. (www.eird.org, 2012)

1.3. Justificación e importancia

La incorporación de nuevas tecnologías para la estabilización de taludes obliga a la inmediata recopilación, análisis y preparación de criterios de diseño con nuevos materiales como lo es la emulsión asfáltica.

Con la presente investigación se pretende lograr una guía de análisis de los parámetros que se deben considerar al momento de verificar la estabilidad de un talud.

Mediante este estudio se plantea una alternativa de solución para estabilizar taludes, considerando una nueva metodología mediante el uso de

mortero asfáltico que permite mejorar las características físico - mecánicas de los materiales constitutivos del talud

Se debe entender que la aplicación práctica de este estudio dependerá del conocimiento del comportamiento del sistema en estudio, así como también de la experiencia, pero especialmente, de los lineamientos, y políticas generales establecidas por la institución o enfoque que proyecte la obra.

1.4. Objetivo General del Proyecto

- Definir una metodología para estabilizar taludes a través del uso de mortero asfáltico.

1.5. Objetivos Específicos

- Caracterizar los materiales del mortero asfáltico de un talud tipo.
- Analizar los procedimientos de diseño en el talud tipo y establecer el factor de seguridad.
- Diseñar el mortero asfáltico para recubrir el talud.
- Interrelacionar las etapas de diseño, laboratorio y modelo de campo.

1.6. Alcance del Proyecto

- Realizar el muestreo del material del talud tipo.
- Ejecutar los ensayos respectivos en el laboratorio del material muestreado en el talud, basados en las normas ASTM.
- Analizar los resultados obtenidos de los ensayos en laboratorio.

- Caracterizar al agregado fino para el mortero, seguido de ensayos de diseño acorde a la metodología propuesta por la International Slurry Surfacing Association ISSA, para así establecer el diseño del mortero.
- Analizar los siguientes métodos de estabilidad de taludes: Método Taylor, método de Bishop y método de Bishop modificado.
- Desarrollar un análisis comparativo entre los métodos de estabilización de taludes considerados.
- Analizar la influencia del mortero asfáltico en la estabilidad de talud.
- Aplicar los resultados al modelo en campo.

1.7. Descripción Geográfica

Tiene aplicación a nivel local, regional y nacional en donde las poblaciones generalmente se ubican donde existe fenómenos naturales como derrumbes y deslizamientos debido a que es una guía de estudios para controlar e impedir los procesos geodinámicos producidos en el medio.

El sitio de aplicación se encuentra ubicado en el Distrito Metropolitano de Quito en la Parroquia de Pintag.

- Altura : 2651 msnm
- Zona: 17 M
- Coordenadas este: 789985.78 m
- Coordenadas Norte: 9963802.77 m
- El sitio de aplicación se encuentra a aproximadamente 8.80 km de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE, siguiendo la trocal de la sierra E35.

- *Instrucciones para llegar al sitio:*
- 1.- Desde el ingreso principal de la ESPE dirigirse al sur por la E35 aproximadamente 2.3 km (cerca de 2 minutos)
- 2.- En el redondel “El Colibrí” tomar la tercera salida en dirección a la E35 y continuar aproximadamente 6.6 km hasta el sitio de aplicación (cerca de 6 minuto), teniendo como referencia: el barrio CASHAPAMBA a 3.4 km, el PUENTE SOBRE EL RIO PITA a 4.2 km, la URB. ÁNGEL DE PIEDRA a 6.0 km, cuando se observe la estación de servicios ENERGYGAS 7.7 km, se ha llegado al sitio de aplicación a 8.80 km.



Figura 1.3 Ubicación del proyecto (Google Maps, 2014)

1.8.- Análisis de normas aplicables.

- Contenido de asfalto residual en la emulsión asfáltica: Norma ASTM D 244 – AASHTO T 59.
- Penetración del residuo de la emulsión: Normas ASTM D 2397 – AASHTO T 49.
- Viscosidad: Norma ASTM D 244.
- Asentamiento: Norma ASTM D 244.
- Prueba de rueda cargada: Norma ISSA TB 109
- Prueba de abrasión bajo agua: Norma ISSA TB 100
- Equivalente de Arena: Norma ASTM D 2419
- Pérdida por Abrasión de los agregados: Norma ASTM C 131 – AASHTO T 96 - INEN 860
- Granulometría: Norma ASTM C 136 - AASHTO T 27
- Azul de metileno de los agregados: Norma INV E – 235 – 07
- Prueba de cohesión en húmedo: Norma ASTM D3910
- Consistencia
- Tiempo de mezclado
- Porcentaje teórico de emulsión
- Determinación del contenido de humedad de suelos y rocas en masa : Norma ASTM D-2216 – 98
- La gravedad específica de los sólidos del suelo mediante un picnómetro de agua: Norma ASTM D854-02.
- Análisis granulométrico: Norma ASTM D422-63

- Limite líquido, limite plástico, índice de plasticidad en suelos: Norma ASTM D4318-00
- La resistencia a la compresión no consolidada no drenada de suelos cohesivos en compresión triaxial: Norma ASTM D2850-82.

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DE LAS FALLAS MAS COMUNES EN LOS TALUDES

2.1.- Introducción.

Las fallas de las masas de suelo, tienen una característica en común que es la existencia de movimiento de una gran porción a lo largo de una superficie; sin embargo es de mucha importancia diferenciar los tipos de fallas y clasificarlos, precisando distinguir las que afectan a laderas naturales o a taludes artificiales, este será el tema de discusión e indagación de este capítulo.



Figura 2.1 Falla de una masa de suelo
(www.vanguardia.com)

2.2.- Causas

Una falla ocurre cuando la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, es excedida por los esfuerzos cortantes que se producen en una superficie relativamente continua de la masa del suelo como se muestra en la figura 2.1. Indicándose la falla del suelo.

A continuación se explica los factores de los que dependen la estabilidad de los taludes, los factores que causan la inestabilidad de los mismos.

2.2.1.- Factores de los que depende la estabilidad

2.2.1.1. Factores geomorfológicos

- Topografía de los alrededores, y geometría del talud.
- Distribución de las estratificaciones del suelo.

2.2.1.2.- Factores internos

- Composición mineralógica, compactación, tamaño y forma de las partículas que forman el suelo.
- Estado de esfuerzos actuantes.
- Presencia de agua superficial y subterránea.

2.2.2.- Factores que causan la inestabilidad

2.2.2.1.- Factores que producen aumento de esfuerzos

- Cargas externas como: construcciones, granizo,
- Aumento del peso unitario del suelo, producido por el incremento del contenido de agua fig. 2.2.
- Aumento de presión de poros.



Figura 2.2 Falla por efecto del aumento de peso unitario del suelo
(www.elementos.buap.mx)

- Deformación y falla progresiva en suelo sensible
- Actividad sísmica.
- Vibraciones artificiales producidas por el tránsito de vehículos, vibraciones de equipos y maquinarias, detonaciones, etc.
- Expansión de las arcillas por absorción de agua fig. 2.3.



Figura 2.3 Expansión de las arcillas por absorción de agua
(www.laopinion.com.co)

2.3.- Fallas que afectan a las laderas naturales

2.3.1.- Deslizamiento superficial

Deslizamiento superficial es un proceso de ruptura de una ladera natural a lo largo de una o más superficies continuas, su movimiento puede ser lento o moderadamente rápido, la superficie de ruptura de un deslizamiento superficial puede situarse entre 1 a 2 metros de profundidad y suele producir una transición brusca entre la parte superficial móvil y las masas no móviles más profundas.

Cualquier talud está sujeto a fuerzas naturales que tienden a hacer que las partículas y porciones del suelo próximas a su frontera deslicen hacia abajo; el fenómeno es más intenso cerca de la superficie inclinada del talud a causa de la falta de presión normal confinante que allí existe.

El creep suele involucrar a grandes áreas y el movimiento superficial (fig. 2.4) se produce sin una transición brusca entre la parte superficial móvil y las masas inmóviles más profundas. No se puede hablar de una superficie de deslizamiento.

Por lo general la velocidad del movimiento de un deslizamiento superficial es muy baja y pocas veces es de algunos centímetros por año.



Figura 2.4 Deslizamiento superficial

2.3.1.1.- Causas

Este tipo de deslizamiento es el resultado de una combinación de las acciones de las fuerzas motoras del deslizamiento, tales como el viento, agua subterránea, cavernas, etc.

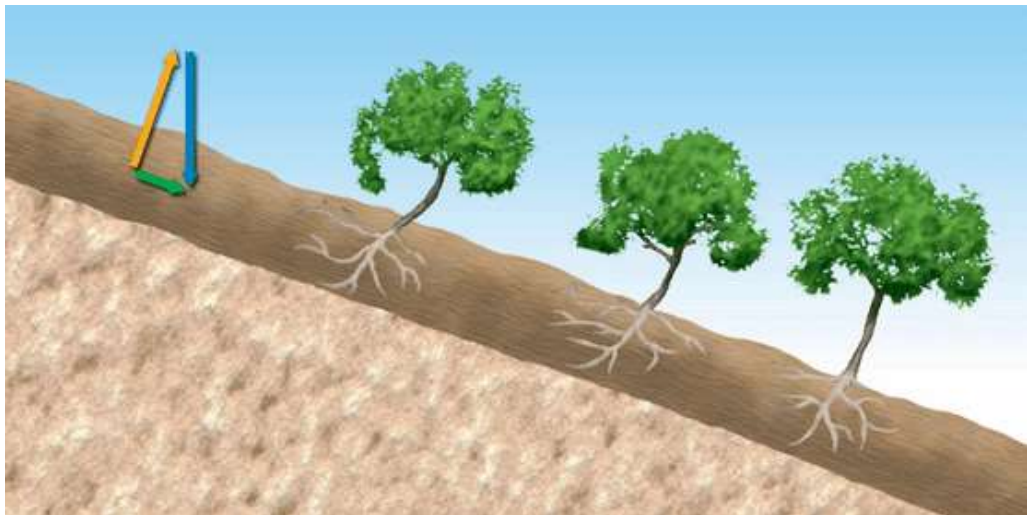


Figura 2.5 Deslizamiento superficial del terreno (www.madrimasd.org)

2.3.1.2.- Localización de un deslizamiento superficial

La localización de un deslizamiento superficial se puede determinar, por observaciones de los signos exteriores, así como:

- Cuando se observe una inclinación de los árboles o postes, los que adoptan una posición perpendicular a talud, en lugar de conservar la su natural posición, esta inclinación se debe a que la velocidad de movimiento de la ladera, es máxima en la superficie y va disminuyendo hacia el interior.
- La presencia de agrietamientos, escalonamientos, roturas de muros; fenómenos que serán a consecuencia de todas las heterogeneidades que existen en la superficie de las laderas, y que al producirse el movimiento saldrían al flote.

2.3.1.3.- Tipos de deslizamientos superficiales:

Se puede distinguir dos clases de deslizamientos el estacional y el masivo.

Estacional: se puede decir que este deslizamiento existe siempre, ya sea en mayor o menor grado y que también este sujeto a las distintas épocas del año. Lo cual producirá expansiones y contracciones térmicas, que afectaran tan solo a la corteza superficial de las laderas, siendo el espesor máximo de un metro de profundidad.

Masivo: este se manifiesta por movimientos constantes, en forma lenta, ladera abajo. Aunque no estén claras las causas por las que se producen estas falla, sin embargo se lo atribuye al efecto gravitacional.

2.3.2.- Flujos

Este tipo de falla se refiere a movimientos rápidos de una parte de la ladera natural, de tal manera que el movimiento en sí y la distribución aparente de velocidades y desplazamientos se asemeja al comportamiento de un líquido viscoso.

La superficie de deslizamiento no es distinguible o se desarrolla durante un lapso breve. Es también frecuente que la zona de contacto entre la parte móvil y las masas fijas de la ladera sea una zona de flujo plástico.

El material susceptible de fluir puede ser cualquier formación no consolidada, y así el fenómeno puede presentarse en fragmentos de roca, depósitos de talud, suelos granulares finos o arcillas francas; también son frecuentes los flujos en lodo.

El flujo en materiales relativamente secos comprende en primer lugar a los fragmentos de roca, desde los muy rápidos (avalancha) hasta los que ocurren lentamente. Afecta a grandes masas de fragmentos y suelen ser de catastróficas consecuencias. En segundo lugar se puede encontrar deslizamientos producidos por la licuación de la estructura de los loess², asociado muchas veces a temblores.

2.3.2.1.- Clasificación

2.3.2.1.1.- Flujos en materiales secos:

Se presentan en suelos granulares, necesariamente para que exista este tipo de flujo debe existir un depósito de gran espesor y con volúmenes considerables.

Un factor que tiene mucha influencia en este tipo de flujo es el aire comprimido bajo fuertes presiones, que se encuentra entre los fragmentos, otro factor son los sismos, ya que causan una acelerada destrucción de las estructuras como se indica en la fig. 2.6 el área de flechas afectada.



Figura 2.6 Flujos de materiales secos (www.scielo.org.ve)

2.3.2.1.2.- Flujos en materiales húmedos:

Es inevitable que el suelo contenga una cierta cantidad apreciable de agua, la misma que es determinante en la formación y desarrollo de esta falla.

Los flujos de materiales húmedos dependen de la cantidad de agua que contiene el suelo, se pueden clasificar en flujos de tierra y flujos de lodo (fig. 2.7)

- Flujos de tierra: este ocurre muy independientemente de cualquier tipo de deslizamiento interior, pero generalmente la falla aumenta significativamente en la cantidad de agua que contiene y a la presión existente en el agua.

- Flujos de lodo: el deslizamiento ocurre en materiales finos con muy alto contenido de agua. La forma típica del deslizamiento es análoga al avance de un glaciar y la velocidad de desplazamiento puede variar desde unos pocos centímetros por año hasta la correspondiente a deslizamientos catastróficos.
- En los flujos lentos es común que en la velocidad del movimiento influyan las variaciones estacionales del clima, en tanto que los flujos rápidos suelen seguir épocas de violenta precipitación pluvial.

Los flujos de lodo muy rápidos se presentan muchas veces en laderas de las que se ha removido la cobertura vegetal por alguna razón comenzando en muy modestas proporciones y creciendo rápidamente transportando el suelo sobre el que pasa, formándose auténticos ríos de lodo.



Figura 2.7 Flujos en materiales húmedos (www.wikipedia.org)

2.4.- Fallas que afectan a taludes artificiales

2.4.1.- Fallas rotacionales



Figura 2.8 Falla rotacional en un talud artificial (smpmanizales.blogspot.es)

Se define una superficie de falla curva, a lo largo de la cual ocurre el movimiento del talud por lo general influye la secuencia geológica local, el perfil estratigráfico y la naturaleza de los materiales. Estas fallas son llamadas de rotación así se puede observar este tipo de falla en la fotografía 2.8.

Este tipo de fallas se presentan en materiales arcillosos homogéneos, Son movimientos rápidos que tienen una naturaleza rotacional alrededor de un eje dispuesto paralelamente al talud y que afecta a masas profundas del mismo, el deslizamiento se produce a lo largo de la superficie de falla circular y cóncava que se forma en la parte interna del cuerpo del talud y se genera cuando los esfuerzos cortantes sobrepasa la resistencia del material.

2.4.1.1.- Tipos de fallas rotacionales

La salida de las superficies sobre las cuales se produce la rotura se puede originar en tres diferentes partes del talud según sea el material del cual está constituido el mismo, su altura e inclinación se genera en materiales arcillosos homogéneos.

a) Superficie de rotura de talud: si la superficie de rotura corta al talud por encima de su pie

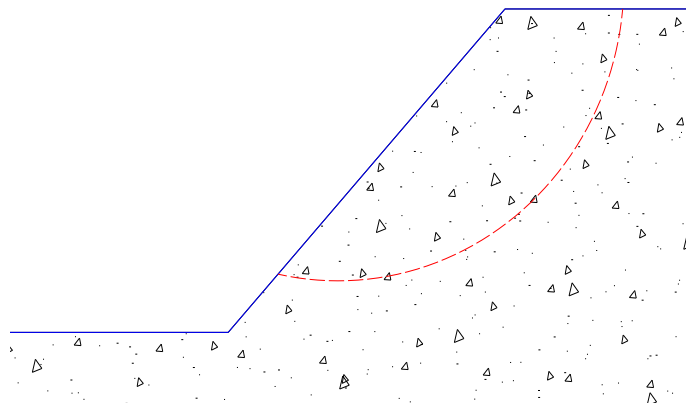


Figura 2.9 Superficie de rotura de talud (Autores)

b) superficie de rotura de pie: cuando la salida se produce por el pie del talud y queda por encima de la base de dicho talud (fig. 2.10).

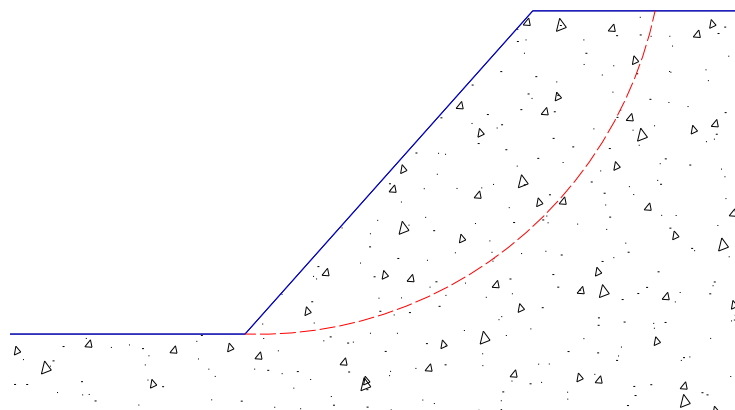


Figura 2.10 Superficie de rotura de talud (Autores)

c) superficie de rotura de base: si la superficie de rotura pasa bajo el pie del talud con salida en la base del mismo y alejada del pie (fig.2.11).

En la superficie del terreno suelen aparecer grietas concéntricas y cóncavas hacia la dirección del movimiento, con un escarpe en su parte alta.

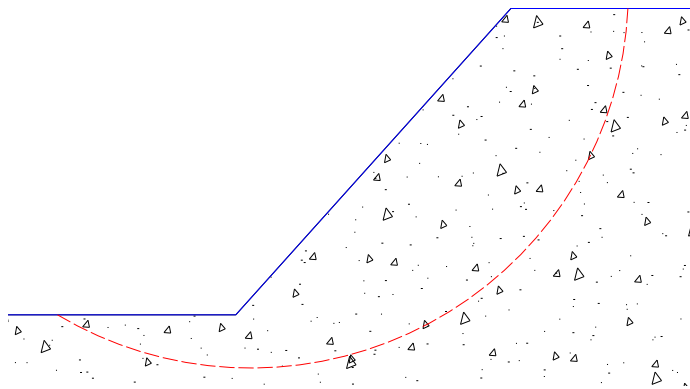


Figura 2.11 Superficie de rotura de base (Autores)

2.4.2.- Fallas traslacionales



Figura 2.12 Falla traslacional en talud artificial (www.puertae.blogspot.com)

En este tipo de fallas la masa de terreno se desplaza hacia afuera y abajo, a lo largo de una superficie plana o suavemente ondulada, con pequeños movimientos de rotación comúnmente el movimiento de la masa deslizada hace que ésta quede sobre la superficie original del terreno, está asociada a la presencia de estratos poco resistentes localizados a poca profundidad del talud, la (fig. 2.12) representa el tipo de falla traslacional que se ha generado en una vía principal.

La superficie de falla se desarrolla en forma paralela al estrato débil y se remata en sus extremos con superficies curvas de llegan al exterior formando agrietamientos. Los estratos débiles que favorecen estas fallas son por lo general arcillas blandas o arenas finas o limos no plásticos sueltos.

2.4.2.1.- Tipos de fallas traslacionales:

- Fallas de material en bloque: son las que están ligadas a discontinuidades y fracturas de los materiales que forman un corte (fig.2.13).



Figura 2.13 Falla por bloque (www.ingeroc.com)

- Fallas de franja superficial: producidas por la meteorización de las formaciones originales de sobrecarga impuesta en terraplenes construido sobre la ladera (fig. 2.14).



Figura 2.14 Falla de franja (www.wikipedia.org)

2.4.3.- Fallas con superficie compuesta

Estas fallas combinan la rotación y la traslación y por lo tanto se desarrolla a la vez en zonas planas con tramos curvos asimilables arcos totalmente circulares.

Estas superficies están predeterminadas por las heterogeneidades dentro del talud y para clasificar estas fallas dentro de las fallas rotacionales o traslacionales, se realizará por la importancia de las partes circulares o de las partes planas y se quedaran dentro de las fallas compuestas.

Cuanto menor sea la profundidad a las que la heterogeneidad aparezca mejor será la componente de traslación de la falla.

Este tipo de fallas generan distorsión de los materiales.

2.4.4.- Fallas múltiples

Son las que generan varias superficies de deslizamientos ya sea su formación por simultaneidad o por sucesión.

2.4.4.1.- Tipos de fallas múltiples

2.4.4.1.1.- Regresivas:

Se forma a partir de una primera, por la inestabilidad en la que sucesivamente van quedando las zonas de cabeza de cada falla que se forma, todas las superficies de falla concurrirán a una fundamental (fig. 2.15)

Estas pueden ser rotacionales o traslacionales.

Las rotacionales regresivas se generan cuando existe excesiva erosión

Las traslacionales regresivas ocurren en capas superficiales y cuanto más cohesivo sea el material menos unidades tienden a formarse en la masa deslizante.



Figura 2.15 Falla regresiva
(www.pdv.com)

2.4.4.1.2.-Sucesivas:

Son un conjunto de deslizamientos rotacionales superficiales son características de las últimas etapas de degradación en laderas de arcillas sobre consolidadas o fisuradas (fig. 2.16).



Figura 2.16 Fallas sucesivas (www.wikipedia.org)

2.4.4.1.3.-Fallas por licuefacción:

Estas fallas ocurren cuando en la zona del deslizamiento el suelo pasa rápidamente de una condición firme a la correspondiente a una suspensión, con pérdida casi total de resistencia al esfuerzo cortante.

La pérdida de la resistencia al esfuerzo cortante será causada por el incremento de los esfuerzos cortantes actuantes, por el desarrollo correspondiente de la presión de poros o por el desarrollo rápido de elevadas presiones en el agua.

Estas fallas ocurren en arcillas extra sensitivas y arenas poco compactas, las cuales, al ser perturbadas, pasan rápidamente de una condición estable o una suspensión

2.4.5.- Otros tipos de fallas

Fallas que no dependen exclusivamente de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, sino más bien por factores

2.4.5.1.- Erosión

El movimiento del agua puede provocar la ruina de los taludes y de las estructuras que dependen de ellos, bien mediante erosión externa degradando su geometría, bien mediante erosión interna arrastrando materiales y provocando asentamientos o hundimientos locales.

Ambos procesos pueden ser considerados como causantes de un estado límite último de colapso progresivo, ya que pueden provocar la pérdida de equilibrio del propio talud o de estructuras próximas.

Estas son provocadas por arrastres de viento, agua, etc., en los taludes. El fenómeno es tanto más notorio cuando más empinadas sean las laderas de los taludes. Una manifestación típica del fenómeno suele ser la aparición de irregularidades en el talud, originalmente uniforme. Desde el punto de vista teórico esta falla suele ser imposible de cuantificar detalladamente, pero la experiencia ha proporcionado normas que la atenúan grandemente si se las aplica con cuidado.

2.4.5.2.- Tubificación

No son fallas frecuentes en las vías terrestres, pero han sido causa de mayor número de problemas de lo que usualmente se estima.

La situación típica que expone un terraplén a la Tubificación es que por algún motivo el terraplén retenga agua durante un lapso considerable, suficiente para que se establezca un flujo a través del mismo (fig.2.17).

Que el terraplén acumule agua es, sin duda, una condición que se presenta con relativa frecuencia, sin embargo, es muy raro que el terraplén de una vía terrestre quede durante mucho tiempo expuesto a la acción de agua en sus dos taludes, con tirante diferente y desnivel importante de manera que pueda establecerse un flujo con gradiente hidráulico suficientemente alto para generar problemas de Tubificación.

La tubificación empieza cuando hay un arrastre de partícula de suelo en el interior de la masa por efecto de las fuerzas erosivas generadas por el flujo de agua. Una vez que las partículas empiezan a ser removidas van quedando en el suelo pequeños canales, por los que el agua circula a mayor velocidad, con mayor poder de arrastre, de manera que el fenómeno de la tubificación tiende a crecer continuamente una vez que comienza, aumentando siempre el diámetro de los canales que se va formando en el interior del terraplén.

El límite del fenómeno es el colapso del bordo, al quedarse este surcado por huecos de diámetro suficiente para afectar la estabilidad por disminución de sección resistente.

Un factor que contribuye a la tubificación es la insuficiencia de compactación en el terraplén, esta insuficiencia de compactación es común en la cercanía de muros o superficies rígidas tales como los ductos o alcantarillas.



Figura 2.17 Falla por tubificación (www.monografias.com)

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS DAÑOS QUE SE PRODUCEN POR LA INESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS OBRAS INGENIERÍA CIVIL, CENTROS POBLADOS Y EN ZONA RURALES Y URBANAS

3.1.- Introducción

Los problemas de inestabilidad de taludes se cuentan entre los peligros naturales más destructivos planeta, lo cual representa una de las mayores amenazas para la vida y bienes materiales de la población. Derrumbes, deslizamientos, flujos y movimientos complejos ocurren día con día alrededor del mundo.

Cada año estos desastres ocasionan numerosas víctimas, heridos y damnificados, así como cuantiosas pérdidas económicas. El impacto que este tipo de peligros provoca es de mayor magnitud en países de escasos recursos debido a su alto grado de vulnerabilidad. Para prevenir futuros desastres asociados a inestabilidad de taludes, es de suma importancia que todos los miembros de la población conozcan este fenómeno y se mantengan atentos a las manifestaciones que lo preceden y los factores que lo generan.

Entre las actividades humanas que pueden desencadenar problemas de inestabilidad se pueden contar:

- Construcción que involucran cambios en la pendiente natural del terreno y que alteran el régimen natural de escurrimiento del agua superficial y subterránea como se observa en la figura 3.1.



Figura 3.1 Cambios en la pendiente natural (www.elcomercio.com)

- Cambios en la pendiente natural del terreno, resultantes de la construcción de terrazas para uso agrícola observar figura 3.2.



Figura 3.2 Alteraciones del escurrimiento (es.wikipedia.org)

- Deforestación



Figura 3.3 Deforestación (www.wikipedia.org, Wikipedia)

- Actividad minera



Figura 3.4 Explotación de la cantera Tanlahua (FLACSO-ECUADOR, 2012)

Si las actividades humanas no se realizan de forma adecuada y las instalaciones no se diseñan y construyen apropiadamente, pueden incrementar el ángulo de inclinación original del talud, reducir el apoyo lateral o al pie del mismo, o sobrecargar la parte alta de un talud potencialmente inestable.

Los cambios en las actividades de riego para agricultura, o variaciones en los volúmenes de escurrimientos, producto de lluvias extraordinarias pueden causar cambios en las condiciones naturales de drenaje del terreno, incrementando la erosión, elevando el nivel original del agua subterránea.

La presencia de una población instalada en forma irregular sobre una ladera puede alterar las condiciones de escurrimiento e infiltración de agua, al no contar con obras de abastecimiento de agua potable y drenaje apropiadas.

En el estudio y manejo de los deslizamientos conviene tener presente que éstos son el resultado de procesos naturales en los que ocasionalmente interviene el hombre cuya acción puede constituir el detonante que los desencadene. Los deslizamientos de mayor magnitud están asociados a sismos, tormentas y erupciones volcánicas en los que la acción del hombre se reduce en el mejor de los casos a predecir y ajustarse al curso de los acontecimientos. Otros deslizamientos de menor magnitud pueden ser desencadenados y controlados por la acción humana, particularmente los asociados a la construcción de obras de infraestructura.

La concentración de población define una alta exposición o vulnerabilidad a los procesos de deslizamiento y condiciones de riesgo, dicha vulnerabilidad puede calificarse como alto para el sistema vial, de medio a alto para los asentamientos humanos, y bajo para las explotaciones agropecuarias, si se considera las condiciones generales de localización y el grado de intervención humana en el medio. Los deslizamientos afectan áreas extensas en las que la alteración del medio tiene impactos negativos sobre la población, la fauna y la flora durante largos intervalos de tiempo debido a los sedimentos que resultan de la movilización de grandes masas de suelo que destruyen la vegetación y aumentan el contenido de sólidos en suspensión en el agua de los ríos y lagos.

La pérdida de vidas humanas y los heridos es una consecuencia frecuente de los deslizamientos y constituyen un impacto difícil de evaluar más allá de los datos y estimativos de las instituciones de gestión de riesgos del país.

La construcción de obras de infraestructura y de nuevos asentamientos humanos en ambientes de laderas puede desencadenar procesos de erosión en masa cuyos efectos llegan a tener un costo tal, que en ocasiones supera el de las obras construidas; es muy difícil de establecer la responsabilidad legal por los daños debidos a un deslizamiento.

Existen múltiples desastres en muchos países, incluyendo el nuestro, la prevención de estos desastres depende de los conocimientos y acciones que puedan tomar no sólo las autoridades de Protección Civil, sino también los habitantes de las comunidades propensas a este tipo de peligro natural.

Es importante que conozcamos cuáles son las causas de estos movimientos, cómo nos pueden afectar y cuáles son las acciones que debemos tomar antes, durante y después de su ocurrencia con la finalidad de mitigar y prevenir consecuencias desastrosas.

3.2.- Problemas de alto grado de afectación

El problema de la estabilidad de taludes debe ser considerado y tiene mucha relación con los campos de la actividad humana, costos y la parte de Ingeniería Civil.

El factor económico no sólo se refiere a las pérdidas materiales de los habitantes, a la destrucción de obras de ingeniería, destrucción de viviendas, pérdida de cultivos y tierras laborables, destrucción e interrupción de vías de comunicación; sino también a los costos de reconstrucción, rehabilitación y mantenimiento de todo lo que fue afectado.

Los costos sociales y económicos de la inestabilidad de taludes son siempre elevados y pocas veces es posible cuantificarlos globalmente dada

la forma amplia y desigual como se distribuyen en el tiempo y el espacio, si se consideran los costos totales de los efectos de la inestabilidad de taludes, se encuentra que los costos directos de estabilización, que normalmente son pagados por el estado, son apenas una fracción menor del costo total asociado a su ocurrencia, la reparación y la mitigación de sus efectos.

3.2.1.- Los problemas de afectación.

Independientemente de su clasificación y de quién los cubra de manera inmediata, todos los costos que resultan de los procesos de erosión en masa son reales y terminan por ser pagados por el conjunto de la sociedad. La cuantificación de los costos asociados a la pérdida de vidas humanas debe hacerse mediante cálculos actuariales. Los costos asociados a los heridos que resultan en estos eventos deben asimilarse a las incapacidades liquidadas según la actividad económica de cada uno de ellos.

Mendoza & Cortés (2000) proponen una metodología para la obtención de información de costos por inestabilidad del terreno en la que consideran los siguientes items:

3.2.1.1.- Costos Públicos

Afectaciones directas

1. Construcción de variantes
2. Reconstrucción y mantenimiento de vías
3. Obras de estabilización (movimientos de tierra, enrocados y terraplenes de contrapeso, estructuras de contención, drenaje superficial y profundo, revegetalización)

4. Daños al medio ambiente dentro de los límites del área inestable.

Afectaciones indirectas

1. Obras de reparación y mantenimiento de obras de infraestructura (acueductos, redes de servicios públicos)

2. Reubicación de asentamientos humanos

3. Disminución de recaudos de impuesto predial por desaparición o desvalorización de predios

4. Daños al medio ambiente por fuera de los límites del área inestable.

3.2.1.2.- Costos privados

Afectaciones directas

1. Costo actuarial por personas muertas, heridas, incapacitadas.

2. Pérdidas por interrupción del tráfico en la vía (incremento del costo de operación de vehículos, pérdidas en las actividades agropecuarias, industriales, comerciales, turísticas)

3. Costos de daños y reparaciones en propiedades dentro del área inestable.

4. Desvalorización de propiedades

5. Afectaciones en el uso del suelo dentro del área inestable

Afectaciones indirectas

1. Desvalorización de propiedades por eventos secundarios asociados a los procesos de inestabilidad

2. Costos de daños y reparaciones a propiedades afectadas por eventos secundarios asociados a los procesos de inestabilidad
3. Pérdidas de producción agropecuaria, industrial, comercial y turística como consecuencia de los daños de la infraestructura
4. Afectaciones en el uso del suelo por fuera del área inestable.

3.3.- Consecuencias que provocan estos fenómenos

3.3.1.- Problemas De Origen Natural



Figura 3.5 Fenómenos que ocurren en los taludes (Autores)

En el análisis de la estabilidad de taludes es preciso partir de un hecho comúnmente olvidado por los constructores y es que los procesos de deslizamiento son fenómenos naturales que ocurren independientemente de la acción humana como se muestra en la figura 3.5. Los deslizamientos son procesos geológicos en los que el hombre es apenas uno de los factores y en modo alguno el más importante; los deslizamientos han ocurrido a lo

largo de la historia geológica, la mayor parte de ellos aún antes de la aparición del hombre sobre la tierra.

Las enormes secuencias de rocas sedimentarias que datan desde las primeras eras geológicas son una evidencia de que los procesos de deslizamientos erosivos han estado activos durante toda la historia natural y que el hombre no es un elemento necesario para desencadenarlos.

Los efectos de la acción directa del hombre sobre el medio ambiente tienen una menor magnitud que la de los deslizamientos de origen natural que habitualmente han dejado incomunicadas y cubiertas extensas regiones con un enorme saldo de pérdida de vidas humanas. Sin embargo, la acción del hombre sobre el medio físico incide de manera directa sobre la estabilidad de las laderas y taludes, como un detonante de los procesos que, en condiciones naturales, podrían no presentarse o que demorarían un tiempo considerable en hacerlo.

En las últimas décadas se ha generado en el territorio ecuatoriano una serie de deslizamientos de origen natural de gran magnitud y gran extensión.

Estos eventos fueron en ocasiones catastróficos; es decir, su carácter destructivo causó desequilibrios socioeconómicos y ambientales muy graves. Adicionalmente, la aparición de una gran cantidad de eventos menores que tuvieron impactos menos catastróficos revela que el Ecuador, tiene un conjunto de características físicas que condicionan la ocurrencia de deslizamientos, entre ellas:

- Precipitaciones pluviométricas abundantes y/o con intensidad elevada.

- Sucesión de estaciones secas y lluviosas.
- Pendientes empinadas y de gran extensión.
- Formaciones geológicas sensibles.
- Zona de subducción de la placa de Nazca con la placa Sudamericana (una de las más activas del mundo)

3.3.2.-Problemas por intervención humana

Modificación del relieve de las laderas y cauces.- Las laderas de barrancas han sido modificadas para la construcción de terrazas, en las que se ubican las viviendas. En muchos de los casos, dichas modificaciones dan como resultado la presencia de zonas inestables que van erosionándose y/o sobresaturándose de humedad ante la falta de una cubierta vegetal que las sostenga y como consecuencia se da su deslizamiento y/o desprendimiento que acarrear consigo material que se deposita sobre viviendas o bien el derrumbe de las mismas cuando se ubican sobre dichos taludes inestables como se observa en la figura 3.6. Las socavaciones o presencia de cavidades en taludes o laderas son también parte importante en la debilitación del terreno. Dichos efectos son resultado de la erosión del paso del agua o bien la acción mecánica del viento o de actos humanos.



Figura 3.6 Zona inestable en erosión
(Autores)

Alteración y eliminación de la comunidad vegetal original.- Las construcciones de las viviendas en barrancas o suelo de conservación modifica en muchos casos la fisonomía vegetal de dichas áreas por lo que la vegetación original fue eliminada.

La pérdida de la cobertura vegetal propicia la desaparición de las capas de aire aislantes debajo del estrato arbóreo, incrementándose las diferencias de temperatura en la superficie del suelo, debido al calentamiento directo en el día y el enfriamiento rápido durante la noche por la pérdida de energía por radiación.

Tanto los casos que modifican el relieve de las laderas y cauces, como la eliminación de la comunidad vegetal original, da como resultados la modificación en las topofomas originales. Lo anterior tiene un fuerte efecto en la distribución y tipos de la fauna del lugar, así como la fragmentación del

uso de suelo, modificación de las áreas de recarga del acuífero y pérdida de bienes y servicios ambientales.

Descarga de aguas residuales. Como se mencionó anteriormente, muchos de los asentamientos humanos no cuentan con los servicios indispensables como la presencia de drenajes, por lo que las descargas se realizan, hacia las laderas o cauces. Lo anterior trae como consecuencia la contaminación de los afluentes de los ríos que pasan por dichas zonas, los cuales para su utilización deben ser tratadas, teniendo un costo económico alto.

Sobreexplotación de los mantos acuíferos y alteración del ciclo hidrológico de la cuenca.- Ocasiona la pérdida de humedad en el estrato orgánico necesario para los procesos productivos. En este sentido, se estima que por cada metro cuadrado que se pavimenta se dejan de captar 1,600 litros de agua (equivalente a 1.6 m³) anualmente.

Degradación del paisaje. La contaminación visual, considerada como el cambio o desequilibrio en el paisaje, ya sea natural o artificial, que afecta las condiciones de vida y las funciones vitales de los seres vivos, se manifiesta en las áreas de estudio como una afectación en la gente que vive en la zona con cambios drásticos en un paisaje menos agradable a la vista (viviendas, basura, etc.), que ocasiona una sensación de ansiedad y molestia a las personas que lo ven.

La modificación del medio natural con explanaciones, terraplenes y rellenos, la construcción de embalses y las desviaciones de corrientes, la construcción de túneles y la operación de aprovechamientos hidráulicos y las

obras de urbanización, conducen a la desestabilización de terreno. La acción irresponsable del hombre, puede desencadenar procesos de falla del suelo que lleguen a enterrar los proyectos de ingeniería terminados y en construcción poniendo en gran riesgo a las personas y a la actividad económica del país ver la explicación en la figura 3.7.



Figura 3.7 Componentes de la amenaza por deslizamiento sobre una comunidad (Autores)

La estabilidad de los terrenos por nuevas urbanizaciones es un aspecto que tiene un interés creciente debido a la ocupación cada vez más frecuente de zonas que pueden considerarse residuales en las ciudades.

La ocupación de las laderas introduce modificaciones en los estados de esfuerzos en el suelo que pueden desencadenar movimientos en masa que deterioran y desvalorizan las edificaciones e incluso pueden destruirlas, con grandes pérdidas, en todos los casos, para los propietarios que a su vez, reclamaran a los promotores de los proyectos.

Cuando la construcción de terraplenes y por lo tanto la constitución de taludes hace parte de las obras de urbanismo se incrementa la probabilidad

de que ocurran serios daños en las redes de servicios públicos, debido a los asentamientos y deformaciones que sufre el suelo producto de la sobrecarga, desencadenando procesos de falla en masa en los terrenos aledaños. Una explanación ejecutada de manera inconsulta, puede generar deslizamientos no solo de los taludes formados por la explanación misma sino movimientos de masa mayores que afecten áreas extensas y estructuras valiosas. En obras lineales, como las carreteras, la probabilidad de desencadenar deslizamientos u otros tipos de movimientos en masa es muy grande. Y aunque exista la creencia, que es más económico retirar los escombros de los deslizamientos que diseñar, construir y proteger adecuadamente los taludes de las carreteras, no existe una evaluación cuantitativa que permita sustentar esta opinión. Por el contrario, podría asegurarse que el costo total de los daños por deslizamientos sobre la red vial nacional, incluidos los perjuicios sobre la actividad económica de la población, supera con mucho el presupuesto de inversión en vialidad.

3.4.- Impacto ambiental dentro de los poblados

Para determinar si los métodos de construcción de un proyecto de ingeniería y los trabajos complementarios que implica, como la estabilización de taludes; producen impacto ambiental sobre una población hay que tomar en cuenta si presentan un riesgo para la salud de la población adyacente, debido a la cantidad y calidad de los efluentes, emisiones o residuos, además establecer si pueden producir efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, el agua y el aire; estas consideraciones se deben ser tomadas en cuenta en

las primeras fases de diseño. Si se las considera una vez que el proyecto técnico ha sido completamente desarrollado, cualquier incremento a los presupuestos proyectados por efecto de desembolsos adicionales destinados a la mitigación del impacto ambiental estará totalmente limitado.

Para la estabilización de taludes con mortero asfáltico el principal insumo que se usará será la emulsión asfáltica que es un producto amigable con el medio ambiente constituyéndose en un producto apto desde el punto de vista ecológico.

Las emulsiones asfálticas la mayoría de los casos se pueden utilizar sin calentamiento alguno y no requieren solventes de petróleo para su fluidificación, al mismo tiempo pueden recubrir la superficie de los agregados húmedos reduciendo la necesidad de combustible para calentar y secar los agregados; de manera que se evita la contaminación ambiental, porque las emisiones de productos hidrocarbonados son nulas o muy pequeñas.

3.4.1.- Las emulsiones asfálticas desde el punto de vista energético

Las emulsiones representan un gran ahorro de energía tanto en su elaboración como en su empleo. Para elaborarlas requieren solo el 5% de la energía utilizada para elaborar diluidos asfálticos. Durante su utilización se ahorra energía ya que, presentan la ventaja de poder trabajar con materiales húmedos y fríos, no consumen energía que pueda contaminar el medio ambiente siendo totalmente compatibles con el mismo.

3.4.2.- Las emulsiones asfálticas desde el punto de vista residual

Las emulsiones asfálticas reducen la utilización de solventes derivados del petróleo, no contienen ningún contaminante, no emiten vapores tóxicos, no dejan residuos líquidos tóxicos además reducen la polución de la atmósfera ya que poseen una nula o mínima emisión de hidrocarburos

Generalmente, se trabajan a temperatura ambiente por lo que no requieren calentamiento ni para su manipulación ni para su empleo en obra disminuyendo los riesgos de quemaduras en los operarios. Además, como el medio dispersante es agua las emulsiones no son inflamables ni emanan vapores de hidrocarburo a la atmósfera.

3.5.- Obras de ingeniería civil más perjudicadas.



Figura 3.8 Devastación de poblaciones y construcciones Ecuador (www.agua.gob.ec)

Varias zonas en el Ecuador son susceptibles de sufrir eventos de remoción en masa de importantes características como se observa en la figura 3.8. Un análisis de los acontecimientos más importantes ocurridos en

el Ecuador nos permitirá determinar las afectaciones que han sufrido las obras de ingeniería civil ante estos fenómenos.

3.5.1.- Deslizamiento de La Josefina - 1993



Figura 3. 9 Deslizamiento la Josefina (www.elcomercio.com)

La noche del 29 de marzo de 1993, un deslizamiento de más de 200 millones de metros cúbicos de tierra del cerro Tamuga, sector de La Josefina en la provincia del Azuay, transformó la geografía de este lugar del país. El movimiento formó un área inestable de 1.1 Km². El volumen movilizado ha sido estimado entre 20 millones de m³ (Plaza y Egüez, 1993) y 40 millones de m³ (James, 1993).

El deslizamiento parece haber sido principalmente provocado por causas naturales como las precipitaciones y las características geomorfológicas y causas artificiales como la explotación no controlada de las canteras ubicadas al pie de la ladera (fig.3.9).

El taponamiento de los ríos Cuenca y Jadán formó un lago, que acumuló 300 millones de metros cúbicos de agua e inundó 65 casas en Azuay y Cañar.

La población directamente damnificada fue de 6,420 personas (Cruz, 1993) y más de \$150 millones en pérdidas. Aguas arriba se inundaron 920 Ha. de tierras agrícolas, viviendas, quintas vacacionales y caseríos, una central termoeléctrica de 30.000 Kw, la carretera Panamericana y la línea férrea.

Aguas abajo se destruyeron 880 Ha. de cultivos, 2 canales de riego, 5 puentes, la vía a los centros turísticos Paute y Gualaceo, importantes instalaciones agroindustriales como una fábrica de licores y una florícola, un colegio agropecuario. El total de viviendas afectadas aguas arriba y aguas abajo fue de 716, de las cuales el 70% fueron completamente destruidas. En total 40 Km. de vías asfaltadas fueron dañados.

3.5.2.- Deslizamiento San Cayetano



Figura 3.10 Deslizamiento en San Cayetano (www.elcomercio.com)

El 11 de enero de 2011 la tubería de agua cruda del sector Parra en el Barrio San Cayetano Bajo, al suroriente de la ciudad de Loja, se rompió. En la zona se asentaban 30 familias, fueron 80 metros de tubería los que afectó el deslizamiento (fig.3.10).

En el sector Parra, en San Cayetano Bajo, las personas habían construido sobre la línea de conducción de la Planta de Captación de Jipiro. El deslizamiento se debió a que existían filtraciones en el sector, pues la población no tenía alcantarillado, las aguas de las letrinas junto a las superficiales movieron la tierra y la tubería se rompió.

3.5.3.- Deslizamiento Sinincay



Figura 3.11 Deslizamiento en Sinincay (www.elcomercio.com)

En el barrio Tres Cruces de Sinincay, Los movimientos de tierra y asentamientos formaban una especie de gradas en las pendientes, la gran cantidad de humedad acumulada debilitó las bases del talud de la quebrada del sector produciéndose un hundimiento y deslizamiento de considerables proporciones.

El fenómeno puso en riesgo las viviendas y terrenos de varias familias que prácticamente quedaron al borde del precipicio. El peligro latente motivó la rápida intervención de las autoridades, lo cual implicó la movilización de los equipos técnicos y la posterior intervención de maquinaria pesada para efectuar las obras de estabilización, aunque aún no se ha logrado disipar totalmente el peligro (Fig.3.11).

3.5.4.- Deslizamiento Pedernales



Figura 3. 12 Deslizamiento en Pedernales (www.elcomercio.com)

Una gran masa de tierra se deslizó sobre el cauce del Río Coaque, en el cantón Pedernales, provincia de Manabí, lo cual provocó un represamiento de unos 200 metros lineales y 10 metros de altura, puso en peligro a los 1.500 habitantes de las poblaciones en tránsito (Fig.3.12).

3.5.5.- Deslizamientos En Zonas Urbanas

Deslizamientos de tierra afectan a ocho zonas: Nulti, Los Trigales, Llaqueo, Paccha, Turi, Sinincay, Sayausí y Sidcay son los sectores que durante muchos años soportan este problema. Si bien durante algún tiempo

los deslizamientos bajaron su intensidad, eso no significó que el peligro pasó. Un ejemplo es la zona de Los Trigales que luego de tres años se reactivó, a finales de 2009, y ahora son más de 105 viviendas están a punto de colapsar.

3.5.6.- Vías Interrumpidas Por Deslizamientos De Tierra

La vía San Plácido-Pichincha, a la altura del kilómetro 104, quedó interrumpida a causa del deslizamiento de tierra ocasionado por los trabajos que ejecuta la constructora M&H. debido a la mala ejecución de los trabajos de corte de la vía y a la inestabilidad del terreno, lo que se sumó y se produjo deslizamiento de tierra.

La inestabilidad de taludes puede poner en peligro a:

- Desde una o varias viviendas individuales hasta una población completa, que provoca la pérdida de varias obras de infraestructura.
- Carreteras u otros sistemas de comunicación en construcción o en servicio.
- Sistemas de conducción de agua, luz, alcantarillado etc.
- Construcción de túneles, tubería de presión, canales de derivación.
- Embalses.

CAPITULO IV: DISEÑO Y MÉTODOS DE CÁLCULO

4.1.- Introducción

Los métodos de cálculo, para definir la estabilidad, establecen un mecanismo cinemático de falla, extraído naturalmente de la experiencia, con base en el cual se analiza las fuerzas tendientes a producir el movimiento como fuerzas de gravedad, filtración, presión de agua etc., las cuales se han de comparar por algún procedimiento con las fuerzas que son capaces de desarrollarse y que tienden a que el mecanismo de falla no se produzca como resistencia del terreno, raíces y otras. Es decir que la estabilidad se entiende como la seguridad de una masa de tierra contra la falla o el movimiento. Así todos los métodos de cálculo existentes están ligados a un mecanismo cinemático de falla específico, por lo que solo serán aplicables a aquellos problemas de estabilidad en que la falla sea del tipo se considera. El propósito del cálculo de la estabilidad se centró en dos temas importantes en la resistencia medida al corte y el factor de seguridad.

La estabilidad del talud, es consecuencia de la fricción que se desarrolla entre las partículas constituyentes del suelo de cimentación y el talud, por lo cual, para garantizar estabilidad bastara que el ángulo del talud sea menor que el ángulo de fricción interna del suelo, en un material suelto, seco y limpio se debe acerca mucho al ángulo de reposo. Por lo tanto la condición límite de estabilidad será:

Si el ángulo α es muy próximo a ϕ los granos de suelo próximos a la frente del talud, no sujetos a ningún confinamiento importante quedaran en una condición próxima a la de deslizamiento, por ello es recomendable que

en la práctica, alfa sea algo menor que ϕ . Si se define como el factor de seguridad como la relación entre los valores de alfa y ϕ , es suficiente que tal factor tenga un valor de orden de 1.1 y 1.2 para que la erosionabilidad superficial no sea excesiva.



Figura 4.1 Talud para el análisis (Autores)

4.2.- Conceptos generales diseño

4.2.1.- Angulo de reposo

El ángulo de fricción crítico ϕ_c es un parámetro del suelo porque es un valor que una vez alcanzado no varía durante el proceso de deformación o de carga.

El φ_c es una relación de los esfuerzos principales en el estado crítico y es importante para los modelos constitutivos, ya que define el estado crítico o último propio de cada material.

El estado crítico o último de un material está definido como la fase en la cual el material continúa deformándose indefinidamente sin presentarse cambios en el esfuerzo efectivo aplicado y en el volumen.

Tradicionalmente se considera el ángulo de fricción crítico igual que el ángulo de reposo ($\varphi_c = \varphi_{rep}$). El φ_c se obtiene de ensayos triaxiales monotónicos o de ensayos de corte simple.

4.2.2 Teoría de Mohr-Coulomb

La teoría de Mohr-Coulomb es un modelo matemático que describe la respuesta de materiales quebradizos, tales como hormigón, o agregados de partículas como el suelo, a esfuerzo cortante, así como tensión normal. La mayoría de los materiales en ingeniería clásica se comportan siguiendo esta teoría al menos en una parte del corte. En general, la teoría se aplica a los materiales para los que la resistencia a la compresión es muy superior a la resistencia a la tracción, caso de los materiales cerámicos. La teoría explica que el corte de un material se produce para una combinación entre tensión normal y tensión tangencial, y que cuanto mayor sea la tensión normal, mayor será la tensión tangencial necesaria para cortar el material (fig. 4.2).

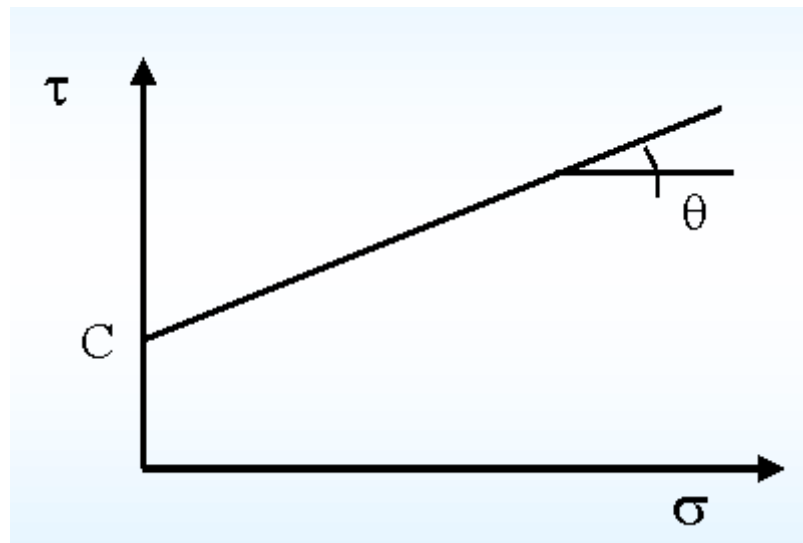


Figura 4.2 Teoría de Mohr – Coulomb (Autores)

4.2.2.- Superficie de falla

El término superficie de falla se utiliza para referirse a una superficie asumida a lo largo de la cual puede ocurrir el deslizamiento o rotura del talud (Figura 4.3); Sin embargo, este deslizamiento o rotura no ocurre a lo largo de esas superficies si el talud es diseñado adecuadamente.

En los métodos de límite de equilibrio el factor de seguridad se asume que es igual para todos los puntos a lo largo de la superficie de falla, por lo tanto este valor representa un promedio del valor total en toda la superficie de falla. Si la falla ocurre, los esfuerzos de cortante serían iguales en todos los puntos a todo lo largo de la superficie de falla.

Generalmente se asume un gran número de superficies de falla para encontrar la superficie de falla con el valor mínimo de factor de seguridad, la cual se denomina “superficie crítica de falla”. Esta superficie crítica de falla es la superficie más probable para que se produzca el deslizamiento; Sin embargo, pueden existir otras superficies de falla con factores de seguridad

ligeramente mayores, los cuales también se requiere tener en cuenta para el análisis.

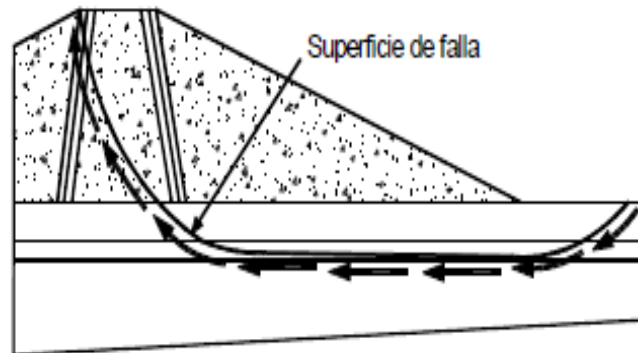


Figura 4.3 Superficie de falla y dirección de la resistencia al cortante (Soyao, 2004)

4.2.3.- Formas de la superficie de falla

Las técnicas de límite de equilibrio se utilizan cuando las fallas corresponden a deslizamientos de traslación o de rotación sobre superficies de falla determinadas (Figura 4.3).

Se pueden estudiar superficies planas, circulares, logarítmicas, parabólicas y combinaciones de ellas. En los últimos años se han desarrollado algunos modelos de superficies de falla con forma no geométrica.

4.2.3.1.- Análisis de superficies planas

Cuando existen discontinuidades planas en la roca o en suelo del talud, se acostumbra realizar análisis de falla a traslación. Esta técnica asume el deslizamiento traslacional de un cuerpo rígido a lo largo de un plano o a lo largo de la intersección de dos planos como el caso de la falla en cuña.

4.2.3.2 Análisis de superficies curvas

En suelos o rocas blandas las superficies de falla a deslizamiento tienden a tener una superficie curva. Estas superficies se les conocen como “círculos de falla o superficies de falla rotacionales”. En los análisis de estabilidad se debe determinar la localización de la superficie crítica de falla y el factor de seguridad a lo largo de esta superficie.

4.2.4.- Las grietas de tensión

La existencia de grietas de tensión aumenta la tendencia de un suelo a fallar (Figura 4.4), la longitud de la superficie de falla a lo largo de la cual se genera resistencia es reducida y adicionalmente la grieta puede llenarse con agua, en el caso de lluvias, pueden generarse presiones de poro transitorias que afectan la estabilidad del talud.

La presencia de grietas de tensión dificulta en forma considerable la confiabilidad de los análisis cuando no se tiene en cuenta este factor. Las grietas de tensión son muy importantes y profundas en cortes de taludes, donde existe un alivio de presiones de confinamiento al ejecutarse la excavación

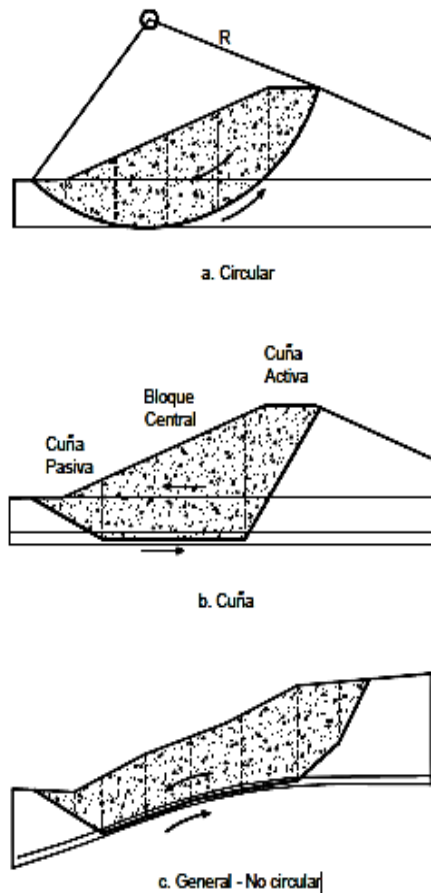


Figura 4.4 Formas de superficie de falla (Soyao, 2004)

4.2.5.- Mortero Asfáltico

Es la mezcla de agregados, emulsión asfáltica, agua, relleno mineral y aditivos debidamente proporcionados, mezclados y esparcidos sobre una superficie apropiadamente preparada.

4.2.6.- Emulsión Asfáltica

La emulsión asfáltica se define como la dispersión de micro-partículas de asfalto dentro de una matriz acuosa estabilizada químicamente, la cual es utilizada básicamente para la producción de mezclas asfálticas en frío (mezclas abiertas, microaglomerados [mezclas densas], reciclados, estabilizaciones, etc.) y como ligante emulsionado en riegos.

4.3.- Factor de seguridad

Un análisis de límite de equilibrio permite obtener un factor de seguridad, o a través de un análisis regresivo obtener los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla. Una vez se han determinado las propiedades de resistencia al cortante de los suelos, las presiones de poro y otras propiedades del suelo y del talud, se puede proceder a calcular el factor de seguridad del talud. Este análisis de estabilidad consiste en determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para resistir los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento.

La mayoría de los métodos de límite de equilibrio tienen en común la comparación de las fuerzas o momentos resistentes y actuantes sobre una determinada superficie de falla.

Las variaciones principales de los diversos métodos son el tipo de superficie de falla y la forma cómo actúan las fuerzas internamente sobre la superficie de falla.

FACTOR DE SEGURIDAD (F. S.)

El factor de seguridad permite conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1922) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$FS = \frac{\textit{Resistencia al cortante disponible}}{\textit{Esfuerzo al cortante actuante}}$$

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$FS = \frac{\textit{Momento resistente disponible}}{\textit{Momento actuante}}$$

Existen además, otros sistemas de plantear el factor de seguridad, tales como la relación de altura crítica y altura real del talud y métodos probabilísticos, así como tablas empíricas locales basadas en el comportamiento típico de los taludes.

La mayoría de los sistemas de análisis asumen un criterio de “límite de equilibrio” donde el criterio de falla de Coulomb es satisfecho a lo largo de una determinada superficie.

Se estudia un cuerpo libre en equilibrio, partiendo de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para producir el equilibrio. Calculada esta fuerza resistente, se compara con la disponible del suelo o roca y se obtiene una indicación del factor de seguridad.

Otro criterio es el de dividir la masa a estudiar en una serie de tajadas, dovelas o bloques y considerar el equilibrio de cada tajada por separado. Una vez realizado el análisis de cada tajada se analizan las condiciones de equilibrio de la sumatoria de fuerzas o de momentos.

$$FS = \frac{\sum \textit{Resistencias disponibles al cortante}}{\sum \textit{Esfuerzos al cortante}}$$

$$FS = \frac{\sum \textit{Momentos resistentes disponibles}}{\sum \textit{Momentos actuantes}}$$

4.4.- Análisis del diseño

4.4.1.- Método de diseño Taylor

Es importante tener en cuenta que el método de Taylor supone un suelo homogéneo y un manto rígido profundo. Este método solo se utiliza para suelos cohesivos ($\phi \neq 0$), y se aplica solamente para el análisis de esfuerzos totales, debido a que no considera presiones de poro.

- Altura crítica del talud H (metros)
- Cohesión del suelo C_u (t/m^2)
- Pendiente del talud β (grados)
- Peso específico del suelo γ (gr/cm^3)

Tabla 4.1 Parámetros de diseño para el modelo

PARÁMETRO	UNIDADES	CANTIDAD
Altura crítica del talud	M	10.4
Cohesión del suelo	t/m^2	4.8
Pendiente del talud	Grados	80
Peso específico	gr/cm^3	2.68

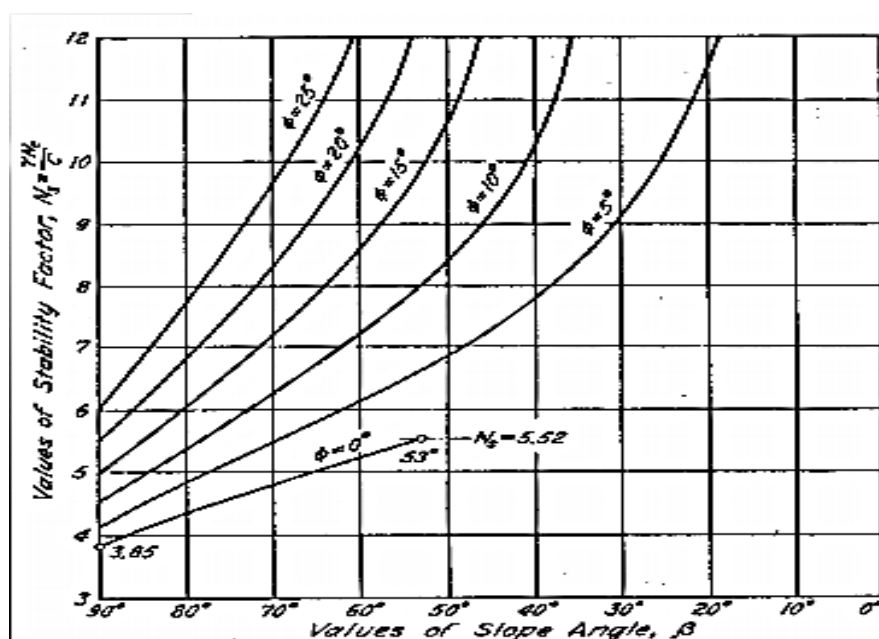


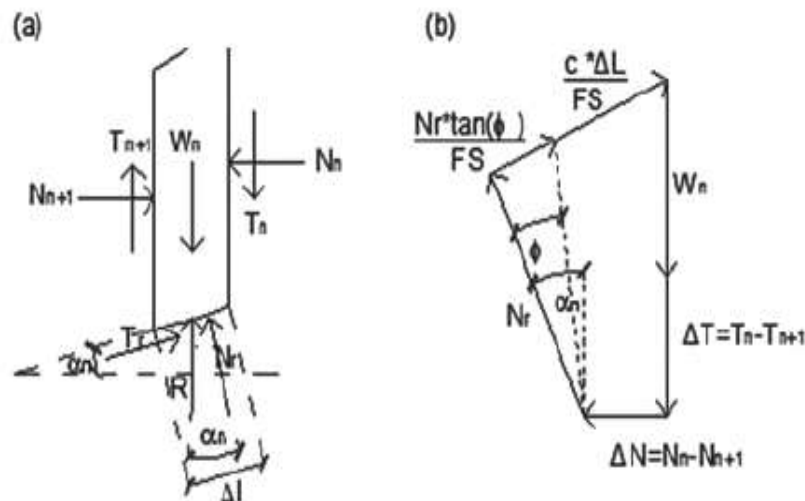
Figura 4.5 Abaco de Taylor

Tabla 4.2 Análisis método de Taylor

MÉTODO DE TAYLOR				
fsc(adopta)	c _{nec} (c _{disp} /F _{sc})	N _s (γ *H/c _{nec})	ϕ_{nec} (f(N _s , β))	f _s ϕ (tag ϕ disp/tag ϕ_{nec})
1.2	4	6.76	5.5	1.83
1.3	3.7	7.3	7.5	1.3
1.5	3.2	8.45	12	0.8

- F_{sc}=f_s ϕ
- Factor de seguridad =1.3

4.4.2.- Método de diseño Bishop

**Figura 4.6** Diagramas de método de Bishop

Bishop (1955) presentó un método utilizando dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las dovelas. Bishop asume que las fuerzas entre dovelas son horizontales; es decir, que no tiene en cuenta las fuerzas de cortante (fig. 4.6).

Curva de rotura

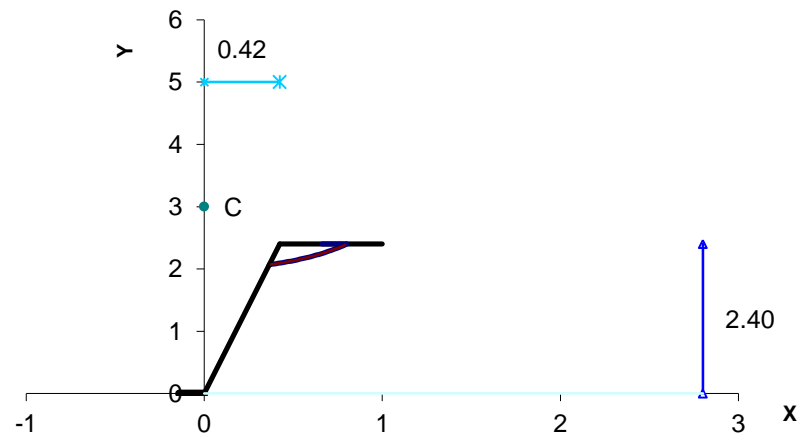


Figura 4.7 Representación del talud método de Bishop

Tabla 4.3 Datos del talud de análisis

DATOS DEL TALUD			
D	H	Hw	Ang.
m	M	m	°
0.42	2.40	0.0	80.0

Tabla 4.4 Características de suelo

DATOS DEL SUELO				
ϕ	γ_s	γ_{sat}	γ_d	γ_h
°	kN/m ³	kN/m ³	ton/m ³	ton/m ³
34	26.29	31.82	32.04	31.82

$$F = \frac{\sum [c.b + (W_a + W_b - u.b) \operatorname{tg}(\phi)] / (1 + (\operatorname{tg}(\alpha) \cdot \operatorname{tg}(\phi) / F)) \cos(\alpha)}{\sum (W_a + W_b) \operatorname{sen}(\alpha)} \quad (\text{Bishop, 1955})$$

Tabla 4.5 Análisis de FS método de Taylor

Tipo de Suelo	Faja N°	X _{BAR} m	α °	b m	φ °	c kPa	Y _{TAL} m	Y _W m	Y _{CIRC} m	W _a kN	W _b kN	u kPa	F	$\frac{c.b + (W_a + W_b - u.b) \operatorname{tg}(\phi)}{(1 + (\operatorname{tg}(\alpha) \cdot \operatorname{tg}(\phi) / F)) \cos(\alpha)}$	(W _a + W _b) sen(α)
	1	0.34	19.808	0.0236	34	26.0	1.92	0.00	1.86	1.0	0.0	0.0	2.24084	1.2	0.3
	2	0.36	21.251	0.0236	34	26.0	2.06	0.00	1.87	1.0	0.0	0.0	ITERAR CON EL VALOR DE "F" HASTA UN ERROR < 0,005	1.2	0.4
	3	0.39	22.708	0.0236	34	26.0	2.19	0.00	1.88	1.0	0.0	0.0		1.2	0.4
	4	0.41	24.18	0.0236	34	26.0	2.32	0.00	1.89	1.0	0.0	0.0		1.2	0.4
	5	0.43	25.67	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	1.90	1.0	0.0	0.0		1.2	0.4
	6	0.46	27.178	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	1.91	1.0	0.0	0.0		1.3	0.5
	7	0.48	28.708	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	1.92	1.0	0.0	0.0		1.3	0.5
	8	0.50	30.259	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	1.94	1.0	0.0	0.0		1.3	0.5
	9	0.53	31.836	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	1.95	1.0	0.0	0.0		1.3	0.5
	10	0.55	33.44	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	1.97	1.0	0.0	0.0		1.3	0.6
	11	0.57	35.075	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	1.98	1.0	0.0	0.0		1.3	0.6
	12	0.60	36.743	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	2.00	1.0	0.0	0.0		1.3	0.6
	13	0.62	38.448	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	2.02	1.0	0.0	0.0		1.3	0.6
	14	0.65	40.194	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	2.04	1.0	0.0	0.0		1.3	0.6
	15	0.67	41.987	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	2.06	1.0	0.0	0.0		1.4	0.7
	16	0.69	43.831	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	2.08	1.0	0.0	0.0		1.4	0.7
	17	0.72	45.734	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	2.10	1.0	0.0	0.0		1.4	0.7
	18	0.74	47.705	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	2.13	1.0	0.0	0.0		1.4	0.7
	19	0.76	49.753	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	2.15	1.0	0.0	0.0		1.5	0.8
	20	0.79	51.891	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	2.18	1.0	0.0	0.0		1.5	0.8
	21	0.81	54.137	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	2.21	1.0	0.0	0.0		1.6	0.8
	22	0.83	56.511	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	2.25	1.0	0.0	0.0		1.6	0.8
	23	0.86	59.045	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	2.29	1.0	0.0	0.0		1.7	0.9
	24	0.88	61.781	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	2.33	1.0	0.0	0.0		1.7	0.9
	25	0.90	64.786	0.0236	34	26.0	2.40	0.00	2.37	1.0	0.0	0.0		1.8	0.9
CALCULO DE LA SEGURIDAD AL DESLIZAMIENTO DEL TALUD:														F = 2.2408590	35

4.5.-Procedimiento de diseño

Determinación de la ubicación exacta del diseño a realizarse, teniendo en cuenta la zona geografía, el tipo de suelo, antecedentes y posibles causas.

Mediante la selección del talud ubicado en el Distrito Metropolitano de Quito en la Parroquia de Pintag: Altura: 2651 msnm, Zona: 17 M, Coordenadas este: 789985.78 m, Coordenadas Norte: 9963802.77 m se procede a realizar un estudio de suelo y así se determina mediante ensayos en laboratorio humedad natural, limite líquido, limite plástico, índice de plasticidad, cohesión, ángulo de fricción, granulometría, peso específico

para obtener con certeza la clase de suelo y definir el tipo de lechada asfáltica se utilizara para recubrir el talud.

Continuamente se procede a seleccionar suelo con el que se ensayara la lechada asfáltica y así obteniendo resultado totalmente aceptables al realizar ensayos del diseño del mortero asfáltico se da por acertado y concluido el diseño y selección de la misma, procediendo a analizar los resultados para definir el ángulo de reposo aplicable, drenajes y tipo malla que se aplicara en el talud seleccionado.

4.6.- Diseño del mortero asfáltico

El uso de mortero asfáltico permite mejorar las características físico-mecánicas de los materiales constitutivos del talud

Se debe entender que la aplicación práctica de este estudio dependerá del conocimiento del comportamiento del sistema en estudio, así como también de la experiencia, pero especialmente, de los lineamientos, y políticas generales establecidas por la institución o enfoque que proyecte la obra.

Se debe entender que casi todas las áreas geográficas varían en cuanto a la disponibilidad de materiales. Se debe determinar cuáles son disponibles, teniendo en cuenta la compatibilidad del sistema y de trabajo específico.

El mortero asfáltico aprobado con normas; ASTM D3910, ISSA A105 (International Slurry Surfacing Association o Asociación Internacional de Recubrimientos con Morteros), se define como la mezcla compuesta por emulsión asfáltica, agregados pétreos triturados con granulometría definida,

relleno mineral, agua y en ciertos casos aditivos, todo esto proporcionalmente mezclado de acuerdo al Diseño de Mezcla. ISSA A105

(International Slurry Surfacing Association o Asociación Internacional de Recubrimientos con Morteros) es la guía en el diseño, pruebas, control de calidad, medición y pago.

4.6.1.- Materiales

4.6.1.1- El emulsión asfáltica

El asfalto emulsionado, y residuos de asfalto emulsionado, deberán cumplir los requisitos de AASHTO M 140 o ASTM D 977 para SS-1 o SS-1h. Para CSS-1, CSS-1h, o SCC-1h, se deberán cumplir los requisitos de AASHTO M 208 o ASTM D 2397.

4.6.1.2.- El agregado

El agregado mineral utilizado deberá ser del tipo especificado para la aplicación particular requisitos de la lechada asfáltica. El árido tiene que ser triturado de piedra como el granito, escoria, piedra caliza u otro agregado de alta calidad, o combinación de los mismos

Tipos agregados son I (fino), II (general) y III (grueso). Mezclas de agregado fino se utilizan para la penetración máxima y sellada de grietas en áreas de tráfico low-density/low-wear. Tipo II agregados son los más utilizados y se emplean ampliamente en donde se encuentra el tráfico de moderado a fuerte. Sellan, deshilado de moderada a severa correcta, la oxidación y la pérdida de la matriz, y mejorar la resistencia al deslizamiento.

Tipo III corrige severas condiciones de la superficie y proporcionan resistencia al deslizamiento bajo cargas de tráfico muy pesado.

Tabla 4.6 Clasificación del agregado (ISSA A 105)

SIEVE SIZE	TYPE I PERCENT PASSING	TYPE II PERCENT PASSING	TYPE III PERCENT PASSING	STOCKPILE TOLERANCE FROM THE MIX DESIGN GRADATION
3/8 (9.5 mm)	100	100	100	
# 4 (4.75 mm)	100	90 - 100	70 - 90	± 5%
# 8 (2.36 mm)	90 - 100	65 - 90	45 - 70	± 5%
# 16 (1.18 mm)	65 - 90	45 - 70	28 - 50	± 5%
# 30 (600 um)	40 - 65	30 - 50	19 - 34	± 5%
# 50 (330 um)	25 - 42	18 - 30	12 - 25	± 4%
#100 (150 um)	15 - 30	10 - 21	7 - 18	± 3%
#200 (75 um)	10 - 20	5 - 15	5 - 15	± 2%

4.6.1.3.- Agua

El agua es el principal factor en la determinación de la consistencia del mortero asfáltico durante su producción y aplicación, formando parte importante en la estabilidad de la mezcla. Dependiendo del porcentaje de humedad que contienen los agregados se determinará la adición de agua como recubrimiento en la mezcla. Generalmente la cantidad de agua a añadirse es de aproximadamente 10% respecto al peso del agregado seco.

4.6.2.- Pruebas de control de calidad en la producción:

ENSAYOS A REALIZARSE DEL AGREGADO:

- Equivalente de arena
- Azul de metileno

- Abrasión

Tabla 4.7 Normas de aplicación a los ensayos para el agregado

MORTERO ASFALTICO	NORMA
Equivalente de Arena > 45	ASTM D 2419
Azul de metileno de los agregados	AASHTO TP 57-01 (2004)
Granulometría	ASTM C 136 - AASHTO T 27

ENSAYOS A REALIZARSE DEL SLURRY SEAL:

- Contenido de asfalto residual en la emulsión asfáltica: determina el contenido de asfalto de acuerdo a norma ASTM D 244 – AASHTO T 59.
- Penetración del residuo de la emulsión: define la dureza del asfalto como se especifica en normas ASTM D 2397 – AASHTO T 49.
- Viscosidad ASTM D 244.- Determina la manejabilidad de la emulsión en el campo.
- Asentamiento ASTM D 244.-Determina la estabilidad al almacenamiento.
- Prueba de rueda cargada (ISSA TB 109): determina el contenido máximo de emulsión asfáltica en la mezcla de Mortero Asfáltico.
- Prueba de abrasión bajo agua (ISSA TB 100): determina el contenido mínimo de emulsión asfáltica en la mezcla de Mortero Asfáltico.

- Prueba de cohesión en húmedo (ASTM D3910): determina los tiempos de ruptura de la mezcla y su apertura al tráfico.
- Porcentaje teórico de emulsión (Método de Duriez)
- Tiempo de mezclado (ISSA TB 113)
- Consistencia (ISSA TB 106)

4.7.- Elección de la malla adecuada

Se define malla de triple torsión anclada y reforzada con cables, como un sistema de componentes anclado sobre una superficie, capacitado para evitar y controlar desprendimientos y aportar estabilidad superficial al terreno, con una capacidad de carga definida.

- FLEXIBLE: Adopta las Formas del corte
- PERMEABLE: Permite un rápido drenaje del agua que satura el terreno
- RESISTENCIA: Soporta una carga de más de 4000 kg/m.
- DURABILIDAD: Por el uso de alambre galvanizado clase III resiste más tiempo a la corrosión en condiciones normales
- PROCESO: Constructivo sencillo, colocación rápida y económica
- RESISTENCIA A LA RUPTURA DE TENSIÓN: 4,300 KG / MT 4,000 KG / MT

Su uso es para evitar uno de los problemas más graves que se presentan en las vías de comunicación en carreteras, autopistas y vías férreas que cruzan por zonas montañosas es que mientras se estabilizan los taludes, se presentan una gran cantidad de derrumbes, deteriorando los pendientes dominantes, la malla triple torsión, es la alternativa más viable y

económica para este tipo de protección, ya que prevé la degradación de las superficies sujetas a derrumbes, evita la caída de peñascos protegiendo la infraestructura subsecuente, además crea un consolidamiento natural superficial de la pendiente.

Como en un mortero normal, se emplea el acero de refuerzo para resistir esfuerzos estructurales o de temperatura. Por lo general, se usa una malla que para que tenga mejor adherencia el mortero al talud en esta investigación se ha seleccionado una malla de triple torsión de 1 pulgada, ya que es útil para mejorar la adherencia del mortero asfáltico al talud.

Su anclaje al talud consta de varillas de 25 cm con un gancho de 5 cm en la parte inferior del talud y en la parte superior clavos de 4 pulgadas con rodajas fig. 4.8.



Figura 4.8 Malla utilizada en el talud (Autores)

Tabla 4.8 Caracterización de la malla

Descripción	Característica	Norma
Acero Bajo Carbón	1008-1010	ASTM A853
Resistencia a la Tensión	65,000 – 75,000 lbs / plg 2	ASTM A641
Elongación	20 % Mínimo	
Ovalamiento	1.001 Plg. Máximo	
Capa de Zinc	0.8 Oz/Pie2 Mínimo, 1.8 Oz/Pie2 Máximo	ASTM A90
Adherencia	Buena	ASTM A641
Tolerancia en Diámetro	± 0.004"	ASTM A641

4.8.- Ensayos dentro del laboratorio

4.8.1.- Ensayo de suelos

4.8.1.1.-Ensayo de humedades

ASTM D-2216 – 98

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE SUELOS Y ROCAS POR MASA

Este método de ensayo cubre la determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) por masa en suelos, rocas, y materiales similares, donde la reducción en masa por secado, se debe a la pérdida de agua.

Un espécimen de prueba es secado en un horno a temperatura de $(110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C})$ hasta peso constante. La pérdida de peso durante el secado se considera como agua. El contenido de agua es calculado usando el peso de agua y el peso del espécimen seco.

El contenido de humedad en un material es usado para expresar la relación de vacíos de aire, agua y sólidos presentes en un volumen dado de material.



Figura 4.9 Muestras de suelo (Autores)

EQUIPO

- Horno secador
- Balanzas
- Contenedores de especímenes (fig. 4.9).
- Desecador
- Equipos de manipulación: guantes, tenazas, o agarraderas apropiadas o convenientes para mover y manipular contenedores calientes después del secado.

- Misceláneos: Cuchillos, espátulas, cucharón, cuarteadores, etc., según se requiera.

La masa mínima del material húmedo seleccionado para ser representativa de la muestra completa, será acorde con lo siguiente:

Tabla 4.9 Cantidad necesaria por tamiz

Tamaño máximo de partículas (100% pasando)	Tamaño malla estándar	Masa mínima recomendada para especímenes húmedos de prueba para contenido de humedad reportado al $\pm 0.1\%$	Masa mínima recomendada para especímenes húmedos de prueba para contenido de agua reportado al $\pm 1\%$
2 mm o menos	# 10	20 g	20 g*
4.75 mm	# 4	100 g	20 g*
9.5 mm	3/8 pulg	500 g	50 g
19.0 mm	3/4 pulg	2.5 kg	250 g
37.5 mm	1 1/2 pulg	10 kg	1 kg
75.0 mm	3 pulg	50 kg	5 kg

La masa mínima usada tiene que ser aumentada para obtener las cifras significativas necesarias para que la masa de agua cuando se reporte el contenido de humedad al más cercano 0.1%

PROCEDIMIENTO

- Determinar y anotar el peso del recipiente de la muestra limpio y seco
- Seleccionar los especímenes de prueba representativos (fig. 4.10).
- Colocar el espécimen húmedo de prueba en el contenedor y, si es usada, colocar la tapa en una posición segura. Determinar la masa del recipiente y el material húmedo usando una balanza.

- Remover la tapa (si se usa) y colocar el recipiente con el material húmedo en el horno de secado. Secar el material a masa constante. Mantener el horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ a menos que se especifique de otra forma.
- Luego de que el material ha sido secado a masa constante, retire el recipiente del horno, (coloque la tapa si se usa). Permita al material y recipiente enfriarse a temperatura ambiente o hasta que el recipiente pueda ser manipulado con las manos desnudas y la operación de la balanza no será afectada por la convección de las corrientes de aire o ser calentada.



Figura 4.10 Especímenes de prueba representativos (Autores)

4.8.1.2.- Ensayo de peso específico

ASTM D854-02

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS DEL SUELO MEDIANTE UN PICNÓMETRO DE AGUA

Estos métodos de ensayo cubren la determinación de la gravedad específica de sólidos del suelo que pasan por el tamiz de 4.75mm (No.4), promedio de un picnómetro de agua. Cuando el suelo contiene partículas más grandes que el tamiz de 4.75mm, se utilizara el Método de ensayo C 127 para sólidos de suelo que sean retenidos por el tamiz 4.75mm y este método de ensayo ese usara para sólidos del suelo que pasen el tamiz de 4.75mm observar la figura 4.11



Figura 4.11 Picnometro (Autores)

APARATOS

- Picnómetro
- Balanza
- Horno de Secado
- Termómetro
- Desecador
- Aparato de remoción de Aire
- Sistema de vacío, una bomba de vacío
- Recipiente Aislado Un enfriador Styrofoam (para plástico expandido)
- Embudo
- Tamiz No. 4(4.75 mm)
- Licuadora
- Equipos Varios tal como una computadora o una calculadora (opcionales), platos de especímenes y guantes aislantes.

CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO

Determinar la masa del picnómetro limpio y seco lo más cercana a 0.01g (típicamente cinco dígitos significativos). Repetir esta determinación cinco veces. Una balanza debería ser utilizada para todas las mediciones de masa. Determinar el promedio y desviación estándar. La desviación estándar ser á menor o igual a 0.02g. Si es más grande, intente mediciones adicionales o use una balanza más estable o precisa.

Lleno el picnómetro con el agua desairada sobre o bajo la marca de calibración dependiendo del tipo de picnómetro y la preferencia del laboratorio de adicionar o remover agua.

Se recomienda que el agua sea removida para llevar el nivel de agua a la marca de calibración.

El método de remoción reduce las oportunidades de alterar el equilibrio térmico mediante la reducción del número de veces que se abre el recipiente aislado.

El agua debe ser desairada para garantizar que no existan burbujas de aire en el agua. El agua puede ser desairada utilizando ya sea hervido, vacío, combinación de vacío y calor o un dispositivo de des aireación. El agua desairada no debe ser utilizada hasta que se haya equilibrado a temperatura ambiente. Además, esta agua será agregada al picnómetro siguiendo la orientación dada.

Hasta seis picnómetros pueden ser calibrados al momento en cada recipiente aislado. Ponga el picnómetro(s) dentro de un recipiente aislado cubierto junto con el termómetro, un vaso de precipitación de agua. Tapón(es) (Si se utiliza un picnómetro con tapón) y agua desairada en una botella, Junto con un gotero o pipeta. Deje que el picnómetro(s) llegue a equilibrio térmico (por lo menos 3 horas). La temperatura de equilibrio debe estar dentro de 4°C o temperatura ambiente y entre 15 y 30°C.

Mover el contenedor aislado cerca de la balanza o viceversa. Abrir el contenedor y retire un picnómetro.

Solo el borde del picnómetro será tocado para evitar que el calor por manipulación, cambie del equilibrio térmico. Trabajar ya sea en el contenedor o colocar el picnómetro en un aislado (Styrofoam) mientras realiza ajustes del nivel de agua.

Si se utiliza una botella volumétrica como un picnómetro, ajuste el agua hasta la marca de calibración, coincidiendo el fondo del nivel del menisco con la marca.

Si tiene que añadir agua, use el agua térmicamente equilibrada del recipiente aislado. Si el agua tiene que ser removida, use un tubo pequeño de succión o papel servilleta. Revisar cualquier lecho de agua sobre el brazo del picnómetro sobre el exterior de la botella. Mida y registre la masa de picnómetro y el agua con aproximación de 0.01 g.

Si se usa una botella con tapón, coloque el tapón en la botella, luego retire el exceso de agua utilizando un gotero. Secar el borde utilizando servilleta. Cerciorar que todo el exterior de la botella esté seco. Mida y anote la masa del picnómetro y el agua lo más cercano a 0.01 g.

Medir y anotar la temperatura del agua lo más cercano a 0.1 °C utilizando el termómetro que ha sido equilibrado térmicamente en el recipiente aislado. Insertar el termómetro a la profundidad de inmersión apropiada. Retorne el picnómetro al recipiente aislado. Repita las mediciones para todos los picnómetros del recipiente.

Reajustar el nivel de agua en cada picnómetro para prepararse para la siguiente calibración y deje que los picnómetros se equilibren térmicamente (por lo menos 3 horas). Repetir el procedimiento para obtener cinco mediciones independientes en cada picnómetro. Las temperaturas no necesitan unificarse a ninguna escala de temperatura.

Utilizando cada uno de estos cinco puntos de datos, calcular el volumen calibrado de cada picnómetro V_p utilizando la siguiente ecuación:

$$V_p = ((M_{pwc} - M_p)) / \rho_{wc}$$

Donde:

M_{pwc} = la masa del picnómetro y el agua a la temperatura de calibración. g

M_p = la masa promedio del picnómetro seco en calibración, g y

ρ_{wc} = la densidad de masa de agua en la temperatura de calibración g/ml

Calcular el promedio y la desviación estándar de las cinco determinaciones de volumen. La desviación estándar será menor o igual a 0.05mL, (redondeada a dos lugares decimales). Si la desviación estándar es mayor de 0.05 ml, el procedimiento de calibración tiene demasiada variabilidad y no producirá determinaciones de gravedad específica.

Evaluar áreas de posible refinamiento (ajuste el volumen hasta la marca de calibración logrando equilibrio de temperatura, temperatura de medición, método de des aireación o cambio a las botellas con tapón) y revise el procedimiento hasta que la desviación estándar sea menor que 0.05 ml.

Masa del picnómetro

Utilizando la misma balanza usada para calibrar el picnómetro verificar que la masa del picnómetro esté dentro de 0.06g de la masa promedio calibrada. Si no es así, volver a calibrar la masa seca del picnómetro.

PROCEDIMIENTO



Figura 4.12 Introducción de la muestra al picnómetro (Autores)

Método A Procedimiento para Especímenes Húmedos:

Determinar el contenido de agua de una porción de la muestra de acuerdo con el Método de ensayo D2216. Utilizando este contenido de agua, calcular el rango de masas húmedas para el espécimen de gravedad específica.

Para dispersar el suelo ponga alrededor de 100 ml de agua dentro en el contenedor de mezclado de una licuadora o dispositivo equivalente. Agregar suelo y mezclar. El volumen mínimo de lodo que puede ser preparado por este equipo típicamente requerirá el uso de un picnómetro de 500 ml.

Utilizando un embudo, vertir el lodo dentro del picnómetro. Lavar cualquier partícula de suelo que quede en el embudo utilizando una botella de chisguete de lavado/rociado.

Método B Procedimiento para Especímenes Secos al Horno:

Secar el espécimen a una masa constante en un horno mantenido a 110 ± 5 °C
Fragmente

Colocar el embudo dentro del picnómetro. El brazo del embudo debe extenderse más allá de la marca de calibración o sello de tapón. Poner los sólidos de suelo directamente dentro del embudo con una cuchara. Enjuague cualquier partícula de suelo restante que quede en el embudo dentro del picnómetro utilizando una botella de lavado/spray.

Preparación del Lodo de Suelo Agregue agua hasta que el nivel de esta esté entre $1/3$ y $1/2$ de la profundidad del cuerpo principal del picnómetro. Agite el agua hasta que se forme el lodo. Enjuague cualquier adhesión de suelo al picnómetro dentro del lodo.

Si el lodo no se forma, sino una pasta viscosa, use el picnómetro que tenga un mayor volumen. .

Desairado del Lodo del Suelo El aire atrapado en el lodo puede ser removido utilizando sea calor (hirviendo). Vacío o combinado calor y vacío.

Cuando se utiliza solo el método de calor (hirviendo), utilizar una duración de por lo menos 2 horas después de que la mezcla suelo-agua llegue a hervir completamente. Use solo el calor suficiente para mantener el lodo hirviendo. Agitar el lodo como sea necesario para prevenir que cualquier suelo se pegue o se seque sobre el vidrio.

Si se usa solo vacío, el picnómetro debe ser agitado continuamente bajo vacío durante por lo menos durante 2 horas. Continuosamente agitado significa que los sólidos de limo/arcilla permanecerán en suspensión y el lodo está en constante movimiento. El vacío debe permanecer relativamente constante y ser suficiente para causar burbujas al inicio del proceso de la desaireación.

Si se utiliza una combinación de aire y vacío, los picnómetros se puede colocar en un baño de agua caliente (no más de 40°C) mientras aplica, el vacío (aspirador). El nivel de agua en el baño, debe estar ligeramente bajo el nivel de agua del picnómetro, si el vidrio del picnómetro llega a calentarse, el suelo típicamente se pegará o se secará en el vidrio. La duración del vacío y el calor debe ser de por lo menos 1 hora después de que empieza a hervir. Durante el proceso, el lodo debe ser agitado según sea necesario para mantener hirviendo y evitar que el suelo se seque sobre el picnómetro.

Llenando el Picnómetro con Agua Llenar el picnómetro con el agua deseada introduciendo el agua través de un pedazo de tubo flexible de diámetro pequeño con su extremo de salida justo debajo de la superficie del lodo en el picnómetro o mediante el uso de tubo de llenado de picnómetro.

Si se utiliza tubo de llenado de picnómetro, llene el tubo con agua y cierre la válvula.

Colocar el tubo de modo que los orificios de drenaje estén justo en la superficie del lodo. Abrir la válvula ligeramente para permitir que el agua fluya sobre la parte superior del lodo. Cuando se limpia la capa de agua, levantar el tubo e incrementa la velocidad de flujo. Si el agua adicional se

vuelve turbia, no añada agua sobre la marca de calibración o dentro del área de sellado. Añada el agua restante el día siguiente.

Si se utiliza la probeta con tapón, llenar de modo que la base del tapón esté sumergida en el agua. Luego ubicar el tapón en un ángulo sobre el cuello ensanchado para evitar aire atrapado debajo del tapón. Si se usa una botella volumétrica o con tapón, llenar la botella sobre o debajo de la marca de calibración dependiendo de la preferencia.

Si se ha utilizado calor, dejar que el espécimen se enfríe hasta aproximadamente temperatura ambiente.

Equilibrio Térmico Ponga el picnómetro(s) dentro del contenedor aislado. El termómetro, un vaso de precipitación de agua y un poco de agua desairada en una botella sea junto con un cuentagotas o pipeta se debe colocar en el contenedor aislado. Mantener estos artículos en el contenedor cerrado durante la noche para lograr equilibrio térmico.

Determinación de Masa de Picnómetro Si el contenedor aislado no está ubicado cerca de una balanza, mueva el contenedor aislado cerca de la balanza o viceversa.

Abrir el contenedor y retire el picnómetro. Solo tocar el borde del picnómetro porque el calor de las manos puede cambiar el equilibrio térmico. Colocar el picnómetro sobre un bloque aislado (Styrofoam o equivalente).

Si se usa una botella con tapón, colocar el tapón en la botella mientras retira el exceso de agua utilizando un cuentagotas. Secar el borde utilizando papel servilleta. Asegurar que todo el exterior de la botella esté seco.

Medir y anotar la masa de picnómetro, suelo y agua lo más cercano a 0.01 g utilizando la misma balanza para la calibración de picnómetro.

Determinación de la Temperatura del Picnómetro.- Medir y anotar la temperatura de la mezcla lodo/suelo-agua lo más cercano a 0.1°C

Masa de Suelo Seco Determinar la masa de un contrapeso o bandeja lo más cercano a 0.01 g.

Trasladar el suelo a la bandeja. Es imperativo que todo el suelo sea trasladado.

Se puede añadir agua. Secar el espécimen hasta una masa constante en un horno mantenido a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ y enfríe en un secador.

Si se puede sellar la bandeja de modo Que el suelo no pueda absorber humedad durante el enfriamiento, no se necesita secador. Medir la masa seca de los sólidos de suelo más la bandeja lo más cercano a 0.01 g utilizando la balanza designada. Calcular y anotar la masa de solidos de suelo seco lo más cercano a 0.01.

4.8.1.3.- Ensayo de sedimentación por hidrómetro

I.N.V.E – 124 – 07

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO

Es un procedimiento complementario del ensayo de granulometría, que nos permite determinar el tamaño de partículas con diámetros menores que las aberturas del tamiz No. 200.



Figura 4.13 Tamizado del material por lavado (Autores)

El procedimiento se basa en la ley de Stokes, la cual establece una relación entre el diámetro de las partículas y la velocidad de sedimentación de estas, en un medio líquido de viscosidad y peso específico conocido (fig. 4.13).



Figura 4.14 Muestras de suelo con agua destilada y anti floculantes (Autores)

$$v = \frac{2}{9} \frac{(\gamma_s - \gamma_a)}{\eta} \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

v = Velocidad de sedimentación cm/seg.

η = Coeficiente de viscosidad del medio disperso (varía con la temperatura).

d = Diámetro equivalente de las partículas (esto es el diámetro de una esfera del mismo peso específico y que se sedimenta con la misma velocidad).

γ_s = Peso específico de las partículas de suelo.

γ_a = Peso específico del medio disperso (agua).

Que simplificando y tomando en cuenta las unidades respectivas, nos proporciona la siguiente expresión:

$$d = \sqrt{\frac{1800 * \eta * v}{\gamma_s - \gamma_a}} = K * \sqrt{\frac{z_s}{t}}$$

z_s = Altura de caída de las partículas de suelo en cm.

t = Tiempo de cada lectura en seg.

Para determinar el porcentaje de partículas con diámetros menores que d , se utiliza la siguiente expresión:

$$\% < d = \frac{100000}{mb} \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_s - 1} \right) (Lc - 1)$$

Lc = Lectura corregida del hidrómetro

γ_s = Peso específico de las partículas de suelo.

mb = Peso de suelo pretratado que pasa por el tamiz No. 10 que es utilizado en el ensayo

Este ensayo se realiza mediante la utilización de un hidrómetro el mismo que sirve para medir la densidad de la solución viscosa (suelo + agua).

El valor de la lectura corregida es el siguiente

$$Lc = L_s + Cm \pm Ct - CA$$

En donde:

- L_s = lectura directa en el cuello del hidrómetro.
- L_c = lectura corregida.

- Ct = corrección por temperatura.
- Cm = corrección por menisco.
- CA = corrección por de floculante.

EQUIPO

- Balanzas.
- Tamiz # 200
- Termómetro.
- Hidrómetro.
- Agitador eléctrico.
- Probeta graduada de 1000 cm³.
- Horno.
- Cronómetro.
- Vaso de precipitación de 100 cm³.
- Misceláneos



Figura 4.15 Material lavado en la probeta graduada (Autores)

PROCEDIMIENTO

- Recoger el material lavado que pasa por el tamiz 200, Se coloca en la probeta de ensayo.
- Completar con agua destilada los 1000 cc
- La solución preparada se agita violentamente a fin de que todas las partículas se encuentren en suspensión.
- Colocar la probeta en una superficie horizontal y se enciende el cronometro figura 4.15.
- Introducir con precaución el hidrómetro de tal manera de no producir una agitación adicional de las partículas.
- Inmediatamente introducir el densímetro en el interior de la probeta y tomar lecturas a 15 seg., 30 seg., 1 min., 2 min., se toma la temperatura y se extrae el hidrómetro, el cual debe ser colocado en una probeta adicional con agua destilada.
- A seguir se realizan lecturas individuales en los siguientes tiempos acumulados 5 min., 10 min., 20 min. y 30 min., 1 hora y luego a diferentes tiempos hasta completar las 48 horas, realizando la operación de introducir con cuidado en cada lectura el hidrómetro, tomar la temperatura y extraer el hidrómetro.
- Basándose en las lecturas del densímetro reales L_s con la curva de calibración, se determinarán los valores de Z_s necesarios para calcular el diámetro de las partículas.

- A seguir con la expresión indicada anteriormente se determinaran las lecturas corregidas, transformándolas estas de escala según el gráfico siguiente de acuerdo sea el caso.
- Con el valor de la lectura corregida se determinará el porcentaje de partículas con diámetros menores que d .
- Como el ensayo se realiza con una submuestra estos valores deberán referirse al total de la muestra analizada multiplicando los valores obtenidos por el porcentaje de material que pasa por el tamiz # 10.
- Es necesario insistir que en cada lectura del hidrómetro se deberá determinar la temperatura de la solución.
- Con los valores de d y $\% < D$ se complementará la curva granulométrica obtenida por el procedimiento de tamización,

CORRECCIONES

- Corrección por menisco (C_m).- Coloque el hidrómetro en la probeta de sedimentación llena de agua destilada y observe la diferencia de nivel entre la superficie del agua y el tope del menisco formado alrededor del Cuello del hidrómetro. Anote esta diferencia expresada en la escala del hidrómetro.
- Corrección por temperatura (C_t).- Las viscosidad de la solución, varía con la temperatura, motivo por el cual es necesario la determinación de la temperatura en cada lectura del hidrómetro, la cual nos dará un valor en la tabla adjunta.
- Corrección por antifloculante (C_a).- Utilizando una probeta graduada con 1000 cc con agua destilada, se realiza una lectura del hidrómetro,

luego se introduce el hidrómetro en una probeta que contenga 1000 cc de agua destilada y antifloculante, determinándose como corrección del antifloculante la diferencia de las dos lecturas.

4.8.1.4.- Ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

ASTM 4318

El espécimen es procesado para remover algún material retenido en la malla 425 mm (No. 40). El límite líquido es determinado mediante la ejecución de pruebas en la cual una porción de espécimen es extendida en una copa de bronce, dividida en dos por una herramienta de ranurado, y entonces permitir fluir juntos desde el choque causado por el golpeteo repetidamente de la copa en un dispositivo mecánico estándar figura 4.16. El límite líquido multi puntos, Método A, requiere tres o más pruebas sobre un rango de contenido de agua a ser ejecutado y la información de las pruebas ploteadas o calculadas para hacer una relación de la cual el límite líquido es determinado. El límite líquido de un punto, Método B, usa la información de dos ensayos a un contenido de agua multiplicado por un factor de corrección para determinar el límite líquido. El límite plástico es determinado mediante presión alternadamente junta y rodillada dentro de un diámetro de 3.2 mm (1/8 pulg.) hile una pequeña porción de suelo plástico hasta que su contenido de agua es reducido a un punto en el cual el hilo se desmigaja y puede no alargarse al ser presionado junto y re-rodillada. El contenido de agua del suelo en este punto es reportado como el límite plástico. El índice de plasticidad es calculado como la diferencia entre el LL y el LP.



Figura 4.16 Realización de ensayos de límites de consistencia (Autores)

Estos métodos de Ensayo son usados como parte integral de algunos sistemas de clasificación de ingeniería para caracterizar las fracciones de suelos de grano fino (ver Practicas D 2487 y D 3282) y para especificar la fracción de grano fino de materiales de construcción (ver Especificación D1241). El limite líquido, limite plástico e índice plástico de suelos son usados extensamente, individualmente o juntos, con otras propiedades del suelo para correlacionar el comportamiento ingenieril tales como compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-hinchamiento y esfuerzo cortante.

Los limites líquido y plástico de un suelo y su contenido de agua pueden ser usa-dos para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez. En

adición, el índice de plasticidad y el porcentaje más fino que tamaño de partícula de 2 mm puede ser usado para determinar su número de actividad.

Estos métodos son usados algunas veces para evaluar las características de intemperismo de materiales como arcilla esquistosa. Cuando son sometidos a ciclo repetido de humedecimiento y secado, los límites líquidos de estos materiales tienden a incrementarse. La cantidad de incremento es considerada para ser una medida de un esquisto susceptible al intemperismo.

El límite líquido de un suelo conteniendo cantidades sustanciales de materia orgánica decrece dramáticamente cuando el suelo es secado al horno antes del ensayo. La comparación del límite líquido de una muestra antes y después de secada al horno puede entonces ser usada como una medida cualitativa de contenido de materia orgánica de un suelo (ver Práctica D 2487).

Nota 1 – La calidad del resultado producido por este estándar depende de la competencia del personal ejecutándolo y del equipo conveniente y facilidades usadas. Las agencias que reúnan el criterio de la Práctica D 3740, generalmente, son consideradas capaces de competencia y objetivos para ensayo/ muestreo/ inspección/ etc.

Los usuarios de este estándar son prevenidos que la confianza con la Práctica D 3740 no asegura en sí, resultados confiables.

Los resultados confiables dependen de muchos factores; la Práctica D 3740 proporciona un medio de evaluar algunos de estos factores.

EQUIPOS

- Dispositivo de Limite Liquido
- Base
- Pie de hule.
- Copa, de bronce
- Excéntrica
- Acarreador
- Motor (Opcional)
- Herramienta de Ranurado Plana
- Calibrador
- Recipientes Contenedores de
- Balanza
- Contenedor de Almacenamiento y mezclado

Limite Plástico.

- Placa de vidrio base
- Dispositivo para Rodado de Limite Plástico (opcional)
- Espátula
- Malla(s)
- Botella de lavado
- Horno de secado
- Recipiente de lavado

PROCEDIMIENTO



Figura 4.17 Realización de ensayos de límites de consistencia (Autores)

Re mezclar completamente el espécimen (suelo) en su recipiente de mezclado, y si es necesario, ajuste su contenido de agua hasta la consistencia requerida alrededor de 25 a 30 golpes del dispositivo de límite líquido para cerrar la ranura. Usando una espátula, coloque una porción del suelo preparado en la copa del dispositivo de límite líquido en el punto donde la copa descansa sobre la base, apriete este hacia abajo, y extiéndala en la copa a una profundidad de alrededor 10 mm.

En su punto de mayor profundidad franjeando para formar una superficie aproximadamente horizontal.

Tener cuidado de eliminar las burbujas de aire del suelo preparado, pero forme el preparado con tan pocos golpes como sea posible. Mantenga el suelo no usado en el plato de almacena-miento/mezclado. Cubra el plato con una toalla húmeda (o use otros medios) para retener la humedad en el suelo.

Formar una ranura en el suelo preparado mediante introducir la herramienta con el filo biselado hacia delante a través del suelo en una línea que une el punto alto al punto bajo en el aro de la copa (fig. 4.17). Cuando corte la ranura, sostener la herramienta de ranurado contra la superficie de la copa y en un arco, manteniendo la herramienta perpendicular a la superficie de la copa durante todo su movimiento. En suelos donde una ranura no puede ser hecha en un recorrido sin desgarrar el suelo, corte la ranura con algunos recorridos de la herramienta de ranurado. Alternativamente, corte con una espátula la ranura para adelgazar, menos que las dimensiones requeridas y use la herramienta de ranurado para llevar la ranura a las dimensiones finales. Ejercite con extremo cuidado para prevenir deslizamiento del suelo preparado relativo a la superficie de la copa.

Verificar que ninguna migaja de suelo esté presente en la base o en la parte de abajo de la copa. Suba y golpee la copa girando el maneral a una razón de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta que las dos partes del suelo preparado están en contacto en el fondo de la ranura a lo largo de una distancia de 13 mm (1/2 pulg)

Verificar que una burbuja de aire no causa un cierre prematuro de la abertura mediante observación de ambos lados de la ranura teniendo un flujo todo junto con aproximadamente la misma forma. Si una burbuja ha

causado un cierre prematuro de la ranura, reforme el suelo en la copa, adicionando una pequeña cantidad de suelo para hacer subir por la perdida en la operación de ranurado.

Si el suelo desliza en la superficie de la copa, repita con un alto contenido de agua. Si, después de algunos ensayos con contenidos de humedad sucesivamente altos, el suelo preparado continua deslizando en la copa o si el número de golpes requerido para cerrar la ranura es siempre menor que 25, registre que el limite liquido no puede ser determinado, y reporte el suelo como no plástico sin desarrollar el ensayo de limite plástico.

Registrar el número de golpes, N, requerido para cerrar la ranura. Remueva una lasca de suelo de aproximadamente el ancho de la espátula, extendiendo de borde a borde del pastel de suelo en ángulo recto a la ranura e incluyendo la porción de la ranura en la cual el suelo fluye junto, colóquelo en un contenedor de masa conocida y cúbralo.

Regresar el suelo mantenido en la copa a la cápsula. Lave y seque la copa y la herramienta de ranurado y sujete la copa al acarreador para preparar la próxima prueba.

Re mezclar el espécimen de suelo completo en la copa adicionando agua destilada para incrementar el contenido de humedad del suelo y disminuir el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.

Repetir para al menos dos ensayos adicionales produciendo sucesivamente número de golpes bajos para cerrar la ranura. Uno de los ensayos será para un cierre requerido entre 25 y 35 golpes, uno para cierre

entre 20 y 30 golpes y un ensayo para un cierre requerido entre 15 a 25 golpes.

Determinar el contenido de agua, W^n , del espécimen de suelo para cada prueba de acuerdo con el Método de Ensayo D 2216.

Determinación de masas iniciales (recipiente más suelo húmedo) puede ser efectuada inmediatamente después de completar el ensayo. Si el ensayo es interrumpido por más de 15 minutos, determine la masa del agua contenida en el espécimen ya, obtenida en el tiempo de la interrupción.



Figura 4.18 Copa de Casagrande con muestra de suelo
(Autores)

LIMITE PLÁSTICO

Seleccione unos 20 g o más de una porción de suelo del material preparado para el ensayo de limite liquido; cualquiera de los dos, después del segundo mezclado antes del ensayo, o del suelo remanente después de

completar el ensayo de limite líquido. Reduzca el contenido de agua del suelo a una consistencia a la cual pueda ser rodada sin pegarse a las manos por extendido o mezclando continuamente en la placa de vidrio o en el plato de almacenamiento/secado. El proceso de secado puede ser acelerado mediante la exposición del suelo a una corriente de aire de un ventilador eléctrico, o por secar con papel, que no adicione ninguna fibra al suelo. Papel adecuado tal como papel de superficie dura, papel toalla o papel filtro de alta resistencia húmeda.

Factores para Obtener el Limite Liquido del contenido de agua y número de golpes que causan el cierre de la ranura.

Tabla 4.10 Factores para Obtener el Limite Liquido

N (Numero de golpes)	K (Factor para Limite liquido)
20	0.973
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

PROCEDIMIENTO

De este espécimen de limite plástico, seleccione una porción de 1.5 a 2.0 g. Forme la porción seleccionada en una masa elipsoidal. Ruede la masa de suelo por uno de los siguientes métodos:

Método Manual – Ruede la masa entre la palma o dedos y la placa de vidrio con suficiente presión para enrollar la masa en un hilo de diámetro uniforme por toda su longitud (ver Nota 10). El hilo será alejado deformado en cada trazo así que su diámetro alcance 3.2 mm (1/8 pulg), tomando no más de 2 min. La cantidad de presión manual o con los dedos requerida variará grandemente de acuerdo al suelo siendo ensayado, que es, la presión requerida típicamente, incrementándose al incrementar la plasticidad. Suelos frágiles de baja plasticidad son mejor rodados bajo el borde externo de la palma o en la base del pulgar.

Método con Dispositivo de Rodado – Sujetar el papel liso no barnizado en las placas superior y de fondo del dispositivo de rolado para limite plástico. Ponga la masa de suelo en la placa de fondo, en el punto medio entre los rieles de deslizamiento. Coloque la placa superior en contacto con la masa de suelo. Simultáneamente aplique una fuerza deslizada descendente y regrese y adelante movimiento a la placa superior de tal manera que la placa superior llegue a hacer contacto con el lado del riel dentro de 2 minutos. Durante este proceso de rolado, los extremos de los hilos de suelo no deben entrar en contacto con los lados del riel. Si esto ocurre, ruede una masa pequeña de suelo.

Cuando el diámetro del hilo alcanza 3.2 mm, corte el hilo en varias piezas. Extraer las piezas juntas, amasar entre el pulgar y el primer dedo de cada mano, reforme en una masa elipsoidal y re-ruede. Continúe con este rolado alternado en un hilo de 3.2 mm de diámetro, reúna juntándolas, amasándolas y re-rolado, hasta que el hilo se desmigaje bajo la presión

requerida para el rolado y el suelo ya no pueda alargarse siendo rolado hasta 3.2 mm de diámetro del hilo. Esto no tiene significado si el hilo rompe en hilos de corta longitud. Role cada uno de estos hilos cortos a 3.2 mm de diámetro. El único requerimiento para continuar el ensayo es que estos hilos pueden ser reformados en una masa elipsoidal y rodada de nuevo fuera. El operador no tendrá tiempo de intentar producir la falla en exactamente 3.2 mm de diámetro por permitir al hilo alcanzar 3.2 mm, entonces reduciendo la razón de rodado o la presión de la mano, o ambas, continuando el rodado sin deformación alejada hasta que el hilo falle aparte. Esto es permisible, sin embargo, para reducir la cantidad total de deformación para suelos plásticos débiles, mediante la elaboración del diámetro inicial de la masa elipsoidal cercana al requerido 3.2 mm de diámetro final. Si el desmigajamiento ocurre cuando el hilo tiene un diámetro mayor de 3.2 mm, esto será considerado un punto final satisfactorio, proporcionando que el suelo ha sido previamente rodado en un hilo de 3.2 mm de diámetro. El desmigajamiento del hilo manifestará por sí mismo diferentemente con varios tipos de suelo. Algunos suelos caen aparte en numerosas agregaciones pequeñas de partículas, otras pueden formar una capa tubular por el lado exterior que inicia partido en ambos extremos. La partidura progresa hacia la mitad, y finalmente, el hilo se parte en muchas partículas pequeñas. Los suelos arcillosos magros requieren mucha presión para deformar el hilo, particularmente cuando se aproximan al límite plástico. Con estos suelos, el hilo quiebra en una serie de segmentos en forma de barras alrededor de 3.2 a 9.5 mm (1/8 a 3/8 pulg) en longitud.

Reunir las porciones del hilo desmigajado junto y colóquelo en un recipiente de masa conocida. Inmediatamente cubra el recipiente.

Seleccione otra porción de 1.5 a 2.0 g de suelo del espécimen de límite plástico y repita las operaciones descritas hasta que el contenedor tenga al menos 6 g de suelo.

Repita para hacer otro contenedor al menos 6 g de suelo. Determine el contenido de agua del suelo contenido en el recipiente de acuerdo con el Método de Ensayo D 2216.

ÍNDICE DE PLASTICIDAD

CÁLCULOS

Calcule el índice plástico como sigue:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

LL = límite líquido (numero entero)

PL = límite plástico (numero entero)

Ambos, el LL y el LP son números enteros. Si el límite líquido o el límite plástico no pueden ser determinados, o si el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, reporte el suelo como no plástico, NP.

4.8.1.4.- Ensayos Triaxiales

ASTM D2850-82

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO-CONSOLIDADA NO-DRENADA DE SUELOS COHESIVOS EN COMPRESIÓN TRIAXIAL

Este método cubre la determinación de la resistencia a la compresión no-consolidada no-drenada de especímenes cilíndricos de suelos cohesivos en condiciones inalteradas, remoldeadas o compactadas, utilizando la aplicación de deformaciones controladas o esfuerzos controlados de la carga de compresión axial, donde el espécimen está sujeto a la presión de confinamiento de un fluido en una cámara triaxial. El método proporciona la medición de esfuerzos totales aplicados al espécimen, es decir, los esfuerzos no son corregidos por la presión de poros.

El ensayo proporciona datos para la determinación de las propiedades de resistencia y las relaciones esfuerzo-deformación de los suelos.



Figura 4.19 Ensayo triaxial (Autores)

EQUIPOS

- Dispositivos de Carga Axial.
- Dispositivo de Medición de Carga Axial.
- Dispositivo de Mantenimiento y Medición de la Presión de Celda.
- Celda de Compresión Triaxial.
- Tapa y Base del Espécimen.
- Indicador de Deformación.
- Membranas de Caucho.
- Extractor de Muestra.
- Dispositivos de Medición del Tamaño del Espécimen.
- Cronómetro.
- Dispositivo para Pesado.



Figura 4.20 Maquina para ensayos triaxiales
(Autores)

PROCEDIMIENTO

Con el espécimen encerrado en la membrana de caucho, la cual está sellada a la tapa y a la base del espécimen y ubicado en la celda, ensamble la celda triaxial. Lleve el pistón de carga axial en contacto con la tapa del espécimen varias veces, para permitir el asentamiento y alineamiento apropiado del pistón con la tapa (fig. 4.19). Durante este procedimiento, cuide de no aplicar al espécimen un esfuerzo desviador que exceda del 0.5% de la resistencia a la compresión estimada. Si el peso del pistón es suficiente para aplicar un esfuerzo desviador que exceda del 0.5% de la resistencia a la compresión estimada, el pistón deberá estar fijado por encima de la tapa del espécimen después de chequear el asentamiento y el alineamiento y dejarlo fijado hasta la aplicación de la presión de la celda. Coloque la celda en posición en el dispositivo de carga axial. Cuide la alineación del dispositivo de carga axial, el dispositivo de medición de carga axial, y la celda triaxial, para prevenir la aplicación de una fuerza lateral al pistón durante la prueba. Fije el dispositivo de mantenimiento y medición de presión, y se usa un líquido de confinamiento, llene la celda hasta un nivel predeterminado. Ajuste el dispositivo de mantenimiento y medición de presión, a la presión de la celda deseada, y aplique la presión al fluido de la celda. Si el dispositivo de medición de la carga axial es colocado afuera de la celda triaxial, la presión de la celda producirá sobre el pistón una fuerza hacia arriba que reaccionará contra el dispositivo de carga axial (fig. 4.20).

En este caso comenzar la prueba con el pistón ligeramente sobre la tapa del espécimen y antes que el pistón esté en contacto con la tapa del

espécimen, mida y registre la fricción inicial del pistón y empuje hacia arriba producido por la presión de la celda y después corrija la carga axial medida, o ajuste el dispositivo de medición de carga axial para compensar por la fricción y el empuje. Si el dispositivo de medición de carga axial es colocado dentro de la celda, no será necesario corregir o compensar por la fuerza de levantamiento actuante sobre el dispositivo de carga axial o por la fricción del pistón. En ambos casos requiere la lectura inicial de indicador de deformación cuando el pistón contacte la tapa del espécimen.

Usando Deformaciones Controladas.- Aproximadamente 10 minutos después de la aplicación de la presión de celda, comience a aplicar la carga axial, de modo de producir deformaciones axiales a una velocidad de aproximadamente 1%/minuto para materiales plásticos y 0.3%/minuto para materiales frágiles que consigan un esfuerzo desviador máximo a aproximadamente 3 a 6% de la deformación. A estas velocidades, el tiempo transcurrido para llegar al esfuerzo desviador máximo será de aproximadamente 15 a 20 minutos. Registre los valores de la carga-deformación para: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5% de la deformación; luego para incremento del 0.5% de deformación hasta 3%; y posteriormente para cada 1%. Tome las lecturas suficientes para definir la curva esfuerzo-deformación; por ello, un mayor número de lecturas podrían ser necesarios en las etapas de la prueba, así como cuando se aproxima la falla.

Continúe la carga hasta el 15% de la deformación, excepto que la carga pueda suspenderse cuando el esfuerzo desviador haya descendido hasta el

20% o cuando el 5% de la deformación axial ocurre después de un pico máximo en el esfuerzo desviador.

Incremento de Carga.- Antes de la prueba, estime la carga axial de falla del espécimen. Esta estimación puede ser hecha en base a la experiencia con material similar o a través del uso de un dispositivo de corte o penetración sobre una porción no utilizada de muestra. Aproximadamente a 10, minutos después de la aplicación de la presión de celda, coloque una carga axial inicial sobre el espécimen, igual a un décimo o a un quinceavo de la carga axial de falla estimada. Lea el dial de deformación cada 0.5 minutos. Cuando el cambio de la velocidad del dial de deformación sea menor que 0.01 pulg (0.3 mm) en 1 minuto, coloque otro incremento de carga sobre el espécimen igual al incremento de carga precedente. Repita este proceso hasta la falla o hasta el 15% de la deformación axial. El incremento de carga puede ser dividido en la mitad para las dos o tres cargas finales, para definir más completamente la curva esfuerzo-deformación cerca a la falla. Lea y registre la deformación previa a cada incremento de carga. Si llegara a ser obvio durante el desarrollo de la prueba que más de 15 o menos de 10 incrementos de carga serán requeridos para que falle el espécimen, ajuste los incrementos de carga convenientemente.

Velocidad de Esfuerzos Controlada.- Estime la resistencia a la compresión del espécimen antes de la prueba.

Aproximadamente 10 minutos después de la aplicación de la presión de celda, comience a aplicar la carga axial a una velocidad constante tal que el esfuerzo desviador máximo será desarrollado en aproximadamente 15

minutos. Detenga la carga del espécimen al 15% de la deformación o cuando el esfuerzo desviador haya descendido al 20% o cuando el 5% de la deformación ocurra después de un pico máximo del esfuerzo desviador.

Determine el contenido de humedad del espécimen de prueba, de acuerdo con el procedimiento señalado en el Método D2216, usando el espécimen completo a una total del espécimen.



Figura 4.21 Muestra tallada en cámara del triaxial (Autores)

4.8.2.- Ensayo de mortero asfáltico

4.8.2.1.- Granulometría del agregado

ASTM C 136 - AASHTO T 27

El método de tamizado, es un proceso mecánico mediante el cual se separan las partículas de un suelo o de agregados, de manera uniforme y cuantitativa en sus diferentes tamaños; se realiza utilizando tamices 3/8, Nro.

4, Nro. 8, Nro. 16, Nro. 30, Nro. 50, Nro. 100, Nro. 200, y pasante de 200 y es utilizado para clasificar los agregados (fig. 4.22).



Figura 4.22 Tamices para el ensayo (Autores)

PROCEDIMIENTO

- Si la muestra de material recibida en laboratorio está saturada, se debe extender en una superficie limpia para permitir que escurra el agua y se seque.
- Se realiza los cuartos sucesivos hasta reducir la muestra a un volúmenes de 10 dm³
- De ese volumen, se debe separar el agregado grueso del fino.

- Se coloca los tamices mencionados en orden en el agitador mecánico.
- Finalmente, se determina y registra el peso del material retenido en cada tamiz.

4.8.2.2.- Azul de metileno

AASHTO TP 57-01 (2004)

Esta norma indica el procedimiento para determinar la cantidad de material potencialmente dañino (incluyendo arcilla y material orgánico) presente en la fracción fina de un agregado mediante la determinación del Valor de Azul de Metileno.

La solución de Azul de Metileno es titulada en pequeños incrementos en un recipiente que contiene agua destilada y la muestra de material menor del tamiz de 75 m m (No 200).

Después de cada incremento se retira del recipiente una pequeña cantidad del agua con la muestra, empleando una varilla agitadora de vidrio y se deja caer en forma de gota sobre un papel filtro. Cuando la muestra de agregado no pueda adsorber más Azul de Metileno se forma un anillo azul en el papel filtro. En este momento se procede a cuantificar la cantidad de solución de Azul de Metileno añadida y a calcular el valor de Azul de Metileno (mg/g miligramos de Azul por gramo de suelo). (fig. 4.23)

Tabla 4.11 Valor de azul de metileno y el comportamiento esperado de la mezcla AASHTO TP 57-01 (2004)

Valor de Azul de Metileno (mg/g)	Desempeño anticipado
≤ 6	Excelente
7-12	Marginalmente aceptable
13-19	Problemas/Posible falla
≥ 20	Fallado

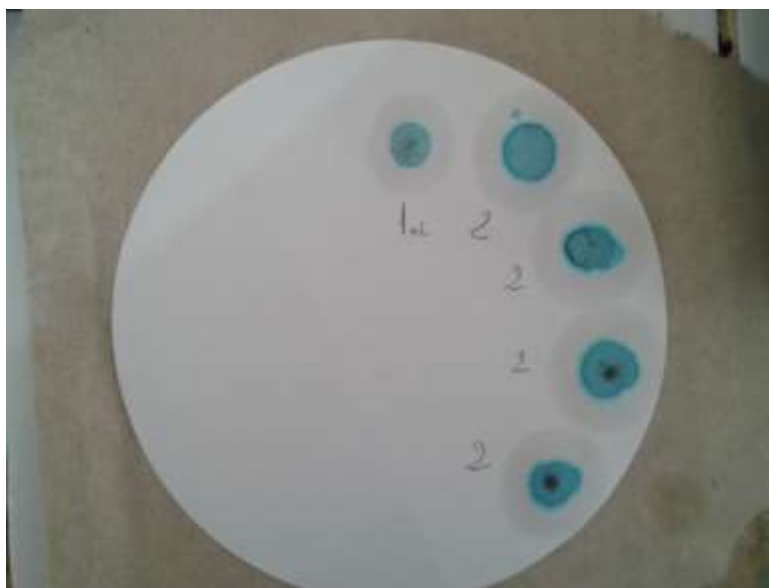


Figura 4.23 Ensayo de azul de metileno (Autores)

4.8.2.3.- Equivalente de arena

ASTM D 2419

Este ensayo es para determina la presencia o ausencia de finos y arcillas no convenientes que pueden ocasionas inconvenientes en los agregados de una mortero asfaltico. En él se aplica a la fracción que pasa por el tamiz Nro.4. Este ensayo es importante para determinar la limpieza del agregado, ya que algunos agregados contienen ciertas sustancias extrañas como arcillas o materia orgánica que provocan una mezcla inadecuada (Fig.4.24).

PROCEDIMIENTO

- Mediante cuarteos sucesivos, se selecciona una cantidad de 2 kg de material.
- Se pasa por el tamiz # 4
- Se coloca el material en una capsula de medidas estandarizadas hasta enrasar su superficie.
- Se vierte agua en las capsulas hasta obtener 10 cm de altura
- Se vierte el material mediante un embudo
- Se elimina posibles burbujas de aire
- Se deja en reposo durante 10 min, se cierra la capsula con un tapón y se agita 90 ciclos en un periodo de 30 segundos.
- Se deja reposar la muestra durante 20 minutos
- Se realiza las lecturas de arena y arcillas

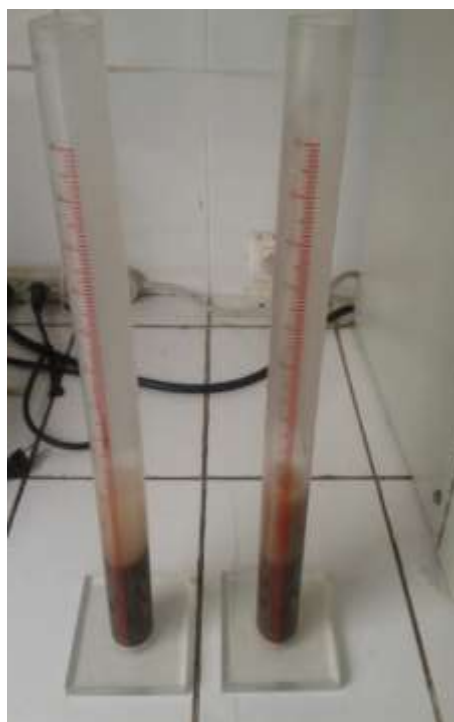


Figura 4.24 Capsula de medidas estandarizadas (Autores)

4.8.2.4.- Ensayo de consistencia

ISSA TB-106

La determinación de la consistencia en las lechadas asfálticas, permite determinar la cantidad de agua óptima para una correcta trabajabilidad en la mezcla. Entre los métodos el más empleado es el método del cono de consistencia. Se considera que el porcentaje óptimo de agua en aquel mediante el cual se consigue una fluencia de la lechada entre 2 y 3 cm de la escala (fig. 4.25).

PROCEDIMIENTO

- Se coloca 400gr de material en un tazón.
- Se añade agua en diferentes porcentajes de agua para cada muestra preparada.
- Se mezcla durante 30 segundos la mezcla
- Se coloca el cono de manera centrada sobre la base de escala de flujo.
- Una vez llenado el cono se levanta verticalmente
- La muestra tendrá un desplazamiento, el cual se registrara en los cuatro puntos distribuidos ortogonalmente en la escala de flujo.
- Se debe procurar un desplazamiento de flujo entre 2 y 3 cm considerando optimo 2.5 cm

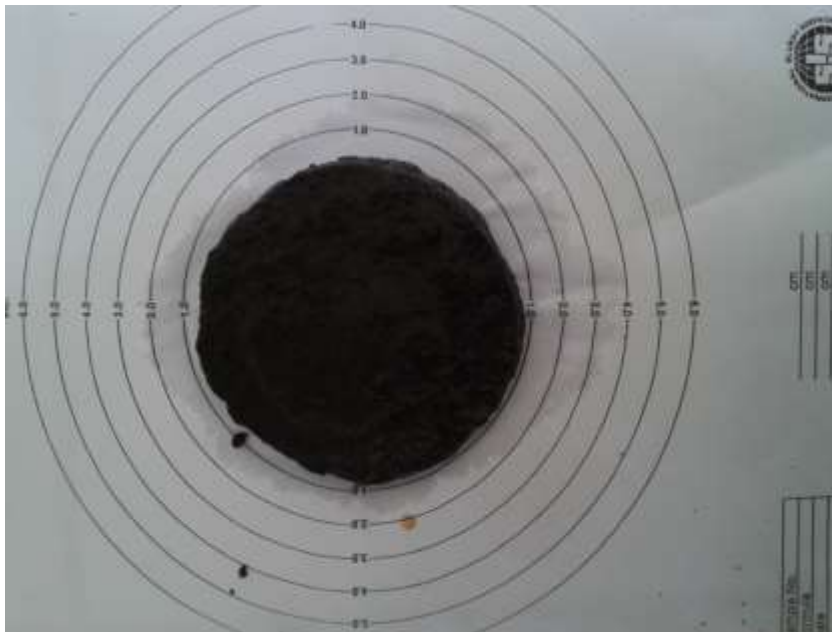


Figura 4.25 Escala de flujo (Autores)

4.8.2.5.- Ensayo de abrasión por humedad

ISSA TB 100

La prueba de abrasión por inmersión, proporciona un buen criterio para el diseño de los morteros asfálticos, logrando así relacionar sus resultados con el comportamiento real en la construcción. Esta prueba mide la resistencia de este tipo de capas delgadas bajo condiciones de inmersión, que da una idea esencialmente de la adherencia y afinidad entre el asfalto y el material pétreo

La prueba trabaja bajo el principio de determinar las pérdidas en peso que sufre una probeta del slurry, bajo la acción abrasiva de la rueda metálica con goma.

PROCEDIMIENTO

- Determine las cantidades adecuadas de agua, emulsión y agregado.
- Tome una muestra representativa de material mediante proceso de cuarteos sucesivos hasta obtener una muestra de al menos 2 kg.
- Añada cantidad de emulsión haciendo variar su porcentaje de acuerdo a cada espécimen
- Para cada muestra vierta el mortero asfáltico sobre un aro sobre un papel cartón asfáltico. Se engrasa
- Se coloca las muestras en el horno a 60°C hasta alcanzar una masa consistente (fig. 4.26).
- Se coloca los especímenes en agua a una temperatura de 25 °C durante 1 hora
- Se procede a colocar en la maquina durante 5 min (fig. 4.27).
- Se procede a pesar y tabular datos (fig. 4.28).



Figura 4.26 Muestras en el horno a 60°C (Autores)



Figura 4.27 Maquina usada para el ensayo de abrasión en húmedo (Autores)



Figura 4.28 Muestra de ensayo (Autores)

4.5.2.6.- Ensayo de cohesión

ISSA TB 139

Esta prueba nos permite conocer cómo va progresando el curado o fraguado de una mezcla según transcurre el tiempo. El valor de cohesión que se determina, con un número indicativo de tipo de emulsión que combina con los materiales pétreos definirá un sistema de mortero.

La cohesión que se desarrolla según pasa el tiempo, será una guía para el constructor de compactar y abrir al tránsito figura 4.29.

Cuando se trabaja en condiciones desfavorables para lograr la evaporación del agua del sistema, es obligado compactar si se desea tener un buen resultado.

PROCEDIMIENTO:

- El material se tamiza por el tamiz 4.75 mm desechando la parte retenida.
- Se prepara varias muestras con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica, los mismos que son vaciados en anillos metálicos de 60 mm de diámetro con espesores de 6 y 10 mm. Los mismos que deben estar sobre una base cuadrada de cartón asfaltado.
- Se coloca el espécimen bajo el brazo neumático cuyo vástago metálico posee una pieza de neopreno de 1" de diámetro. Las muestras deben ser ensayadas en 30, 60, 90, 120 240, 300 minutos después de su preparación.
- Se aplica una presión de 2 KPa en el cilindro neumático.

- Se mantiene en neumático en contacto con el espécimen durante 6 segundos e inmediatamente se gira un torque de 90 °.
- Se registra el valor del giro y el tiempo de su preparación.



Figura 4.29 Muestras del después del ensayo de cohesión (Autores)

4.5.2.7.- Ensayo de rueda de carga, exudación y deformación

ISSA TB 109

Para definir el porcentaje máximo de ligante en una lechada bituminosa, el cual se obtiene mediante una maquina simuladora del tráfico, mide la resistencia de exudación y deformación de la mezcla.

Esta mezcla permite cuantificar el ligante exudado después de someter las probetas de slurry a un proceso de compactación de 1000 ciclos, pesando la arena absorbida por el betún excedente y bajo las condiciones de ensayo de temperatura de 18 C y una carga de 125 libras.

PROCEDIMIENTO:

- Determinar las cantidades de agua, emulsión y agregado.
- Coloque 400 gr de muestra de agregado en un tazón.
- Añada agua en las proporciones adecuadas de tal manera que se prepare un mortero asfáltico con un tiempo de rotura de 30 segundos.
- Añada la cantidad de emulsión haciendo variar su porcentaje de acuerdo a cada espécimen
- Por cada espécimen vierta en mortero en un molde estandarizado el cual estará apoyado sobre una base metálica.
- Quitar el molde.
- Colocar los especímenes durante 15 horas a una temperatura de 60°C.
- Luego de secar a temperatura ambiente se deja enfriar
- Se coloca la placa en la maquina ajustando sus tornillos
- Se encera el contador y se somete al espécimen a 1000 ciclos
- Si falla la muestra antes de completar los 1000 ciclos se deshecha la muestra.
- Se retira el espécimen de la máquina y se lo debe colocar en el horno a 60 °C hasta que alcance un peso constante (fig. 4.30).
- Se registra el peso del espécimen seco nuevamente se lo coloca en la máquina (fig. 4.31) y se coloca 300 gr de arena de Ottawa a una temperatura de 82 °C y nuevamente se da 1000 ciclos.
- Se retira las muestras y se registra el peso de la muestra con arena.



Figura 4.30 Colocación de los especímenes en el horno a 60 °C (Autores)



Figura 4.31 especímenes en la máquina de rueda cargada (Autores)

4.5.2.8.- Penetración del residuo

ASTM D 5 – 97

La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro hasta la cual una aguja normalizada penetra verticalmente en el material en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura.

Normalmente, el ensayo se realiza a 25° C (77° F) durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g, aunque se pueden emplear otras condiciones previamente definidas observar(Fig. 4.32).

PROCEDIMIENTO

- Después de tener el residuo por destilación de la emulsión asfáltica, se homogeniza su contenido con una espátula.
- Se vierte el residuo obtenido dentro de un recipiente lo suficiente profundo para que la aguja pueda penetrar verticalmente y no toque el fondo.
- Dejar enfriar la muestra al aire, a una temperatura que se encuentre entre 14 °C y 30 °C durante 1 hora.
- Se sumerge la muestra en un recipiente que contenga 25 °C por un periodo de 2 horas.
- Se coloca la muestra en el penetrómetro con un peso de 50 gr por encima de la aguja.
- Se encera el penetrómetro
- Bajar la posición de la aguja hasta que la punta toque ligeramente la superficie de la muestra.
- Procede a medir durante 5 segundos 3 ensayos a 1 cm de distancia.



Figura 4.32 Penetrometro (Autores)

4.5.2.9.- Viscosidad

A.S.T.M. D 88-07

Esta prueba cuantifica el estado de fluidez de la emulsión a la temperatura de estudio. Se lleva a cabo con un viscosímetro del tipo Saybolt, en el cual se mide el tiempo en que la muestra de emulsión llena un matraz aforado de 60 cm³

Este tiempo se utiliza como una característica del tipo de rompimiento de una emulsión; rápido, medio o lento.

Los resultados se reportan en segundos Saybolt Furol, y por conveniencia y precisión de ensayo, se realiza a dos temperaturas, 25 °C y 50 °C, las cuales cubren el intervalo normal de trabajo.

PROCEDIMIENTO:

- La muestra de emulsión asfáltica a ser ensayada debe ser homogeneizada mediante una agitación moderada, evitando la formación de burbujas de aire. Posterior a la agitación se debe verter alrededor de 100 cm³ en un vaso de precipitación.
- Se alcanza la temperatura de 25 °C (fig. 4.33).
- Se llena el viscosímetro con agua, estableciendo y controlando la temperatura de baño para obtener la temperatura de prueba seleccionada.
- Inserte un tapón o un corcho en la cámara de aire ubicada en la parte inferior del viscosímetro, de manera que penetre de 6 a 9 mm. El corcho debe quedar ajustado herméticamente para impedir el escape de aire y evitar pérdidas de la muestra de prueba, esto se comprueba con la ausencia de emulsión en el tapón al momento de retirarlo.
- Se filtra la muestra a través de la malla No 100, hasta que el borde derrame
- Agitar la muestra en el viscosímetro con el termómetro, utilizando un movimiento circular de 30 – 50 rpm en un plano horizontal y evitando movimientos verticales que pudieran provocar la formación de burbujas.
- Coloque el vaso receptor bajo el tubo de viscosidad
- Retire el tapón de corcho del viscosímetro y simultáneamente poner en marcha el cronometro.
- Se registra el tiempo en segundos.



Figura 4.33 Viscosímetro del tipo Saybolt (Autores)

4.5.2.10.- Asentamiento

A.S.T.M D 244 29-09

El objeto de la prueba es obtener un índice de la tendencia de las gotas de asfalto al sedimentarse durante el almacenamiento prolongado de la emulsión. El equipo típico utiliza dos cilindros de 500 ml de capacidad con tapón de corcho o vidrio.

Se coloca en cada cilindro una muestra de 500 ml de emulsión y se dejan en reposo durante cierto tiempo a temperatura ambiente. Transcurrido ese tiempo, se destapan los cilindros y se toman 40 ml de la parte inferior y superior de cada uno, tratando de no alterar el resto de la muestra, y se examina el residuo asfáltico por evaporación. El asentamiento se reporta

como la diferencia de los promedios porcentuales de asfalto de la parte inferior y superior. El valor máximo permisible de asentamiento es de 5% para cualquier tipo de emulsión.

PROCEDIMIENTO

- De la muestra de emulsión asfáltica, obtenida debidamente homogenizada, se vierte 500 cm^3 en una probeta, la cual deberá ser tapada y colocada en un lugar libre de vibraciones para que repose durante 5 días a temperatura ambiente (Fig. 4.34).
- Se identifican los vasos de precipitación que recibirá la porción superior e inferior de residuo obtenido por destilación, se obtiene la masa de cada uno de ellos, con su correspondiente varilla de vidrio y se anota el peso.
- Transcurrido el tiempo de reposo, utilice una pipeta para extraer aproximadamente 55 cm^3 de la parte superior de la muestra contenida en la probeta.
- Posteriormente, utilizando la pipeta, se eliminan los siguientes 390 cm^3 de la muestra contenida en la probeta, cuidando de no perturbar la parte restante.
- Se uniformiza por agitación la porción restante en la probeta utilizando la varilla de vidrio correspondiente, se toma una muestra de 50 g.
- Se determina el contenido de asfalto residual, introduciendo al horno los vasos con su contenido y varilla, durante 2 horas a una temperatura de $163 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Se calcula contenido de residuo asfáltico.



Figura 4.34 Muestra de emulsión asfáltica en probetas de ensayo (Autores)

4.5.2.11.- Tiempo de mezclado

ISSA TB -113

Se elaboran mezclas de 100 a 200 gr en vasos que se tengan disponibles, la mezcla en el vaso también es útil para entrenar a los operadores de la maquina en familiarizarse con la apariencia visual y las propiedades mecánicas de la mezcla.

PROCEDIMIENTO

- Se coloca 200 gr de material en un tazón.
- Se coloca agua haciendo variar su porcentaje para cada muestra preparada y por ultimo se coloca la cantidad de emulsión determinada.

- Se considera óptimo el porcentaje de agua que [ermita romper la muestra en un tiempo no menor a 120 segundos.

4.5.2.12.- Porcentaje teórico de emulsión

El método de Duriez un cálculo de área superficial de los áridos, basado en la granulometría.

4.9.- Procesamiento de resultados

4.9.1 Procesamiento muestras de suelo

4.9.1.1.- Muestra 1

Al concluir los ensayos correspondientes a la toma de muestra 1 del talud se procede a tabular datos bajo la norma correspondiente obteniendo los resultados siguientes correspondientes a la muestras1 del talud tipo ensayado.

- Registro de humedad: tabla 4.12
- Registro de peso específico: tabla 4.13
- Registro de sedimentación por hidrómetro: tabla 4.14
- Registro de clasificación: tabla 4.15

Para clasificar el tipo de suelo fig. 4.35 y fig. 4.36 se procede a tabular con los resultados obtenidos de límite líquido y ensayo de clasificación del suelo por sedimentación.

Para determinar la cohesión y el ángulo de fricción de la muestra se tabula datos del ensayo de triaxiales tabla 4.16, 4.17, 4.18 con los cuales se trabaja para obtener el ángulo de fricción basado en la teoría de los círculos de Mohr Fig. 4.42

Ubicación: parte superficial del talud

1. - Registro de humedad

Tabla 4.12 Registro de humedad (muestra 1)

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES			
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Fecha 1/15/2014	TALUD :COLIBRI- PINTAG		Proceso No. 1
MUESTRA	1	2	3
PESO DE LA TARA (gr)	70.93	39.5	40.19
PROFUNDIDAD DE ENSAYO (m)	1.50	1.50	1.50
NÚMERO DE LA CÁPSULA	07	EA 1	0
PESO DE LA CÁPSULA (gr)	70.93	39.50	40.19
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	343.13	275.02	313.95
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	242.58	206.12	238.91
PESO DEL AGUA (gr)	100.55	68.90	75.04
PESO DEL SUELO SECO (gr)	272.20	235.52	273.76
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	37%	29%	27%
CONTENIDO DE HUMEDAD MEDIO (%)	31%		
OBSERVACIONES: Humedad correspondiente a la parte superficial del talud.			
ENSAYÓ: Robert Cando - Dayana Chiquín	CALCULÓ: Robert Cando - Dayana Chiquín		VERIFICÓ: Ing. Franco Rojas

2. - Registro de peso específico

Tabla 4.13 Registro de peso específico (muestra 1)

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS					
Fecha	TALUD:	COLIBRI- PINTAG	Proceso No.1		
1/20/2013					
NÚMERO DEL PICNÓMETRO			1	2	3
A	PESO DEL PIGNÓMETRO + MUESTRA SECA	(g)	361.69	351.01	353.36
B	PESO DEL PIGNÓMETRO + MUESTRA SECA + AGUA DESTILADA	(g)	787.7	778.9	778.3
C	PESO DEL PIGNÓMETRO	(g)	165.09	159.9	160.06
D	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA DESTILADA	(g)	663.6	658.21	658.5
E = A - C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	196.6	191.11	193.3
F = D - C	VOLUMEN DEL FRASCO	(cm ³)	498.51	498.31	498.44
G = B - A	VOLUMEN DEL FRASCO - VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm ³)	426.01	427.89	424.94
H = F - G	VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm ³)	72.5	70.42	73.5
E/H	PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS	(g/cm ³)	2.71	2.71	2.63
MEDIA			2.685		
OBSERVACIONES:					
ENSAYÓ: Robert Cando - Dayana Chiquín		CALCULÓ: Robert Cando - Dayana Chiquín		VERIFICÓ: Ing. Franco Rojas	

3.- Registro de Sedimentación por hidrómetro

Tabla 4.14 Registro granulométrico (muestra1)

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS										
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL										
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES										
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO										
Fecha 23/01/2014								Proceso No. 1		
HIDRÓMETRO No.		15-1469		PESO DEL SUELO PRETRATADO $P_0 =$		110.4		gr		
PROVETA No.		1		CORRECCIÓN DEL MENISCO $C =$		1				
ANTI-FLOCULANTE		40 g		CORRECCIÓN DEL ANTI-FLOCULANTE $C' =$		46				
PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS		2.69 g/cm ³		100 G/Pb (G-1)						
SEDIMENTACIÓN						MUESTRA No. 1				
FECHA	TIEMPO (minutos)	HORAS	TEMP °C	CORRECCIÓN DE TEMPERATURA C''	LECTURA L_S	$L_c = L_S + C - C' + C''$		% ACUMULADO	Zs (cm)	diámetro (mm)
1/22/2014	-	-	-	-	-	-	-	FORMULA		FORMULA
1/22/2014	1	7:49	20.2	0.0001	60	15	1.0093	13.42	5.95	0.030418
1/22/2014	2	7:50	20.2	0.0001	57	12	1.0075	10.83	6.34	0.022208
1/22/2014	4	7:52	20.2	0.0001	55	10	1.0062	8.95	6.62	0.016046
1/22/2014	8	7:56	20.2	0.0001	52	7	1.0043	6.21	7.06	0.011719
1/22/2014	15	8:03	20.2	0.0001	51	6	1.0038	5.48	7.22	0.008651
1/22/2014	30	8:18	20.2	0.0001	50	5	1.003	4.33	7.37	0.006183
1/22/2014	60	8:48	20.8	0.0002	49	4	1.0024	3.46	7.53	0.004419
1/22/2014	120	9:48	21.2	0.0004	48	3	1.0019	2.74	7.69	0.003158
1/22/2014	240	11:48	21.6	0.0005	47	2	1.0012	1.73	7.86	0.002257
1/22/2014	480	15:48	22.3	0.0007	46	1	1.0005	0.72	8.02	0.001612
1/23/2014	1440	7:48	19.4	-0.0002	48	3	1.0019	2.74	7.69	0.000912
OBSERVACIONES										
ENSAYÓ: Robert Cando - Dayana Chiquín				CALCULÓ: Robert Cando - Dayana Chiquín				VERIFICÓ: Ing. Franco Rojas		

4.- Registro de clasificación

Tabla 4.15 Registro de clasificación (muestra 1)

PROYECTO	TESIS	Ensayo	Dayana Chiquin - Robert Cando
Localización:	COLOBRI-PINTAG	Reviso	Ing. Franco Rojas
Sondeo:	1	Fecha	27/01/2014
Profundidad	m		

RESUMEN

Límite Líquido	31.50%
Límite Plástico	31.30%
Índice de Plasticidad	0.23%
Humedad Natural	31%
Clasificación SUCS	ML

Golpes	Capsula	PC+SH	PC+SS	P Cap	Humedad
#	#	gr.	gr.	gr.	%

LIMITE LIQUIDO

19	A27	25.92	22.89	13.71	33.01%
29	N2	24.41	21.72	13.15	31.39%
48	56	22.63	20.02	11.53	30.74%

LIMITE PLÁSTICO

	R	13.09	12.75	11.67	31.48%
	106	12.51	12.15	11	31.30%
	PD11	14.39	14.11	13.21	31.11%

GRANULOMETRÍA

Tamiz #	RETENIDO			PASA
	Parcial	Total	%	%
3/8"				
Nº 4	-			
Nº10	-	0	0.00%	100%
Nº 40	13.23	13.23	4.90%	95.11%
Nº 200	118.53	131.76	48.70%	51.34%
Pasa Nº 200	139	270.8	-	-

Total Humedo	354.7
Total Seco	270.8

PORCENTAJE DE GRAVA	0%
PORCENTAJE DE ARENA	48.66%
PORCENTAJE DE FINOS	51%

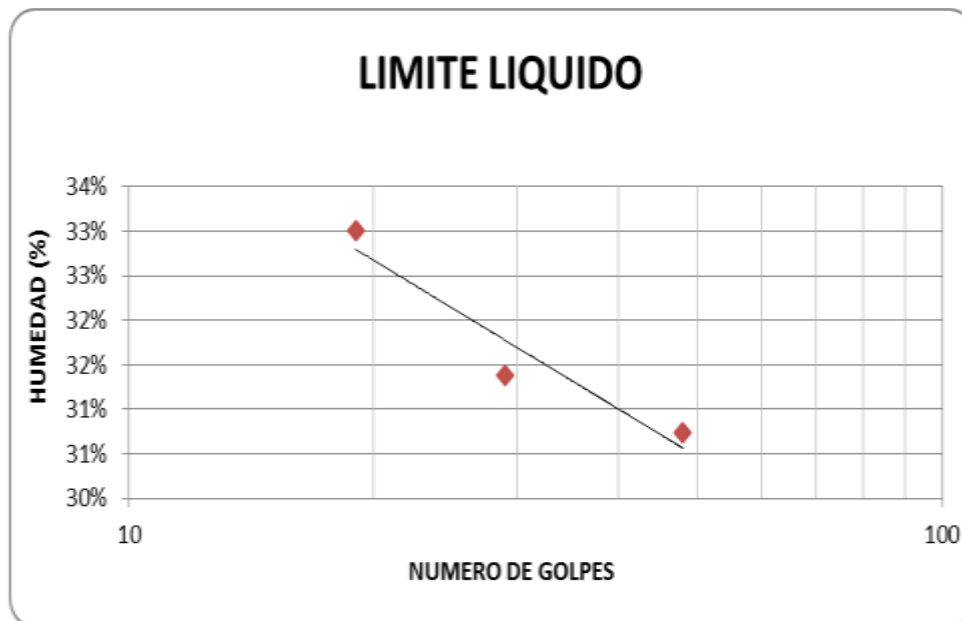


Figura 4.35 Grafica del LL (muestra 1)

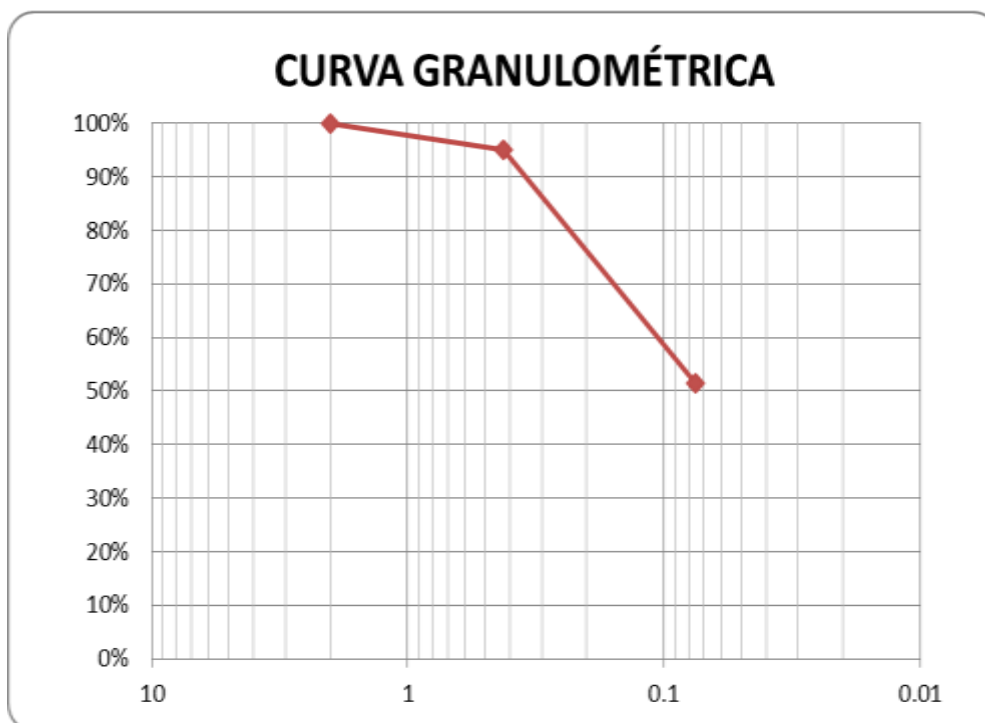


Figura 4.36 Curva de granulometría para clasificación (muestra 1)

5.- Curva granulométrica

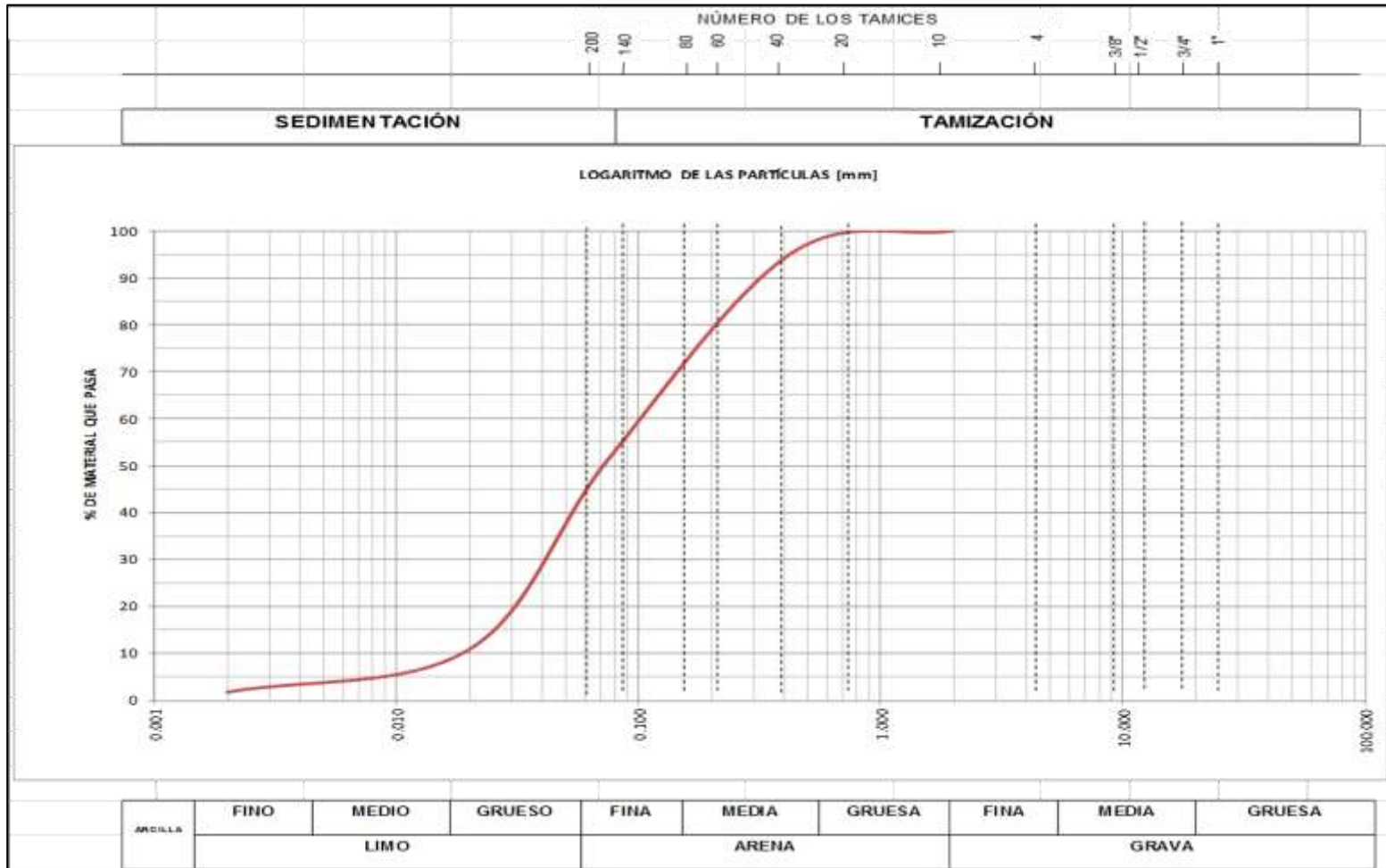



Figura 4.37 Curva granulométrica (muestra 1)

6.- Registro de triaxiales

Tabla 4.16 Registro de ensayo triaxial 0.5kg/cm2 (Muestra 1)

DATOS DE LA PROBETA			PROCESO 1							
Ds =	3.75	cm	Lec. Def.	Deformación	Lec. Dial	Carga	Deformación	Área Corr.	Esf. Desviador	
Dm =	3.74	cm	10 ⁻³ pulg	cm	mm	kg	Unitaria	cm ²	kg/cm ²	
Di =	3.69	cm	0	0	0	0	0	10.9314	0	
Dp =	3.73	cm	5	0.013	2	2.241	0.0016	10.9485	0.205	
Ho =	8.1	cm	10	0.025	4	4.482	0.0031	10.9657	0.409	
Ao =	10.93	cm ²	15	0.038	6	6.724	0.0047	10.983	0.612	
Vo =	88.57	cm ³	20	0.051	8	8.965	0.0063	11.0003	0.815	
W =	132.59	g	25	0.064	11	12.327	0.0078	11.0177	1.119	
γh =	1.5	g/cm ³	30	0.076	13	14.568	0.0094	11.0351	1.32	
γs =	1.32	g/cm ³	35	0.089	16	17.93	0.011	11.0526	1.622	
σ3 =	0.5	kg/cm ²	40	0.102	20	22.412	0.0125	11.0702	2.025	
Cte. =	1.1206	kg/mm	45	0.114	25	28.015	0.0141	11.0878	2.527	
	50	0.127	29	32.497	0.0157	11.1054	2.926			
	60	0.152	38	42.583	0.0188	11.1409	3.822			
	70	0.178	40.5	45.384	0.0219	11.1766	4.061			
	80	0.203	43	48.186	0.0251	11.2126	4.297			
	MÁXIMO							4.297		
$Esf. desv. = \frac{Carga}{Área corr.}$ $def. unit. = \frac{Deformación}{H_o}$ $Área Corr. = \frac{A_o}{def. unit.}$							CONTENIDO DE HUMEDAD			
							Número de la capsula		A29	38
							Peso de la capsula		12.8	14
							Peso de la Cap. + Suelo Húmedo		38.01	35.86
							Peso de la Cap. + Suelo Seco		31.41	35.55
							Contenido de Humedad		26.18%	1.42%
Contenido de Humedad Promedio		13.80%								

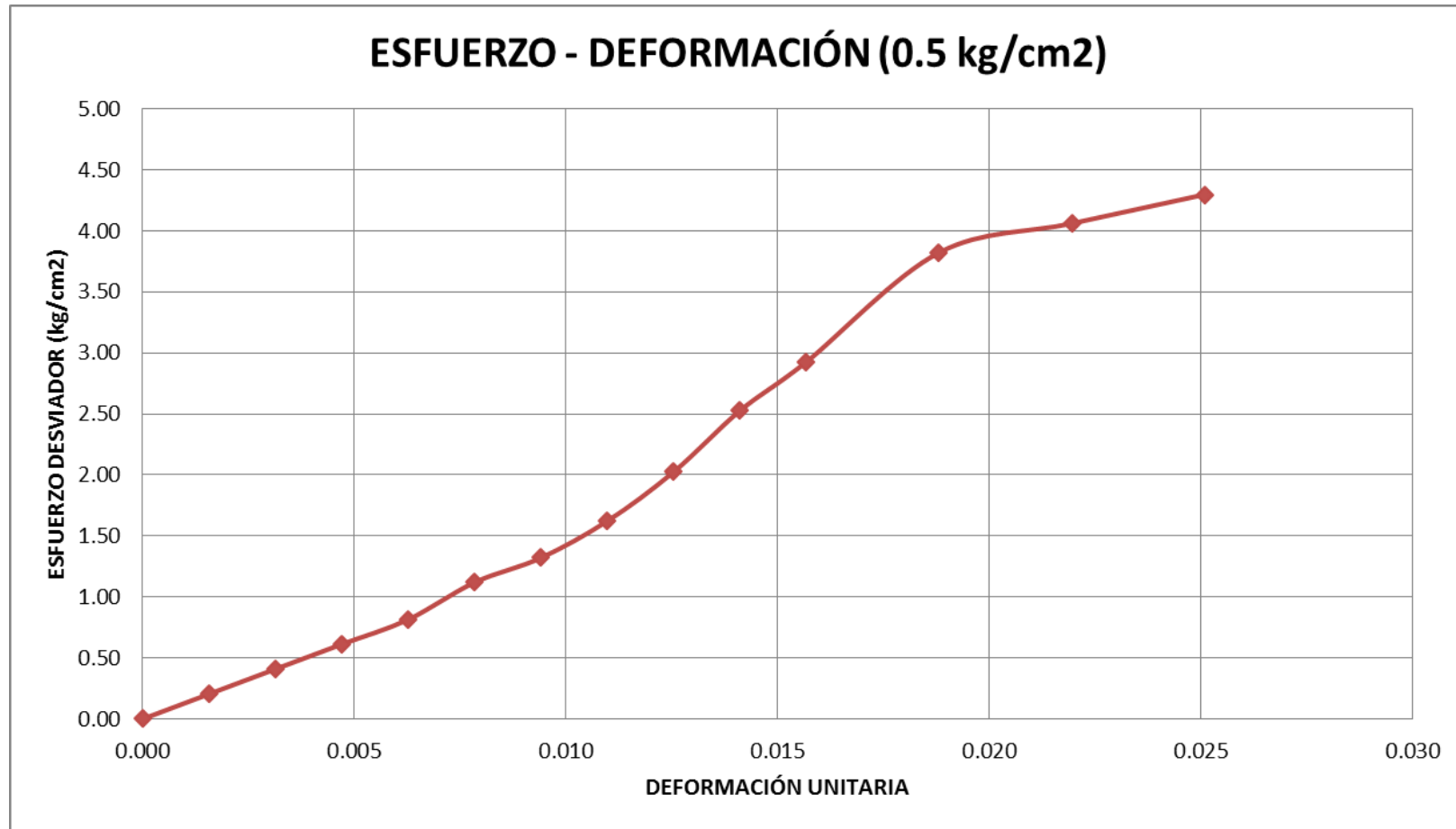
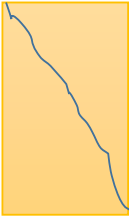


Figura 4.38 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial 0.5kg/cm² (Muestra 1)

Tabla 4.17 Registro de ensayo triaxial 1.0 kg/cm² (Muestra 1)

DATOS DE LA PROBETA			PROCESO 2						
Ds =	3.68	cm	Lec. Def.	Deformación	Lec. Dial	Carga	Deformación	Área Corr.	Esf. Desviador
Dm =	3.56	cm	10 ⁻³ pulg	cm	mm	kg	Unitaria	cm ²	kg/cm ²
Di =	3.47	cm	0	0	0	0	0	10.9314	0
Dp =	3.57	cm	5	0.013	1.2	1.345	0.0016	10.9485	0.123
Ho =	8.03	cm	10	0.025	3	3.362	0.0031	10.9657	0.307
Ao =	9.97	cm ²	15	0.038	4	4.482	0.0047	10.983	0.408
Vo	80.04	cm ³	20	0.051	8	8.965	0.0063	11.0003	0.815
W =	125.35	g	25	0.064	11	12.327	0.0078	11.0177	1.119
γ _h =	1.566	g/cm ³	30	0.076	14	15.688	0.0094	11.0351	1.422
γ _s =	1.374	g/cm ³	35	0.089	17	19.05	0.011	11.0526	1.724
σ ₃ =	1	kg/cm ²	40	0.102	22	24.653	0.0125	11.0702	2.227
Cte. =	1.1206	kg/mm	45	0.114	26	29.136	0.0141	11.0878	2.628
			50	0.127	32	35.859	0.0157	11.1054	3.229
			60	0.152	43	48.186	0.0188	11.1409	4.325
			70	0.178	53	59.392	0.0219	11.1766	5.314
			80	0.203	62	69.477	0.0251	11.2126	6.196
			90	0.229	68	76.201	0.0282	11.2487	6.774
			100	0.254	71	79.563	0.0314	11.2851	7.05
			MÁXIMO						
			7.05						
$Esf. desv. = \frac{Carga}{Área corr.}$ $def. unit. = \frac{Deformación}{H_o}$ $Área Corr. = \frac{A_o}{def. unit.}$			CONTENIDO DE HUMEDAD						
			Número de la capsula		68	111			
			Peso de la capsula		13	14.48			
			Peso de la Cap. + Suelo Húmedo		31.85	39.36			
			Peso de la Cap. + Suelo Seco		29.27	35.83			
			Contenido de Humedad		13.69%	14.19%			
Contenido de Humedad Promedio		13.94%							

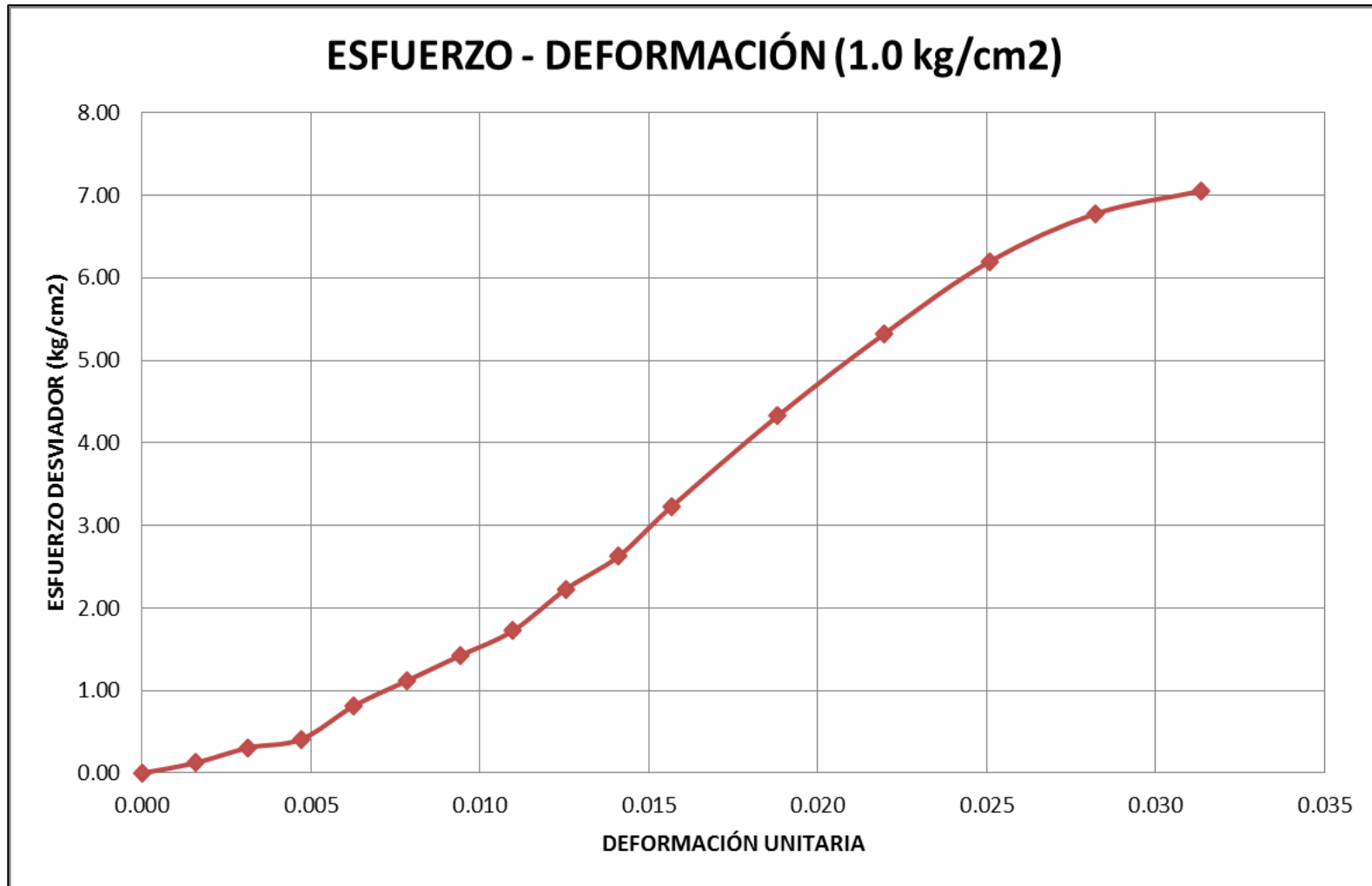


Figura 4.39 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial 1.0kg/cm² (Muestra 1)

Tabla 4.18 Registro de ensayo triaxial 1.5kg/cm² (Muestra 1)

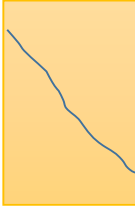
DATOS DE LA PROBETA			PROCESO 3							
Ds =	3.51	cm	Lec. Def.	Deformación	Lec. Dial	Carga	Deformación	Área Corr.	Esf. Desviador	
Dm =	3.56	cm	10 ⁻³ pulg	cm	mm	kg	Unitaria	cm ²	kg/cm ²	
Di =	3.44	cm	0	0	0	0	0	10.9314	0	
Dp =	3.5	cm	5	0.013	2	2.241	0.0016	10.9485	0.205	
Ho =	8.36	cm	10	0.025	5	5.603	0.0031	10.9657	0.511	
Ao =	9.79	cm ²	15	0.038	8	8.965	0.0047	10.983	0.816	
Vo =	81.84	cm ³	20	0.051	15	16.809	0.0063	11.0003	1.528	
W =	123.16	g	25	0.064	21	23.533	0.0078	11.0177	2.136	
γ _h =	1.505	g/cm ³	30	0.076	28	31.377	0.0094	11.0351	2.843	
γ _s =	1.309	g/cm ³	35	0.089	36	40.342	0.011	11.0526	3.65	
σ ₃ =	1.5	kg/cm ²	40	0.102	43	48.186	0.0125	11.0702	4.353	
Cte. =	1.1206	kg/mm	45	0.114	50	56.03	0.0141	11.0878	5.053	
			50	0.127	56	62.754	0.0157	11.1054	5.651	
			60	0.152	66	73.96	0.0188	11.1409	6.639	
			70	0.178	74	82.925	0.0219	11.1766	7.419	
			80	0.203	78	87.407	0.0251	11.2126	7.795	
			90	0.229	81	90.769	0.0282	11.2487	8.069	
			100	0.254	82	91.889	0.0314	11.2851	8.143	
			MÁXIMO							
$Esf. desv. = \frac{Carga}{Área corr.}$ $def. unit. = \frac{Deformación}{H_o}$ $Área Corr. = \frac{A_o}{def. unit.}$			CONTENIDO DE HUMEDAD							
			Número de la capsula		MK	EE				
			Peso de la capsula		14.24	14.55				
			Peso de la Cap. + Suelo Húmedo		43	38.96				
			Peso de la Cap. + Suelo Seco		38.65	35.36				
			Contenido de Humedad		15.13%	14.75%				
			Contenido de Humedad Promedio		14.94%					



Figura 4.40 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial 1.5kg/cm² (Muestra 1)

CURVA ESFUERZO DEFORMACIÓN

Figura 4.41 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial (Muestra 1)

CÍRCULOS DE MOHR

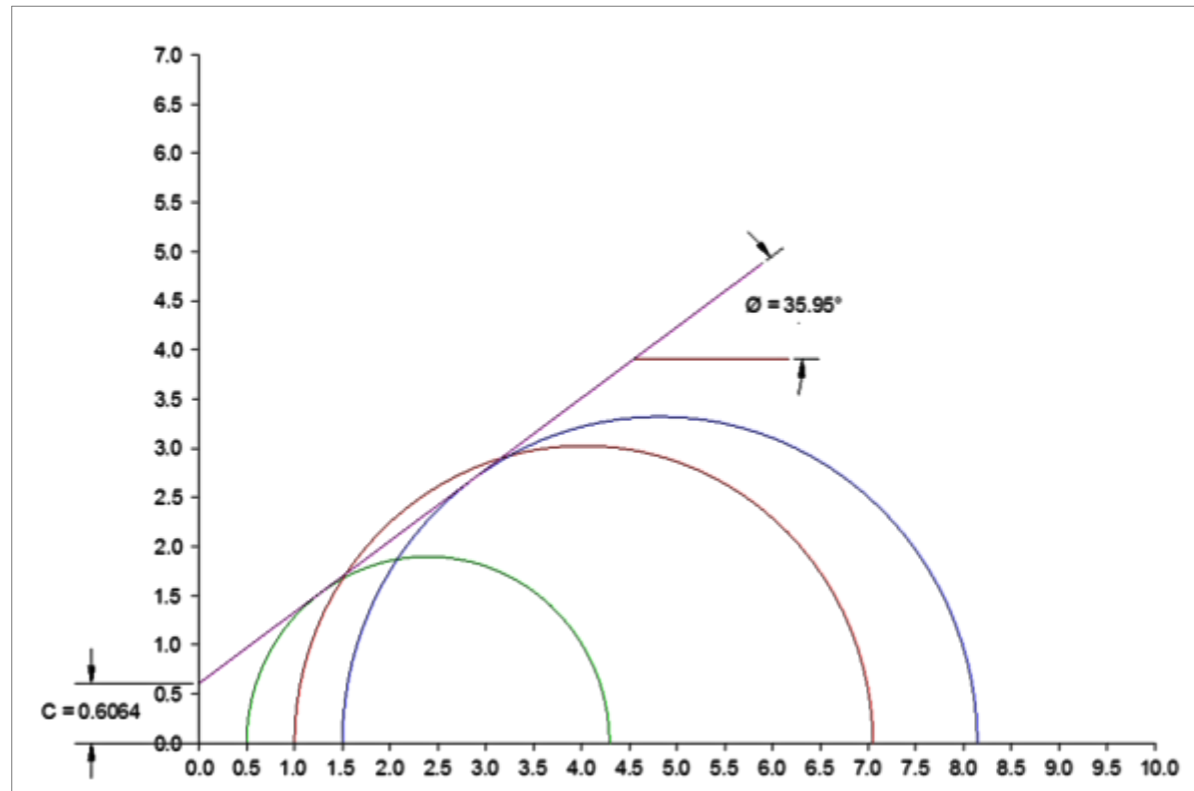


Figura 4.42 Círculos de Mohr (muestra 1)

4.9.1.2.- Muestra 2

Al concluir los ensayos correspondientes a la toma de muestra 2 del talud se procede a tabular datos bajo la norma correspondiente obteniendo los resultados siguientes correspondientes a la muestras 2 del talud tipo ensayado.

- Registro de humedad: tabla 4.19
- Registro de peso específico: tabla 4.20
- Registro de sedimentación por hidrómetro: tabla 4.21
- Registro de clasificación: tabla 4.22

Para clasificar el tipo de suelo fig. 4.43 y fig. 4.44 se procede a tabular con los resultados obtenidos de límite líquido y ensayo de clasificación del suelo por sedimentación.

Para determinar la cohesión y el ángulo de fricción de la muestra se tabula datos del ensayo de triaxiales tabla 4.23, 4.24, 4.25 con los cuales se trabaja para obtener el ángulo de fricción basado en la teoría de los círculos de Mohr fig. 4.50

Ubicación intermedia del talud

2. - Registro de humedad

Tabla 4.19 Registro de humedad (muestra 2)

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES			
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Fecha 1/15/2014	COLIBRI-PINTAG		Proceso No. 2
MUESTRA	1	2	3
PESO DE LA TARA (gr)	13.27	15.5	13.11
PROFUNDIDAD DE ENSAYO (m)	1.5	1.5	1.5
NÚMERO DE LA CÁPSULA	63	A34	40
PESO DE LA CÁPSULA (gr)	13.27	15.5	13.11
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	55.57	54.47	57.18
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	48.9	48.06	50.21
PESO DEL AGUA (gr)	6.67	6.41	6.97
PESO DEL SUELO SECO (gr)	42.3	38.97	44.07
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	16%	16%	16%
CONTENIDO DE HUMEDAD MEDIO (%)	16%		
OBSERVACIONES:			
ENSAYÓ: Robert Cando - Dayana Chiquín	CALCULÓ: Robert Cando - Dayana Chiquín	VERIFICÓ: Ing. Franco Rojas	

2. - Registro de peso específico

Tabla 4.20 Registro de peso específico (muestra 2)

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS					
Fecha	TALUD: COLIBRI-PINTAG				Proceso No.2
1/20/2013					
NÚMERO DEL PICNÓMETRO			1	2	3
A	PESO DEL PIGNÓMETRO + MUESTRA SECA	(g)	361.69	351.01	353.36
B	PESO DEL PIGNÓMETRO + MUESTRA SECA + AGUA DESTILADA	(g)	787.7	778.9	778.3
C	PESO DEL PIGNÓMETRO	(g)	165.09	159.9	160.06
D	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA DESTILADA	(g)	663.6	658.21	658.5
E = A - C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	196.6	191.11	193.3
F = D - C	VOLUMEN DEL FRASCO	(cm ³)	498.51	498.31	498.44
G = B - A	VOLUMEN DEL FRASCO - VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm ³)	426.01	427.89	424.94
H = F - G	VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm ³)	72.5	70.42	73.5
E/H	PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS	(g/cm ³)	2.71	2.71	2.63
MEDIA			2.685		
OBSERVACIONES:					
ENSAYÓ: Robert Cando - Dayana Chiquín		CALCULÓ: Dayana Chiquín-Robert Cando		VERIFICÓ: Ing. Franco Rojas	

3.- Registro de Sedimentación por hidrómetro

Tabla 4.21 Registro granulométrico (muestra 2)

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS										
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL										
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES										
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO										
Fecha 23/01/2104					Proceso No. 2					
HIDRÓMETRO No.			15-1469		PESO DEL SUELO PRETRATADO $P_b =$			110.5		
PROVETA No.			2		CORRECCIÓN DEL MENISCO $C =$			1		
ANTI-FLOCULANTE 40 g			(Na P O ₃) ₆		CORRECCIÓN DEL ANTI-FLOCULANTE $C' =$			45		
PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS			2.69 g/cm ³		CORRECCIÓN DEL ANTI-FLOCULANTE $C'' =$			45		
100 G/Pb (G-1)										
SEDIMENTACIÓN							MUESTRA No.			
FECHA	TIEMPO (minutos)	HORAS	TEMP °C	CORRECCIÓN DE TEMPERATURA C''	LECTURA L_s	$L_c = L_s + C - C' + C''$		% ACUMULADO	Zs (cm)	diámetro (mm)
1/22/2014	-	-	-	-	-	-	-	FORMULA		FORMULA
1/22/2014	1	8:06	20.2	0.0001	60	16	1.0099	14.28	5.95	0.030418
1/22/2014	2	8:08	20.2	0.0001	57	13	1.008	11.54	6.34	0.022208
1/22/2014	4	8:10	20.2	0.0001	54	10	1.0062	8.94	6.77	0.01622
1/22/2014	8	8:14	20.2	0.0001	53	9	1.0055	7.93	6.91	0.011594
1/22/2014	15	8:21	20.2	0.0001	51	7	1.0044	6.35	7.22	0.008651
1/22/2014	30	8:36	20.2	0.0001	50	6	1.0038	5.48	7.37	0.006183
1/22/2014	60	9:06	20.8	0.0002	49	5	1.003	4.33	7.53	0.004419
1/22/2014	120	10:06	21.4	0.0004	48	4	1.0024	3.46	7.69	0.003158
1/22/2014	240	12:06	21.9	0.0006	47	3	1.0019	2.74	7.86	0.002257
1/22/2014	480	16:06	22.3	0.0007	47	3	1.0019	2.74	7.86	0.001596
1/23/2014	1440	8:06	20	0	48	4	1.0024	3.46	7.69	0.000912
OBSERVACIONES										
ENSAYÓ: Dayana Chiquin- Robert Cando					CALCULÓ: Dayana Chiquin- Robert Cando			VERIFICÓ: Ing. Franco Rojas		

4.- Registro de clasificación

Tabla 4.22 Registro de clasificación (muestra 2)

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

PROYECTO	TESIS	
Localización:	COLIBRI-PINTAG	Ensayo Dayana Chiquin-Robert Cando
Sondeo:	1	Reviso Ing. Franco Rojas
Profundidad	metros	Fecha 27/01/2014

RESUMEN

Limite Líquido	22.11%
Limite Plástico	19%
Índice de Plasticidad	3%
Humedad Natural	16%
Clasificación SUCS	ML

Golpes #	Capsula #	PC+SH gr.	PC+SS gr.	P Cap gr.	Humedad %
-------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

LIMITE LIQUIDO

17	A42	25.12	22.51	11.04	22.76%
26	A37	24.4	22.08	11.36	21.64%
48	81-1	35.77	32.3	14.33	19.31%

LIMITE PLÁSTICO

	JP241	15.18	14.89	13.4	19.46%
	E1	14.58	14.39	13.41	19.39%
	40	13.83	13.72	13.15	19.30%

GRANULOMETRÍA

Tamiz #	RETENIDO			PASA
	Parcial	Total	%	%
Nº 4	-			
Nº10	-	0	0.00%	100%
Nº 40	11.27	11.27	5.20%	94.78%
Nº 200	103.71	114.98	53.30%	46.69%
Pasa Nº 200	100.7	215.7	100.00%	0.00%

Total Humedo	215.7
Total Seco	215.7

PORCENTAJE DE GRAVA	0%
PORCENTAJE DE ARENA	53.30%
PORCENTAJE DE FINOS	47%

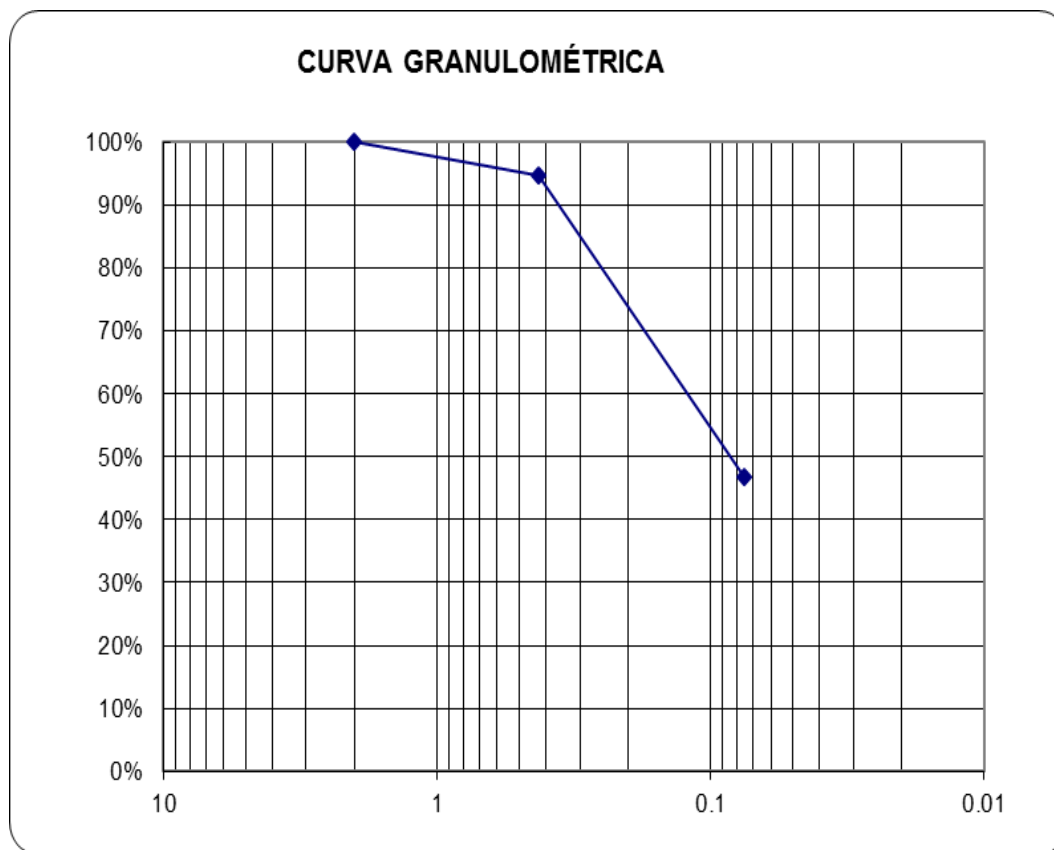


Figura 4.43: Curva de granulometría para clasificación (muestra 2)

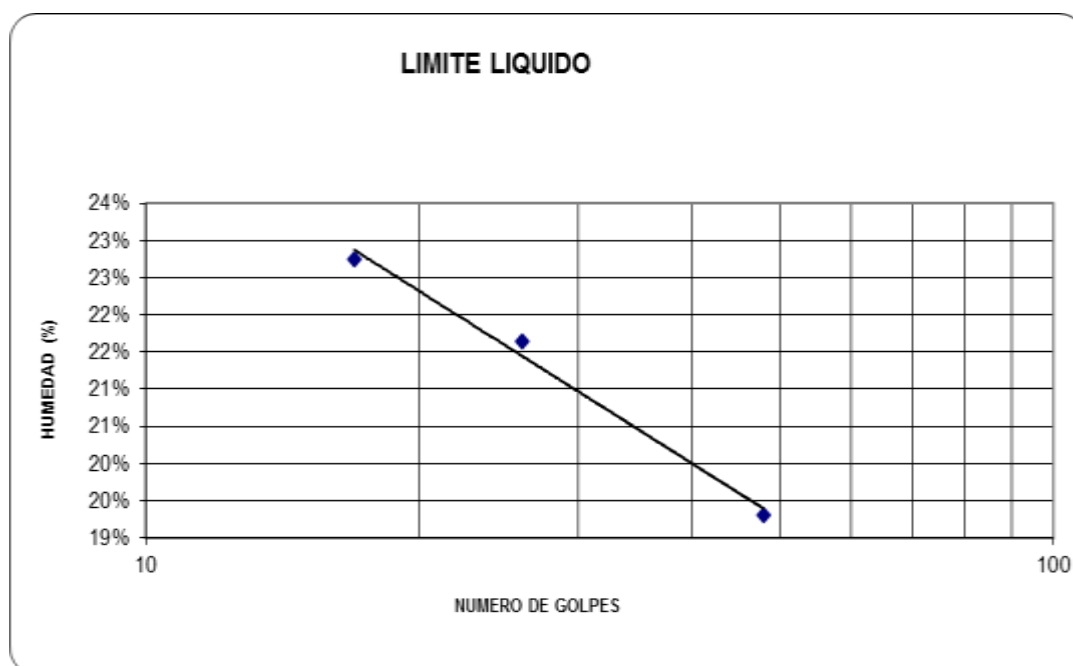


Figura 4.44 Grafica del LL (muestra 2)

5.- Curva granulométrica

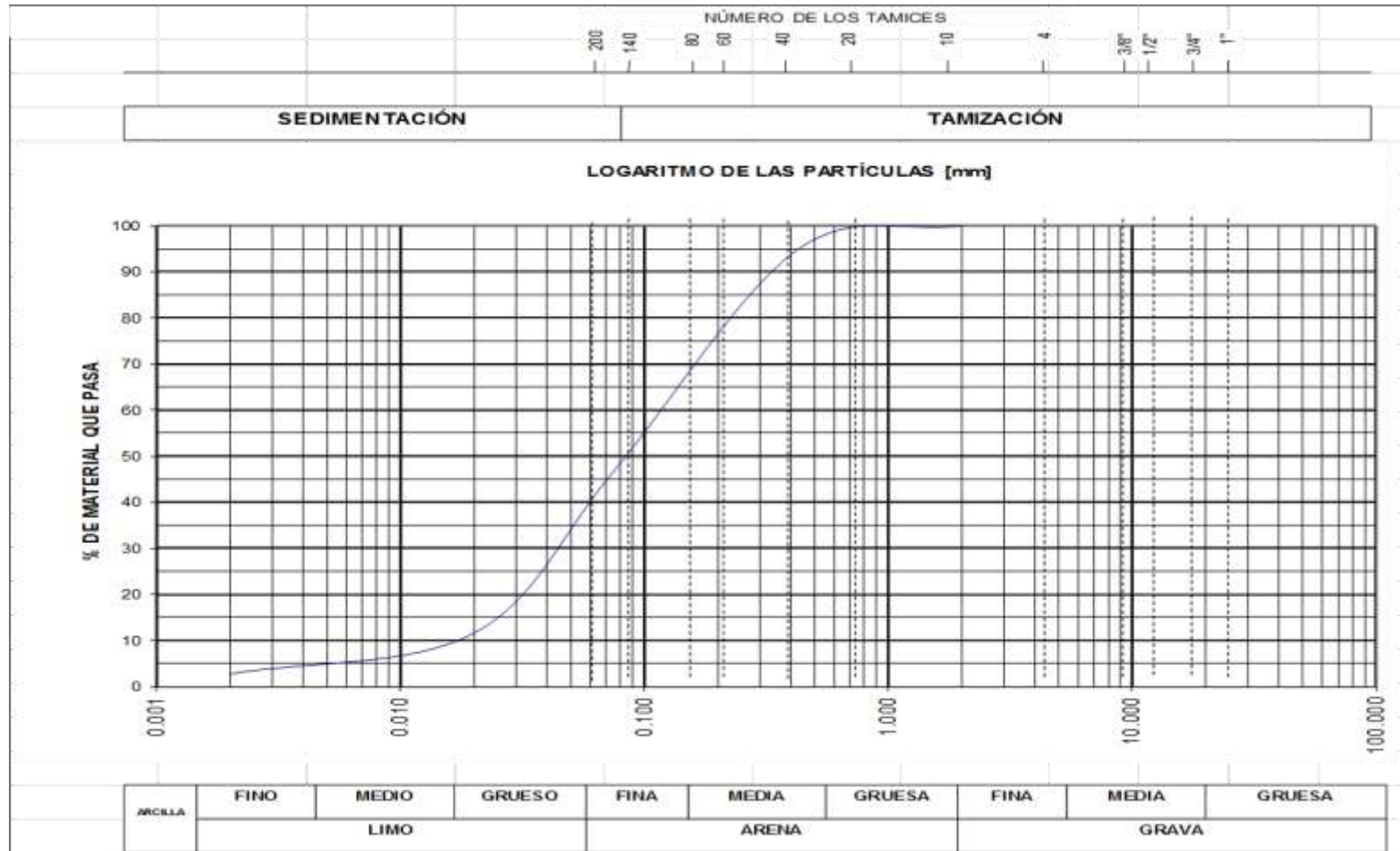
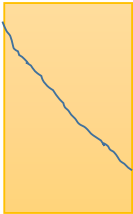


Figura 4.45 Curva de granulometría (muestra 2)

6.- Registro de triaxiales

Tabla 4.23 Registro de ensayo triaxial 0.5kg/cm2 (Muestra 2)

DATOS DE LA PROBETA			PROCESO 1						
Ds =	3.66	cm	Lec. Def.	Deformación	Lec. Dial	Carga	Deformación	Área Corr.	Esf. Desviador
Dm =	3.72	cm	10 ⁻³ pulg	cm	mm	kg	Unitaria	cm ²	kg/cm ²
Di =	3.68	cm	0	0	0	0	0	10.767	0
Dp =	3.69	cm	5	0.013	2	2.241	0.0016	10.7838	0.208
Ho =	8.17	cm	10	0.025	5	5.603	0.0031	10.8006	0.519
Ao =	10.77	cm ²	15	0.038	7	7.844	0.0047	10.8175	0.725
Vo =	88	cm ³	20	0.051	10	11.206	0.0062	10.8344	1.034
W =	138.82	g	25	0.064	12	13.447	0.0078	10.8514	1.239
yh =	1.578	g/cm ³	30	0.076	15	16.809	0.0093	10.8684	1.547
ys =	1.333	g/cm ³	35	0.089	19	21.291	0.0109	10.8855	1.956
σ3 =	0.5	kg/cm ²	40	0.102	22	24.653	0.0124	10.9026	2.261
Cte. =	1.1206	kg/mm	45	0.114	25	28.015	0.014	10.9198	2.566
			50	0.127	28	31.377	0.0155	10.937	2.869
			60	0.152	34	38.1	0.0186	10.9716	3.473
			70	0.178	37	41.462	0.0218	11.0065	3.767
			80	0.203	40	44.824	0.0249	11.0416	4.06
			MÁXIMO						4.06
 $Esf. desv. = \frac{Carga}{Area corr.}$ $def. unit. = \frac{Deformación}{Ho}$ $Area Corr. = \frac{Ao}{def. unit.}$			CONTENIDO DE HUMEDAD						
			Numero de la capsula		A27	A18			
			Peso de la capsula		13.69	12.42			
			Peso de la Cap. + Suelo Húmedo		47.15	41.28			
			Peso de la Cap. + Suelo Seco		40.92	36.08			
			Contenido de Humedad		18.60%	18.00%			
			Contenido de Humedad Promedio		18.32%				

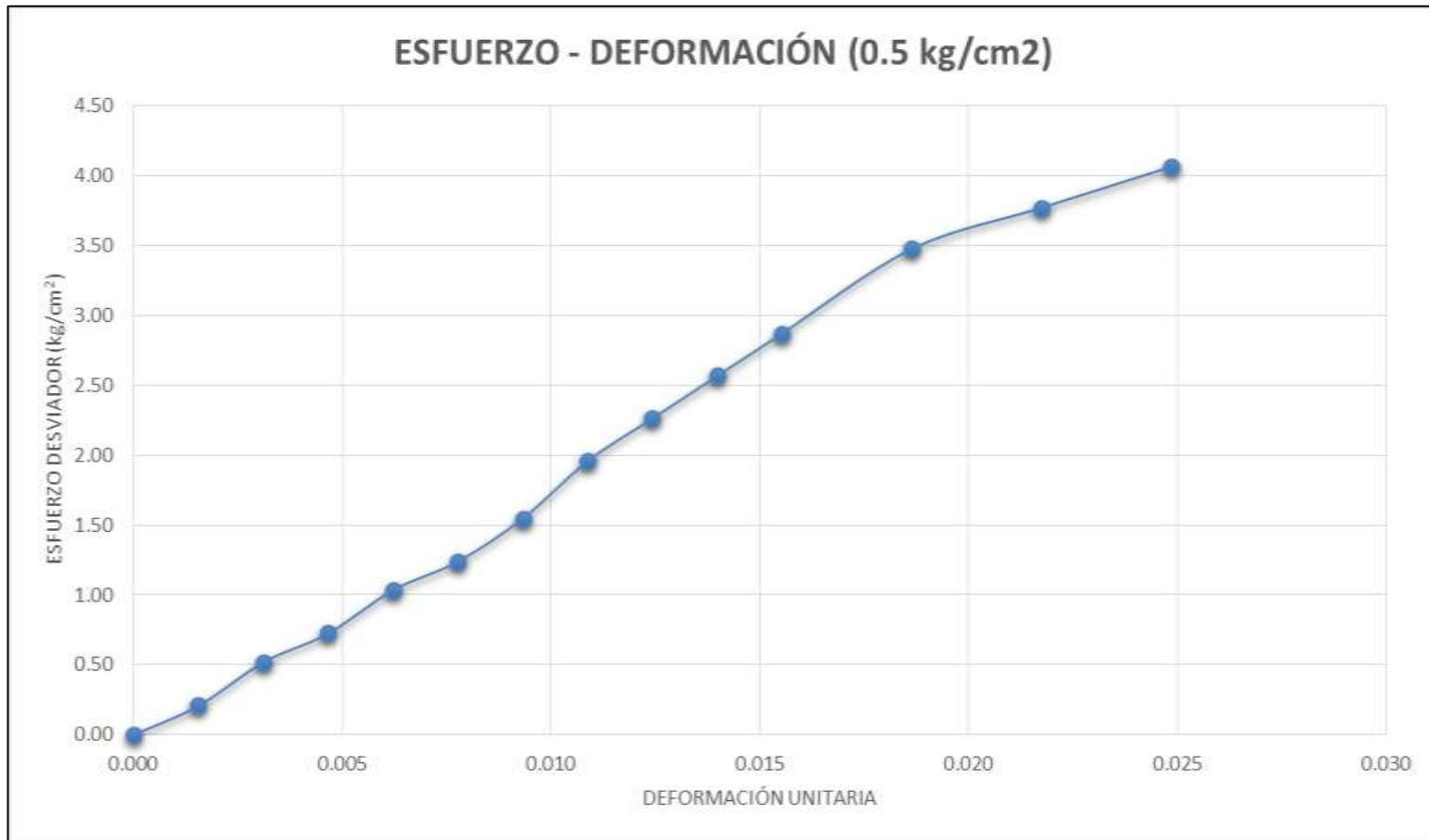
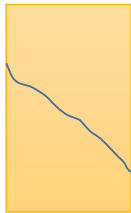


Figura 4.46 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial 0.5kg/cm² (Muestra 2)

Tabla 4.24 Registro de ensayo triaxial 1.0 kg/cm² (Muestra 2)

DATOS DE LA PROBETA			PROCESO 2						
Ds =	3.69	cm	Lec. Def.	Deformación	Lec. Dial	Carga	Deformación	Área Corr.	Esf. Desviador
Dm =	3.62	cm	10 ⁻³ pulg	cm	mm	kg	Unitaria	cm ²	kg/cm ²
Di =	3.6	cm	0	0	0	0	0	10.767	0
Dp =	3.63	cm	5	0.013	3	3.362	0.0016	10.7838	0.312
Ho =	8.02	cm	10	0.025	5	5.603	0.0031	10.8006	0.519
Ao =	10.32	cm ²	15	0.038	8	8.965	0.0047	10.8175	0.829
Vo	82.8	cm ³	20	0.051	11	12.327	0.0062	10.8344	1.138
W =	127.25	g	25	0.064	14	15.688	0.0078	10.8514	1.446
yh =	1.537	g/cm ³	30	0.076	17	19.05	0.0093	10.8684	1.753
ys =	1.296	g/cm ³	35	0.089	22	24.653	0.0109	10.8855	2.265
σ ₃ =	1	kg/cm ²	40	0.102	27	30.256	0.0124	10.9026	2.775
Cte. =	1.1206	kg/mm	45	0.114	31	34.739	0.014	10.9198	3.181
			50	0.127	36	40.342	0.0155	10.937	3.689
			60	0.152	42	47.065	0.0186	10.9716	4.29
			70	0.178	48	53.789	0.0218	11.0065	4.887
			80	0.203	52	58.271	0.0249	11.0416	5.277
			90	0.229	55	61.633	0.028	11.0769	5.564
			100	0.254	57	63.874	0.0311	11.1124	5.748
MÁXIMO									5.748
			CONTENIDO DE HUMEDAD						
			Numero de la capsula		81	P4			
			Peso de la capsula		14.33	13.14			
			Peso de la Cap. + Suelo Húmedo		41.36	44.69			
			Peso de la Cap. + Suelo Seco		36.64	38.47			
			Contenido de Humedad		17.46%	19.71%			
			Contenido de Humedad Promedio		18.59%				
$Esf. desv. = \frac{Carga}{Área corr.}$ $def. unit. = \frac{Deformación}{H_o}$ $Área Corr. = \frac{A_o}{def. unit.}$									

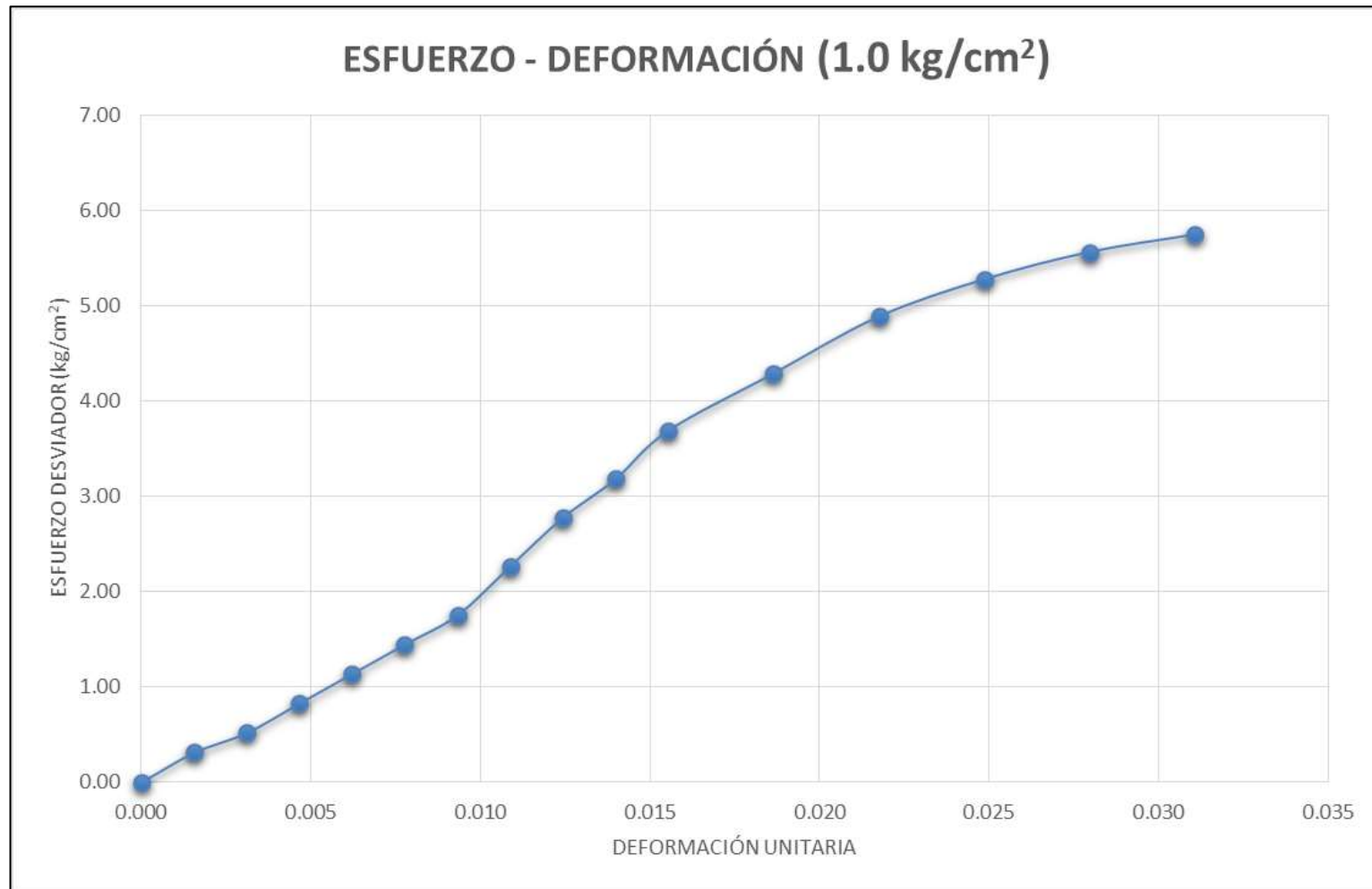
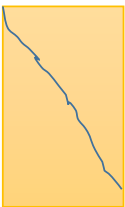


Figura 4.47 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial 1.0kg/cm² (Muestra 2)

Tabla 4.25 Registro de ensayo triaxial 1.5kg/cm2 (Muestra 2)

DATOS DE LA PROBETA			PROCESO 3						
Ds =	3.77	cm	Lec. Def.	Deformación	Lec. Dial	Carga	Deformación	Área Corr.	Esf. Desviador
Dm =	3.76	cm	10 ⁻³ pulg	cm	mm	kg	Unitaria	cm ²	kg/cm ²
Di =	3.72	cm	0	0	0	0	0	10.767	0
Dp =	3.75	cm	5	0.013	5	5.603	0.0016	10.7838	0.52
Ho =	7.92	cm	10	0.025	6	6.724	0.0031	10.8006	0.623
Ao =	11.05	cm ²	15	0.038	10	11.206	0.0047	10.8175	1.036
Vo =	87.47	cm ³	20	0.051	14	15.688	0.0062	10.8344	1.448
W =	129.02	g	25	0.064	18	20.171	0.0078	10.8514	1.859
γh =	1.475	g/cm ³	30	0.076	23	25.774	0.0093	10.8684	2.371
γs =	1.25	g/cm ³	35	0.089	28	31.377	0.0109	10.8855	2.882
σ3 =	1.5	kg/cm ²	40	0.102	33	36.98	0.0124	10.9026	3.392
Cte. =	1.1206	kg/mm	45	0.114	37	41.462	0.014	10.9198	3.797
			50	0.127	41	45.945	0.0155	10.937	4.201
			60	0.152	48	53.789	0.0186	10.9716	4.903
			70	0.178	55	61.633	0.0218	11.0065	5.6
			80	0.203	60	67.236	0.0249	11.0416	6.089
			90	0.229	65	72.839	0.028	11.0769	6.576
			100	0.254	68	76.201	0.0311	11.1124	6.857
			125	0.318	75	84.045	0.0388	11.2022	7.503
MÁXIMO									7.503
 $Esf. desv. = \frac{Carga}{Área corr.}$ $def. unit. = \frac{Deformación}{H_o}$ $Area Corr. = \frac{A_o}{def. unit.}$			CONTENIDO DE HUMEDAD						
			Numero de la capsula		106	68			
			Peso de la capsula		10.97	13.01			
			Peso de la Cap. + Suelo Húmedo		41.92	41.32			
			Peso de la Cap. + Suelo Seco		36.75	35.83			
			Contenido de Humedad		16.70%	19.39%			
			Contenido de Humedad Promedio		18.05%				

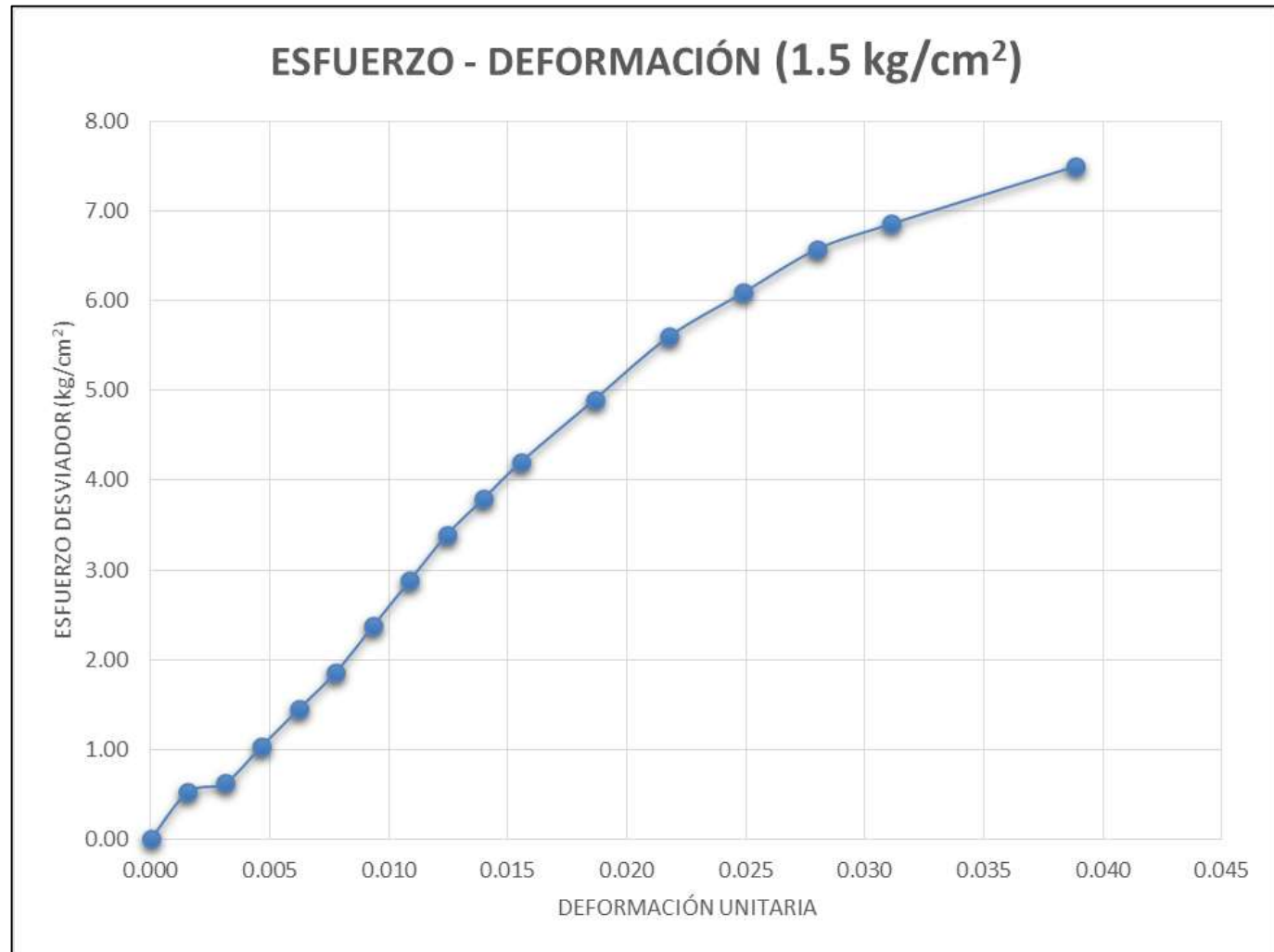


Figura 4.48 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial 1.5kg/cm² (Muestra 2)

CURVA ESFUERZO DEFORMACIÓN**Figura 4.49** Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial (Muestra 2)

CÍRCULOS DE MOHR

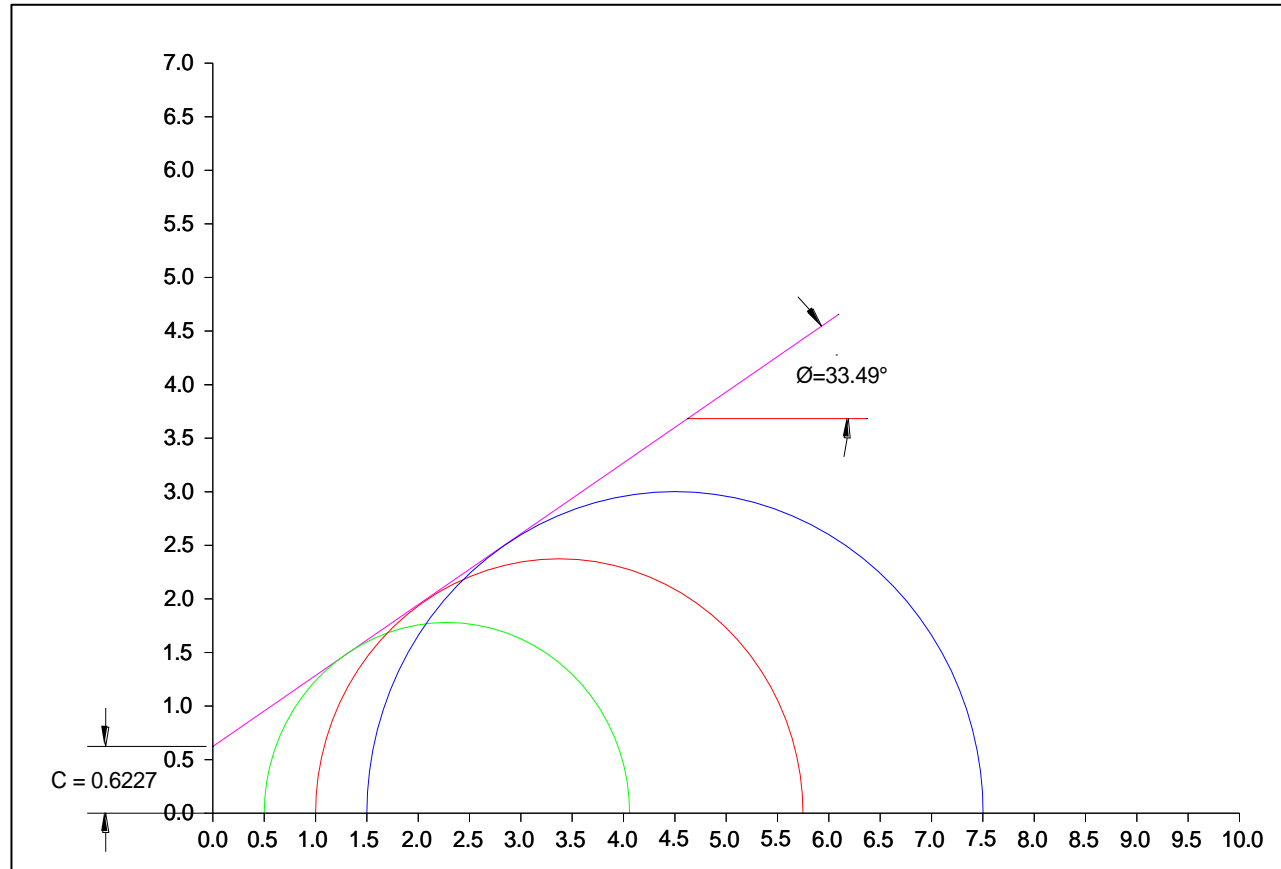


Figura 4.50 Círculos de Mohr (muestra 2)

4.9.1.3.- Muestra 3

Al concluir los ensayos correspondientes a la toma de muestra 3 del talud se procede a tabular datos bajo la norma correspondiente obteniendo los resultados siguientes correspondientes a la muestras 3 del talud tipo ensayado.

- Registro de humedad: tabla 4.26
- Registro de peso específico: tabla 4.27
- Registro de sedimentación por hidrómetro: tabla 4.28
- Registro de clasificación: tabla 4.28

Para clasificar el tipo de suelo fig. 4.51 y fig.4.52 se procede a tabular con los resultados obtenidos de límite líquido y ensayo de clasificación del suelo por sedimentación.

Para determinar la cohesión y el ángulo de fricción de la muestra se tabula datos del ensayo de triaxiales tabla 4.29, 4.30, 4.31 con los cuales se trabaja para obtener el ángulo de fricción basado en la teoría de los círculos de Mohr fig. 4.58

Ubicación norte del talud

1. - Registro de humedad

Tabla 4.26 Registro de humedad (muestra 3)

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES			
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Fecha 1/15/2014	COLIBRI -PINTAG	Proceso No. 3	
MUESTRA	1	2	3
PESO DE LA TARA (gr)	13.38	11.17	10.47
PROFUNDIDAD DE ENSAYO (m)	1.5	1.5	1.5
NÚMERO DE LA CÁPSULA	E1	F11	A45
PESO DE LA CÁPSULA (gr)	13.38	11.17	10.47
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	50.87	34.46	57.33
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	44.64	30.62	49.63
PESO DEL AGUA (gr)	6.23	3.84	7.7
PESO DEL SUELO SECO (gr)	37.49	23.29	46.86
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	17%	16%	16%
CONTENIDO DE HUMEDAD MEDIO (%)	16.50%		
OBSERVACIONES:			
ENSAYÓ: Robert Cando - Dayana Chiquín	CALCULÓ: Robert Cando - Dayana Chiquín	VERIFICÓ: Ing. Franco Rojas	

2. - Registro de peso específico

Tabla 4.27 Registro de peso específico (muestra 3)

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS					
Fecha	TALUD: COLIBRI-PINTAG			Proceso No. 3	
1/20/2013					
NÚMERO DEL PICNÓMETRO			1	2	3
A	PESO DEL PIGNÓMETRO + MUESTRA SECA	(g)	361.69	351.01	353.36
B	PESO DEL PIGNÓMETRO + MUESTRA SECA + AGUA DESTILADA	(g)	787.7	778.9	778.3
C	PESO DEL PIGNÓMETRO	(g)	165.09	159.9	160.06
D	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA DESTILADA	(g)	663.6	658.21	658.5
E = A - C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	196.6	191.11	193.3
F = D - C	VOLUMEN DEL FRASCO	(cm ³)	498.51	498.31	498.44
G = B - A	VOLUMEN DEL FRASCO - VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm ³)	426.01	427.89	424.94
H = F - G	VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm ³)	72.5	70.42	73.5
E/H	PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS	(g/cm ³)	2.71	2.71	2.63
MEDIA			2.685		
OBSERVACIONES:					
ENSAYÓ: Robert Cando - Dayana Chiquín		CALCULÓ: Dayana Chiquín-Robert Cando		VERIFICÓ: Ing. Franco Rojas	

3.- Registro de Sedimentación por hidrómetro

Tabla 4.28 Registro granulométrico (muestra 3)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO										
Fecha 23/01/2014								Proceso No. 3		
HIDRÓMETRO No.		15-1469		PESO DEL SUELO PRETRATADO $P_b =$		109.5				
PROVETA No.		2		CORRECCIÓN DEL MENISCO $C =$		1				
ANTI-FLOCULANTE 40 g		(Na P O ₃) ₆		CORRECCIÓN DEL ANTI-FLOCULANTE $C'' =$		46				
PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANC 100 G/Pb (G-1)		2.69 g/cm ³								
SEDIMENTACIÓN							MUESTRA No.			
FECHA	TIEMPO (minutos)	HORAS	TEMP °C	CORRECCIÓN DE TEMPERATURA C''	LECTURA L_s	$L_c = L_s + C - C' + C''$		% ACUMULADO	Zs (cm)	diámetro (mm)
1/22/2014	-	-	-	-	-	-	-	FORMULA		FORMULA
1/22/2014	1	8:11	20.2	0.0001	60	15	1.0093	13.53	5.95	0.030418
1/22/2014	2	8:13	20.2	0.0001	58	13	1.008	11.64	6.21	0.021971
1/22/2014	4	8:15	20.2	0.0001	55	10	1.0062	9.02	6.62	0.016046
1/22/2014	8	8:19	20.2	0.0001	54	9	1.0055	8	6.77	0.011469
1/22/2014	15	8:26	20.2	0.0001	52	7	1.0044	6.4	7.06	0.008559
1/22/2014	30	8:41	20.2	0.0001	51	6	1.0038	5.53	7.22	0.006117
1/22/2014	60	9:11	20.8	0.0002	49	4	1.0024	3.49	7.53	0.004419
1/22/2014	120	10:11	21.5	0.0005	48	3	1.0019	2.76	7.69	0.003158
1/22/2014	240	12:11	21.9	0.0006	48	3	1.0019	2.76	7.69	0.002233
1/22/2014	480	16:11	22.4	0.0007	47	2	1.0012	1.75	7.86	0.001596
1/23/2014	1440	8:11	21	0.0003	48	3	1.0019	2.76	7.69	0.000912
OBSERVACIONES										
ENSAYÓ: Dayana Chiquin- Robert Cando				CALCULÓ: Dayana Chiquin- Robert Cando				VERIFICÓ: Ing. Franco Rojas		

4.- Registro de clasificación

Tabla 4.29 Registro de clasificación (muestra 3)

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

PROYECTO	TESIS	
Localización:	COLIBRI-PINTAG	Ensayo Dayana Chiquin- Robert Cando
Sondeo:	1	Reviso Ing. Franco Rojas
Profundidad	Metros	Fecha 27/01/2014

RESUMEN

Golpes	Capsula	PC+SH	PC+SS	P Cap	Humedad
#	#	gr.	gr.	gr.	%

Limite Liquido	19%
Limite Plástico	16.78%
Índice de Plasticidad	1.82%
Humedad Natural	17%
Clasificación SUCS	ML

LIMITE LIQUIDO

14	A11	29.11	26.01	11.65	21.59%
26	6	34.19	31.06	13.68	18.01%
48	FWCC	29.75	27.46	12.28	15.09%

LIMITE PLÁSTICO

	A18	14.73	14.64	14.11	16.98%
	306	12.73	12.63	12.04	16.95%
	63	13.73	13.62	12.95	16.42%

GRANULOMETRÍA

Tamiz #	RETENIDO			PASA %
	Parcial	Total	%	
Nº 4	-			
Nº10	0	0	0.00%	100.00%
Nº 40	16.9	16.9	6.10%	93.90%
Nº 200	128.65	145.55	52.30%	47.70%
Pasa Nº 200	132.9	278.4	100.00%	0.00%

Total Humedo	278.4
Total Seco	278.4

PORCENTAJE DE GRAVA	0%
PORCENTAJE DE ARENA	52.28%
PORCENTAJE DE FINOS	48%

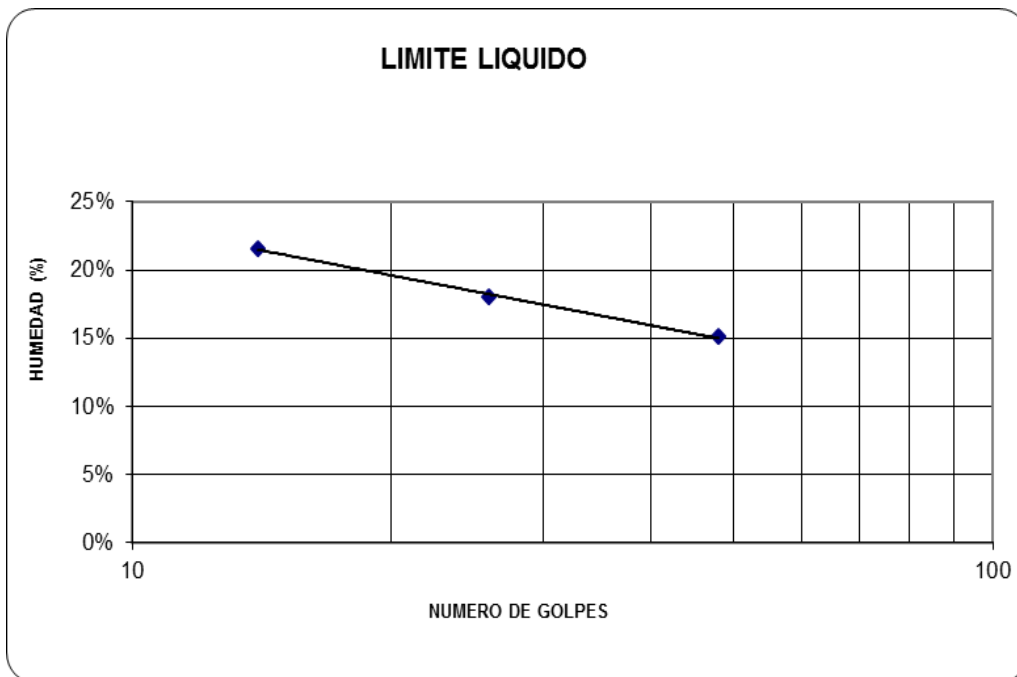


Figura 4.51 Grafica del LL (muestra 3)

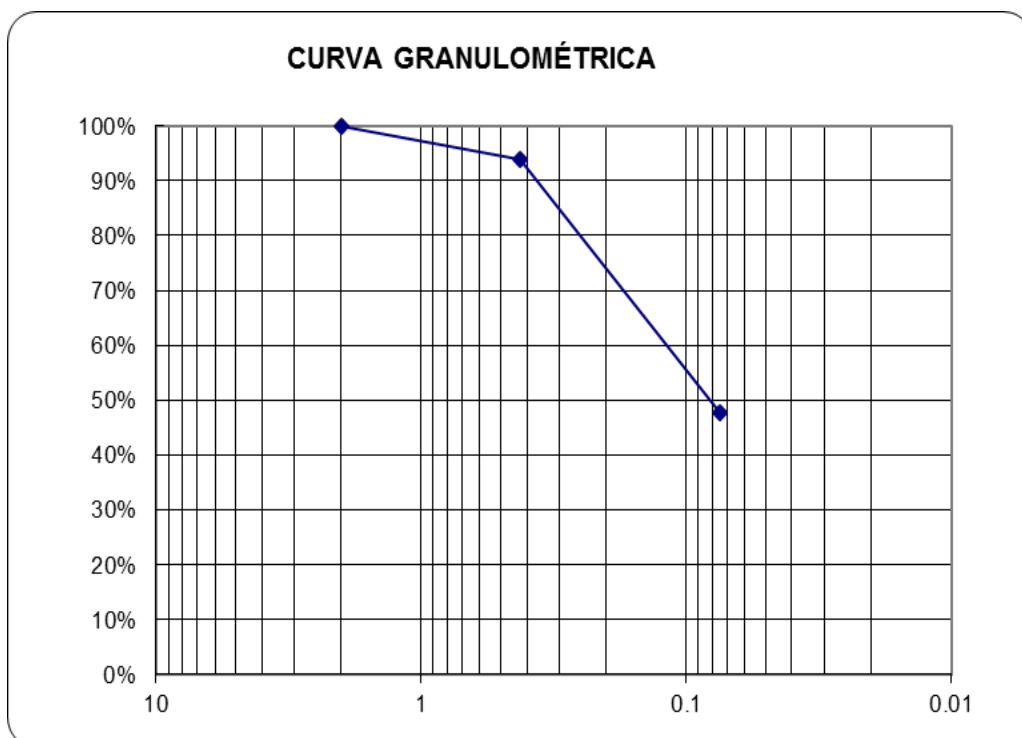


Figura 4.52 Curva de granulometría para clasificación (muestra 3)

5.- Curva granulométrica

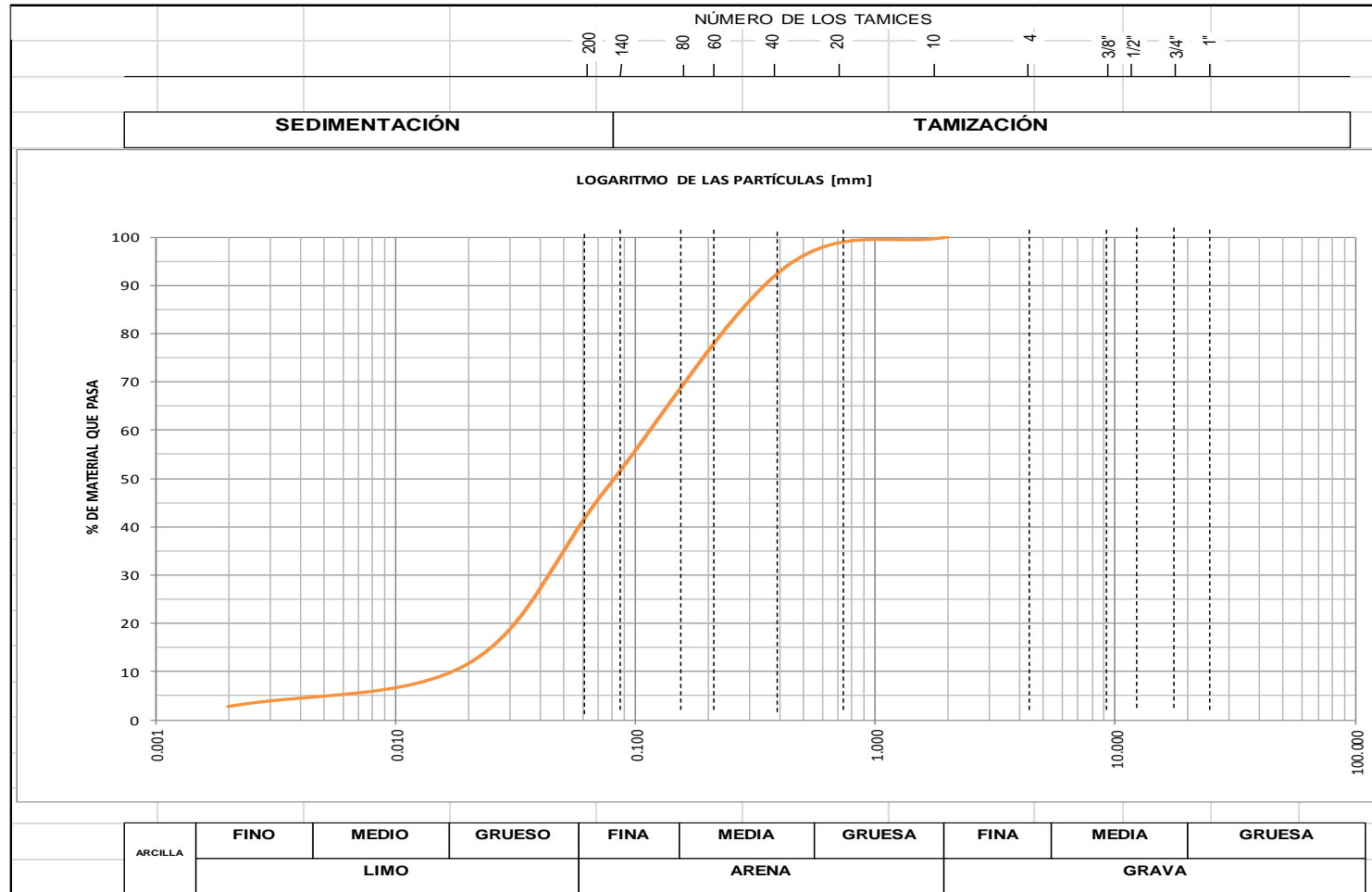
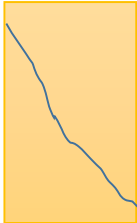


Figura 4.53 Curva de granulometría (muestra 3)

6.- Registro de triaxiales

Tabla 4.30 Registro de ensayo triaxial 0.5kg/cm² (Muestra 3)

DATOS DE LA PROBETA			PROCESO 1						
Ds =	3.62	cm	Lec. Def.	Deformación	Lec. Dial	Carga	Deformación	Área Corr.	Esf. Desviador
Dm =	3.41	cm	10 ⁻³ pulg	cm	mm	kg	Unitaria	cm ²	kg/cm ²
Di =	3.61	cm	0	0	0	0	0	9.5097	0
Dp =	3.55	cm	5	0.013	3	3.362	0.0016	9.5254	0.353
Ho =	7.73	cm	10	0.025	5	5.603	0.0033	9.5411	0.587
Ao =	9.51	cm ²	15	0.038	8	8.965	0.0049	9.5568	0.938
Vo =	73.51	cm ³	20	0.051	11	12.327	0.0066	9.5726	1.288
W =	121.12	g	25	0.064	14	15.688	0.0082	9.5885	1.636
yh =	1.648	g/cm ³	30	0.076	16	17.93	0.0099	9.6044	1.867
ys =	1.446	g/cm ³	35	0.089	18.5	20.731	0.0115	9.6204	2.155
σ ₃ =	0.5	kg/cm ²	40	0.102	20	22.412	0.0131	9.6364	2.326
Cte. =	1.1206	kg/mm	45	0.114	22	24.653	0.0148	9.6524	2.554
			50	0.127	22.5	25.214	0.0164	9.6686	2.608
			60	0.152	23	25.774	0.0197	9.701	2.657
			MÁXIMO						2.657
 $Esf. desv. = \frac{Carga}{Área corr.}$ $def. unit. = \frac{Deformación}{H_o}$ $Área Corr. = \frac{A_o}{def. unit.}$			CONTENIDO DE HUMEDAD						
			Numero de la capsula		A45	A40			
			Peso de la capsula		10.93	13.1			
			Peso de la Cap. + Suelo Húmedo		44.71	45.82			
			Peso de la Cap. + Suelo Seco		40.52	40.74			
			Contenido de Humedad		12.40%	15.53%			
Contenido de Humedad Promedio		13.96%							

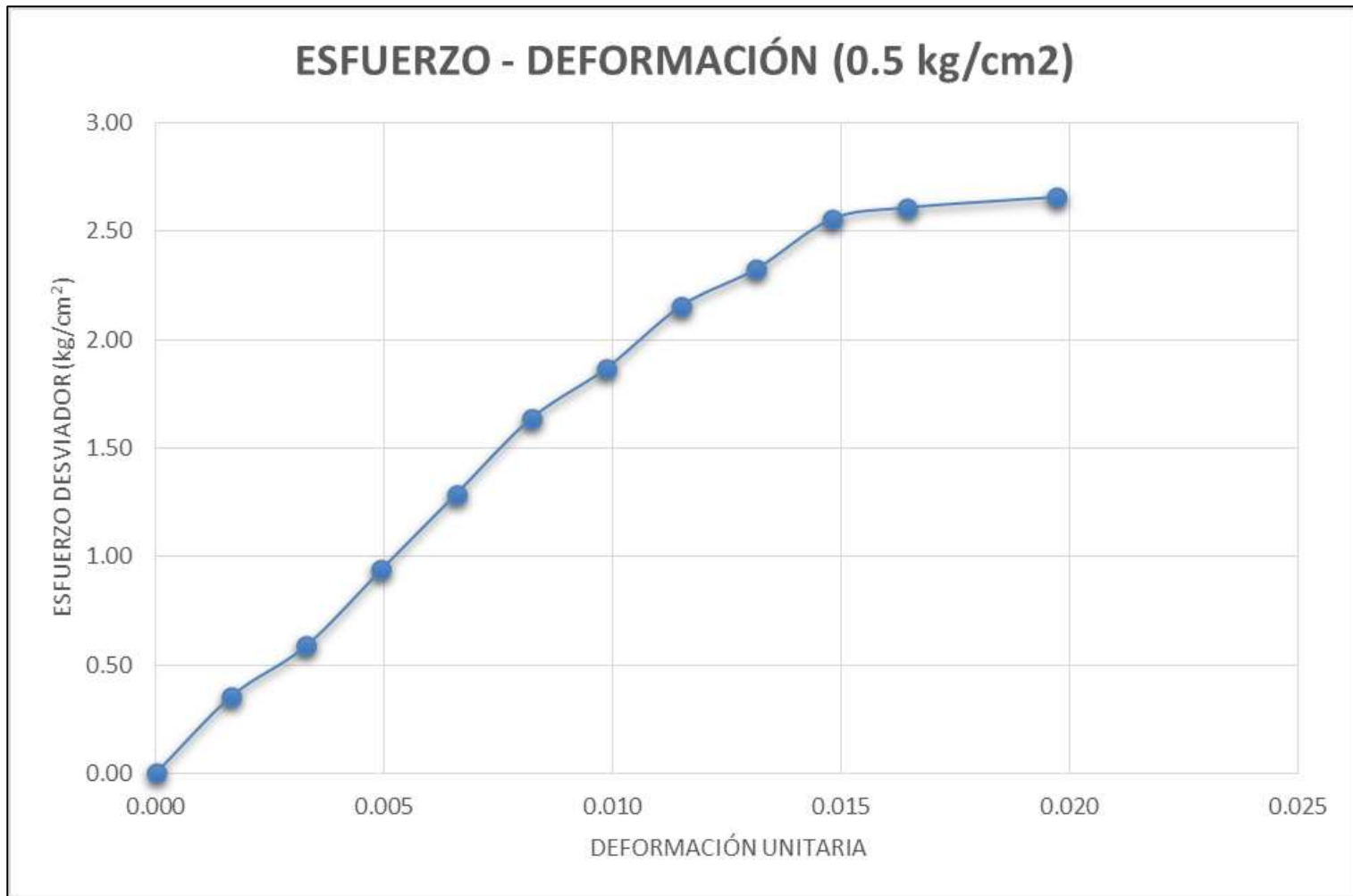


Figura 4.54 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial 0.5kg/cm² (Muestra 3)

Tabla 4.31 Registro de ensayo triaxial 1.0 kg/cm² (Muestra 3)

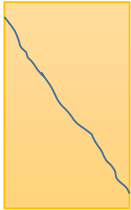
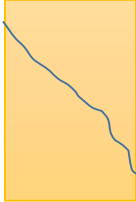
DATOS DE LA PROBETA			PROCESO 2						
Ds =	3.61	cm	Lec. Def.	Deformación	Lec. Dial	Carga	Deformación	Área Corr.	Esf. Desviador
Dm =	3.81	cm	10 ⁻³ pulg	cm	mm	kg	Unitaria	cm ²	kg/cm ²
Di =	3.75	cm	0	0	0	0	0	9.5097	0
Dp =	3.72	cm	5	0.013	1	1.121	0.0016	9.5254	0.118
Ho =	8.32	cm	10	0.025	2.5	2.802	0.0033	9.5411	0.294
Ao =	11.15	cm ²	15	0.038	5	5.603	0.0049	9.5568	0.586
Vo	92.75	cm ³	20	0.051	7	7.844	0.0066	9.5726	0.819
W =	147.62	g	25	0.064	10	11.206	0.0082	9.5885	1.169
γ _h =	1.592	g/cm ³	30	0.076	12	13.447	0.0099	9.6044	1.4
γ _s =	1.369	g/cm ³	35	0.089	14.5	16.249	0.0115	9.6204	1.689
σ ₃ =	1	kg/cm ²	40	0.102	16	17.93	0.0131	9.6364	1.861
Cte. =	1.1206	kg/mm	45	0.114	19	21.291	0.0148	9.6524	2.206
			50	0.127	21	23.533	0.0164	9.6686	2.434
			60	0.152	25	28.015	0.0197	9.701	2.888
			70	0.178	27	30.256	0.023	9.7336	3.108
			80	0.203	30	33.618	0.0263	9.7665	3.442
			90	0.229	32	35.859	0.0296	9.7995	3.659
			100	0.254	35	39.221	0.0329	9.8328	3.989
			125	0.318	35	39.221	0.0411	9.917	3.955
			MÁXIMO						3.989
 $Esf. desv. = \frac{Carga}{Área corr.}$ $def. unit. = \frac{Deformación}{H_o}$ $Área Corr. = \frac{A_o}{def. unit.}$			CONTENIDO DE HUMEDAD						
			Numero de la capsula		E1	F11			
			Peso de la capsula		13.37	11.17			
			Peso de la Cap. + Suelo Húmedo		50.81	39.06			
			Peso de la Cap. + Suelo Seco		44.64	34.6			
			Contenido de Humedad		16.48%	15.99%			
			Contenido de Humedad Promedio		16.24%				



Figura 4.55 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial 1.0kg/cm² (Muestra 3)

Tabla 4.32 Registro de ensayo triaxial 1.5kg/cm2 (Muestra 3)

DATOS DE LA PROBETA			PROCESO 3						
Ds =	3.83	cm	Lec. Def.	Deformación	Lec. Dial	Carga	Deformación	Área Corr.	Esf. Desviador
Dm =	3.76	cm	10 ⁻³ pulg	cm	mm	kg	Unitaria	cm ²	kg/cm ²
Di =	3.72	cm	0	0	0	0	0	9.5097	0
Dp =	3.77	cm	5	0.013	3	3.362	0.0016	9.5254	0.353
Ho =	8.04	cm	10	0.025	6	6.724	0.0033	9.5411	0.705
Ao =	11.13	cm ²	15	0.038	8	8.965	0.0049	9.5568	0.938
Vo	89.52	cm ³	20	0.051	11	12.327	0.0066	9.5726	1.288
W =	140.79	g	25	0.064	14	15.688	0.0082	9.5885	1.636
γh =	1.573	g/cm ³	30	0.076	17	19.05	0.0099	9.6044	1.983
γs =	1.349	g/cm ³	35	0.089	21	23.533	0.0115	9.6204	2.446
σ3 =	1.5	kg/cm ²	40	0.102	25	28.015	0.0131	9.6364	2.907
Cte. =	1.1206	kg/mm	45	0.114	28	31.377	0.0148	9.6524	3.251
			50	0.127	31.5	35.299	0.0164	9.6686	3.651
			60	0.152	37.5	42.023	0.0197	9.701	4.332
			70	0.178	42.5	47.626	0.023	9.7336	4.893
			80	0.203	47	52.668	0.0263	9.7665	5.393
			90	0.229	49.5	55.47	0.0296	9.7995	5.66
			100	0.254	52	58.271	0.0329	9.8328	5.926
			125	0.318	55	61.633	0.0411	9.917	6.215
MÁXIMO									6.215
 $Esf. desv. = \frac{Carga}{Área corr.}$ $def. unit. = \frac{Deformación}{H_o}$ $Área Corr. = \frac{A_o}{def. unit.}$						CONTENIDO DE HUMEDAD			
						Numero de la capsula		A34	A63
						Peso de la capsula		15.43	13.26
						Peso de la Cap. + Suelo Húmedo		52.65	44.12
						Peso de la Cap. + Suelo Seco		46.57	38.9
						Contenido de Humedad		16.34%	16.92%
						Contenido de Humedad Promedio		16.63%	

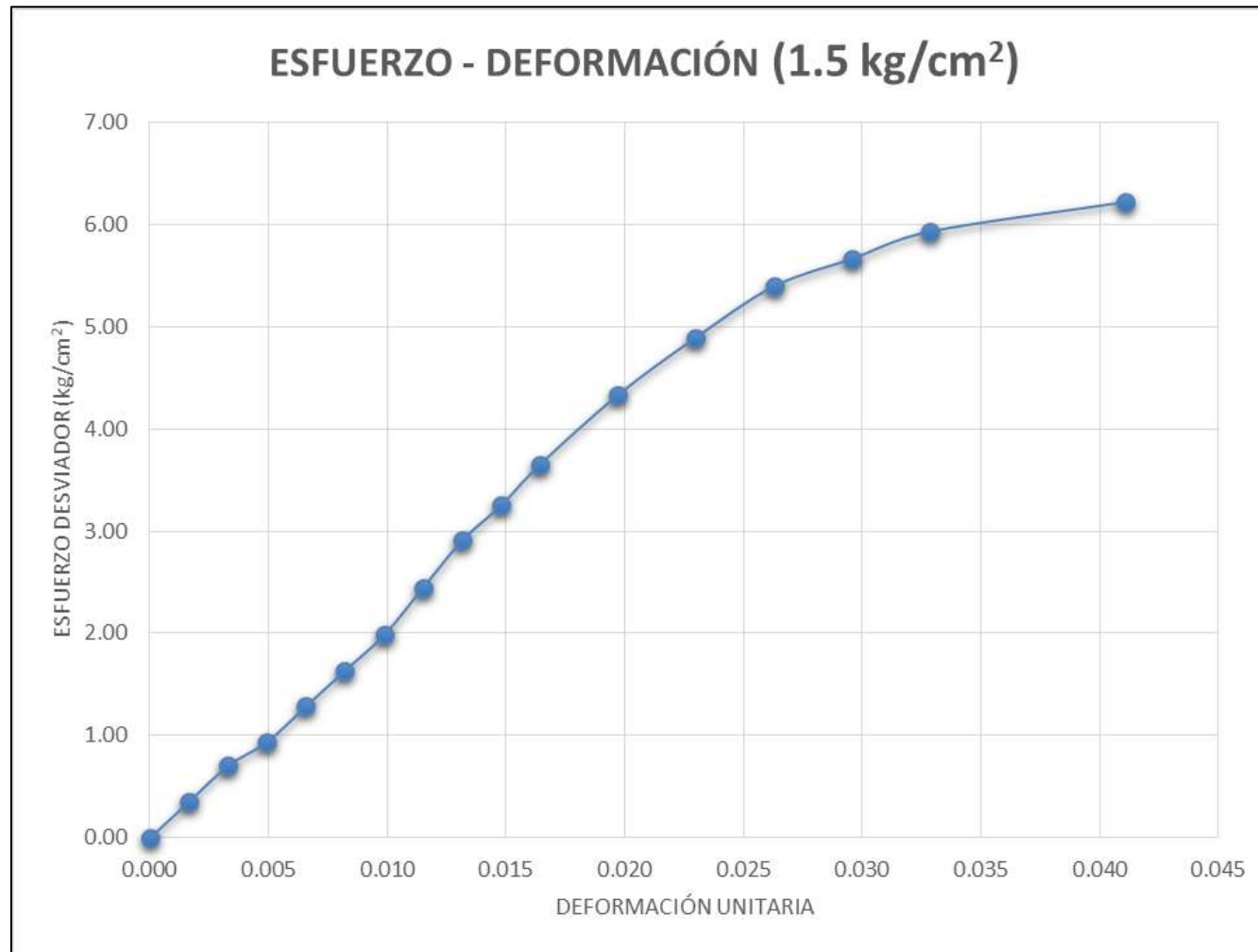
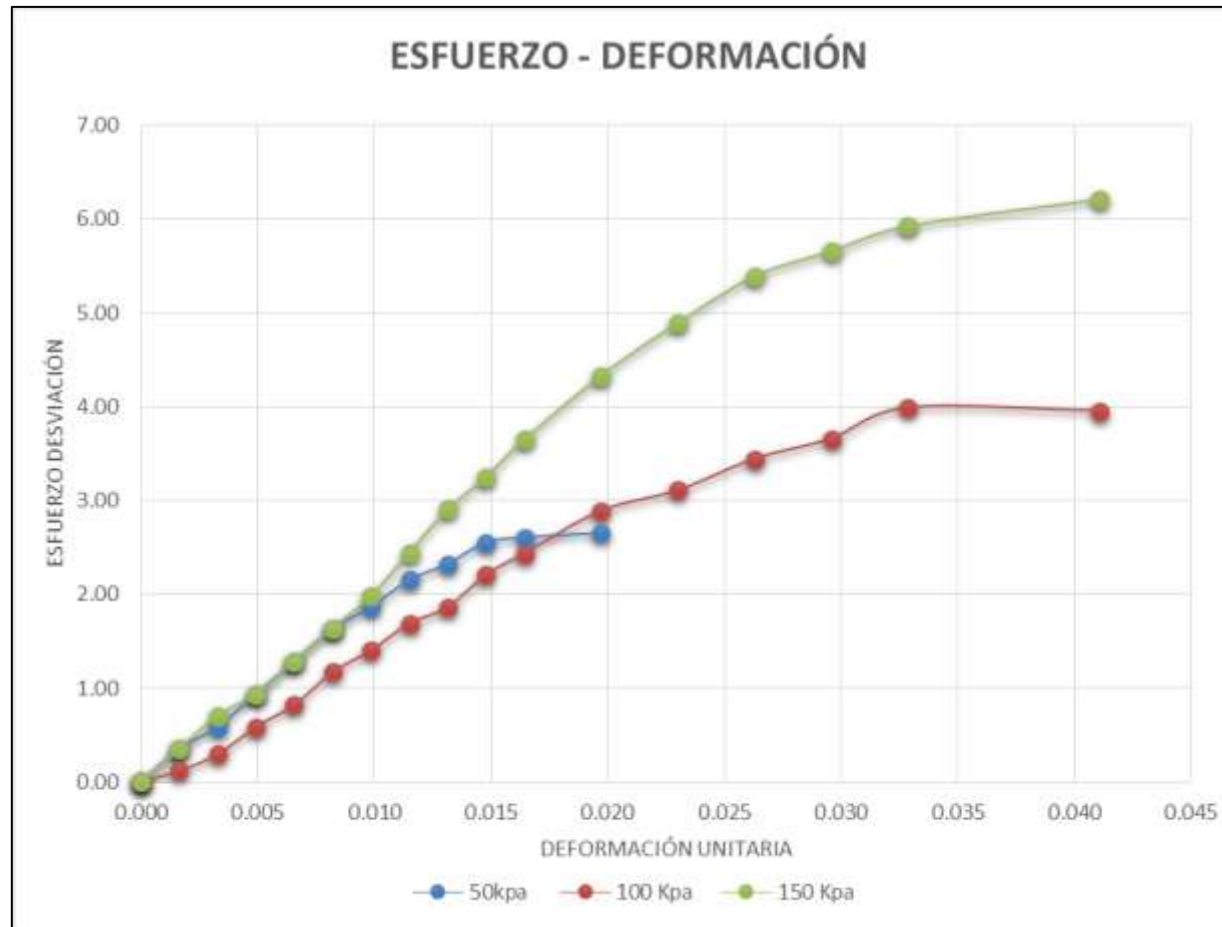


Figura 4.56 Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial 1.5kg/cm² (Muestra 3)

CURVA ESFUERZO DEFORMACIÓN**Figura 4.57** Curva Esfuerzo – Deformación de ensayo triaxial (Muestra 3)

CÍRCULOS DE MOHR

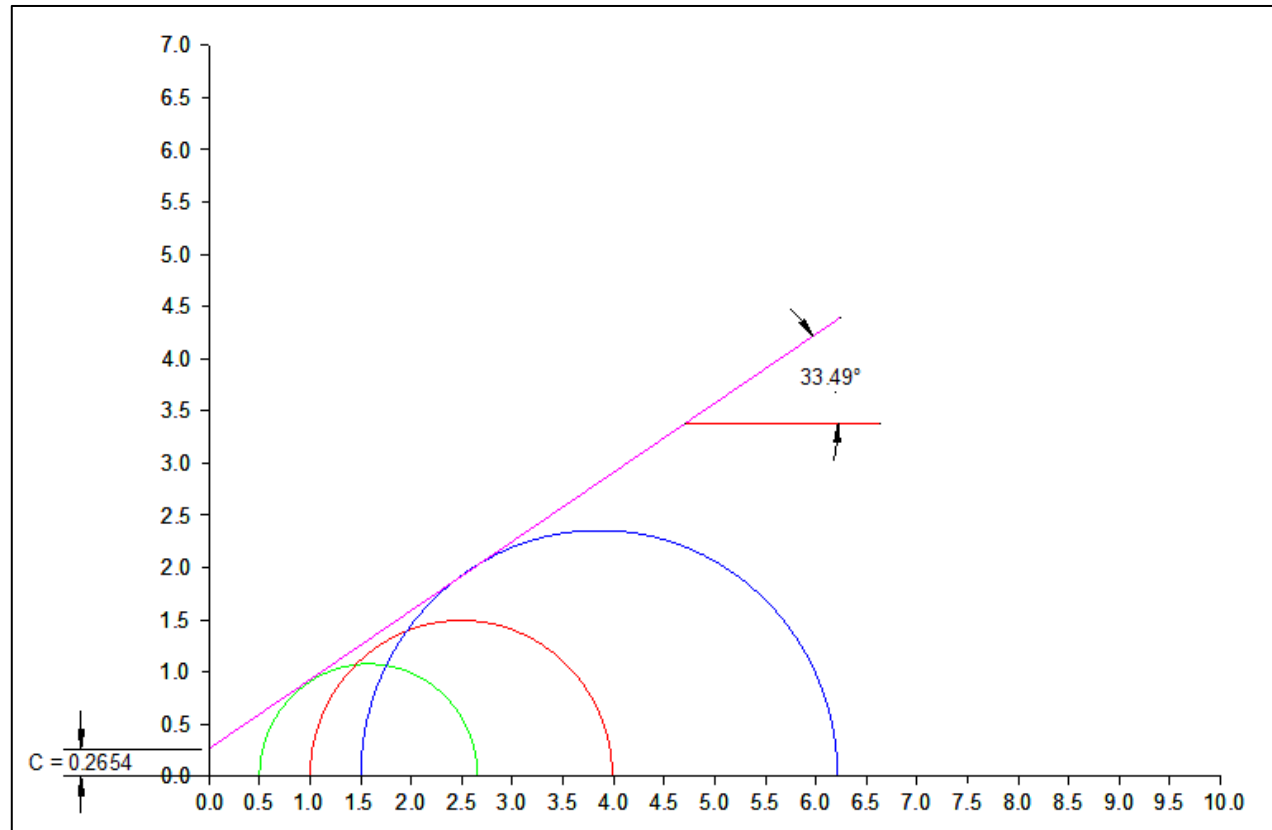


Figura 4. 58 Círculos de Mohr (muestra 3)

4.9.2.- Procesamiento de mortero asfáltico

4.9.2.1.- Granulometría de los agregados (PINTAG)

Tabla 4.33 granulometría 1 de material pétreo (Pintag)

MUESTRA # 2 GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS						
	<i>abertura</i>	<i>retiene acumulado</i>		<i>Pasa</i>	Especificaciones ISSA	
TAMIZ	(mm)	(gr)	(%)	(%)	min	max
3/8	9.50	0	0.00	100.00	100	100
N4	4.75	22.74	1.89	98.11	70	90
N8	2.36	415	34.53	65.47	45	70
N 16	1.18	678.95	56.50	43.50	28	50
N30	0.60	846.49	70.44	29.56	19	34
N50	0.30	959.66	79.86	20.14	12	25
N100	0.15	1042	86.71	13.29	7	18
N200	0.075	1109.54	92.33	7.67	5	15
		1201.75	100.00	0.00		

Tabla 4.34 granulometría 2 de material pétreo (Pintag)

MUESTRA # 2 GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS						
	<i>abertura</i>	<i>retiene acumulado</i>		<i>Pasa</i>	Especificaciones ISSA	
TAMIZ	(mm)	(gr)	(%)	(%)	min	max
3/8	9.50	0	0.00	100.00	100	100
N4	4.75	22.74	1.89	98.11	70	90
N8	2.36	415	34.53	65.47	45	70
N 16	1.18	678.95	56.50	43.50	28	50
N30	0.60	846.49	70.44	29.56	19	34
N50	0.30	959.66	79.86	20.14	12	25
N100	0.15	1042	86.71	13.29	7	18
N200	0.075	1109.54	92.33	7.67	5	15
		1201.75	100.00	0.00		

GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS
MINA DE PINTAG

TAMIZ	apertura (mm)	retiene acumulado (gr)	retiene acumulado (%)	Pasa (%)	Especificaciones ISSA TIPO III	
					min	Max
3/8	9.50	0	0.00	100.00	100	100
N4	4.75	25.7	2.08	97.92	70	90
N8	2.36	428.425	34.74	65.26	45	70
N 16	1.18	699.875	56.75	43.25	28	50
N30	0.60	869.93	70.54	29.46	19	34
N50	0.30	985.19	79.89	20.11	12	25
N100	0.15	1069.145	86.70	13.30	7	18
N200	0.075	1136.675	92.17	7.83	5	15
		1233.18	100.00	0.00		

Tabla 4.35 granulometría tipo III de material pétreo (Pintag)

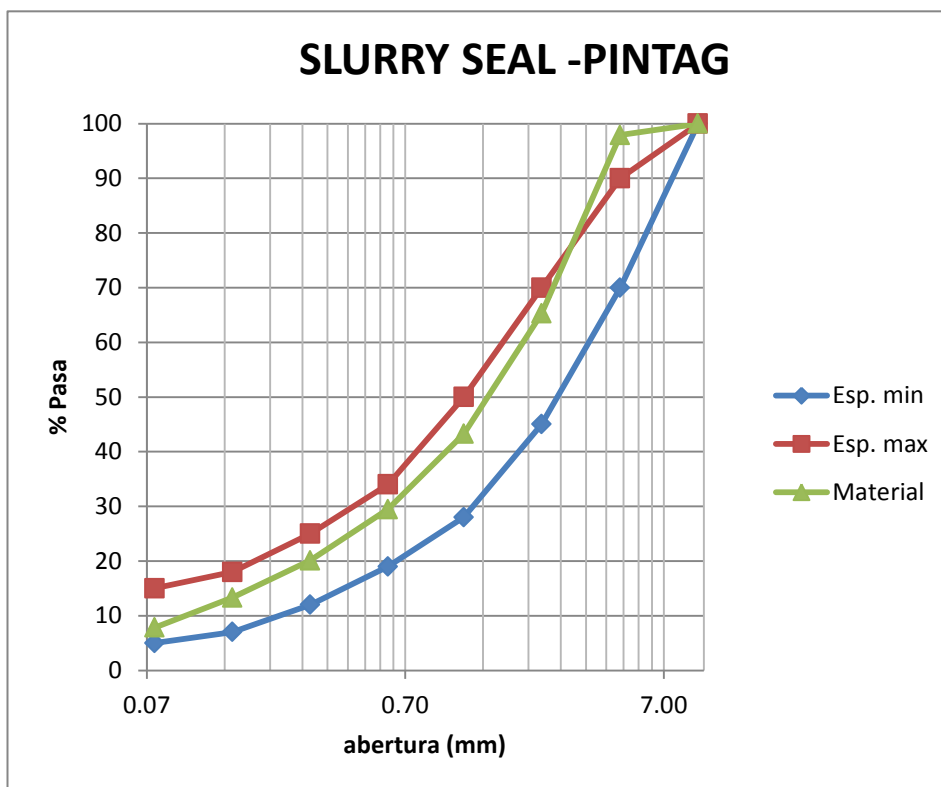


Figura 4.59 Curva granulométrica III de material pétreo (Pintag)

4.9.2.2.- Equivalente de arena

Tabla 4.36 Ensayo equivalente de arena material pétreo (Pintag)

Equivalente de Arena			
Ensayo # 1		Ensayo # 2	
Lect. Arcilla =	3.5	Lect. Arcilla =	3.5
Lect. Arena =	3.2	Lect. Arena =	3.1
% Equiv. Arena=	91.43 %	% Equiv. Arena=	88.57 %
% Equiv. de Arena Prom. =		90.00 %	

4.9.2.3 Azul de metileno

Tabla 4.37 Ensayo azul de metileno de material pétreo (Pintag)

AZUL DE METILENO	
ENSAYO	UNIDAD
2	mg/g

4.9.2.4 Porcentaje teórico de emulsión

Tabla 4.38 Granulometría tipo III de material pétreo (Pintag)

GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS

TAMIZ	<i>abertura</i>	<i>retiene acumulado</i>	<i>Pasa</i>	Especificaciones ISSA		
	(mm)	(gr)	(%)	Min	Max	
3/8	9.50	0	0.00	100	100	
N4	4.75	25.7	2.08	90	100	
N8	2.36	428.425	34.74	65	90	
N 16	1.18	694.875	56.35	45	70	
N30	0.60	869.93	70.54	30	50	
N50	0.30	985.19	79.89	18	30	
N100	0.15	1069.145	86.70	10	21	
N200	0.075	1136.675	92.17	5	15	
		1233.18	100.00	0.00		

Tabla 4.39 Contribución de área del agregado

Contribución al área (m ² /kg)	0.3244	0.74668	6.6436	8.3333	23.570	129.099
---	--------	---------	--------	--------	--------	---------

Tabla 4.40 Factores del método de Duriez

P2	P1	S3	S2	S1	F
2.0840	32.657	35.8021	16.154	5.47608	7.82570

Tabla 4.41 Método de Duriez

E (m ² /Kg.)	L (%), Según el tipo de granulometría		
	K = 7 Fina	K = 6 Intermedia	K = 5 Gruesa
5	9.6	8.2	6.9
7	10.3	8.8	7.3
9	10.8	9.3	7.7
11	11.3	9.7	8.1
14	11.8	10.2	8.5
18	12.4	10.7	8.9
22	13	11.2	9.3
26	13.4	11.5	9.6
30	13.7	11.8	9.8
34	14.2	12.2	10.2

Tabla 4.42 % teórico de emulsión

CSS-1H	CSS-1HP	CQS-1HP
14.33	13.87	13.87

4.9.2.5 Tiempo de mezclado

Tabla 4.43 Tiempo de mezclado del slurry seal

Agregado (%)	Filler (%)	Aditivo (%)	Agua (%)	Emulsión (%)	Tiempo. Mezcla (seg.)	Observaciones
100	3	14.3	35	no es trabajable
100	4	14.3	69	no es trabajable
100	5	14.3	113	no es trabajable al inicio
100	6	14.3	87	Mezcla homogénea
100	7	14.3	113	Mezcla homogénea
100	8	14.3	>120	Mezcla homogénea

4.9.2.6 Pérdida por abrasión y ganancia por rueda de carga

Tabla 4.44 Perdida de abrasión

PERDIDA POR ABRASIÓN						
% Em	% asf.	Pi	Pf	Δ Abr.	factor	Perdida abr.
12	7.44	601.52	551.82	49.7	32.9	1635.13
14	8.68	589.94	583.82	6.12	32.9	201.348
16	9.92	612.03	606.81	5.22	32.9	171.738

Tabla 4.44: Ensayo de rueda de carga

GANANCIA RUEDA DE CARGA				
% em	% asf.	Pi	Pf	Ganancia
12	7.44	415.27	475.64	60.37
14	8.68	422.55	551.54	128.99
16	9.92	400.77	1054.12	653.35

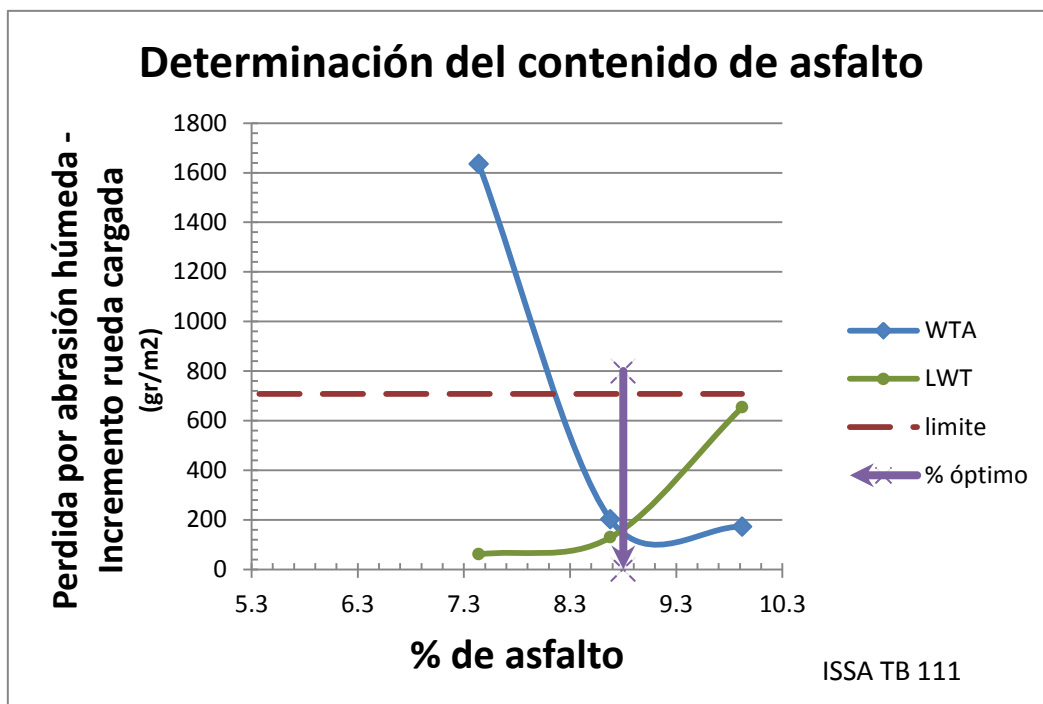


Figura 4.60 Contenido de asfalto óptimo

4.9.2.7.- Cohesión

Tabla 4.45 Ensayo de cohesión # 1

ENSAYO #1						
% AGUA	% EMULSIÓN	AGREGADO (gr)	MUESTRA	TIEMPO		
				30 min	60 min	120 min
8	14.3	300	1	11	14	18
			2	11	14	22

Tabla 4.46 Ensayo de

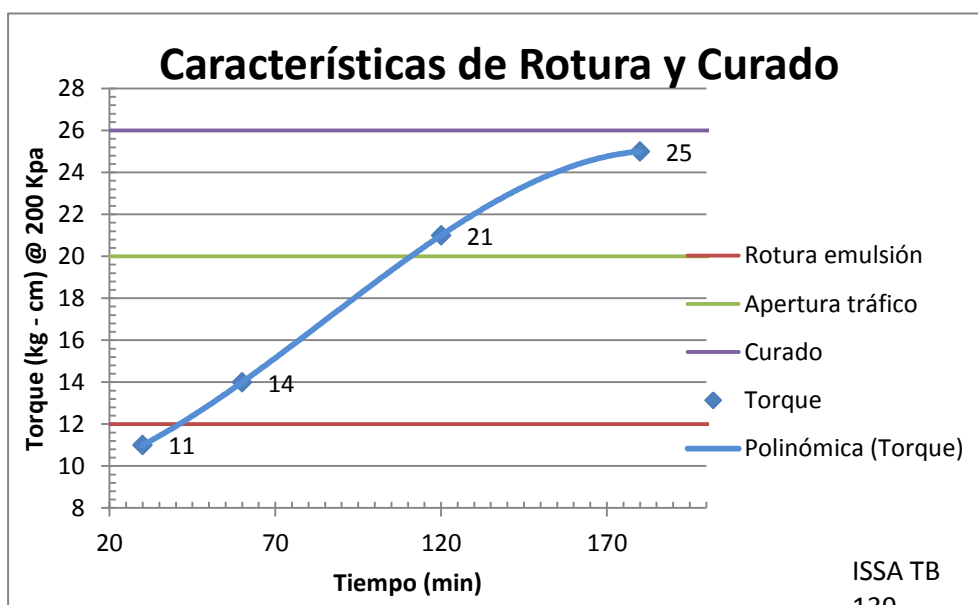
ENSAYO #2						
% AGUA	% EMULSIÓN	AGREGADO (gr)	MUESTRA	TIEMPO		
				30 min	60 min	120 min
6	14.3	300	1	12	13	23
			2	11	13	22

Tabla 4.47 Ensayo de cohesión

ENSAYO #3						
% AGUA	% EMULSIÓN	AGREGADO (gr)	MUESTRA	TIEMPO		
				30 min	60 min	120 min
7	14.3	300	1	11	14	21
			2	11	13	22

Tabla 4.48 Cohesión promedio

Cohesión promedio	
Tiempo	cohesión
30	11
60	14
120	21
80	25

**Figura 4.61** Ensayo de cohesión – ruptura y curado

4.9.2.8 Viscosidad, Penetración y % Asfalto Residual

Tabla 4.49 Resultado de ensayos

Ensayo	Resultado
Asfalto residual (%)	57
Viscosidad Saybolt Furol @ 25°C (seg)	31
Penetración en el residuo (°C)	53

4.9.2.9 Asentamiento

Tabla 4.50 Ensayos de asentamiento – Ensayo 1

ENSAYO #1		ENSAYO #1	
SUPERIOR		INFERIOR	
PESO	Unidad (gr)	PESO	Unidad (gr)
Tara+barra	95.05	Tara+barra	90.11
Emulsión	44.58	Emulsión	55.9
Tara+barra+Em	119.84	Tara+barra+Em	121.67
% Asfalto residual	55.608	% Asfalto residual	56.46
% De Asentamiento 1.02%			

Tabla 4.51 Ensayos de asentamiento – Ensayo 2

ENSAYO #2		ENSAYO #2	
SUPERIOR		INFERIOR	
PESO	Unidad (gr)	PESO	Unidad (gr)
Tara+barra	99.75	Tara+barra	90.71
Emulsión	50.08	Emulsión	42.91
Tara+barra+Em	128.24	Tara+barra+Em	115.29
% Asfalto residual	56.89	% Asfalto residual	57.28
% De Asentamiento 0.39 %			

4.9.2.10 Consistencia

Tabla 4.52 Ensayo de consistencia

CONSISTENCIA	
Agua (%)	Flujo (cm)
6	0
8	1
9	2
10	3

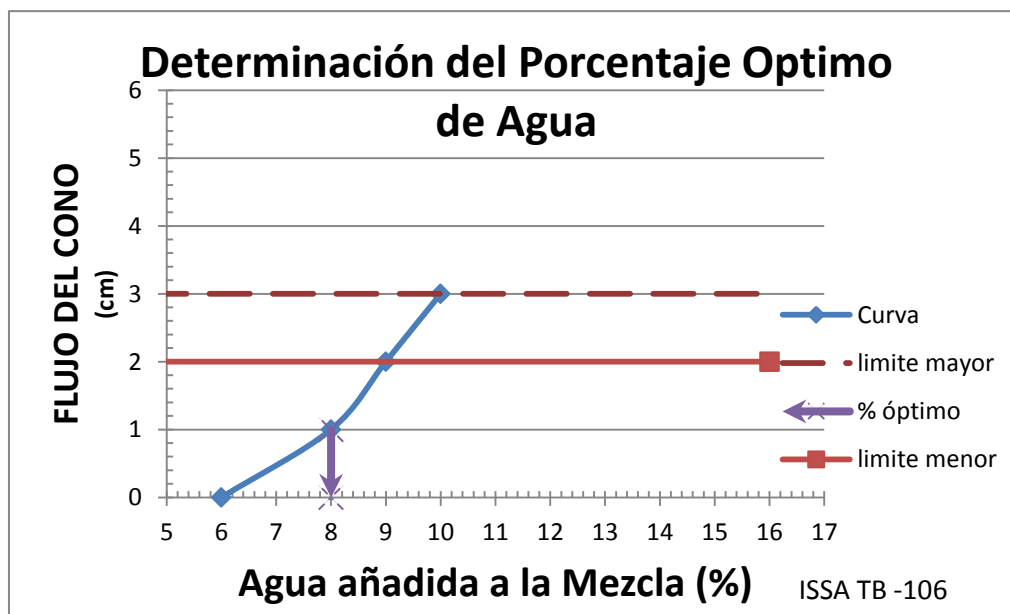


Figura 4.62 Porcentaje óptimo de agua en la mezcla asfáltico

4.10.- Análisis y tabulación de los ensayos

Tabla 4.53 Resumen de ensayos de suelos

ENSAYO DE SUELOS		
TALUD COLIBRI - PINTAG		
ENSAYO	NORMA	RESULTADO
Humedad del suelo	ASTM D-2216 – 98	21.60%
Clasificación del suelo	I.N.V. E – 124 – 07	ML de baja plasticidad
Peso Especifico	ASTM D854-02	2.68 gr/cm ³

Tabla 4.54 Tabulación de triaxiales- cohesión

TRIAXIALES			
	COHESIÓN	(Xi-Xm)	(Xi-Xm) ²
MUESTRA 1	0.606	0.108	0.012
MUESTRA 2	0.623	0.125	0.016
MUESTRA 3	0.265	-0.233	0.054
MEDIA	0.498		
VARIANZA	0.027		
DESV. ESTANDAR	0.165		
COHESION MINIMA	26.036		KN/m²

Tabla 4.55 Tabulación de triaxiales- Angulo de fricción

	ANGULO DE FRICCIÓN	$(X_i - X_m)$	$(X_i - X_m)^2$
MUESTRA 1	35.950	1.640	2.690
MUESTRA 2	33.490	-0.820	0.672
MUESTRA 3	33.490	-0.820	0.672
MEDIA	34.310		
VARIANZA	1.345		
DESV. ESTANDAR	1.160		

Tabla 4.56: Tabulación de Triaxiales - Modulo de elasticidad

MODULO DE ELASTICIDAD

MUESTRA 1	Kg/cm ²	KN/m ²	$(X_i - X_m)$	$(X_i - X_m)^2$
E1 (0.5)	313.265	30731.327	-3038.349	9231565.318
E2 (1.0)	315.577	30958.147	-2811.529	7904694.303
E3 (1.5)	403.869	39619.554	5849.878	34221071.797
MEDIA	344.237	33769.676		
VARIANZA	17119110.473			
DESV. ESTANDAR	4137.525			

MUESTRA 2	Kg/cm ²	KN/m ²	$(X_i - X_m)$	$(X_i - X_m)^2$
E1 (0.5)	214.135	21006.646	-4482.726	20094834.432
E2 (1.0)	259.152	25422.849	-66.522	4425.227
E3 (1.5)	306.204	30038.620	4549.249	20695662.924
MEDIA	259.830	25489.372		
VARIANZA	13598307.528			
DESV. ESTANDAR	3687.588			

MUESTRA 3	Kg/cm ²	KN/m ²	$(X_i - X_m)$	$(X_i - X_m)^2$
E1 (0.5)	209.134	20516.031	125.353	15713.343
E2 (1.0)	161.833	15875.785	-4514.894	20384265.686
E3 (1.5)	252.602	24780.220	4389.541	19268069.218
MEDIA	207.856	20390.679		
VARIANZA	13222682.749			
DESV. ESTANDAR	3636.301			

Tabla 4.57 Resultados de ensayos del agregado de Pintag

ENSAYOS DEL MORTERO ASFÁLTICO			
ENSAYOS DEL AGREGADO- PINTAG			
ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
Granulometría del Agregado	ASTM C 136	TIPO III	Alto tráfico
Equivalente de Arena	ASTM 2419	90%	>65
Azul de Metileno	TB 145	2mg/g	<10

Tabla 4.58 Resultados de ensayos del mortero asfaltico – Emuldec

ENSAYOS DEL MORTERO ASFÁLTICO			
ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
% Teórico de emulsión	Duriez	14.33	CSS-1H
Consistencia	ISSA TB 106	1 cm	2-3 (cm)
Tiempo de Mezcla	ISSA TB 113	122 (seg)	>120 (seg)
Asentamiento	ASTM D 244 29-09	0.62%	<5%
Viscosidad	ASTM D 244	31	20-100
% Asfalto Residual	AASHTO T 59	57	57-62(%)
Penetración en el residuo (°C)	ASTM D 2397	53	40-90
Cohesión	ASTM D3910	22(120 min)	20
% Asfalto	ISSA TB 111	8.6	14.33

El agregado es aceptado después de ensayar y que la tolerancia este en la tolerancia de tipo I, tipo II o tipo III.

Una vez que se ha determinado que su clasificación es de tipo III se considera que este tipo de gradación en los agregados es utilizado para proporcionar máxima resistencia al deslizamiento y mejorar la superficie de desgaste y es considerable para alto tráfico.

Los ensayos realizados cumplen con las especificaciones de las normas estudiadas

4.11.- Software computacional

4.11.1.- Introducción

Es un programa computacional que trabaja con elementos finitos bidimensionales diseñado específicamente para la realización de análisis de deformación y estabilidad de problemas geotécnicos. Las situaciones modelizables corresponden a problemas de deformación plana o con axisimétrica. El programa utiliza una interfaz gráfica que permite a los usuarios generar rápidamente un modelo geométrico y una malla de elementos finitos basada en una sección transversal vertical representativa del problema que se trate. Es necesario que el usuario esté familiarizado con el entorno de Windows.

La interfaz de usuario está constituida por cuatro subprogramas (Input (Entrada), Calculations (Cálculos), Output (Resultados) y Curves (Curvas)), dicha interfaz hace al programa algo más, práctico y fácil de manejar.

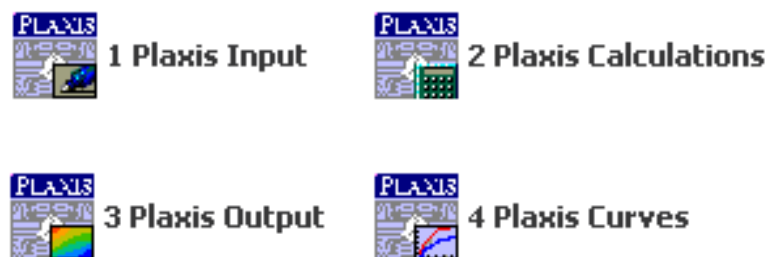


Figura 4.63 Subprogramas de PLAXIS
(Autores)

4.11.1.1.- Unidades

Es importante para el análisis que vamos a realizar adoptar un sistema de unidades coherente. Antes de la introducción de la geometría deberá seleccionarse un conjunto adecuado de unidades básicas a partir de una

lista de unidades estándar. Las unidades básicas comprenden una unidad para la longitud, otra para la fuerza y otra para el tiempo. Las unidades a utilizar se determinan en la ventana *General settings* del programa de Input. En la Tabla 4.1 se facilita una descripción de todas las unidades disponibles y los factores de conversión con respecto a las unidades por defecto, que se indican entre corchetes ([]). El resto de datos deberá ajustarse al sistema de unidades seleccionado y los resultados deberán ser interpretados en términos de este mismo sistema. A partir del conjunto de unidades básicas, la unidad apropiada para la introducción de un parámetro en particular se encuentra por lo general indicada detrás del recuadro de edición o, cuando se utilizan tablas de introducción, encima de la columna correspondiente. De esta manera se reducen los errores debidos a la introducción de datos expresados en unidades equivocadas.

Tabla 4.59 unidades y conversiones disponibles

Longitud	Conversión	Fuerza	Conversión	Tiempo	Conversión
mm	0.001 m	N	0.001 kN	s (seg)	1/8640
[m]	1 m	[kN]	1 kN	minuto	0 día
in (pulgada)	0.0254 m	MN	1000 kN	H	1/1440 día
ft (pie)	0.3048 m	lb (libra)	0.004448 kN	[día]	1/24 día
		klb (kilolibra)	4.4482 kN		1 día

El cambio de las unidades de los parámetros básicos se realizarán en los *General settings* y dará lugar a la conversión automática de los valores de entrada, esta conversión se aplica a los parámetros de los conjuntos de datos de materiales y a otras propiedades de los materiales en el programa

de Input. No se aplica a los valores de entrada relacionados con la geometría,

Las unidades que se van usar en el análisis del modelo serán las que indican en la figura 4.2 , que son: para longitud el metro (m), para las fuerzas (kN), para el tiempo día; producto de esta combinación de unidades se generan automáticamente las unidades para presión kN/m^2 y para los pesos específicos kN/m^3 , adicionalmente en los *General settings* se puede configurar el espacio de trabajo en donde se va dibujar la geometría del modelo teniendo dimensiones para delimitar el mismo en cuatro direcciones izquierda(left), derecha(right), abajo(botton), arriba(up) y también la configuración de una grilla(grid) para facilitar el trazado.

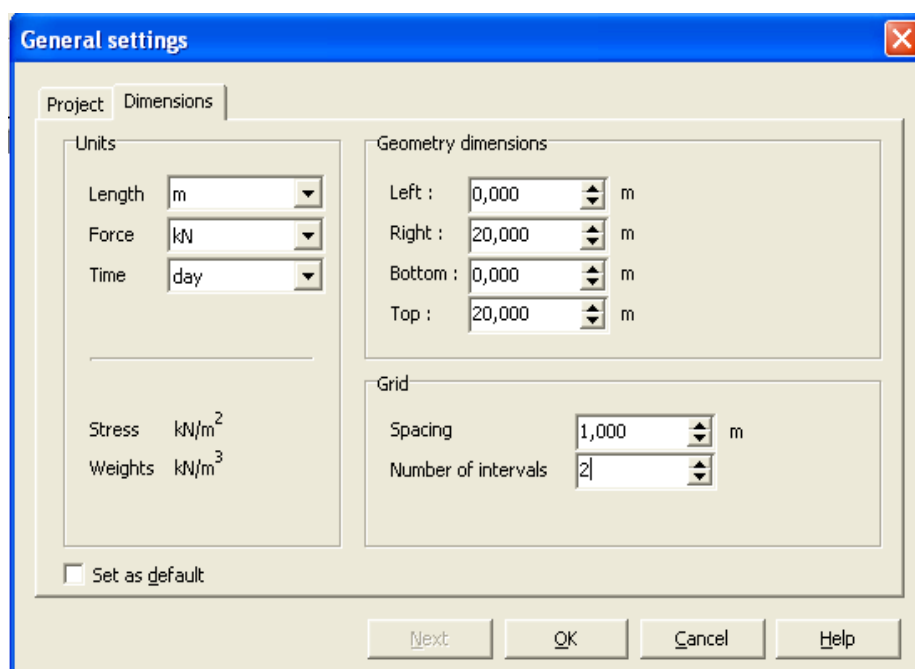


Figura 4.64 General Settings (Autores)

4.11.1.2.- Convenio de signos

El modelamiento de un problema geotécnico de elementos finitos en dos dimensiones en el programa PLAXIS está basado en un modelo geométrico que se crea en el plano x-y del sistema de coordenadas global como se muestra en la Figura 4.2, mientras que la dirección z es la dirección perpendicular al plano. En el sistema de coordenadas global, la dirección z positiva apunta hacia el usuario. Aun cuando la versión 8 de PLAXIS es un programa en 2D, las tensiones están basadas en el sistema de coordenadas cartesiano en 3D que se muestra en la Figura 4.2. En un análisis de deformación plana, σ_{zz} es el esfuerzo perpendicular al plano x-y.

Una vez realizado el análisis, en la salida de resultados se considera que los esfuerzos de compresión y la presión intersticial son negativos, mientras que los esfuerzos y los esfuerzos de tracción son positivos. En la Figura 4.2 se muestran las direcciones de los esfuerzos positivos.

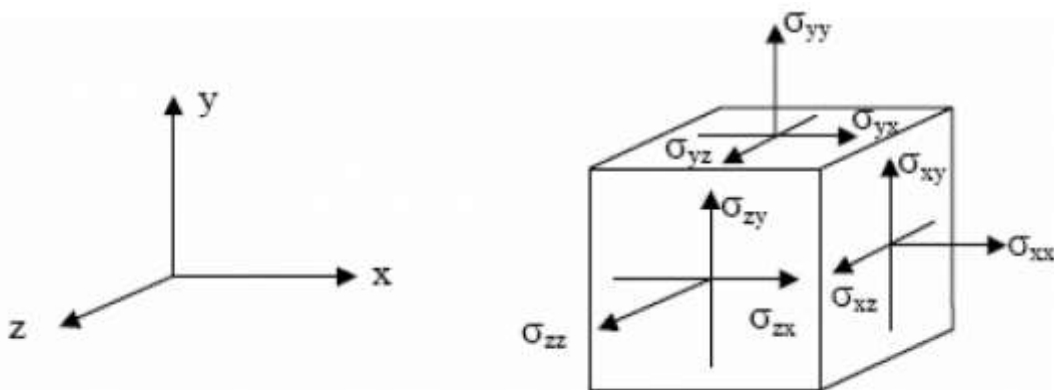


Figura 4.65 Convención de signos (Autores)

4.11.2.- Introducción de datos

En PLAXIS la introducción de datos se efectúa mediante el ratón y el teclado; dentro de la introducción de datos se puede diferenciar los siguientes tipos de datos: objetos geométricos, texto, valores y secciones.

Para realizar el análisis del talud con el programa PLAXIS, se debe constituir primeramente una malla de elementos finitos y especificar las propiedades de los materiales y las condiciones de contorno. Todo esto se lleva a cabo en el programa de introducción de datos (Input). Para generar una malla de elementos finitos, se debe crear un modelo geométrico compuesto por puntos, líneas en dos dimensiones x-y que forman parte del modelo planteado inicialmente, así mismo se debe asignar las propiedades a los diferentes elementos.

En el modelo geométrico que se plantea es el siguiente:

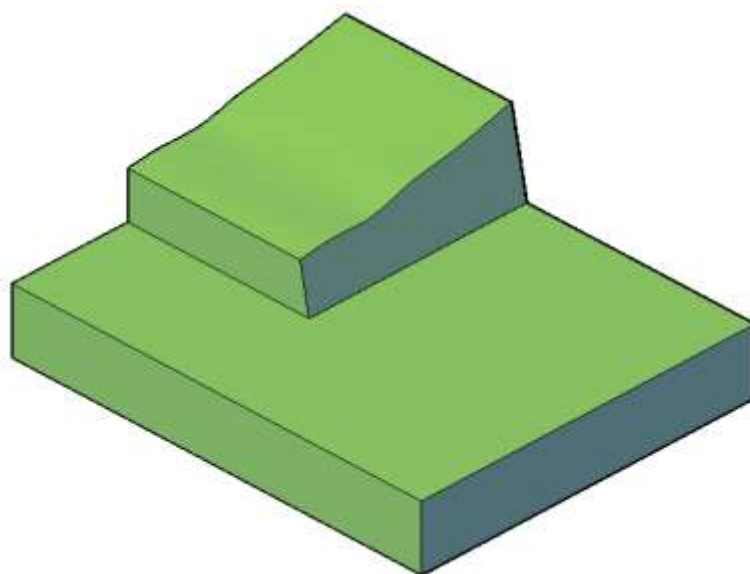


Figura 4.66 Esquema 3D del modelo de análisis (Autores)

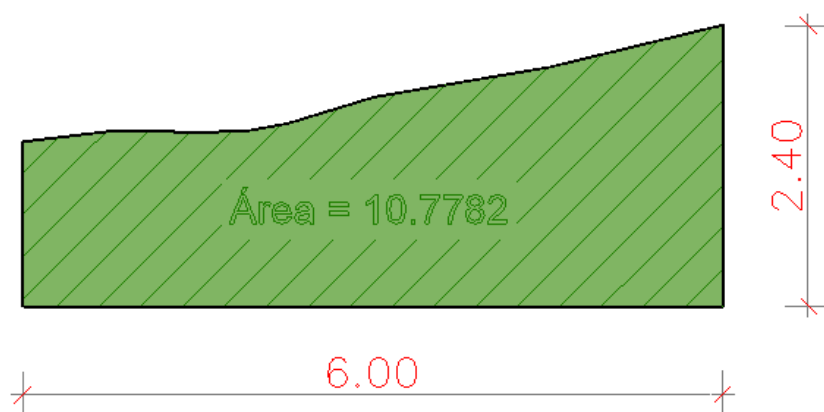


Figura 4.67 Área de la sección transversal del modelo (Autores)

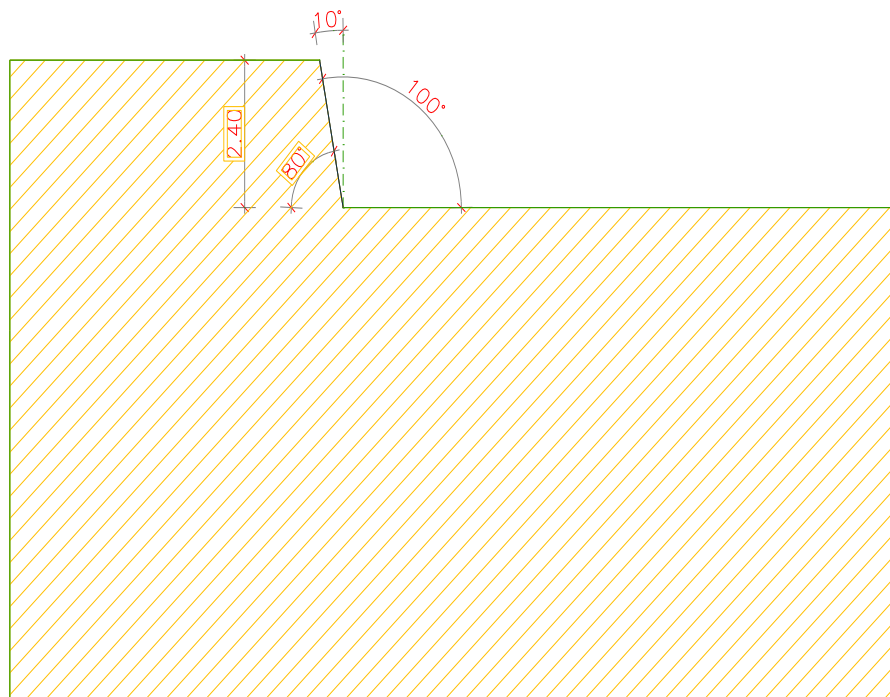


Figura 4.68 Modelo para análisis en PLAXIS (Autores)

Cuando se está dibujando un modelo geométrico en el programa Input, se recomienda que se seleccionen los diferentes elementos de entrada en el orden que viene dado por la segunda barra de herramientas (de izquierda a derecha).



En primer lugar conviene dibujar el contorno geométrico, a continuación se añaden los diferentes estratos, luego los objetos estructurales, las capas de construcción, las condiciones de contorno y, por último, las cargas. Utilizando este procedimiento, la segunda barra de herramientas actúa como una guía para el uso del programa Input y asegura que todos los elementos de entrada necesarios son tratados debidamente.

La imposición de las condiciones de contorno a nivel de elemento es ejecutada de forma automática por el generador de mallas PLAXIS basándose en la introducción del modelo geométrico. Se puede también refinar la malla de elementos finitos con el fin de obtener un mallado apropiado. La parte final de la introducción de datos comprende la generación de las presiones de agua y de las tensiones efectivas que definen el estado inicial.

4.11.3.- Programa de introducción de datos (input)



1 Plaxis Input

Este programa contiene todas las herramientas necesarias para crear y modificar un modelo geométrico, así como para generar la correspondiente malla de elementos finitos y las condiciones de contorno.

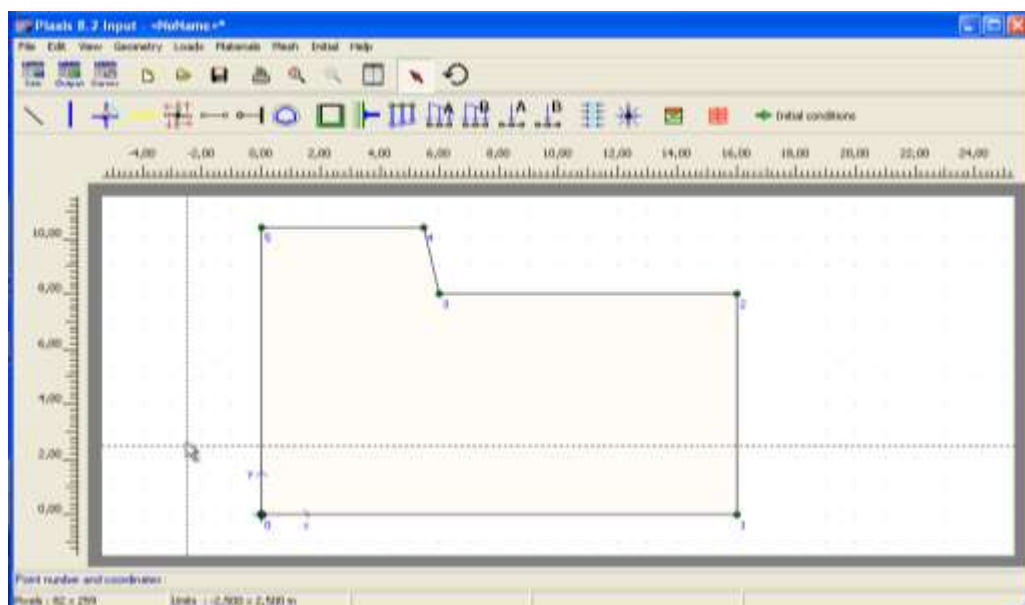


Figura 4.69 Ventana principal del programa INPUT (Autores)

Para el análisis se usó un modelo de Deformación plana (Plane strain) por tener una sección transversal uniforme por lo que nos permite suponer que los correspondientes estados tensionales y de cargas son uniformes a lo largo de una determinada longitud perpendicular a la sección transversal (dirección z). Los desplazamientos y deformaciones en la dirección z se consideran nulos, adicionalmente se usó para la configuración de los elementos finitos el triángulo de 15 nodos que es el tipo de elemento por defecto, este elemento proporciona una interpolación de cuarto orden para los desplazamientos y la integración numérica implica doce puntos de Gauss (puntos de evaluación de tensiones). El triángulo de 15 nodos es un elemento capaz de proporcionar una gran exactitud

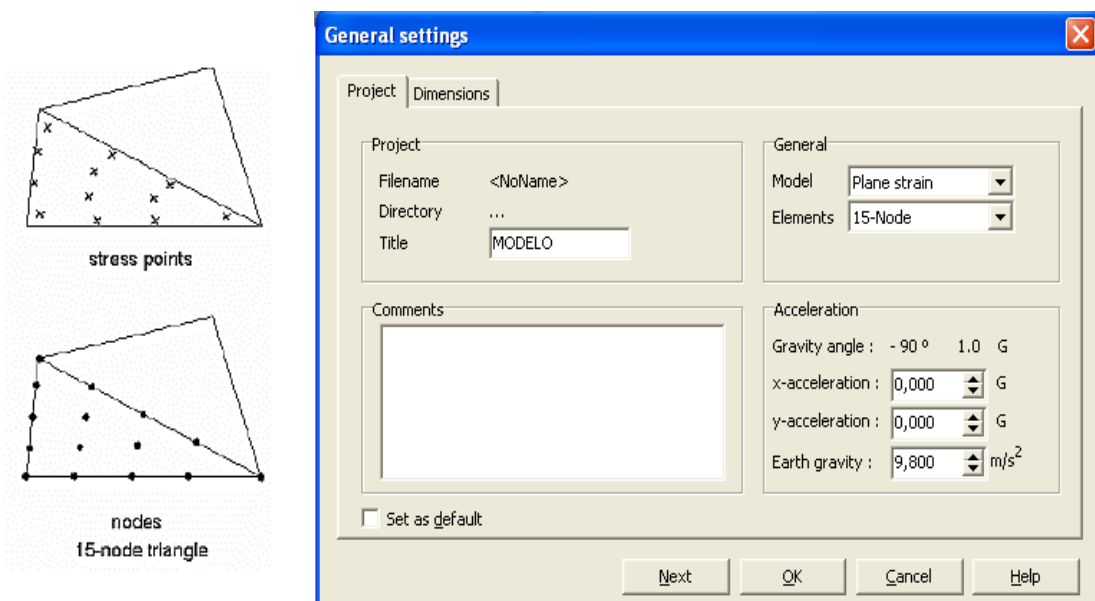


Figura 4.70 Ventana de general settings para establecer el modelo y el tipo de elemento (Autores)

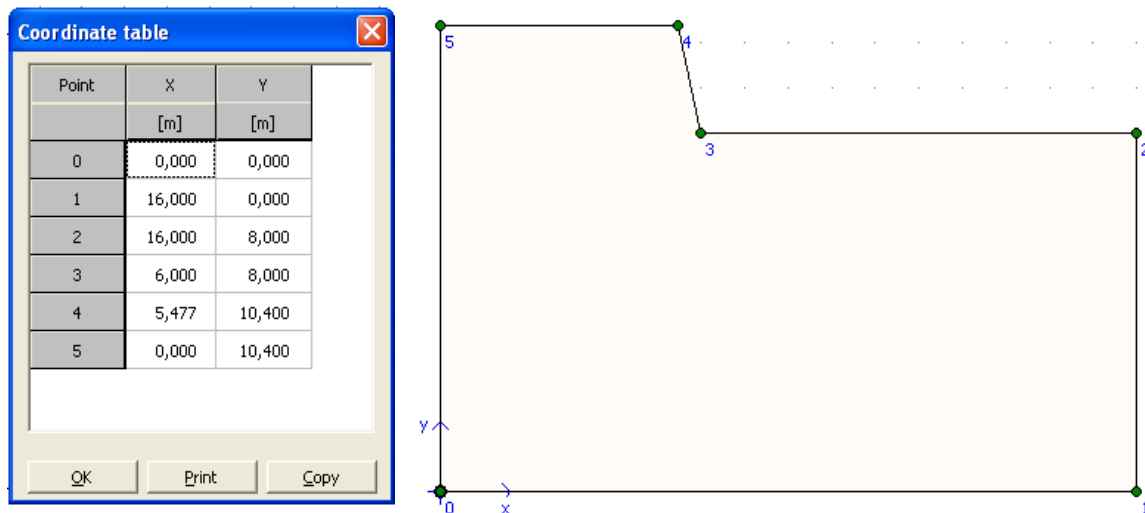


Figura 4.71 Coordenadas de los puntos del modelo geométrico (Autores)

FIJACIONES

Una vez que se han establecido las unidades, se ha dibujado el modelo geométrico y se ha determinado el tipo de elemento finito que se ha de utilizar; el siguiente paso consiste en establecer las fijaciones. Una fijación corresponde a la prescripción de un desplazamiento nulo y puede ser aplicada tanto a líneas geométricas como a puntos geométricos. Las fijaciones pueden ser seleccionadas en el submenú Loads. En el modelo geométrico se puede hacer la distinción entre Fijaciones horizontales (Horizontal fixities) ($\mu_x = 0$) y Fijaciones verticales (Vertical fixities) ($\mu_y = 0$). En el modelo de análisis se utilizó fijaciones estándar, estas son seleccionadas seleccionar la opción Fijaciones estándar (Standard fixities) en el submenú de Cargas (Loads) o haciendo clic en el correspondiente icono de la barra de herramientas, de esta manera se impone de forma

automática al modelo geométrico un conjunto de condiciones de contorno generales, de la siguiente manera:

A las líneas geométricas verticales en las que la coordenada x es igual a la coordenada x más alta o más baja del modelo se les asigna una fijación horizontal ($\mu_x = 0$). A las líneas geométricas horizontales en las que la coordenada y es igual a la coordenada y más alta o más baja del modelo se les asigna una fijación completa ($\mu_x = \mu_y = 0$).

A las placas que se extienden hasta el contorno del modelo geométrico se les asigna una rotación fija en el punto que queda sobre el mismo ($\phi_z = 0$) si por lo menos una de las direcciones de desplazamiento de dicho punto es fija.

Las fijaciones estándar pueden ser utilizadas como una opción de introducción rápida y cómoda en muchas aplicaciones prácticas.

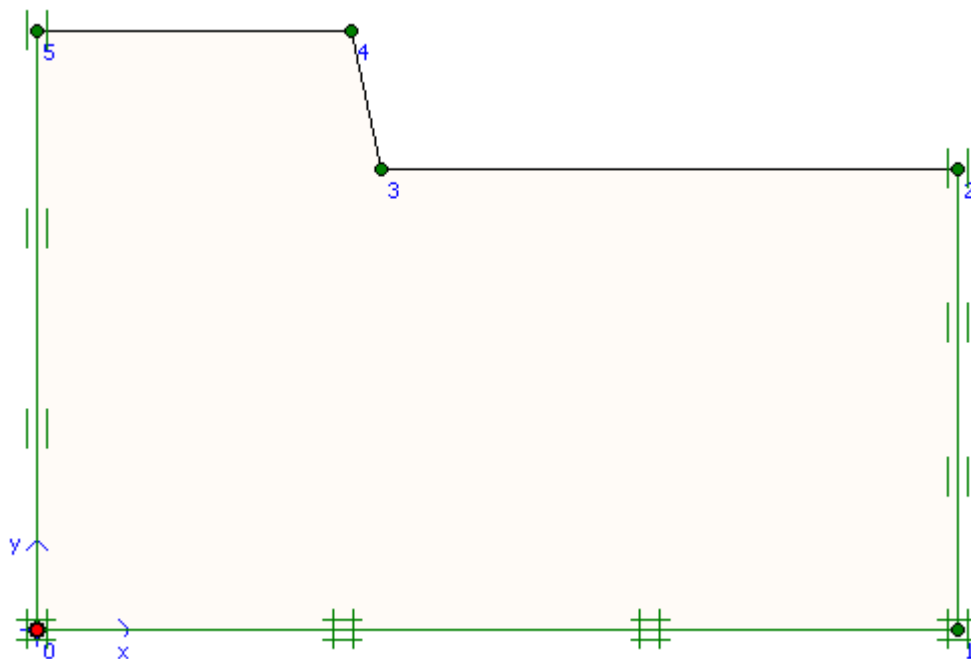


Figura 4.72 Fijaciones estándar del modelo (Autores)

4.11.3.1.- Propiedades de los materiales

Luego de establecer las fijaciones estándar lo que sigue es asignar las propiedades del suelo y de los materiales que constituyen las estructuras, una vez que se ingresa estas propiedades los datos son almacenados en un conjunto de datos de materiales. Hay cuatro tipos diferentes de conjuntos de datos de materiales: conjuntos de datos para suelos e interfaces, para placas, para geo mallas y para anclajes, sin embargo en nuestro modelo solo hemos usado el conjunto de datos para suelos e interfaces y para geo mallas el mismo que se usó para la simulación del mortero asfáltico aplicado en el talud de análisis.

Todos los conjuntos de datos quedan automáticamente guardados en una base de datos de los materiales. Desde la base de datos, los conjuntos de datos pueden ser asignados a los diferentes dominios de suelo o a los objetos estructurales correspondientes del modelo geométrico.

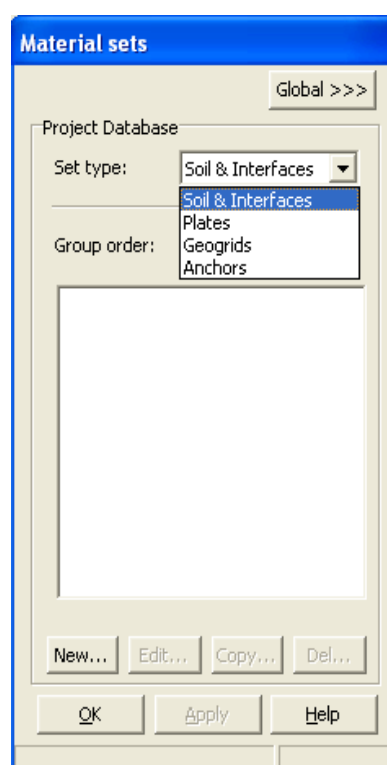


Figura 4.73 Ventana de material sets (Autores)

La base de datos de los materiales puede ser activada seleccionando una de las opciones del submenú de Materiales (Materials) o haciendo clic en el botón de Material sets de la barra de herramientas. Como resultado de ello, aparece una ventana de datos de los materiales en la que se muestra el contenido de la base de datos del proyecto a cada lado de la ventana (Project data base y Global data base) hay dos recuadros extensibles y una lista de conjuntos de datos. En el primer recuadro extensible de la izquierda se puede seleccionar Set type. El parámetro Establecer tipo (Set type) determina qué tipo de conjunto de datos de los materiales aparece visualizado en la lista inferior (Soil & Interfaces, Plates, Geogrids, Anchors);

Para la modelación del creamos un nuevo conjunto de datos haciendo clic sobre el botón de New. Como resultado de ello, aparece una nueva ventana en la que se pueden introducir las propiedades de los materiales o los parámetros del modelo.

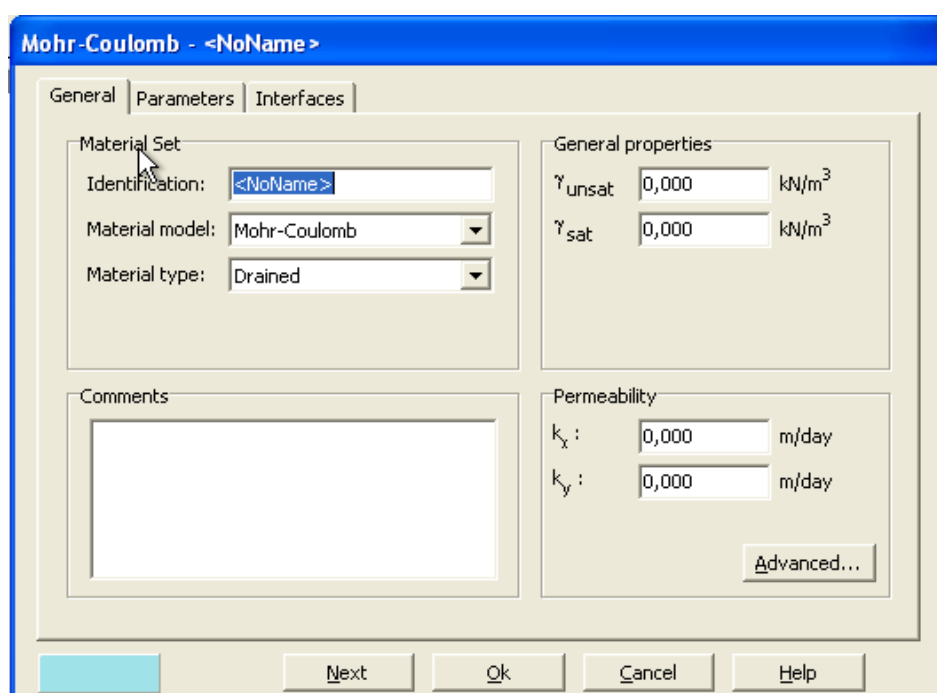


Figura 4.74 Ventana para la creación de un nuevo conjunto de datos (Autores)

El primer parámetro que se ha de introducir es siempre la identificación (Identification), que es el nombre definido para ese conjunto de datos.

Una vez se ha completado un conjunto de datos, éste se añadirá a la lista y aparecerá designado tal como se haya identificado.

4.11.3.2.- Modelamiento del comportamiento del suelo

Los suelos y las rocas tienen tendencia a comportarse de una forma fuertemente no lineal bajo los efectos de las cargas. Este comportamiento esfuerzo - deformación no lineal puede ser simulado con diversos niveles de sofisticación. Sin embargo, el número de parámetros del modelo se incrementa al aumentar ese nivel de sofisticación.

Para el análisis del talud en cuestión hemos seleccionado el conocido modelo de Mohr-Coulomb que es considerado como una aproximación de primer orden al comportamiento real del suelo. Este modelo elástico perfectamente plástico exige cinco parámetros de entrada básicos que son:

El módulo de Young

Representa el módulo básico de rigidez en un modelo elástico, este tiene las unidades de esfuerzo (kN/m^2). Los valores del parámetro de rigidez adoptados en un cálculo requieren especial atención, por cuanto existen muchos geomateriales que no presentan un comportamiento lineal desde el momento del inicio de la carga.

En la mecánica de suelos, la pendiente inicial de la gráfica de rigidez de un suelo obtenida en un ensayo triaxial drenado se denomina E_0 , y el módulo secante al 50% de la fuerza se denota como E_{50} .

Existen algunas maneras usuales para determinar el módulo de elasticidad:

a) Basado en el Módulo Medio E_m , que se define como la pendiente de la porción recta de la curva

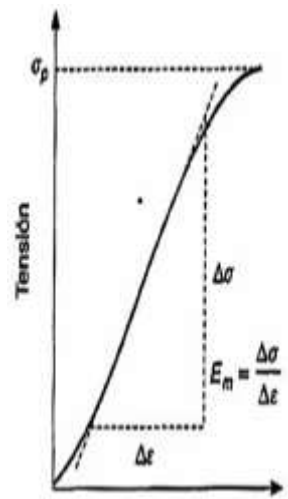


Figura 4.75 Módulo de elasticidad basado en el módulo medio (González de Vallejo, 2002)

b) A partir del Módulo Tangente E_t , el cual se define como la pendiente de la línea tangente a la curva esfuerzo-deformación en un punto determinado de la misma, generalmente se toma como el 50% de la resistencia pico.

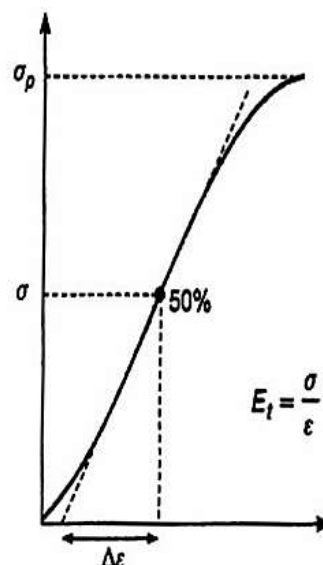


Figura 4.76 Módulo de elasticidad tangente medio (González de Vallejo, 2002)

c) Por el Módulo Secante E_s , que se define como la pendiente de una línea recta que une el origen de la curva con la resistencia de pico

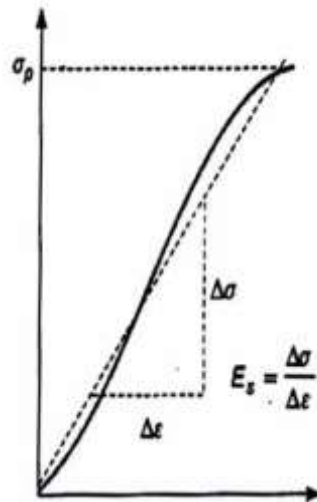


Figura 4.77 Módulo de elasticidad secante
(González de Vallejo, 2002)

Cohesión

La fuerza cohesiva tiene unidades de esfuerzo. Es importante observar que para muchos análisis en suelos granulares se usa un valor de cohesión igual a cero. Sin embargo es casi imposible encontrar un estrato cuya granulometría sea constituida enteramente por material friccionante limpio; por eso se recomienda si el estrato es poco fino, introducir un pequeño valor de cohesión, con el objeto de tener en cuenta la acción cohesiva de los diferenciales de tamaño en las partículas.

Ángulo de fricción

Este parámetro se introduce en grados. Ángulos de fricción altos, típicos de arenas densas, aumentarán sustancialmente el esfuerzo computacional; debido a que el tiempo de cálculo empleando un ordenador aumenta exponencialmente con el ángulo de fricción.

El ángulo de fricción determina la fuerza cortante, como lo muestra la figura 4.16 por medio de círculos de Mohr.

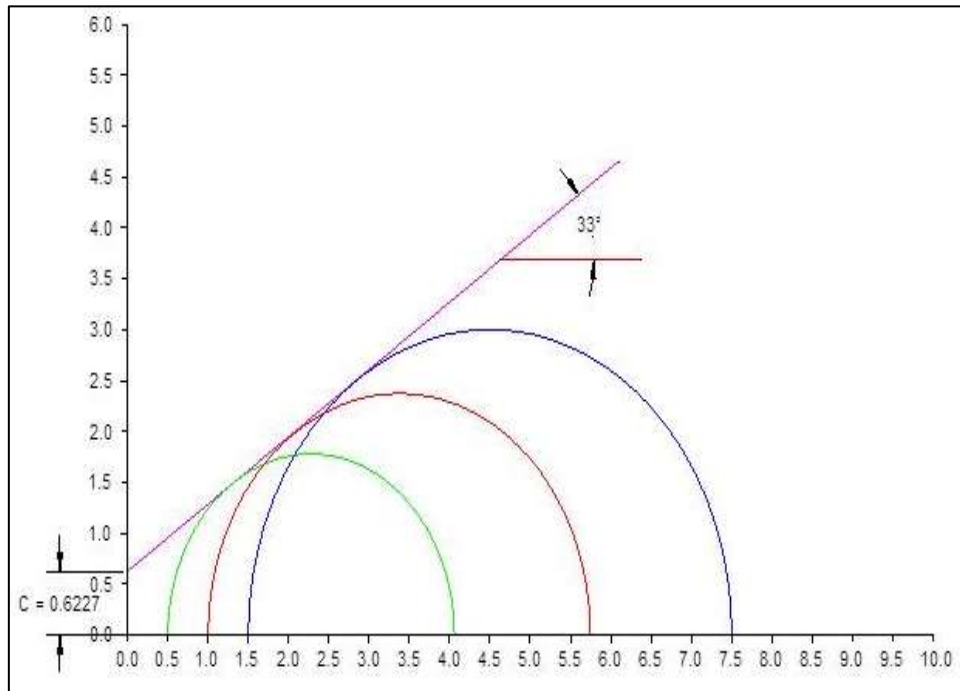


Figura 4.78 Círculos de Mohr de un ensayo Triaxial (Autores)

Ángulo de dilatancia

Este otro parámetro introducido en grados. Aparte de estratos de suelo sobre consolidados, suelos arcillosos tienden a mostrar una pequeña dilatancia. Este parámetro en arenas depende de tanto la densidad y del ángulo de fricción de la misma. Para arenas cuarzosas el ángulo de dilatancia se encuentra en el orden de $\psi \approx \phi - 30$. Para valores de fricción iguales o menores a 30° , la dilatancia es cero. En arenas extremadamente sueltas, este ángulo presenta un valor negativo pequeño

Rata de Poisson

Ensayos traxiales drenados pueden arrojar una rata significativa de decrecimiento de volumen al principio de la imposición de la carga axial, y consecuentemente, un valor inicial bajo de la rata de Poisson.

Las propiedades de los materiales y los parámetros del modelo correspondientes a los materiales tipo suelo e interfaces representa una determinada capa de suelo y pueden ser asignados al dominio correspondiente del modelo geométrico; a las interfaces que están presentes en o a lo largo de dicho dominio se les asigna automáticamente el mismo conjunto de datos. Esto viene indicado en la ventana de propiedades de las interfaces como <Cluster material>.

A continuación se muestran los datos con los que se va a modelar el talud de análisis.

DATOS DEL SUELO		
E50	20390.679	KN/m ²
c	26.036	KN/m ²
φ	34.310	°
v	0.3	°
G	7842.569	KN/m ²
Eoed	27448.990	KN/m ²
γ_{unsat}	26.291	KN/m ³
w	21%	
γ_{sat}	31.812	KN/m ³

Para calcular el módulo de corte G y el módulo edométrico Eoed se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)}$$

$$E_{oed} = \frac{(1 - \nu) \times E}{(1 - 2\nu) \times (1 + \nu)}$$

En este modelo para cada etapa se estima una rigidez promedio constante. Debido a esta rigidez constante, los cálculos tienden a ser muy rápidos y se obtienen una primera impresión de las deformaciones posibles.

La condición de producción de Mohr – Coulomb es una extensión de la ley de Coulomb de fricción para los estados generales de esfuerzo.

De hecho, esta condición asegura que la ley de fricción de Coulomb se aplique en cualquier plano dentro de un elemento material. La condición completa de Mohr – Coulomb puede ser definida por seis funciones de producción cuando es formulada en términos de esfuerzos principales (Smith y Griffith, 1982):

$$f_{1a} = \frac{1}{2}(\sigma'_2 - \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_2 + \sigma'_3)\sin\varphi - c \cos\varphi \leq 0$$

$$f_{1b} = \frac{1}{2}(\sigma'_3 - \sigma'_2) + \frac{1}{2}(\sigma'_3 + \sigma'_2)\sin\varphi - c \cos\varphi \leq 0$$

$$f_{2a} = \frac{1}{2}(\sigma'_3 - \sigma'_1) + \frac{1}{2}(\sigma'_3 + \sigma'_1)\sin\varphi - c \cos\varphi \leq 0$$

$$f_{2b} = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3)\sin\varphi - c \cos\varphi \leq 0$$

$$f_{3a} = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_2) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_2)\sin\varphi - c \cos\varphi \leq 0$$

$$f_{3b} = \frac{1}{2}(\sigma'_2 - \sigma'_1) + \frac{1}{2}(\sigma'_2 + \sigma'_1)\sin\varphi - c \cos\varphi \leq 0$$

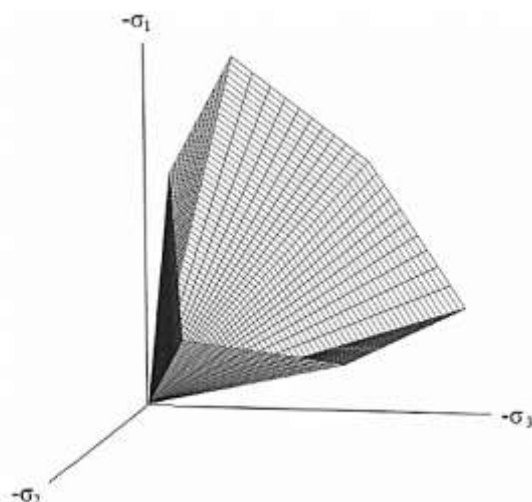


Figura 4. 79 Cono hexagonal de esfuerzos (Manual de PLAXIS)

Los dos parámetros del modelo plástico que aparecen en las funciones son el ángulo de fricción y la cohesión. Estas funciones representan un cono hexagonal en el espacio del esfuerzo principal, tal como se muestra en la figura 4-13. En adición a estas funciones se incluyen seis más llamadas funciones de potencial plástico:

$$g_{1a} = \frac{1}{2}(\sigma'_2 - \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_2 + \sigma'_3) \sin \psi$$

$$g_{1b} = \frac{1}{2}(\sigma'_3 - \sigma'_2) + \frac{1}{2}(\sigma'_3 + \sigma'_2) \sin \psi$$

$$g_{2a} = \frac{1}{2}(\sigma'_3 - \sigma'_1) + \frac{1}{2}(\sigma'_3 + \sigma'_1) \sin \psi$$

$$g_{2b} = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3) \sin \psi$$

$$g_{3a} = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_2) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_2) \sin \psi$$

$$g_{3b} = \frac{1}{2}(\sigma'_2 - \sigma'_1) + \frac{1}{2}(\sigma'_2 + \sigma'_1) \sin \psi$$

Las funciones de potencial plástico contienen un tercer parámetro de plasticidad, el ángulo de dilatación. Este parámetro es requerido para modelar incrementos positivos volumétricos (dilatación) como se puede observar en suelos densos.

A continuación se muestra los parámetros introducidos para el modelamiento del talud en el programa PLAXIS en el modelamiento del suelo.

Figura 4.80 Parámetros del modelamiento de suelo en PLAXIS (Autores)

Section	Parameter	Value	Unit
Stiffness	E_{ref}	2,039E+04	kN/m ²
	ν (nu)	0,300	
Strength	c_{ref}	26,036	kN/m ²
	φ (phi)	34,000	°
	ψ (psi)	4,310	°
Alternatives	G_{ref}	7842,569	kN/m ²
	E_{oed}	2,745E+04	kN/m ²
Velocities	V_s	54,070	m/s
	V_p	101,200	m/s

Figura 4.81 Parámetros para el modelo de Mohr – Coulomb (Autores)

Después de la creación de todos los conjuntos de datos de los materiales para las diversas capas de suelo y estructuras se les deberá asignar a los componentes correspondientes se lo realiza con la apertura de una ventana de conjuntos de datos de materiales en la que se muestran los diferentes conjuntos. El conjunto de datos deseado puede ser arrastrado (seleccionándolo y manteniendo pulsado el botón izquierdo del ratón) hasta la zona de dibujo y dejado sobre el componente deseado. Puede verse por la forma del cursor si el punto escogido para dejar el conjunto de datos es válido o no.

4.11.3.3.- Modelo del comportamiento del mortero

El mortero asfáltico se modela como una geo malla, que es un elemento flexible que no puede soportar fuerzas de compresión. La única propiedad en un conjunto de datos de geo malla es la rigidez axial elástica, EA, que viene dada en unidades de fuerza por unidad de anchura. La rigidez axial puede ser determinada a partir de los diagramas en los que se representa la

elongación de la geo malla en función de la fuerza aplicada en dirección longitudinal. La rigidez axial es la relación entre la fuerza axial por unidad de anchura y la deformación axial ($\Delta l/l$ en donde Δl es la elongación y l es la longitud)

DATOS DEL MORTERO		
E	3129000.000	KN/m ²
ESPESOR	0.0127	M
EA	39738.3000	KN/m
EI	0.5341	KNm ² /m
d_{eq}	0.0127	M
W	0.1500	KN/m
V	0.3	

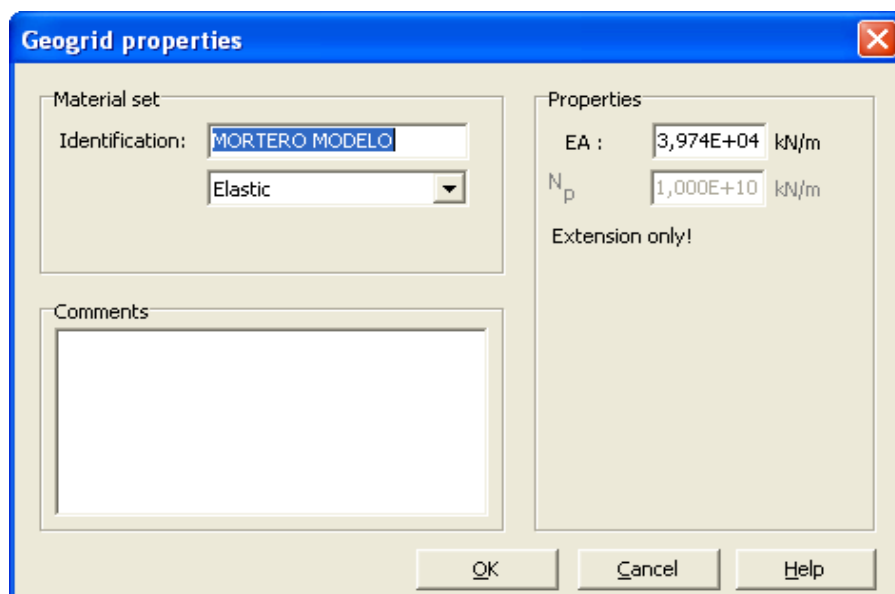


Figura 4.82 Parámetros para modelar el mortero asfáltico (Autores)

4.11.3.4.- Generación de la malla

Una vez que hemos completado el modelo geométrico y hemos definido completamente las propiedades de los materiales y estas han sido asignadas a todos los dominios y objetos estructurales, tenemos que dividir

la geometría en elementos finitos con el fin de llevar a cabo la etapa de cálculos.

La generación de la malla se basa en un robusto procedimiento de triangulación, el cual da como resultado mallas 'no estructuradas'. Estas mallas pueden parecer desordenadas, pero su rendimiento numérico es mejor que el de las mallas regulares (estructuradas).

La generación de la malla se inicia haciendo clic en el botón de generación de mallas de la barra de herramientas o bien seleccionando la opción de Generar (Generate) en el submenú de Mallas (Mesh). La generación se activa también directamente después de la selección de una opción de refinamiento en el submenú Mesh, para el talud de análisis se realizó un refinamiento muy detallado (very fine).

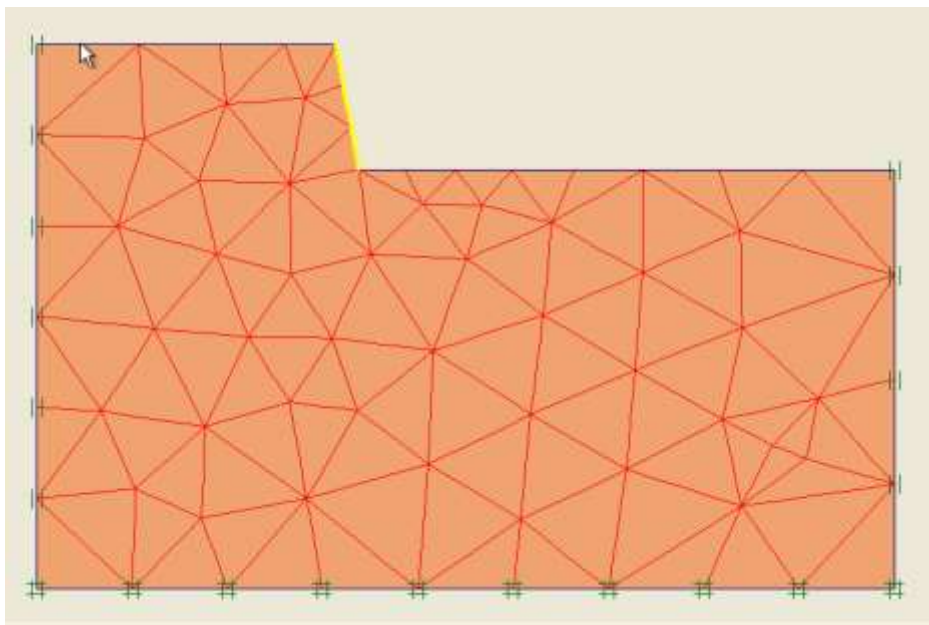


Figura 4.83 Generación de malla por defecto (Autores)

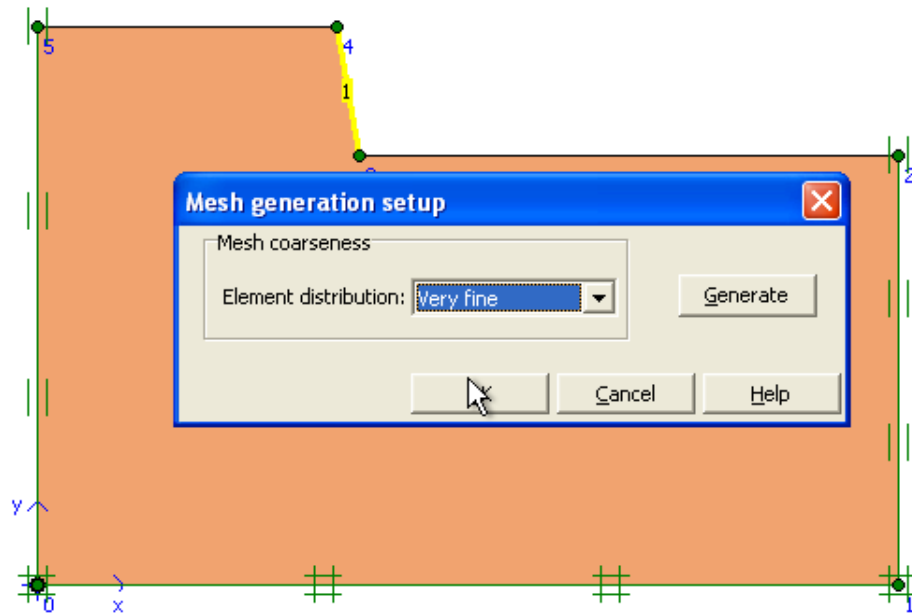


Figura 4.84 Refinación de la malla (Autores)

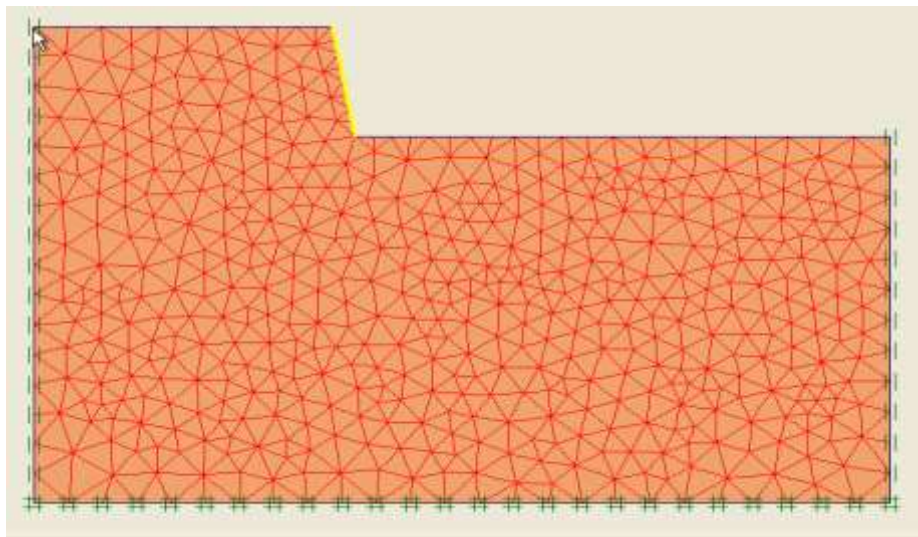


Figura 4.85 Connectivity plot de la malla más refinada (Autores)

Después de la generación de la malla se activa el programa de Resultados (Output) y se muestra la malla. Aun cuando los elementos de interfaz tienen un espesor cero, los interfaces de la malla están dibujados con un cierto espesor para poner de manifiesto las conexiones entre elementos de suelo e interfaces.

Este gráfico se denomina de conectividad (Connectivity plot) y está también disponible como opción para la visualización de resultados. El factor

de escala puede ser utilizado para reducir el espesor gráfico de las interfaces. Para regresar al programa de Introducción (Input) debe pulsarse el botón de Update.

4.11.3.5.- Condiciones iniciales

Una vez se ha creado el modelo geométrico y se ha generado la malla de elementos finitos, deben especificarse el estado tensional y la configuración inicial. Esto puede hacerse en el módulo dedicado a la imposición de las condiciones iniciales del programa de introducción de datos.



Figura 4.86 Ubicación en la ventana de INPUT del botón de condiciones iniciales (Autores)

Este módulo se divide en dos partes: un submódulo para la generación de las presiones iniciales del agua (módulo de condiciones iniciales referentes al flujo) y un submódulo para la especificación de la configuración inicial de la geometría y la generación del campo de tensiones efectivas iniciales (módulo de configuración de la geometría).

El paso de uno a otro de esos módulos se efectúa por medio del botón de la barra de herramientas. El módulo de las condiciones iniciales permite regresar al módulo de creación de la geometría, pero esto no deberá por lo general hacerse, ya que parte de la información referente a las condiciones iniciales se perderá.



Figura 4.87 Ubicación del botón conmutador en la ventana de INPUT
(Autores)

Las presiones intersticiales y las presiones externas del agua pueden ser generadas a partir de la fijación de unos niveles freáticos. Un nivel freático representa una serie de puntos en los que la presión del agua es exactamente cero (la atmosférica).

Utilizando la introducción de un nivel freático, la presión del agua se incrementará de forma lineal con la profundidad de acuerdo con el peso del agua especificado (es decir, se supone que la variación de la presión es hidrostática). Antes de introducir un nivel freático, el usuario debe introducir el peso correcto del agua.

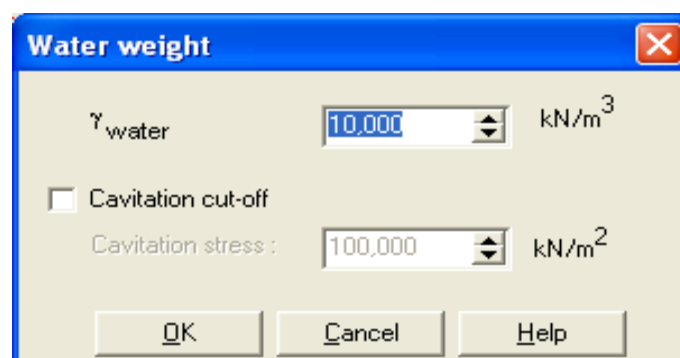


Figura 4.88 Introducción del peso específico del agua (Autores)

La opción para la introducción de niveles freáticos puede ser seleccionada en el submenú Geometry o bien haciendo clic en el correspondiente icono de la barra de herramientas. La introducción de un nivel freático es similar a la creación de una línea geométrica.

Los niveles freáticos son definidos por medio de dos o más puntos. La generación de las presiones del agua se lleva a cabo de hecho cuando se selecciona la opción de Generate water pressures.

Para el modelo en análisis no se consideró un nivel freático, por lo tanto debemos definir a la masa de suelo como un dominio seco, con la opción “Cluster Dry” que se muestra al hacer clic derecho en el área del suelo.

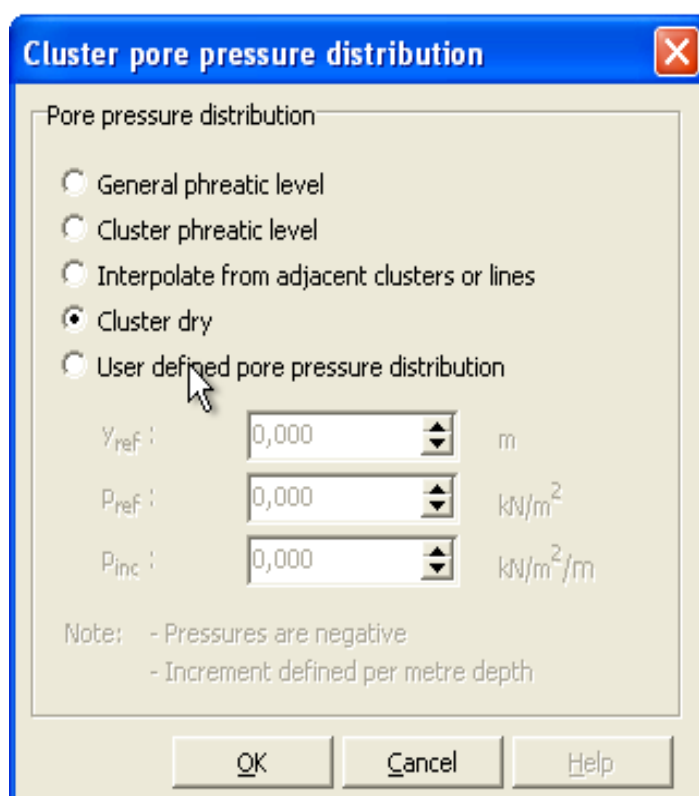


Figura 4.89 Definición del dominio seco (Autores)

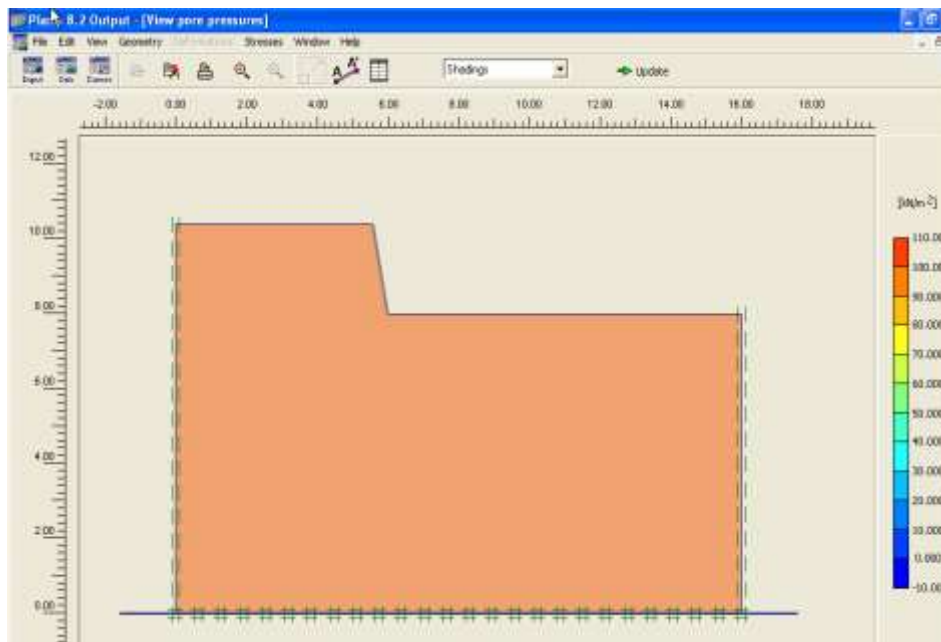


Figura 4.90 Dominio sin presión de poros (Autores)

4.11.3.6.- Generación de esfuerzos iniciales (procedimiento K_0)

Los esfuerzos iniciales en una capa de suelo están influenciados por el peso del material y por su historia previa. Este estado tensional viene usualmente caracterizado por un esfuerzo efectivo vertical $\sigma'_{v,0}$. El esfuerzo efectivo horizontal inicial $\sigma'_{h,0}$, está relacionada con el esfuerzo efectivo vertical inicial por medio del coeficiente de empuje al reposo, K_0 . ($\sigma'_{h,0} = K_0 \sigma'_{v,0}$).

En el programa PLAXIS podemos generar esfuerzos iniciales especificando K_0 o bien utilizando la Carga de gravedad (Gravity loading). La generación de tensiones iniciales basada en el procedimiento K_0 puede ser seleccionada haciendo clic en el botón de Generate initial stresses de la barra de herramientas o bien seleccionado Initial stresses en el submenú Generate.



Figura 4.91 Ubicación del botón Generate initial stresses de la barra de herramientas (Autores)

Como resultado de ello, aparece una ventana con una tabla en la que, junto con otros

Al dar clic en el botón Generate initial stresses, aparece una ventana con una tabla en la que se pueden introducir los valores de K_0 de cada dominio de suelo.

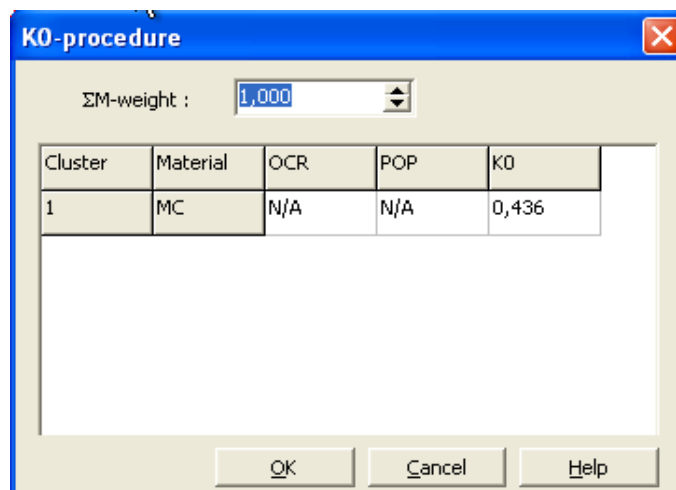


Figura 4.92 Ventana de generación de tensiones iniciales (Autores)

En la figura 4.89 se muestran diferentes parámetros que a continuación se describen:

ΣM weight: este parámetro representa la proporción de la gravedad que se aplica, se puede aceptar el valor por defecto de 1,0 que significa que se activa el peso total del suelo.

Dominio (Cluster): Indica el número del dominio. Cuando se introduce un valor en la tabla, el dominio aparece con un rayado cruzado de color rojo en la ventana principal en el fondo.

Modelo (Model): Indica el modelo de material que se utiliza en el dominio en particular, en el modelo de análisis tenemos MC que significa que estamos usando el modelo de Mohr-Coulomb.

OCR y POP: Estas columnas son usadas para ingresar un grado de sobre consolidación (OCR) o una presión de pre consolidación (POP). En nuestro modelo, la introducción de OCR y de POP no es aplicable; solo se aplica cuando se trabaja con modelos de Suelo Blando con fluencia o el modelo de Suelo con Endurecimiento.

K_0 : Se puede introducir el valor de K_0 para cada dominio de manera individual sin embargo el valor por defecto de K_0 es igual a $1 - \sin\phi$; valor que está basado en la fórmula de Jaky. Debe ponerse mucho cuidado con los valores muy bajos o muy altos de K_0 , dado que dichos valores pueden causar plasticidad inicial. Al pulsar el botón de OK da comienzo la generación de las tensiones iniciales.

El procedimiento K_0 supone solamente el peso de la masa de suelo y calcula sólo tensiones efectivas y presiones intersticiales en elementos de suelo e interfaces. Las cargas externas y el peso de los elementos estructurales no son tomados en cuenta.

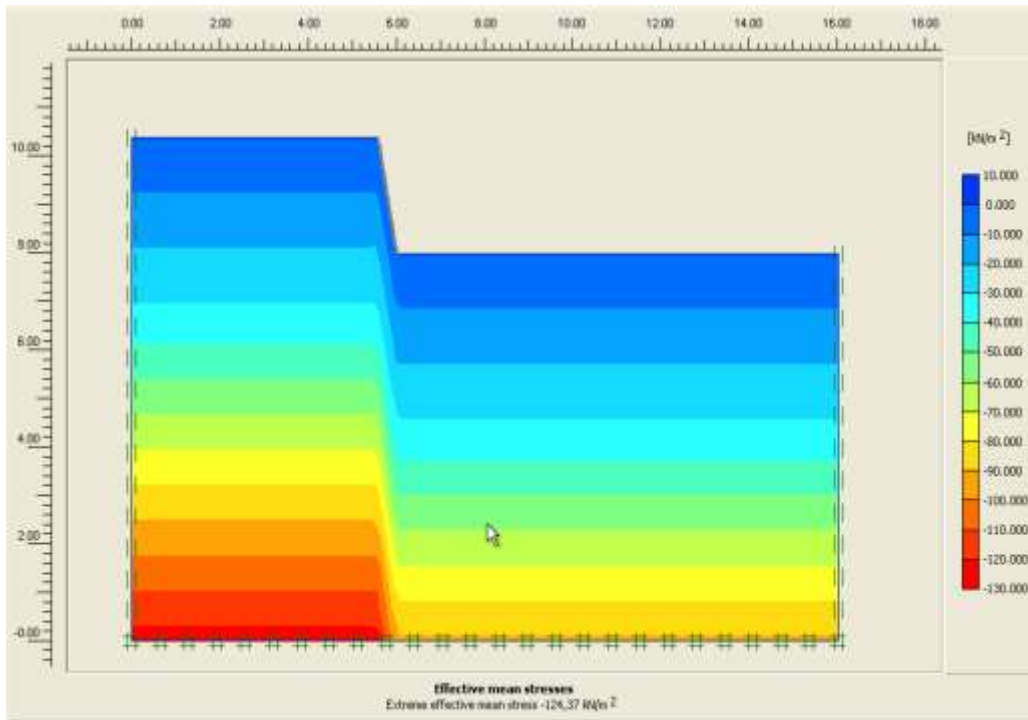


Figura 4.93 Resultados de la generación de esfuerzos iniciales
(Autores)

Después de generar los esfuerzos iniciales se activa automáticamente el programa de Resultados (Output) y se muestra un gráfico de esfuerzos efectivos iniciales; el esfuerzo inicial en un punto de tensión se sigue del peso del material encima de dicho punto y del valor de $\Sigma Mweight$.

$$\sigma'_{v,0} = \sum Mweight \left(\sum_i \gamma_i \cdot h_i - p_w \right) \quad \sigma'_{h,0} = K_0 \sigma'_{v,0}$$

Donde γ_i es el peso unitario de las capas individuales, h_i es la profundidad de la capa y p_w es la presión intersticial inicial en el punto de tensión.

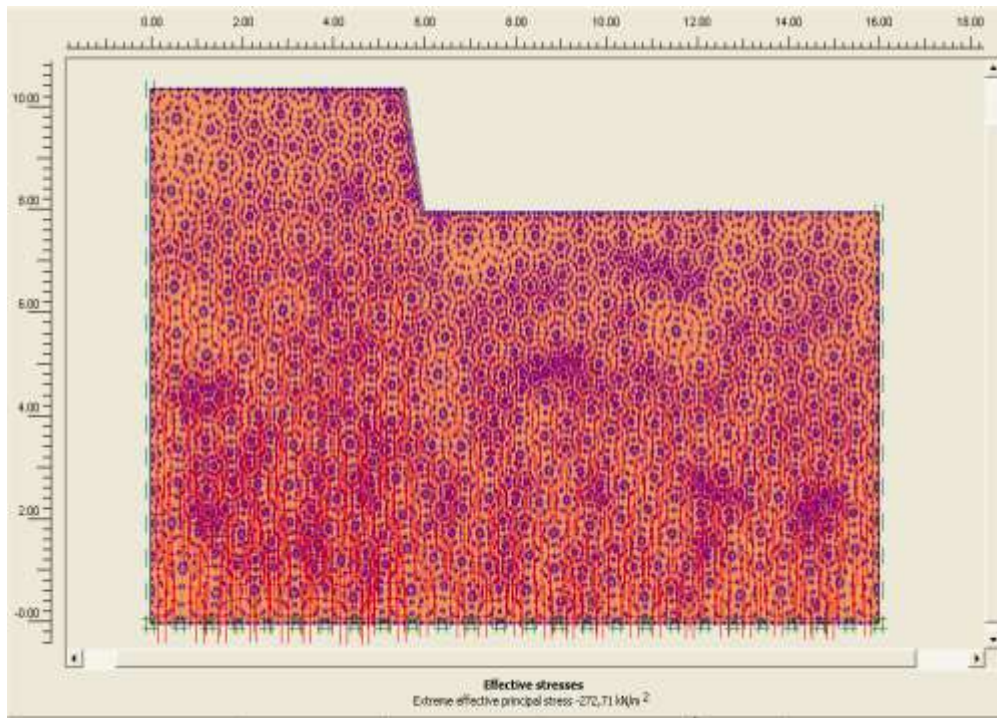


Figura 4.94 Puntos de tensión de la generación tensiones iniciales
(Autores)

Para regresar al programa de Introducción (Input) después de ver los resultados de la generación de las tensiones iniciales, deberá pulsarse el botón de Update.

4.11.4.- Programa de cálculos (calculations)



Después de establecer el modelo de elementos finitos se puede iniciar la fase de cálculo. Por lo tanto, se debe definir qué tipos de cálculos se han de llevar a cabo y qué tipo de cargas o de etapas de construcción se han de activar durante los cálculos. Todo esto es realizado por el programa de Cálculos (Calculations).

PLAXIS permite realizar diferentes tipos de cálculos mediante el método de los elementos finitos.

El programa de Cálculo se centra en los análisis de deformación y se puede diferenciar entre un cálculo plástico (Plastic), un análisis de Consolidación (Consolidation), un análisis de Seguridad (Phi-c reduction) y un cálculo Dinámico (Dynamic). Los tres primeros tipos de cálculos (Plastic, Consolidation, Phi-c reduction) permiten con carácter opcional resolver el problema dentro del contexto de grandes deformaciones. Esto se denomina Malla actualizada (Updated mesh), y se encuentra disponible como opción avanzada.

En la práctica, los proyectos constan de diferentes fases. De manera similar, un proceso de cálculo de PLAXIS se divide también en fases del cálculo. Son ejemplos de fases de un cálculo la activación de una carga en particular en un determinado momento, la simulación de una etapa de construcción, la introducción de un período de consolidación, el cálculo de un factor de seguridad, etc.

Para el análisis del modelo del talud se utilizara un análisis de seguridad Phi-c reduction para poder determinar el factor de seguridad del problema planteado.

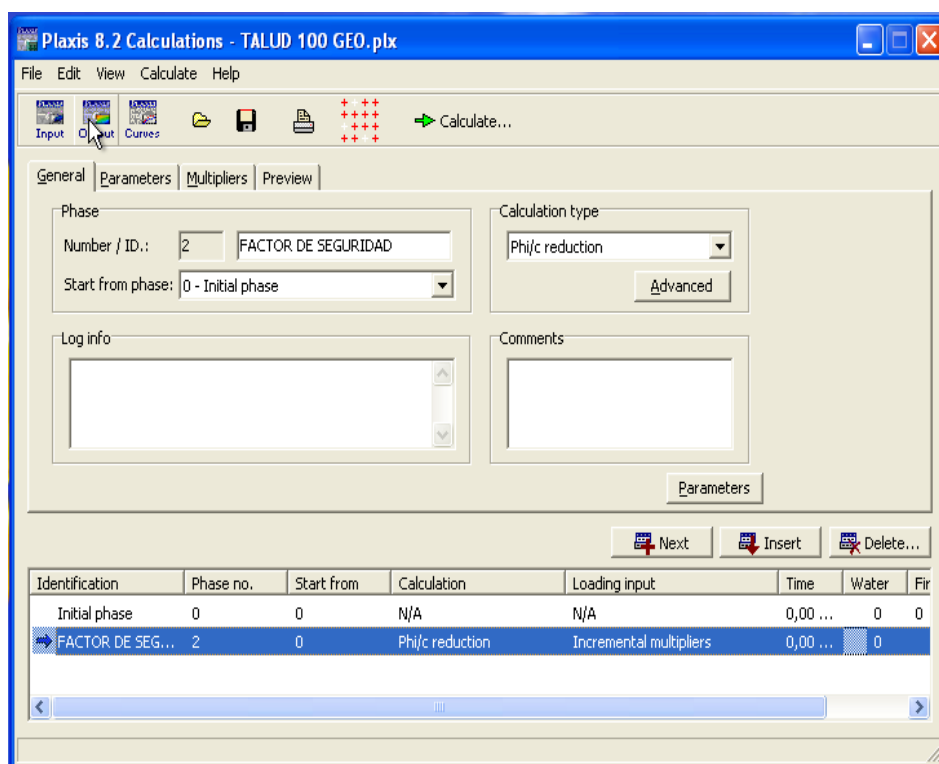


Figura 4.95 Ventana principal del programa CALCULATIONS (Autores)

4.11.4.1.- Reducción Fi-C (phi-c-reduction)

Phi-c reduction es un análisis que se encuentra disponible en PLAXIS para el cálculo de factores de seguridad. Esta opción puede ser seleccionada como un Tipo de cálculo (Calculation type) aparte en la pestaña General. El procedimiento Phi-c reduction consiste en reducir progresivamente los parámetros de resistencia $\tan\phi$ y c del suelo hasta que se produce la rotura de la estructura.

La resistencia de las interfaces, si están activas, se reduce de la misma manera. Sin embargo, la resistencia de los objetos estructurales como

placas y anclajes no se modifica dentro de un cálculo del tipo Phi-c reduction.

El multiplicador total ΣMsf se utiliza para definir el valor de los parámetros de resistencia del suelo en una etapa dada del análisis.

$$\Sigma Msf = \frac{\tan \varphi_{input}}{\tan \varphi_{reduced}} = \frac{C_{input}}{C_{reduced}}$$

Donde los parámetros de resistencia con el subíndice “input” hacen referencia a las propiedades introducidas en los conjuntos de datos de los materiales y los parámetros con el subíndice “reduced” se refieren a los valores reducidos utilizados en el análisis.

Al inicio del cálculo ΣMsf vale 1.0, con lo que todas las resistencias de los materiales se fijan en sus valores no reducidos.

Un cálculo del tipo Phi-c reduction se lleva a cabo utilizando el procedimiento de número de pasos de avance de la carga (Load advancement number of steps). El multiplicador incremental Msf se utiliza para especificar el incremento de la reducción de la resistencia correspondiente al primer paso de cálculo.

Este incremento se fija por defecto en 0.1, que resulta ser por regla general un buen valor inicial. Los parámetros de resistencia se reducen sucesivamente de forma automática hasta que se han realizado todos los Pasos adicionales (Additional steps). Por defecto, el número de pasos adicionales está fijado en 30, pero se puede dar aquí un valor mayor, hasta un máximo de 1000, si es necesario.

Para el análisis del modelo se utilizó 50 pasos adicionales y el incremento se fijó en 0.1

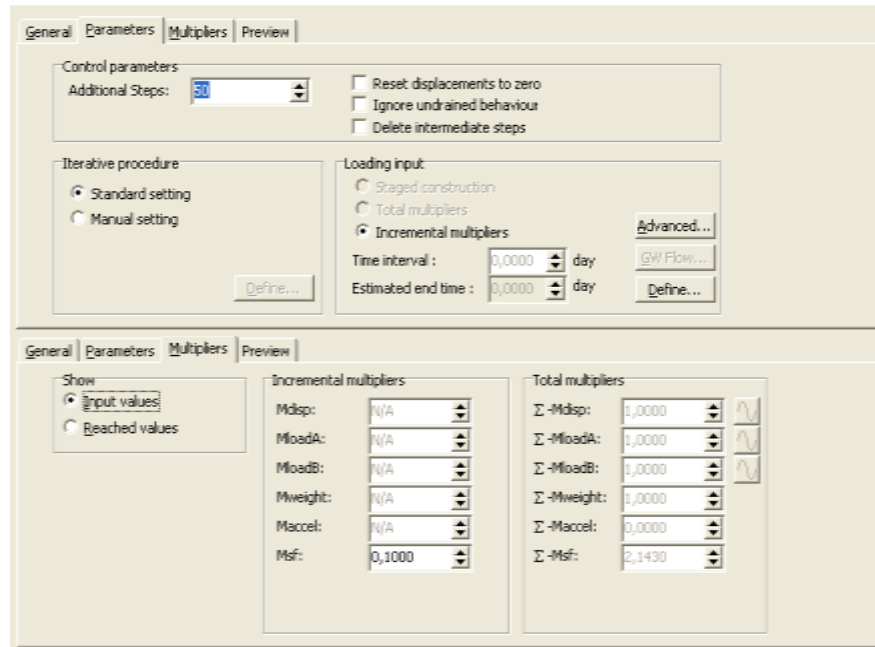


Figura 4.96 Ajuste de pasos adicionales e incrementos para el análisis (Autores)

Debe comprobarse siempre si el paso final ha dado como resultado un mecanismo de rotura completamente desarrollado. Si éste es el caso, el factor de seguridad viene dado por:

$$SF = \frac{\text{resistencia disponible}}{\text{resistencia en ruptura}} = \text{valor de } \sum Msf \text{ en rotura}$$

Si no se ha desarrollado completamente un mecanismo de rotura debe repetirse el cálculo con un número mayor de pasos adicionales. Para captar con precisión la rotura de la estructura es conveniente utilizar la opción de Control de la longitud de arco (Arclength control) en el procedimiento iterativo. También se requiere el uso de un Error tolerado (Tolerated error) de no más del 3%. Se cumplen ambos requerimientos cuando se utiliza la

configuración estándar (Standard setting) del Procedimiento iterativo (Iterative procedure)

Durante un cálculo del tipo reducción ϕ -c se utiliza como rigidez constante la correspondiente al estado tensional existente al final de la fase anterior. El procedimiento ϕ -c reduction se parece al método de cálculo de factores de seguridad que se ha adoptado convencionalmente en los análisis de círculos de deslizamiento.

Una vez se hayan definido las diferentes fases y antes de que se dé inicio al proceso de cálculo, el usuario puede seleccionar algunos puntos de la geometría para la generación de curvas de carga-desplazamiento o de trayectorias de tensiones.

Durante los cálculos, la información correspondiente a dichos puntos seleccionados es almacenada en un fichero aparte. Después del cálculo, puede utilizarse el programa Curvas (Curves) para la generación de curvas de carga-desplazamiento o de trayectorias de tensiones.

La generación de dichas curvas está basada en la información almacenada en el fichero aparte.

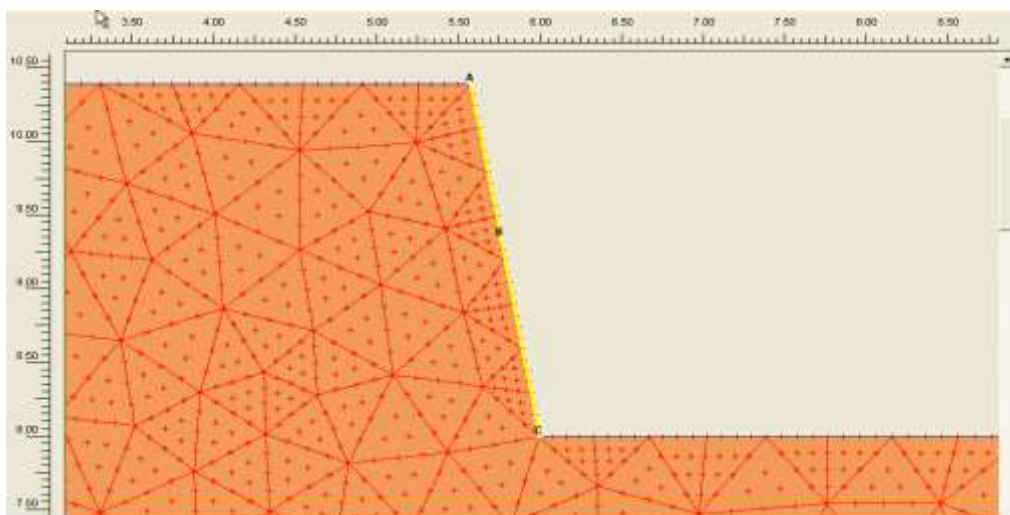


Figura 4.97 puntos de la geometría para la generación de curvas de carga-desplazamiento o de trayectorias de tensiones (Autores)

Una vez que se han seleccionado los puntos para curvas, se puede proceder a la ejecución del proceso del cálculo. Antes de dar inicio al proceso, sin embargo, es recomendable llevar a cabo una comprobación de la lista de fases de cálculo. En principio, todas las fases de señaladas con una flecha de color azul (\rightarrow) serán ejecutadas durante el proceso de cálculo. Por defecto, cuando se defina una nueva fase de cálculo se marcará automáticamente como fase a ejecutar.

Las fases de cálculo ya ejecutadas pueden estar señaladas mediante una marca de color verde (\checkmark) o mediante un aspa de color rojo (\times) dependiendo de si su cálculo resultó o no satisfactorio.

Ahora ya se puede iniciar el proceso del cálculo pulsando el botón de Calcular (Calculate) de la barra de herramientas. Este botón sólo está visible si está destacada alguna fase de cálculo que haya sido seleccionada para ser ejecutada

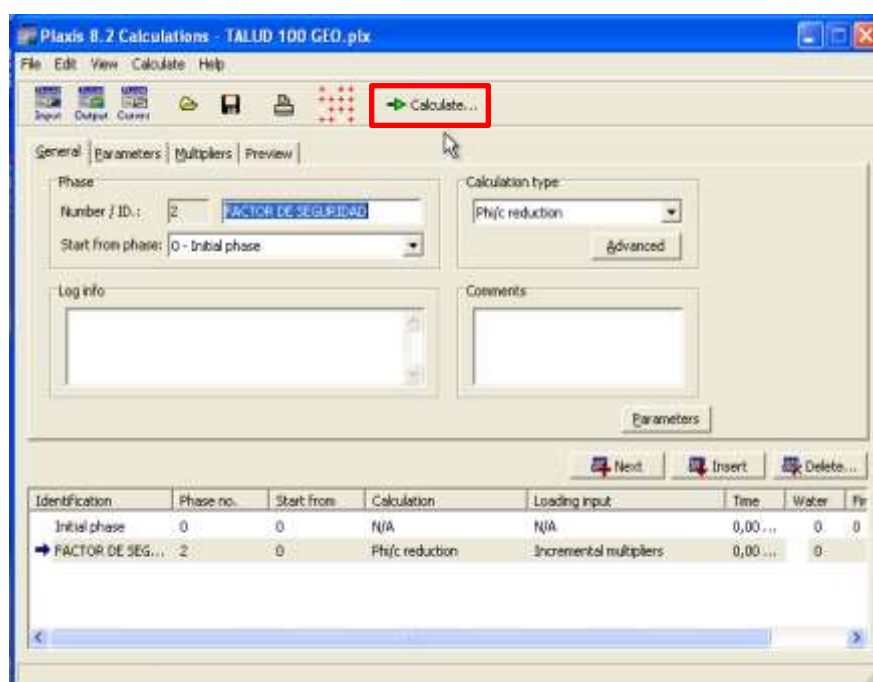


Figura 4.98 Ubicación del botón calcular en el programa CALCULATIONS (Autores)

Una vez realizado el cálculo podemos pasar al siguiente paso en el análisis, que son los resultados en el programa OUTPUT al hacer clic en el botón output de la ventana de cálculos.

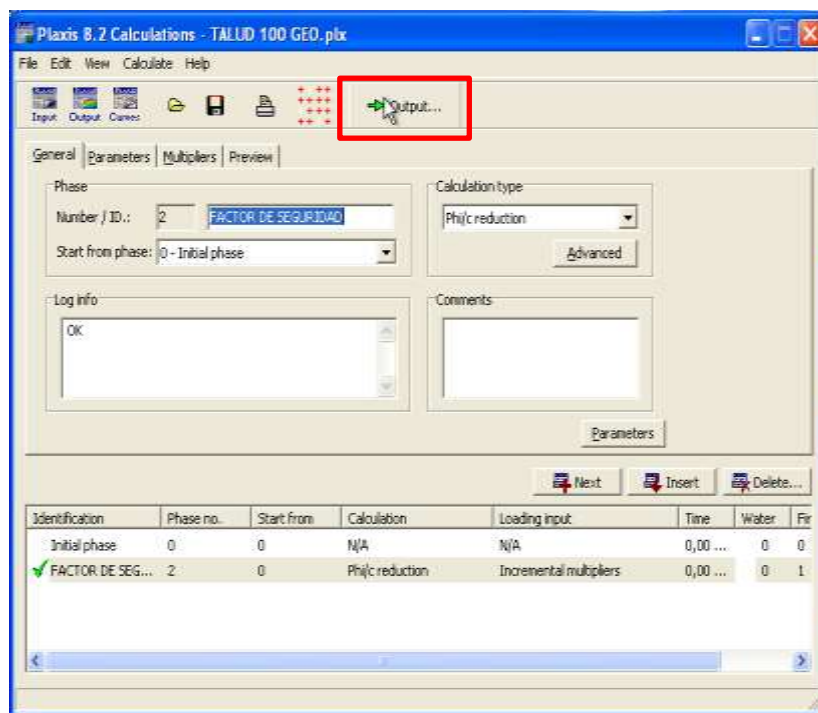


Figura 4.99 botón para pasar al programa output

4.11.5.- Programa de resultados (output)



3 Plaxis Output

Este programa contiene todas las herramientas para ver y elaborar listas de resultados correspondientes a la situación inicial y a cada fase de cálculo. Se debe empezar seleccionando el modelo y la fase de cálculo o el número de paso apropiados cuyos resultados se desea ver. Después de esta

selección, se abre una primera ventana de resultados en la que se representa la malla deformada.

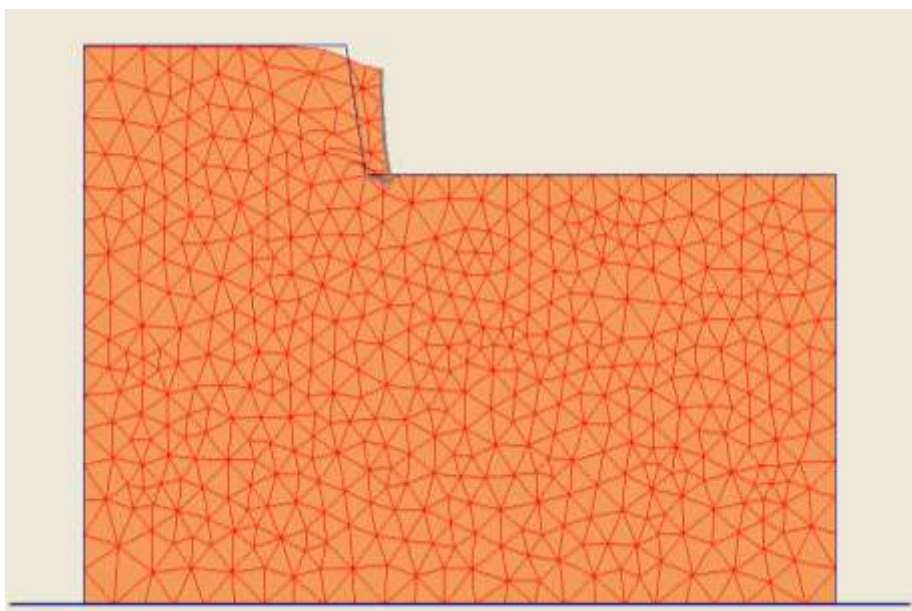


Figura 4.100 Malla deformada del modelo (Autores)

4.11.5.1.- Desplazamientos totales, horizontales y verticales

Los Desplazamientos totales (Total displacements) son los desplazamientos

Acumulados absolutos $|u|$. Se obtienen a partir de las componentes de Desplazamiento horizontal (x) y vertical (y) en todos los nodos al final del paso de cálculo actual y se representan sobre un gráfico de la geometría. De manera similar, los Desplazamientos horizontales (Horizontal displacements) y los Desplazamientos verticales (Vertical displacements) son, respectivamente, las componentes acumuladas de desplazamiento horizontal (x) y vertical (y) en todos los nodos al final del paso de cálculo

actual. Estas opciones pueden ser seleccionadas en el submenú Deformations.

Los desplazamientos pueden ser presentados como Flechas (Arrows), como Curvas de Nivel (Contours) o como Sombreados (Shadings) seleccionando la opción apropiada en el cuadro de presentación de la barra de herramientas.

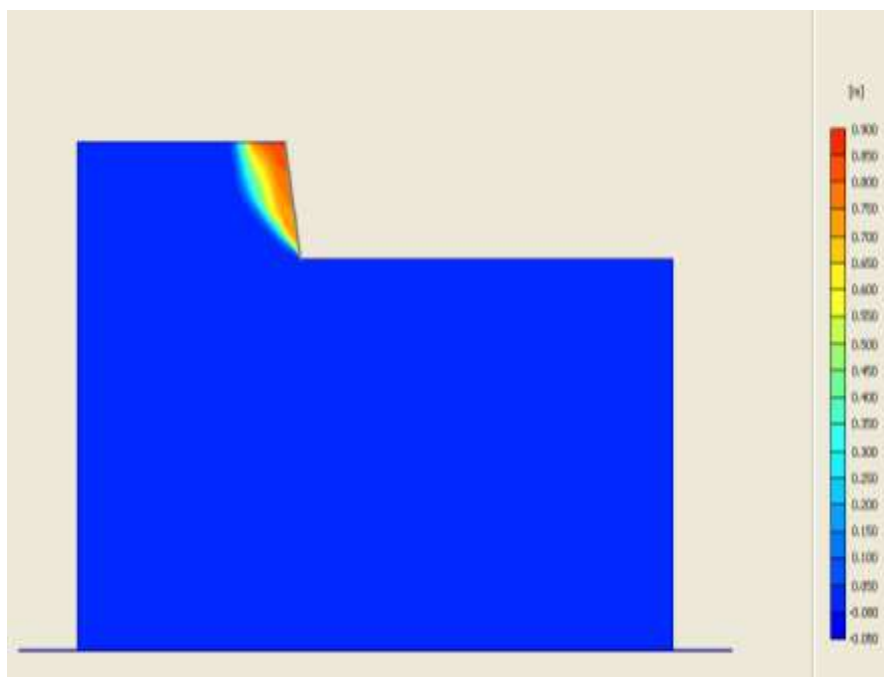


Figura 4.101 Desplazamientos totales del modelo (Autores)

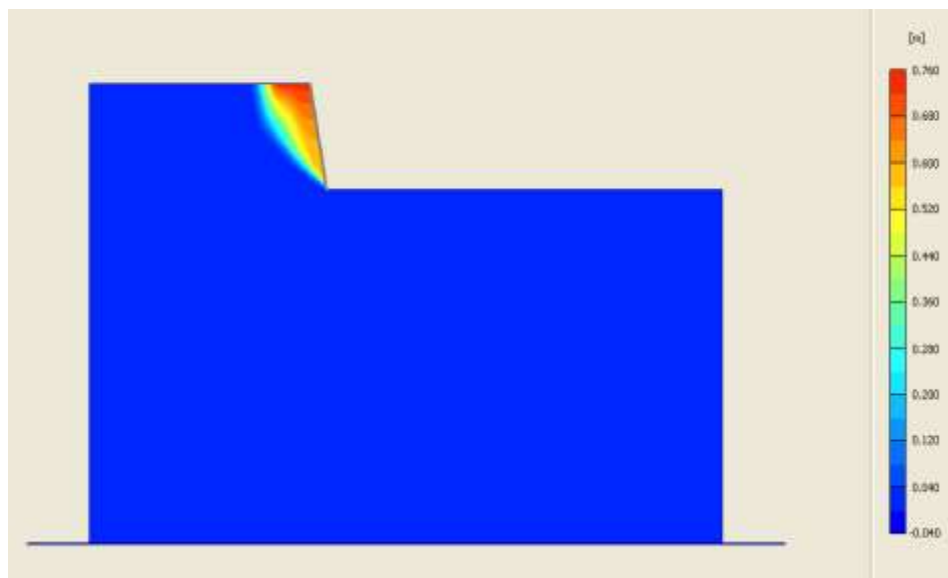


Figura 4.102 Desplazamientos horizontales del modelo (Autores)

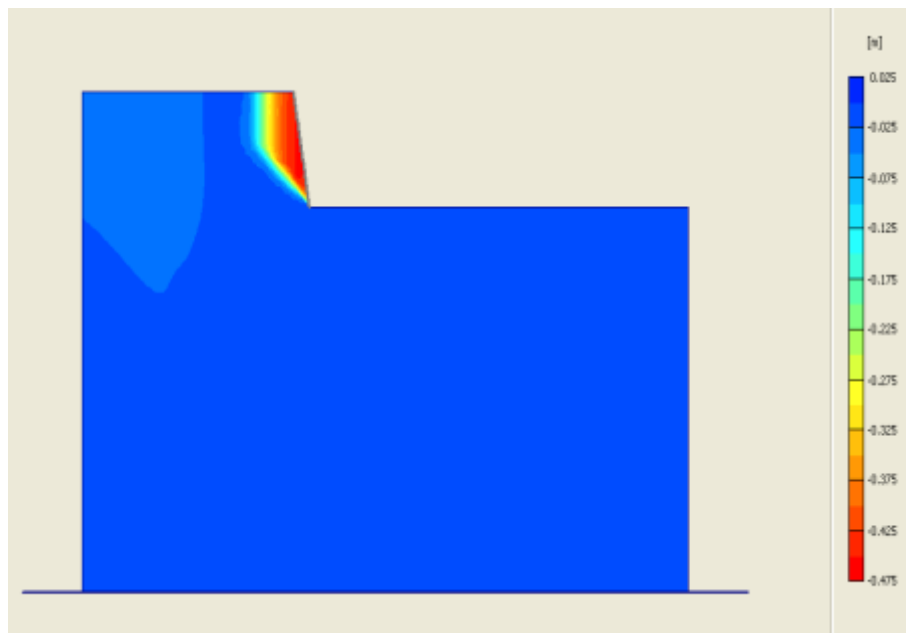


Figura 4.103 Desplazamientos horizontales del modelo

4.11.5.2.- Desplazamientos Incrementales

Los Incrementos totales (Total increments) son los incrementos de desplazamiento absolutos del paso actual $|\Delta u|$. Se obtienen a partir de los incrementos de desplazamiento horizontal y vertical en todos los nodos tal como han sido calculados para el paso actual y se representan sobre un gráfico de la geometría. De manera similar, los Incrementos horizontales (Horizontal increments) y los Incrementos verticales (Vertical increments) son, respectivamente, los incrementos de desplazamiento horizontal (x) y vertical (y) en todos los nodos tal como han sido calculados para el paso actual. Estas opciones pueden ser seleccionadas en el submenú Deformations.

Los incrementos de desplazamiento pueden ser presentados como Flechas (Arrows), como Curvas de Nivel (Contours) o como Sombreados

(Shadings) seleccionando la opción apropiada en el cuadro de presentación de la barra de herramientas. Las curvas de nivel de incrementos totales resultan particularmente útiles cuando se pretende observar la localización de deformaciones en ciertas zonas del dominio durante una rotura plástica.

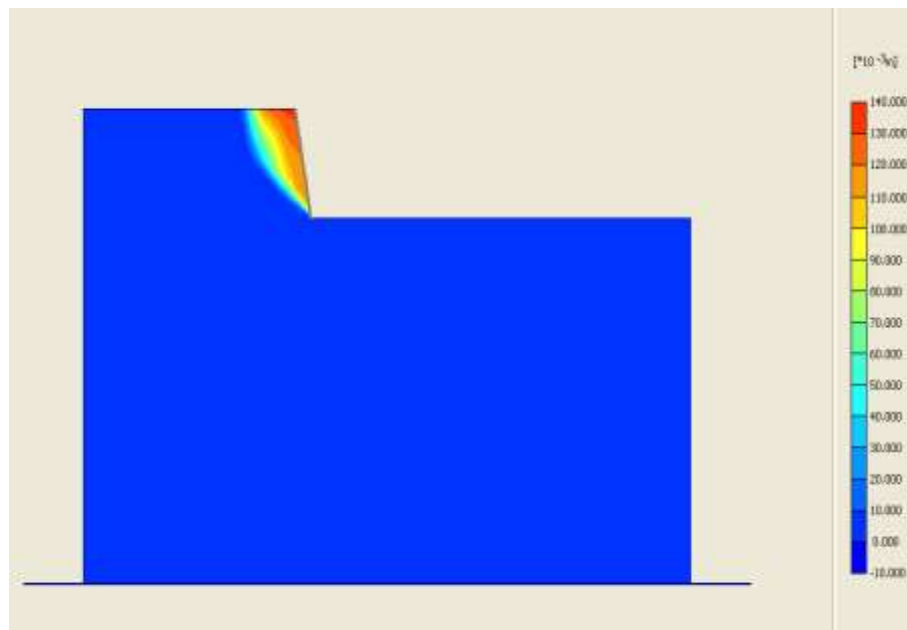


Figura 4.104 Desplazamientos incrementales totales del modelo
(Autores)

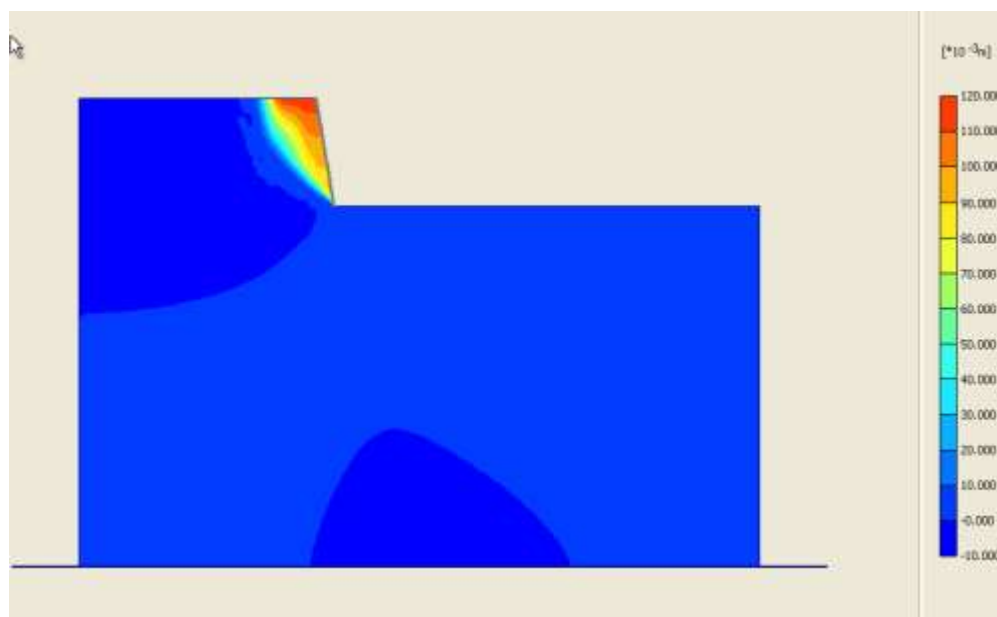


Figura 4.105 Desplazamientos incrementales totales del modelo
(Autores)

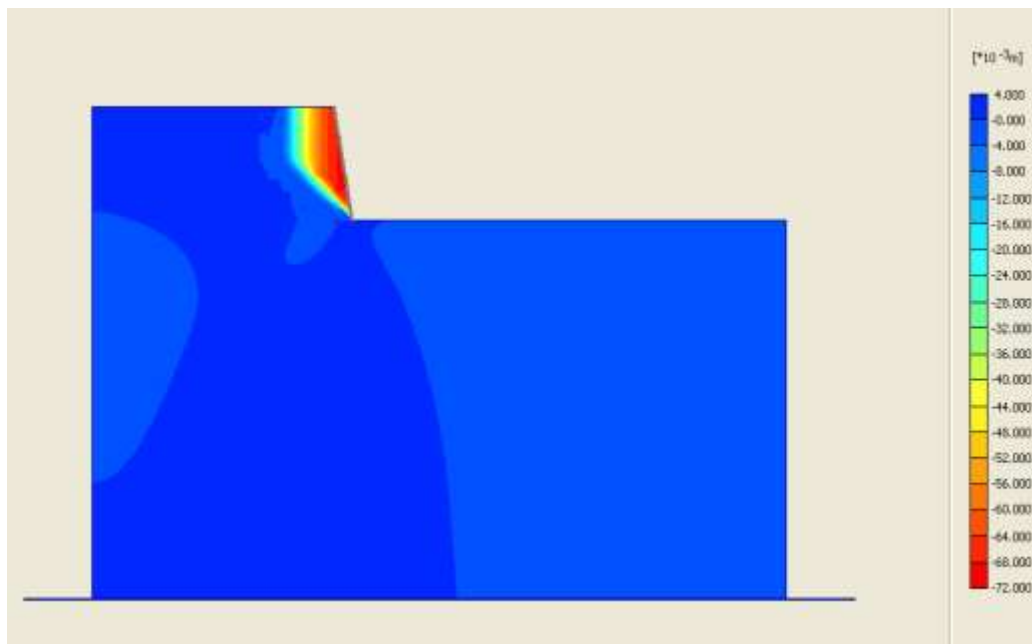


Figura 4.106 Desplazamientos incrementales verticales del modelo
(Autores)

4.11.5.3.- Deformaciones totales

Las Deformaciones totales (Total strains) son las deformaciones acumuladas de la geometría en los puntos de tensión al final del paso de cálculo actual representadas en un gráfico de la geometría. Esta opción puede ser seleccionada en el submenú Deformations.

Las deformaciones totales pueden ser representadas según las opciones Direcciones principales (Principal directions) (deformaciones principales), Deformaciones volumétricas (Volumetric strains) (ϵ_v) o Deformaciones de corte (Shear strains) (ϵ_s) tal como se indica en el recuadro de presentaciones de la barra de herramientas. Las deformaciones volumétricas

y las de corte pueden ser visualizadas como Curvas de Nivel (Contours) o Sombreados (Shadings).

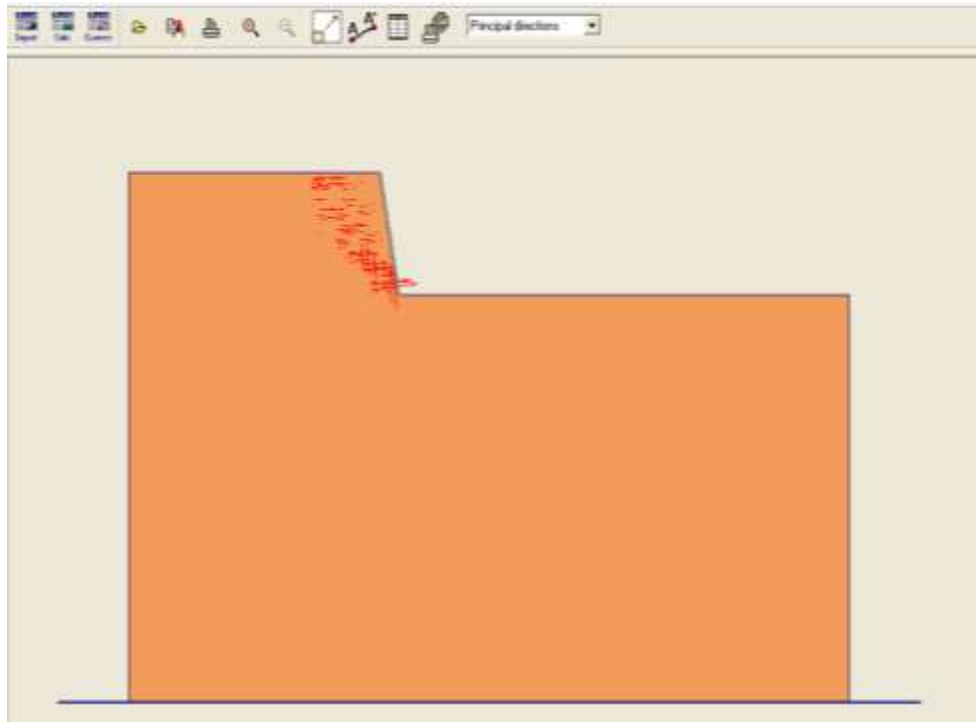


Figura 4.107 Deformaciones totales en direcciones principales

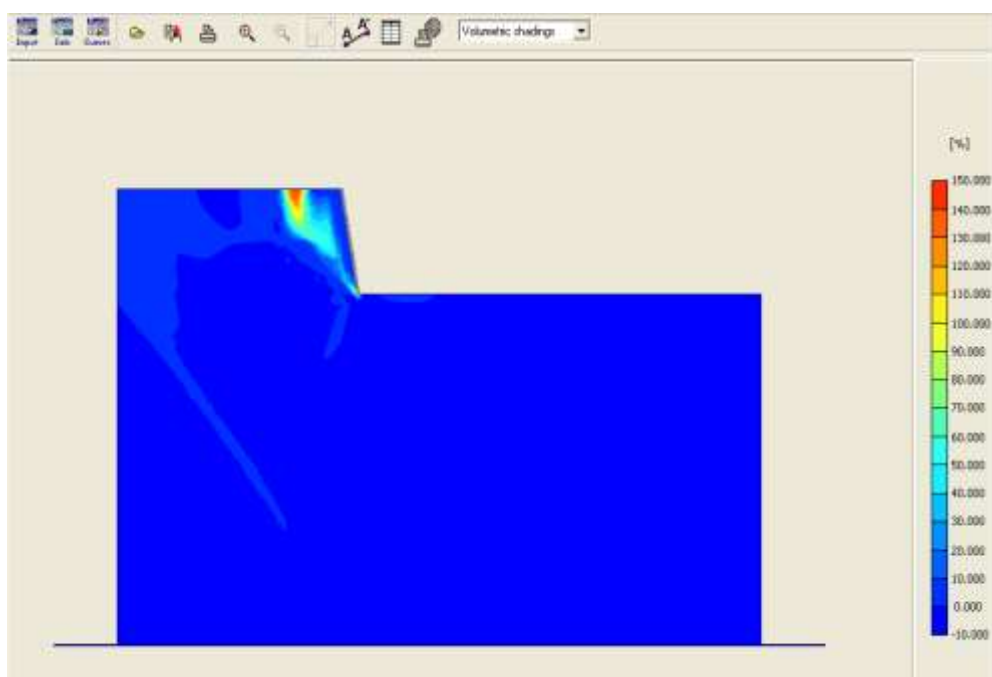


Figura 4.108 Deformaciones volumétricas totales (Autores)

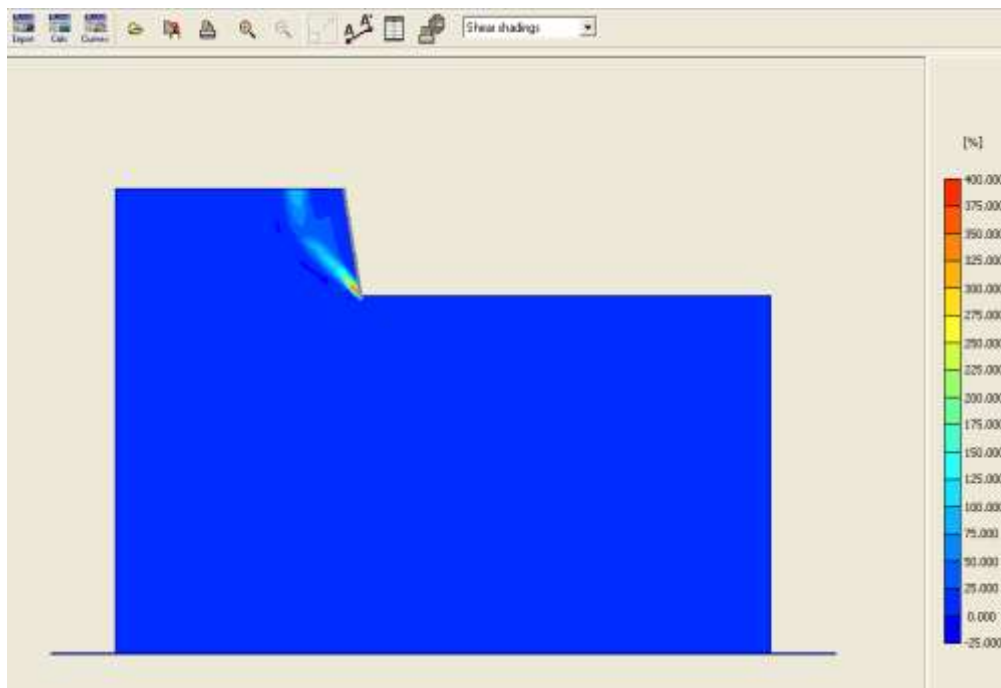


Figura 4.109 Deformaciones de corte totales (Autores)

4.11.5.5.- Esfuerzos efectivos

Son los esfuerzos efectivos en la geometría al final del paso de cálculo actual, y se representan sobre un gráfico de la geometría. Esta opción puede ser seleccionada en el submenú Stresses. Los esfuerzos efectivos pueden ser representadas como Direcciones principales (Principal directions) (esfuerzos principales), esfuerzos de corte (Mean) (p') o esfuerzos tangenciales relativos (Relative shear) (T_{rel}) seleccionando la opción apropiada en el recuadro de presentaciones de la barra de herramientas. Los esfuerzos medios y los esfuerzos tangenciales relativos pueden ser visualizados bajo la forma de Curvas de Nivel (Contours) o de Sombreados (Shadings).

Los esfuerzos efectivos principales se representan como cruces en los puntos de tensión de los elementos. Cuando se utilizan elementos de 15 nodos se muestran tres puntos de tensión por elemento. Cuando se utilizan elementos de 6 nodos sólo se muestra un punto por elemento, que representa el promedio de las tensiones efectivas principales en el elemento. La longitud de cada línea representa la magnitud del esfuerzo principal y la dirección indica la dirección principal. Los esfuerzos de tracción se representan por medio de una flecha en lugar de por una línea. Téngase en cuenta que se considera que las compresiones son negativas.

La opción de esfuerzos tangenciales relativos da una indicación de la proximidad del punto de esfuerzo a la envolvente de rotura. El esfuerzo tangencial relativo, τ_{rel} , se define como:

$$\tau_{rel} = \frac{\tau}{\tau_{max}}$$

Donde τ es el valor máximo tangencial (es decir, el radio del círculo de tensiones de Mohr). El parámetro τ_{max} es el valor máximo del esfuerzo tangencial que actuaría si el círculo de Mohr se llevara a rotura incrementando su radio exterior pero manteniendo constante la tensión principal intermedia.

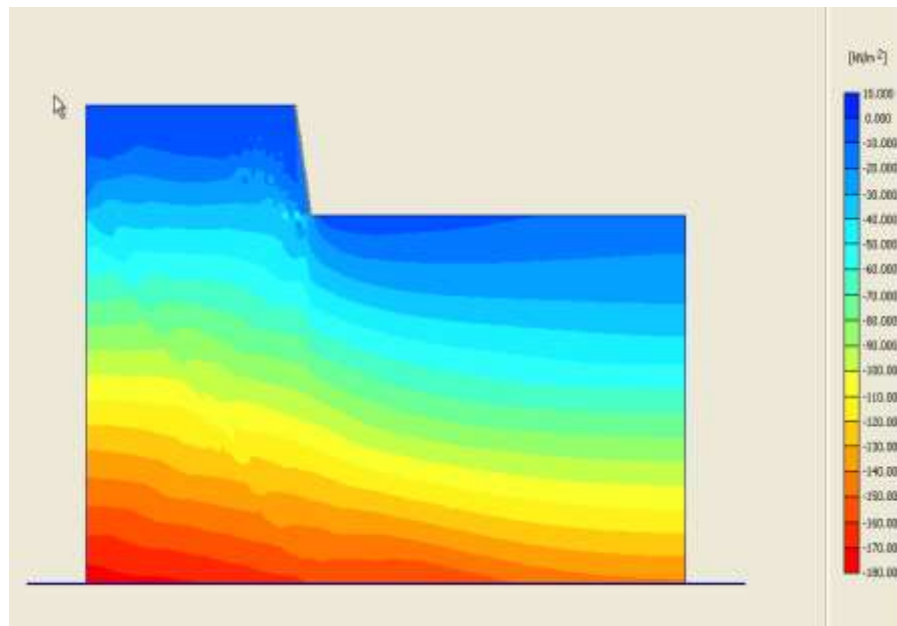


Figura 4.110 Esfuerzos efectivos del modelo (Autores)

4.11.5.6.- Esfuerzos totales

Total stresses son los esfuerzos totales (es decir, los esfuerzos efectivos + las presiones intersticiales activas) en la geometría al final del paso de cálculo actual, y se representan sobre un gráfico de la geometría. Esta opción puede seleccionarse en el submenú Stresses.

Los esfuerzos totales pueden ser representados como Direcciones principales

(Principal directions) (Esfuerzos principales), esfuerzos medios (Mean) (p) o esfuerzos desviadores (Deviatoric) (q) seleccionando la opción apropiada en el recuadro de presentaciones de la barra de herramientas. Los esfuerzos medios y desviadores pueden ser representados como Curvas de Nivel (Contours) o como Sombreados (Shadings)

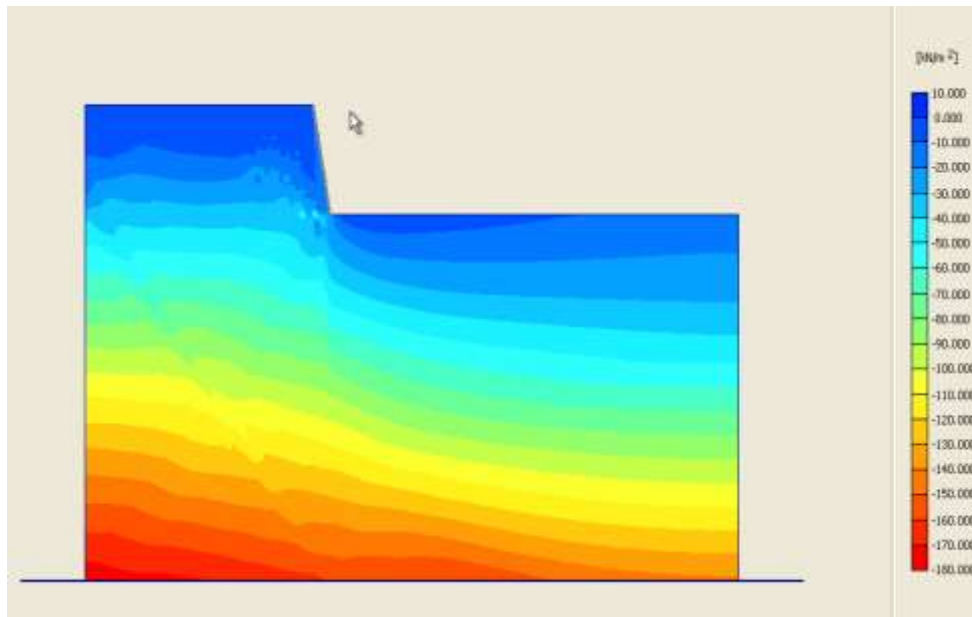


Figura 4.111 Esfuerzos totales del modelo (Autores)

4.11.6.- Programa de curvas



El programa de Curvas contiene las herramientas para generar curvas de carga desplazamiento, trayectorias de tensión y diagramas esfuerzo-deformación.

Al iniciar el programa de Curvas deberá elegirse entre la selección de un gráfico ya existente y la creación de un gráfico nuevo.

Cuando se selecciona Gráfico nuevo (New chart) aparece la ventana de Generación de curvas (Curve generation) en la que pueden establecerse los parámetros para la generación de una curva (Sección 6.2). Cuando se selecciona Gráfico existente (Existing chart), la ventana de selección permite elegir de una manera rápida uno de los cuatro gráficos más recientes. Si se

ha de seleccionar un gráfico ya existente que no aparezca en la lista, puede utilizarse la opción de <<<More files>>> (más ficheros).

Como resultado de ello, aparece el gestor de ficheros general que permite al usuario navegar a través de todos los directorios que están disponibles y seleccionar el fichero de gráfico PLAXIS deseado.

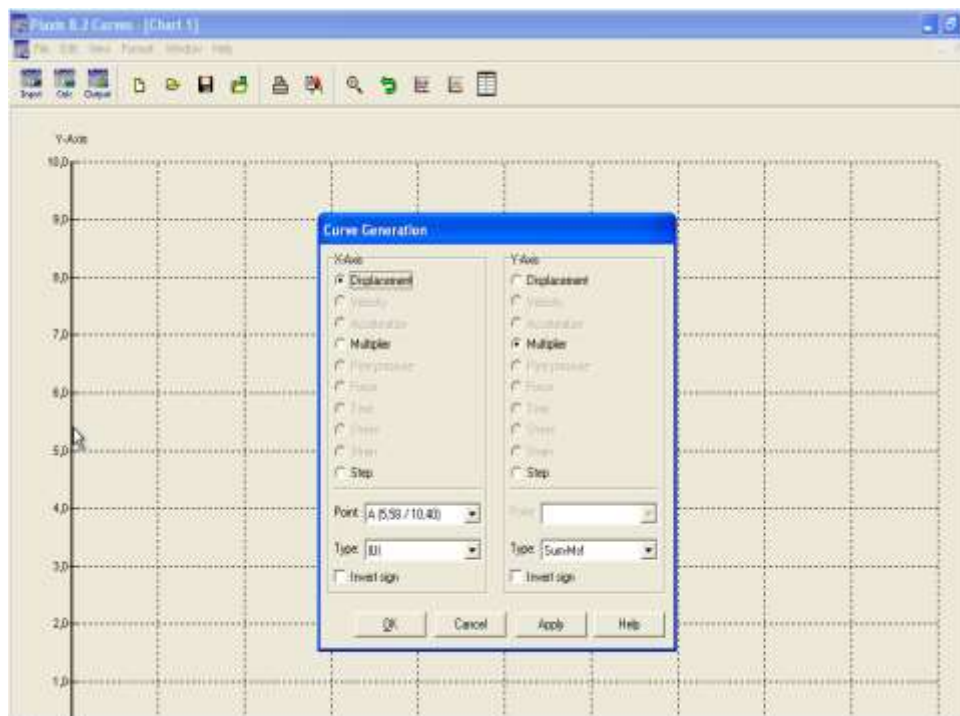


Figura 4.112 Ventana de Generación de curvas (Autores)

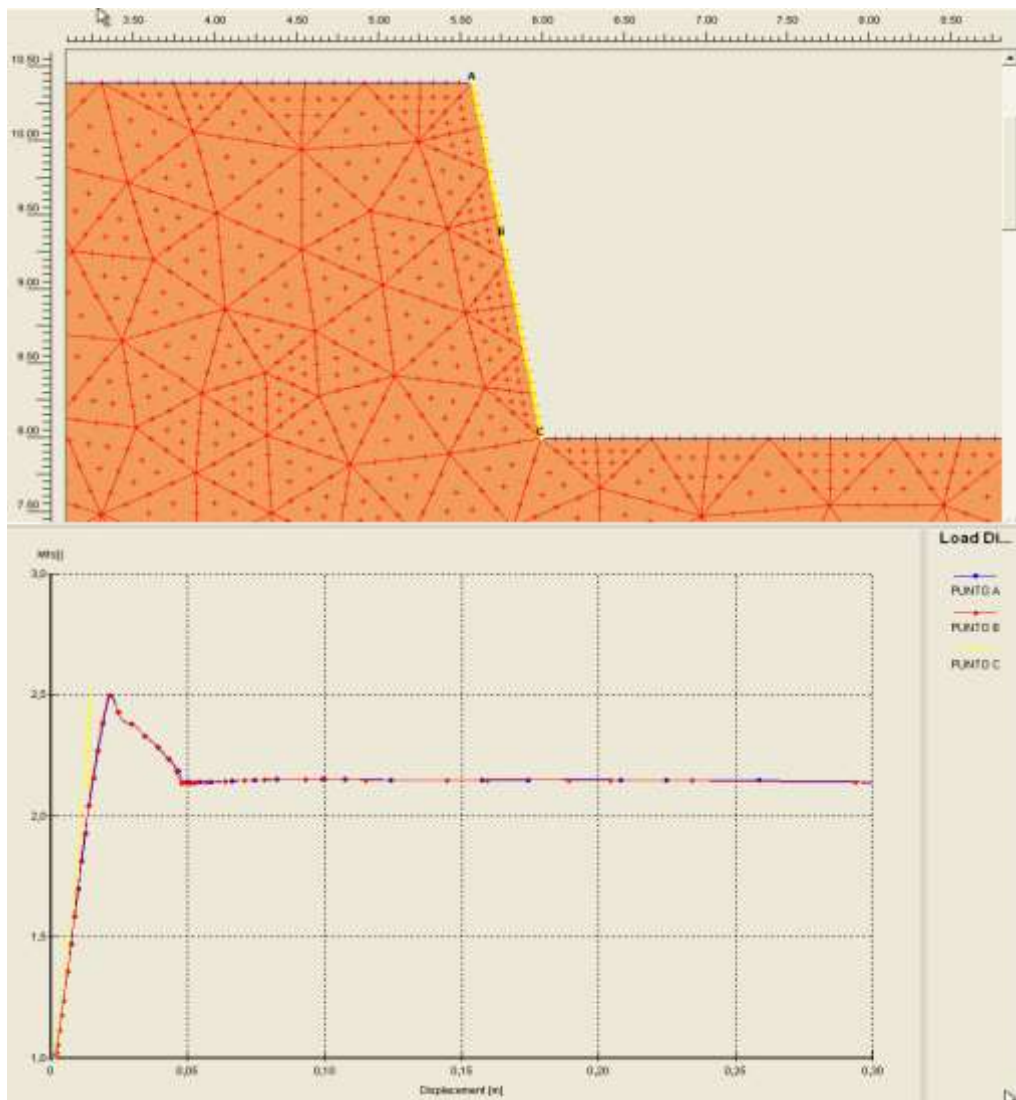


Figura 4. 113 Grafica desplazamiento - FS (Autores)

CAPITULO V: ELABORACIÓN PRÁCTICA DEL PROYECTO

5.1.- Drenes

Las fallas o daños que ocurren ocasionalmente en muros de contención se deben, en la mayor parte de los casos, a una de estas dos causas: sobrecarga del suelo bajo el muro con la consecuente inclinación hacia adelante o drenaje insuficiente del relleno posterior.

En este último caso, la presión hidrostática que genera el agua intersticial acumulada durante o después de lluvias torrenciales aumenta sustancialmente el empuje sobre el muro; asimismo, en climas con posibilidades de congelamiento pueden desarrollarse presiones de hielo de magnitud considerable en esos suelos pobremente drenados. Las dos causas están a menudo interconectadas puesto que los grandes empujes incrementen en forma correspondiente las presiones de contacto bajo la zapata.

Las presiones admisibles de contacto deben seleccionarse con bastante cuidado. Para esto es necesario investigar no sólo el tipo de suelo inmediatamente debajo de la zapata, sino también el suelo de los estratos profundos. A menos que se tenga información confiable sobre el sitio, deben realizarse sondeos hasta una profundidad al menos igual a la altura del muro.

Deberán de ser de tubo PVC perforado, de diámetros de 35 mm embebidos en el muro. Adecuado a la cantidad de agua estimada para drenar según el tipo de suelo y las condiciones a las que esté sometido.

Se le harán perforaciones para que el agua entre al tubo, se le coloca una malla fina como colador para evitar que las partículas finas se introduzcan al tubo y se vayan con el agua y se produzcan cavernas.

- Será colocado de forma ligeramente inclinada, con una longitud determinada por el estudio de suelos.

- Se colocarán a una distancia entre 50 cm entre sí en ambos sentidos.

- Se colocarán intercaladamente a las distancias con las inclusiones.

Deben tomarse las precauciones necesarias para que el flujo que generan los drenajes se evacúe en forma segura, de manera que no se filtre y se ablande el suelo por debajo del muro. Para evitar esto, en vez de drenajes horizontales pueden proveerse drenajes longitudinales embebidos en piedra triturada o gravas a lo largo de la cara posterior del muro en uno o más niveles; los drenajes descargan en los extremos del muro o en algunos puntos intermedios. El drenaje más eficaz se proporciona mediante un dren continuo posterior que consta de una capa de grava o piedra triturada que cubre toda la parte trasera del muro con descarga en los extremos. Sin embargo, este drenaje es costoso, a menos que el material apropiado esté disponible a suelo de baja permeabilidad y, en caso de una superficie horizontal, ésta debe colocarse con una ligera pendiente alejándose del muro una cuneta u otro drenaje.

los drenes y la ubicación de Poa triviales ayudan con la regeneración ambiental, mejorando el diseño paisajístico del talud, mediante el crecimiento de las semillas para transformarse en vegetación que cubran

totalmente el talud tomando su forma original, este sistema regenerara hasta llegar a su punto inicial después de un determinado tiempo de regeneración.

5.2.- Proceso constructivo

Para visualizar cómo se lleva a cabo el proceso de construcción de estabilización de un talud ejecutado con el método planteado en el marco teórico de este trabajo, se documentó el proyecto de estabilización del talud se encuentra ubicado en el Distrito Metropolitano de Quito en la Parroquia de Pintag a una Altura : 2651 msnm. El proceso se observa (fig. 5.1-5.17).

5.1.4.1 Situación inicial

En esta imagen se observa las condiciones iniciales del talud, se realiza un estudio de suelo para determinar las condiciones del suelo y definir la estabilidad, así como definiendo los parámetros importantes para proceder a elaborar el proyecto en el lugar de estudio.



Figura 5.1 Talud estado inicial (Autores)

El talud a estabilizarse comprende de una altura de 2.40 m de altura y una longitud de 6 m de largo.



Figura 5.2 Talud previo la limpieza (Autores)

5.1.4.2 Limpieza y desbroce

El desbroce, desbosque y limpieza se efectuarán por medios eficaces, manuales y mecánicos en ser necesarios sin causar ningún daño a las viviendas aledañas.



Figura 5.3 Limpieza del talud (Autores)



Figura 5.4 Eliminación de vegetación del talud (Autores)



Figura 5.5 Talud después de la limpieza y desbroce (Autores)

5.1.4.3 Definir el ángulo de diseño

Se empieza a definir el ángulo de reposo obtenido en el diseño de análisis de la estabilidad de talud, se procede a colocar piolas para tener una mejor alineación a la obtención del ángulo de 10 grados de la vertical.



Figura 5.6 Nivelación y perfilado del talud (Autores)

La inclinación del talud se realiza manualmente con herramienta menor.



Figura 5.7 Angulo de reposo del talud (Autores)

5.1.4.4 Colocación de la malla y drenes

Se procede a colocar la malla de triple torsión con clavos de 4 pulgadas con rodela en la parte superior del talud, continuamente se coloca varillas de 25 cm con un gancho de 5 cm que sujeten a la malla adecuadamente y al momento de colocar el mortero asfáltico no se desprenda y que facilite la adherencia al talud.

Los drenes se ubica un dren de Pvc de 35 mmm pulgada colocando al final y al inicio malla que eviten el taponamiento del mismo.



Figura 5.8 Colocación de malla (Autores)



Figura 5.9 Colocación de malla parte superior del talud (Autores)



Figura 5.10 Ubicación de varillas para anclar la malla (Autores)

5.1.4.5 Ubicación de semillas

Se coloca las raíces cada 50 cm, sacadas en el momento de la limpieza del talud, que generan el crecimiento de vegetación a lo largo de tiempo de modo que también ayudan a la estabilidad del talud



Figura 5.11 Talud con la malla colocada y anclada (Autores)

5.1.4.6 Colocación del mortero asfáltico

La mezcla del mortero asfáltico se realiza en situ manualmente cuidando de la dosificación de agua y emulsión asfáltica que en el diseño se determina un 8% de agua con un 14.3 % de emulsión de curado lento.

Utilizando el agregado de la mina de Pintag lugar seleccionado por la cercanía del proyecto de tesis.



Figura 5.12 Cantidad de emulsión necesaria para la mezcla (Autores)



Figura 5.13 Elaboración de la mezcla in-situ (Autores)

Se coloca tres capas de mortero asfáltico hasta tener el espesor de ½ pulgadas como se define en el diseño.



Figura 5.14 Colocación del mortero asfáltico en el talud (Autores)

Cada capa es colocada después 30 min de la última, la ruptura del mortero asfáltico se empieza a apreciar a los 60 min.



Figura 5.15 Colocación de la segunda capa del mortero asfáltico (Autores)



Figura 5.16 Colocación de la 3 capa de mortero asfáltico
(Autores)



Figura 5.17 Finalización de la ubicación del mortero asfáltico
(Autores)

5.3.- Diseño paisajístico

Se realiza un análisis del entorno, a partir de los factores ambientales se selecciona el tipo de vegetación a implantar.

Se coloca raíz y semillas de hierba (Poa Triviales) obtenidas al momento de la limpieza del talud, ubicándolos con un fijador y agua.

Para proteger el talud se coloca la malla d triple torsión ante excesiva erosión.

El diseño paisajístico se podrá observar de 2 a 3 meses una vez que la semillas hayan crecido y cubierto el talud.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presenta las conclusiones obtenidas durante el desarrollo y culminación del proyecto de tesis, las conclusiones se realizaron en base a los resultados obtenidos.

6.1.- Conclusiones:

- La evolución de técnicas de estabilización de taludes como la puesta en práctica, da diversas posibilidades de mejorar condiciones críticas o desfavorables en los taludes que tienen inestabilidad, después de analizar la estabilidad que tiene el talud utilizando mortero asfáltico se observa resultados completamente favorables ya que el diseño realizado es factible ubicar alcanzando mayor seguridad para los habitantes, menores costos y tiempo de aplicación.
- El proyecto de tesis realizado posee de un sistema de revegetación que ayuda a evitar futuros problemas de erosión o daños ambientales, pretendemos incorporar este sistema a nuestro medio tomando todas las consideraciones posibles; de esta manera no afectará al medio ambiente y ni visualmente al ser humano.
- La aplicación de este sistema del mortero asfáltico tiene un estudio previo antes de su aplicación, el cual nos da los lineamientos indicados para poder ejecutar el proyecto, la colocación del mortero asfáltico en el talud contendrá diferentes condiciones que las planteadas en el laboratorio, esto se debe a las condiciones climáticas y altura.

- La cantidad de agua ubicada en campo (0%) comparada con los resultados obtenidos en laboratorio(8%) son completamente diferentes debido a las condiciones del agregado, ya que tenían una humedad considerable y óptima para ser utilizados
- La producción de la mezcla no requiere calentar los agregados ni el asfalto y las instalaciones para su producción son fácilmente transportables muy cerca de la zona de colocación, lo que reduce costos de fabricación de la mezcla y facilita la aplicación en el lugar de trabajo.
- Analizando los métodos para el análisis del factor de seguridad del talud, se obtuvo en el método de Taylor un Fs. de 1.3, con el método de Bishop un Fs. de 2.3 y con el programa computacional utilizando elementos finitos un Fs. de 2 y siendo el método más exacto el del programa computacional Plaxis se diseñó con este método el talud y se determinó el ángulo de reposo y las condiciones y requerimientos necesarios para ejecutar el proyecto.

6.2.- Recomendaciones

- Se recomienda un estudio riguroso del agregado para el cual se debe diseñar el tipo de emulsión apropiada.
- Se recomienda utilizar este tipo de estabilización, por la facilidad y disponibilidad de materiales a utilizarse.

- Se recomienda realizar un estudio riguroso de la mezcla asfáltica para no tener problemas el momento de la aplicación sobre todo en la ruptura de la misma.
- Para facilidad de constructor se recomienda realizar la mezcla en una concreteira y aplicar de forma mecánica la mezcla designada en el talud, ya que manualmente no optimiza tiempo ni recursos.

CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA

ALFONSO RICO; HERMILO DEL CASTILLO. "La Ingeniería de Suelos". - Editorial Limusa S.A. México 1974.

JUAREZ BADILLO, EULASIO Y RICO RODRÍGUEZ, ALFONSO. "Fundamentos de la Mecánica de Suelos". Editorial Limusa, -S.A. México 1976

LAMBE, WHITMAN. "Mecánica de Suelos. Editorial Limusa". 1993.

SOYAO, ALBERTO Y NUNES, ANNA LAURA Y HACHICH, WALDERMAR. "Estabilidad de Taludes en suelos y rocas en estado actual." Curso sobre actualización de conocimientos específicos en Mecánica de Suelos y Rocas. Pontificia Universidad Católica de Guayaquil. Enero del 2004.

BRAJA M. DAS (1994). "Principios de Ingeniería Geotécnica". Boston.

Brinkgreve & W. Broere. "PLAXIS 2D - Version 8 - Reference Manual". Delft University of Technology.

FLACSO-ECUADOR, P. D. (2012). La explotación de materiales de construcción en la Mitad del Mundo. Letras Verdes, 14.

Manual Básico de Emulsiones Asfálticas serie 19

Slurry Seal Norma A 105

Contenido de asfalto residual en la emulsión asfáltica: determina el contenido de asfalto de acuerdo a norma ASTM D 244 – AASHTO T 59.

Penetración del residuo de la emulsión: define la dureza del asfalto como se especifica en normas ASTM D 2397 – AASHTO T 49.

Viscosidad ASTM D 244.- Determina la manejabilidad de la emulsión en el campo.

Asentamiento ASTM D 244.- Determina la estabilidad al almacenamiento.

Prueba de rueda cargada (ISSA TB 109): determina el contenido máximo de emulsión asfáltica en la mezcla de Mortero Asfáltico.

Prueba de abrasión bajo agua (ISSA TB 100): determina el contenido mínimo de emulsión asfáltica en la mezcla de Mortero Asfáltico.

Prueba de cohesión en húmedo (ASTM D3910): determina los tiempos de ruptura de la mezcla y su apertura al tráfico.

Porcentaje teórico de emulsión (Método de Duriez)

Tiempo de mezclado (ISSA TB 113)

Consistencia (ISSA TB 106)

Determinación del contenido de humedad de suelos y rocas en masa :

Norma ASTM D-2216 – 98

La gravedad específica de los sólidos del suelo mediante un picnómetro de agua: Norma ASTM D854-02.

Análisis granulométrico: Norma ASTM D422-63

Límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad en suelos: Norma ASTM D4318-00

La resistencia a la compresión no consolidada no drenada de suelos cohesivos en compresión triaxial: Norma ASTM D2850-82

es.wikipedia.org. (11 de Mayo de 2014). WIKIPEDIA - La enciclopedia Libre. Obtenido de [http://wiki/And%C3%A9n_\(agricultura\)](http://wiki/And%C3%A9n_(agricultura))

Google Maps, G. (14 de Marzo de 2014). GOOGLE. Obtenido de <https://www.google.com/maps/@-0.32714,-78.395,3068m/data=!3m1!1e3>

smpmanizales.blogspot.es. (4 de Marzo de 2011). SOCIEDAD DE MEJORAS PÚBLICAS DE MANIZALES. Obtenido de <http://smpmanizales.blogspot.es/i2011-04/>

www.agua.gob.ec. (2014). SECRETARIA DEL AGUA. Obtenido de www.agua.gob.ec

www.eird.org. (2012). UNISDR Las Américas . Obtenido de <http://www.eird.org/deslizamientos/pdf/spa/doc15079/doc15079-a.pdf>

www.elcomercio.com. (28 de Octubre de 2013). EL COMERCIO. Obtenido de <http://www.elcomercio.com/tag/reubicacion.html>

www.elementos.buap.mx. (Octubre de 2011). CIENCIA Y CULTURA - ELEMENTOS. Obtenido de <http://www.elementos.buap.mx/num84/htm/39.htm>

www.ingeopres.es. (2014). INGEOPRES. Obtenido de <http://www.ingeopres.es/>

www.ingeroc.com. (2014). INGEROC -Ingenieria de rocas. Obtenido de http://www.ingeroc.com/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=49:estabilidad-de-taludes&catid=40:galeria

www.laopinion.com.co. (22 de Octubre de 2012). LA OPINIÓN. Obtenido de <http://m.laopinion.com.co/>

www.madrimasd.org. (20 de Junio de 2008). MADRI+D - Los suelos y la vida. Obtenido de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/06/20/95172>

www.monografias.com. (2014). Monografias.com . Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos76/suelos-dispersivos/suelos-dispersivos.shtml>

www.pdv.com. (2014). CÓDIGO GEOLÓGICO DE VENEZUELA. Obtenido de <http://www.pdv.com/lexico/n10w.htm>

www.puertae.blogspot.com. (21 de Julio de 2008). PUERTAE. Obtenido de <http://puertae.blogspot.com/2008/07/bendita-obra-pblica-el-pavimento-de-la.html>

www.scielo.org.ve. (20 de Noviembre de 2008). Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V. Obtenido de <http://www.scielo.org.ve/pdf/rfiucv/v27n1/art04.pdf>

www.vanguardia.com. (2014). VANGUARDIA. Obtenido de Galvis Ramirez & Cia S.A: <http://www.vanguardia.com/>

www.wikipedia.org. (22 de Octubre de 2013). Wikipedia - la enciclopedia libre. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Estabilidad_de_taludes

www.wikipedia.org. (7 de Mayo de 2014). Wikipedia . Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/Deforestaci%C3%B3n>

BIOGRAFÍA DEL AUTOR

1. DATOS PERSONALES

Nombres:	Dayana Lizeth Chiquín Reinoso
Cédula:	171837430-7
Lugar y Fecha de Nacimiento:	Quito, 25 de Septiembre de 1989
Estado Civil:	Soltera
Edad:	24 años
Domicilio:	Las Cuadras, s27- 97
Teléfonos:	022964258 - 0992828538
E-mail.:	kathexan89@hotmail.com

2. ESTUDIOS

2002–2005 Bachiller en ciencias Físico-Matemáticas

Madrid –España Unidad Educativa María de Vicuña

2006–2008 Bachiller en ciencias Físico-Matemáticas

Unidad Educativa Santo Domingo de Guzmán

2008–2014 Egresado de la carrera de Ingeniería Civil

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE

3. IDIOMAS

- Español
- Inglés
- Francés

BIOGRAFÍA DEL AUTOR

1. DATOS PERSONALES

Nombres:	Robert Eduardo Cando Salcedo
Cédula:	100356515-5
Lugar y Fecha de Nacimiento:	Ibarra, 6 de abril de 1990
Estado Civil:	Soltero
Edad:	24 años
Domicilio:	Calle. Pimán 5-56 – Ibarra
Teléfonos:	062580862 - 0999497711
E-mail.:	robert_cando@outlook.com

2. ESTUDIOS

2002–2008 Bachiller en ciencias Físico-Matemáticas

Unidad Educativa Experimental “Teodoro Gómez de la Torre”

2008–2014 Egresado de la carrera de Ingeniería Civil

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE

3. IDIOMAS

- Español
- Inglés

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

ELABORADO POR:

Dayana Lizeth Chiquin Reinoso

Robert Eduardo Cando Salcedo

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Dr. Pablo Caiza

DIRECTOR DE LA UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO

Ing. Fanny L. Cevallos Ortega, MBA.

Lugar y fecha: _____