



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ELABORACIÓN DE UN MANUAL PARA EL USO DEL “EQUIPO DE ENSAYO TRIAXIAL” (ELE), UBICADO EN EL LABORATORIO DE SUELOS, BLOQUE “E” DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE QUITO, CAMPUS SUR

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero e Ingeniera Civil

AUTORES: Vanessa Adamari Escobar Villagómez

Diego Ricardo Vásquez Freire

TUTOR: José Domingo Alviar Malabet

Quito - Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Vanessa Adamari Escobar Villagómez con documento de identificación N° 1719105544 y Diego Ricardo Vásconez Freire con documento de identificación N° 1804538658; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 15 de febrero del 2023

Atentamente,



Vanessa Adamari Escobar Villagómez
1719105544



Diego Ricardo Vásconez Freire
1804538658

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Vanessa Adamari Escobar Villagómez con documento de identificación N° 1719105544 y Diego Ricardo Vásconez Freire con documento de identificación N° 1804538658; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Elaboración de un Manual para el uso del “Equipo de Ensayo Triaxial” (ELE), ubicado en el Laboratorio de Suelos, Bloque “E” de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur“, el cual ha sido desarrollado para obtener el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer planamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final, en formato digital a Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 15 de febrero del 2023

Atentamente,



Vanessa Adamari Escobar Villagómez
1719105544



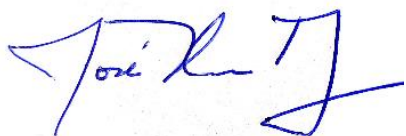
Diego Ricardo Vásconez Freire
1804538658

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, José Domingo Alviar Malabet con documento de identificación N° 1757837602, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ELABORACIÓN DE UN MANUAL PARA EL USO DEL “EQUIPO DE ENSAYO TRIAXIAL” (ELE), UBICADO EN EL LABORATORIO DE SUELOS, BLOQUE “E” DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE QUITO, CAMPUS SUR , realizado por Vanessa Adamari Escobar Villagómez con documento de identificación N° 1719105544 y por Diego Ricardo Vásquez Freire con documento de identificación N° 1804538658, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 15 de febrero del 2023

Atentamente,



Ing. José Domingo Alviar Malabet, PhD

1757837602

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación primeramente va dedicado a Dios, a la Virgen María y a mis padres Henry Escobar y Verónica Villagómez por su apoyo económico y emocional constante, su paciencia, sus enseñanzas. A mis hermanos Daniel Escobar y Yahaira Escobar por sus motivaciones constantes. A mis sobrinas Yamili Quinchuela y Maite Escobar por ser mi apoyo emocional. A mi abuelita Blanca Herrera por su apoyo incondicional y sus bendiciones.

VANESSA ADAMARI ESCOBAR VILLAGÓMEZ

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación dedico a Dios ya que con mi fe católica pude lograr esta meta muy impórtate en mi vida, también dedico este trabajo a mis padres Juan y Gloria que fueron un pilar fundamental en los momentos que necesite apoyo económico y emocional.

DIEGO RICARDO VÁSCONEZ FREIRE

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos totales a mi padre Henry Escobar quien supo cómo motivarme para seguir y culminar con mis estudios, a mi madre Verónica Villagómez por ser mi pilar económico y emocional en todo este proceso, a mis hermanos Yahaira y Daniel por sus consejos, a mi abuelita Blanca Herrera por su apoyo y motivación.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana y a los docentes quienes la conforman por ser parte de mi proceso académico y por todos los conocimientos impartidos en todos estos años.

VANESSA ADAMARI ESCOBAR VILLAGÓMEZ

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana por haber abierto las puertas de sus aulas para poder adquirir conocimiento, a todos los maestros que me supieron ilustrar de sus conocimientos y experiencias vividas a nivel profesional.

También quiero agradecer a James, Alexandra, Fernando y Anita mis hermanos que siempre estuvieron pendientes de que no me hiciera falta nada en esta etapa de mi vida.

Agradezco también a Jessica Peñaloza quien fue la motivadora de este proyecto con el fin de cumplir la promesa que algún momento nos hicimos

Un infinito agradecimiento al Dr. José Domingo Alviar Malabet quien supo guiar este proyecto de titulación con mucho ahínco y dedicación.

DIEGO RICARDO VÁSCONEZ FREIRE

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Problema	2
1.4 Delimitación.....	2
1.5 Justificación	3
1.6 Grupo Beneficiario	4
1.7 Objetivos.....	4
1.7.1 Objetivo General	4
1.7.2 Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 Muestreo de suelo	6
2.1.1 Muestras perturbadas	6
2.1.2 Muestras imperturbadas	7
2.2 Ensayo granulométrico	7
2.3 Límites de Atterberg	8

2.4	Humedad.....	11
2.5	Peso unitario	12
2.6	Características del sistema de clasificación unificado (ASTM D-2487-17el).....	12
2.6.1	Arcilla.....	12
2.6.2	Gravilla.....	13
2.6.3	Arcilla Orgánica.....	13
2.6.4	Limo o lógamo orgánico	13
2.6.5	Turba.....	14
2.6.6	Arena.....	14
2.6.7	Limo	14
2.7	Ensayo triaxial	14
2.7.1	Ensayo Triaxial no consolidado no drenado (UU) ASTM D 2850 – 15 (2016).....	15
2.7.2	Ensayo Triaxial consolidado no drenado (CU) ASTM D 4667 – 11 (2020)	16
2.7.3	Ensayo triaxial consolidado drenado (CD) ASTM D 7181 – 20 (2020)	17
2.8	Suelos fricciantes y suelos cohesivos	19
2.8.1	Suelos fricciantes	19
2.8.2	Suelos cohesivos	19
2.8.3	Muestra obtenida por calicatas.....	19

CAPÍTULO III	21
METODOLOGÍA	21
3.1 Tipos de investigación	21
3.2 Método	21
3.3 Técnicas e Instrumentación de investigación	22
3.4 Proceso técnico de Ingeniería Civil	22
3.4.1 Reconocimiento de las partes del equipo	22
3.4.2 Estudio del software del equipo de ensayo triaxial	22
3.4.3 Instalación de los elementos del equipo de ensayo triaxial	23
3.4.4 Tallado de muestras para la realización de ensayos para suelos cohesivos	23
3.4.5 Muestras remodeladas para la realización de ensayos en los diferentes tipos de suelos	23
3.4.6 Realización de ensayos triaxiales en función de las Normas ASTM	23
3.4.7 Toma de resultados de los ensayos realizados	24
3.4.8 Informe de resultados obtenidos	24
3.4.9 Elaboración del manual de uso del equipo de ensayo triaxial	24
3.4.10 Elaboración de videos de los ensayos realizados	24
CAPÍTULO IV	25
MANUAL DEL EQUIPO DE ENSAYO TRIAXIAL “ELE”	25
4.1 Introducción	25

4.2	Detallamiento del equipo triaxial “ELE”	26
4.3	Reconocimiento de elementos individuales del equipo triaxial “ELE”	27
4.3.1	Panel de control principal Tri - Flex 2	27
4.3.2	Tanque de desaireación de agua Tri – Flex 2.....	30
4.3.3	Transductor de presión	31
4.3.4	Transductor de desplazamiento.....	32
4.3.5	Transductor de cambio de volumen	33
4.3.6	Transductor de carga sumergible	36
4.3.7	Unidad autónoma de adquisición de datos (ADU)	36
4.3.8	Marco de carga digital test 50	37
4.3.9	Celda triaxial	41
4.3.10	Accesorios de prueba triaxial	42
4.4	Software DS7 “ELE” para ensayo triaxial Tipo no consolidado no drenado UU, consolidado no drenado CU, consolidación drenado CD.....	43
4.5	Obtención de calicatas y tallado de espécimen para el ensayo triaxial	65
4.5.1	Preparación de probetas a partir de muestras en campo	65
4.6	Montaje de muestra.....	70
4.7	Remoldeo de muestras de suelo.....	78
4.8	Procedimientos puntuales detallados para manejo de equipo triaxial	79

4.8.1 Llenado de tanque de desaireación	79
4.8.2 Desaireación del tanque	81
4.8.3 Llenado de buretas	82
4.8.4 Desaireación de buretas	85
4.8.5 Purgado de transductor de cambio de volumen	86
CAPÍTULO V	87
RECOPIACIÓN DE RESULTADOS	87
5.1 Granulometría	87
5.2 Límites de Atterberg	87
5.3 Informe de acuerdo al programa DS7 del ensayo no consolidado no drenado (UU)	90
5.3.1 Muestra 1 ensayo no consolidado no drenado (UU).....	90
5.3.2 Muestra 2 ensayo no consolidado no drenado (UU) con test (CU)	93
5.3.3 Muestra 3 ensayo no consolidado no drenado (UU) con test (CU)	99
5.3.4 Muestra remoldeada 4 ensayo no consolidado no drenado.....	106
5.4 Informe de acuerdo al programa DS7 del ensayo consolidado no drenado (CU)	110
5.5 Informe de acuerdo al programa DS7 del ensayo consolidado drenado (CD)	129
CAPÍTULO VI	142
ANÁLISIS DE RESULTADOS	142
6.1 Cálculo de cohesiones para ensayos no consolidados no drenados.....	142

6.2 Cálculo de cohesión y ángulo de fricción para ensayos consolidados no drenados (CU)..143

6.3 Cálculo de cohesión y ángulo de fricción para el ensayo consolidado drenado (CD).....146

6.4 Clasificación del suelo151

CONCLUSIONES.....152

RECOMENDACIONES.....154

REFERENCIAS155

ANEXOS158

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Análisis granulométrico	87
Tabla 2 Límite líquido.....	87
Tabla 3 Límite plástico.....	88
Tabla 4 Contenido de agua.....	89
Tabla 5 Resumen de los límites Atterberg	89
Tabla 6 Detalles de prueba de la muestra 1	90
Tabla 7 Detalles del espécimen de la muestra 1	90
Tabla 8 Condiciones de corte de la muestra 1	91
Tabla 9 Condiciones de falla de la muestra 1	92
Tabla 10 Resumen de detalles del espécimen	92
Tabla 11 Detalles de prueba de la muestra 2.....	93
Tabla 12 Detalles del espécimen de la muestra 2.....	94
Tabla 13 Valores de presiones alcanzadas e incrementos de la muestra 2.....	95
Tabla 14 Resumen de la etapa de consolidación, de la muestra 2.....	96
Tabla 15 Condiciones de corte de la muestra 2.....	98
Tabla 16 Condiciones de falla de la muestra 2.....	99
Tabla 17 Detalles de prueba de la muestra 3.....	99
Tabla 18 Detalles del espécimen de la muestra 3.....	100

Tabla 19	Valores de presiones alcanzadas e incrementos de la muestra 3.....	101
Tabla 20	Resumen de la etapa de consolidación, de la muestra 3.....	102
Tabla 21	Condiciones de corte de la muestra 3.....	104
Tabla 22	Condiciones de falla de la muestra 3.....	105
Tabla 23	Resumen de los detalles de los dos especímenes	105
Tabla 24	Detalles de prueba de la muestra 4.....	106
Tabla 25	Detalles del espécimen de la muestra 4.....	107
Tabla 26	Condiciones de corte de la muestra 4.....	108
Tabla 27	Condiciones de falla de la muestra 4.....	109
Tabla 28	Resumen de detalles del espécimen 4	109
Tabla 29	Detalles de prueba de la muestra 1	110
Tabla 30	Detalles del espécimen de la muestra 1	111
Tabla 31	Valores de presiones alcanzadas e incrementos de la muestra 1.....	112
Tabla 32	Resumen de la etapa de consolidación, de la muestra 1.....	113
Tabla 33	Condiciones de corte de la muestra 1	115
Tabla 34	Condiciones de falla de la muestra 1.....	116
Tabla 35	Detalles de prueba de la muestra 2.....	116
Tabla 36	Detalles del espécimen de la muestra 2.....	117
Tabla 37	Valores de presiones alcanzadas e incrementos de la muestra 2.....	118

Tabla 38 Resumen de la etapa de consolidación, de la muestra 2.....	119
Tabla 39 Condiciones de corte de la muestra 2.....	121
Tabla 40 Condiciones de falla de la muestra 2.....	122
Tabla 41 Detalles de prueba de la muestra 3.....	122
Tabla 42 Detalles del espécimen de la muestra 3.....	123
Tabla 43 Valores de presiones alcanzadas e incrementos de la muestra 3.....	124
Tabla 44 Resumen de la etapa de consolidación, de la muestra 3.....	125
Tabla 45 Condiciones de corte de la muestra 3.....	127
Tabla 46 Condiciones de falla de la muestra 3.....	128
Tabla 47 Resumen de los detalles de los dos especímenes	128
Tabla 48 Detalles de prueba de la muestra 1	129
Tabla 49 Detalles del espécimen de la muestra 1	130
Tabla 50 Valores de presiones alcanzadas e incrementos de la muestra 1.....	131
Tabla 51 Resumen de la etapa de consolidación, de la muestra 1.....	132
Tabla 52 Condiciones de corte de la muestra 1	133
Tabla 53 Condiciones de falla de la muestra 1.....	134
Tabla 54 Detalles de prueba de la muestra 2.....	135
Tabla 55 Detalles del espécimen de la muestra 2.....	135
Tabla 56 Valores de presiones alcanzadas e incrementos de la muestra 2.....	136

Tabla 57 Resumen de la etapa de consolidación, de la muestra 2..... 137

Tabla 58 Condiciones de corte de la muestra 2..... 139

Tabla 59 Condiciones de falla de la muestra 2..... 140

Tabla 60 Resumen de los detalles de los dos especímenes 140

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Laboratorio de suelos, Bloque “E”	3
Figura 2 Juego de tamices	8
Figura 3 Carta de plasticidad.....	10
Figura 4 Definición de los límites de Atterbeg	11
Figura 5 Círculos de Mohr para un CU.....	17
Figura 6 Círculos de Mohr para un CD.....	18
Figura 7 Equipo de ensayo triaxial “ELE”	26
Figura 8 Panel de control principal Tri – flex 2	27
Figura 9 Tanque de desaireación.....	30
Figura 10 Transductor de presión	31
Figura 11 Transductor de desplazamiento	32
Figura 12 Transductor de cambio de volumen.....	33
Figura 13 Transductor de carga sumergible.....	36
Figura 14 Unidad autónoma de adquisición de datos (ADU).....	36
Figura 15 Marco de carga digital test 50.....	37
Figura 16 Teclado del panel táctil.....	38
Figura 17 Pantalla	39
Figura 18 Celda triaxial.....	41

Figura 19 Accesorios de prueba triaxial.....	42
Figura 20 Interface principal de DS7 “ELE”	43
Figura 21 Selección de tipo de ensayo a realizar	44
Figura 22 Sample Identification from	45
Figura 23 Ensayo no consolidado no drenado - UU test monitoring	47
Figura 24 Select a stage from the list	48
Figura 25 Test Initialisation	49
Figura 26 Compression stage for undrained test.....	51
Figura 27 Final Measurements, ensayo no consolidado no drenado - UU	53
Figura 28 Generación de reporte de ensayo UU	54
Figura 29 Ensayo consolidado no drenado CU y consolidado drenado CD, test monitoring.....	55
Figura 30 Test Initialisation, ensayos consolidados no drenados – (CU) y consolidado drenado – (CD).....	56
Figura 31 Saturación de ensayo CU y CD	58
Figura 32 Consolidación de ensayo CU y CD	59
Figura 33 Ensayo CU y CD	60
Figura 34 Ensayo CU y CD	63
Figura 35 Finalización de ensayo CU y CD.....	64
Figura 36 Obtención de reporte CU y CD	65

Figura 37 Vista del terreno.....	66
Figura 38 Calicata y toma de muestra.....	66
Figura 39 Bloque de suelo inalterado.....	67
Figura 40 Extracción de un fragmento cilíndrico para el tallado.....	68
Figura 41 Tallado de muestras	68
Figura 42 Muestra tallada.....	69
Figura 43 Muestra sellada	70
Figura 44 Montaje elementos filtrantes inferiores	71
Figura 45 Instalación de membrana	72
Figura 46 Recolección de datos físicos de muestras.....	73
Figura 47 Montaje de muestra dentro de membrana.....	74
Figura 48 Montaje de muestra sobre el cabezal	75
Figura 49 Colocación de o rings	76
Figura 50 Colocación de celda triaxial.....	77
Figura 51 Tornillo de purga retirado	78
Figura 52 Perilla de control de tanque de desaireación en posición Fill.....	79
Figura 53 Tanque de desaireación lleno.....	80
Figura 54 Perilla de control de tanque de desaireación en posición Vent	81
Figura 55 Colocación de manguera de bomba de vacío	81

Figura 56	Perilla de control de tanque de desaireación en posición “Vacuum”	82
Figura 57	Perilla de control de tanque de desaireación en posición “Pressure”	83
Figura 58	Perilla de control de entrada de bureta en posición “Vent”	83
Figura 59	Perilla control de salida de bureta en posición “Fill”	84
Figura 60	Perilla control de salida de bureta en posición “Cell Operate”	84
Figura 61	Perilla control de entrada de bureta en posición “Vacuum”	85
Figura 62	Gráfica de los puntos de limite liquido.....	88
Figura 63	Etapa de corte de la muestra 1	91
Figura 64	Cohesión no drenada de la muestra del ensayo no consolidado no drenado (UU).....	93
Figura 65	Etapa de saturación de la muestra 2.....	94
Figura 66	Etapa de consolidación de la muestra 2.....	95
Figura 67	Etapa de corte, relación uno de la muestra	97
Figura 68	Etapa de corte, relación dos de la muestra 2.....	97
Figura 69	Trayectoria de esfuerzos efectivos de la muestra 2	98
Figura 70	Etapa de saturación de la muestra 3.....	100
Figura 71	Etapa de consolidación de la muestra 3	101
Figura 72	Etapa de corte, relación uno de la muestra 3	103
Figura 73	Etapa de corte, relación dos de la muestra 3.....	103
Figura 74	Trayectoria de esfuerzos efectivos de la muestra 3	104

Figura 75 Cohesión no drenada de las muestras de los ensayos triaxiales no consolidados no drenados	106
Figura 76 Etapa de corte de la muestra 4	108
Figura 77 Cohesión no drenada de la muestra remoldeada del ensayo triaxial no consolidado no drenado	110
Figura 78 Etapa de saturación de la muestra 1	112
Figura 79 Etapa de consolidación de la muestra 1CU	113
Figura 80 Etapa de corte, relación uno de la muestra 1	114
Figura 81 Etapa de corte, relación dos de la muestra 1	114
Figura 82 Trayectoria de esfuerzos efectivos de la muestra 1	115
Figura 83 Etapa de saturación de la muestra 2	117
Figura 84 Etapa de consolidación de la muestra 2	118
Figura 85 Etapa de corte, relación uno de la muestra 2	120
Figura 86 Etapa de corte, relación dos de la muestra 2	120
Figura 87 Trayectoria de esfuerzos efectivos de la muestra 2	121
Figura 88 Etapa de saturación de la muestra 3	123
Figura 89 Etapa de consolidación de la muestra 3	124
Figura 90 Etapa de corte, relación uno de la muestra 3	126
Figura 91 Etapa de corte, relación dos de la muestra 3	126

Figura 92 Trayectoria de esfuerzos efectivos de la muestra 3	127
Figura 93 Ángulo de fricción y cohesión de las muestras de los ensayos triaxiales consolidados no drenados (CU)	129
Figura 94 Etapa de saturación de la muestra 1	130
Figura 95 Etapa de consolidación de la muestra 1	131
Figura 96 Etapa de corte, relación uno de la muestra 1	132
Figura 97 Etapa de corte, relación dos de la muestra 1	133
Figura 98 Trayectoria de esfuerzos efectivos de la muestra 1	134
Figura 99 Etapa de saturación de la muestra 2.....	136
Figura 100 Etapa de consolidación de la muestra 2.....	137
Figura 101 Etapa de corte, relación uno de la muestra 2	138
Figura 102 Etapa de corte, relación dos de la muestra 2.....	138
Figura 103 Trayectoria de esfuerzos efectivos de la muestra 2	139
Figura 104 Ángulo de fricción y cohesión de las muestras de los ensayos triaxiales consolidados drenados (CU)	141
Figura 105 Círculos de Mohr y envolvente de falla de ensayo no consolidado no drenado - cohesión no drenada	142
Figura 106 Círculos de Mohr y envolvente de falla de ensayo consolidado no drenado.....	146
Figura 107 Círculos de Mohr y envolvente de falla de los ensayos consolidado no drenado (CU) y consolidado drenado (CD) con tres tipos de consolidación	148

Figura 108 Círculos de Mohr y envolvente de falla de los ensayos consolidado no drenado (CU) y consolidado drenado (CD) con dos tipos de consolidación.	149
Figura 109 Círculos de Mohr y envolvente de falla de los ensayos triaxiales no consolidado no drenado - (UU), consolidado no drenado - (CU) y consolidado drenado - (CD) con dos tipos de consolidación.....	150
Figura 110 Resultado de datos obtenidos en carta de plasticidad.....	151
Figura 111 Modo de falla del espécimen en el ensayo no consolidado no drenado - UU.....	158
Figura 112 Modo de falla del espécimen en el ensayo no consolidado no drenado - UU.....	158
Figura 113 Modo de falla del espécimen en el ensayo no consolidado no drenado - UU.....	159
Figura 114 Modo de falla del espécimen en el ensayo no consolidado no drenado - UU.....	159
Figura 115 Modo de falla del espécimen en el ensayo consolidado no drenado - CU.....	160
Figura 116 Modo de falla del espécimen en el ensayo consolidado no drenado - CU.....	160
Figura 117 Modo de falla del espécimen en el ensayo consolidado no drenado - CU.....	161
Figura 118 Modo de falla del espécimen en el ensayo consolidado drenado - CD.....	161
Figura 119 Modo de falla del espécimen en el ensayo consolidado drenado - CD.....	162
Figura 120 Acople rápido macho para aire y agua.....	162
Figura 121 Acople rápido macho para bomba de vacío.....	163
Figura 122 Despiece de válvula de cinco vías tres posiciones.....	163

RESUMEN

Para determinar el ángulo de fricción y la cohesión de un suelo existen varios ensayos, cada uno con su respectivo método, con el presente proyecto de titulación se da a conocer el ensayo triaxial el cual es más cercano a la realidad porque se puede simular cargas de confinamiento; también se fomentará el uso adecuado del equipo de ensayo triaxial disponible en el laboratorio de suelos de la universidad.

Este documento tratará del manejo adecuado del equipo triaxial y su software DS7 - ELE, los cuales permiten realizar ensayos triaxiales tales como: no consolidado no drenado (UU), consolidado no drenado (CU) y consolidado drenado (CD), mediante estos tres ensayos se pueden determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo como es el ángulo de fricción y la cohesión. El presente manual está diseñado de forma didáctica de tal manera que quien haga uso de él pueda entender y realizar exitosamente los ensayos. Se describe detalladamente las partes que conforman el equipo y su funcionamiento, también se menciona los procedimientos a seguir, desde la obtención de un bloque cúbico de suelo, seguido de su tallado, hasta el montaje del espécimen y su respectivo ensayo. Para todos estos procedimientos se utilizó un suelo limo arenoso el cual fue tallado y también remoldeado.

En los estudiantes es bueno reforzar las bases teóricas a través de los ensayos de tal forma que se pueda interpretar de mejor manera los resultados obtenidos, esto nos ayudará a crecer en ciertos ámbitos de la carrera como buenos profesionales.

Palabras claves: Ensayo Triaxial, ELE, Datasystem7, transductor de carga, transductor de desplazamiento, panel Tri – flex, celda triaxial, tanque de desaireación de agua.

ABSTRAC

To determine the friction angle and the cohesion of a soil, there are several tests, each one with its respective method. With this titling project, the triaxial test is disclosed, which is closer to reality because it can simulate loads of lockdown; the proper use of the triaxial test equipment available in the soil laboratory of the university will also be encouraged.

This document will deal with the proper handling of the triaxial equipment and its DS7 - ELE software, which allow triaxial tests such as: unconsolidated undrained (UU), consolidated undrained (CU) and consolidated drained (CD), through these three tests. Soil shear resistance parameters such as friction angle and cohesion can be determined. This manual is designed in a didactic way in such a way that whoever makes use of it can understand and successfully carry out the tests. The parts that make up the equipment and its operation are described in detail, the procedures to follow are also mentioned, from obtaining a cubic block of soil, followed by its carving, to mounting the specimen and its respective test. For all these procedures, a sandy loam soil was used, which was carved and also reshaped.

In us students it is good to reinforce the theoretical bases through essays in such a way that the results obtained can be better interpreted, this will help us to grow in certain areas of the career as good professionals.

Keywords: Triaxial test, ELE, Datasystem7, load transducer, displacement transducer, Tri-flex panel, triaxial cell, water deaeration tank.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1 Introducción

La elaboración del manual debe permitir que los estudiantes de la carrera de ingeniería civil de la Universidad Politécnica Salesiana, tengan el aprovechamiento necesario en las prácticas de laboratorio de mecánica de suelos, de tal manera que se evite un retraso pedagógico debido a la falta de conocimiento del manejo del equipo, y de esta manera se pueda abarcar el máximo entendimiento acerca del uso y aplicación del equipo de ensayo triaxial.

En el campo de la ingeniería civil se dispone de varios tipos de ensayos que nos permiten determinar las propiedades mecánicas del suelo como es el ángulo de fricción y la cohesión, pero un ensayo triaxial es mucho más completo debido a que podemos simular cargas en el laboratorio que se puede encontrar en campo aplicadas a la muestra de suelo.

En el presente proyecto encontraremos los pasos a seguir para el uso eficiente de la máquina de ensayo triaxial marca “ELE” que nos instruirá de forma ordenada del procedimiento para la toma de muestras, su preparación, montaje de la muestra y también se detallará cada uno de los procedimientos a seguir para realización de los ensayos triaxiales como son: no consolidado no drenado (UU), consolidado no drenado (CU), consolidado drenado (CD).

1.2 Antecedentes

El equipo de ensayo triaxial de la Universidad Politécnica Salesiana al no disponer de un manual de uso, tiene la limitación de una inadecuada manipulación técnica, sin obtener los parámetros de resistencia al corte en los suelos en sus diferentes modalidades, en el ensayo triaxial no consolidado y no drenado (UU), consolidado no drenado (CU), consolidado drenado

(CD). Actualmente, no se cuenta con una guía de procedimientos técnicos que ayuden y faciliten el aprendizaje de los estudiantes ante el funcionamiento del equipo de ensayo triaxial, previo al ingreso del laboratorio. Esto genera que los estudiantes no asistan con inquietudes a las practicas del ensayo.

1.3 Problema

El estudio de suelos es de gran importancia dentro de la construcción de obras civiles, puesto que es donde se van a realizar los cimientos, los cuales son la base fundamental de la estructura, por tal motivo su estudio debe ser minucioso y muy apegado a la realidad, de forma que se evite asentamientos excesivos y como resultado se produzca el colapso de la superestructura.

Este proyecto nace por la falta de un manual didáctico que guie a los estudiantes de forma ordenada sobre los procesos a seguir en la preparación de muestras, en el manejo del equipo triaxial, montaje de muestras y la obtención de resultados para un correcto análisis.

1.4 Delimitación

El equipo de ensayo triaxial a estudiarse, está ubicado en, la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, Campus sur, Bloque “E”, Laboratorio de Suelos, en las calles Matilde Hidalgo y Matilde Álvarez.

Figura 1

Laboratorio de suelos, Bloque “E”



Nota. La figura muestra el laboratorio de mecánica de suelos donde se encuentra el equipo de ensayo triaxial en el año 2022. Elaborado por: Los autores.

1.5 Justificación

Al no contar con un manual para el equipo de ensayo triaxial y observar la falta de experiencia en el uso y funcionamiento del equipo, surge la necesidad de presentar la propuesta de una guía didáctica para el usuario.

La realización de este manual será en beneficio de los técnicos y docentes de la carrera de Ingeniería Civil, encargados del laboratorio de mecánica de suelos, de tal manera que puedan conjugar el conocimiento teórico y práctico, y así puedan transmitir a los estudiantes, evitando el vacío intelectual para los futuros profesionales.

Este manual está orientado para que las nuevas generaciones de estudiantes de la Carrera, realicen un mejor aprovechamiento del equipo de ensayo triaxial, de tal manera que puedan

ilustrarse y nutrirse de más conocimiento y tengan una mejor preparación para las nuevas competencias en el ámbito estudiantil y laboral.

Para la elaboración del manual del equipo de ensayo triaxial se contará con total apertura de las instalaciones, de los laboratorios de mecánica de suelos de la Universidad Politécnica Salesiana, en donde podemos realizar los ensayos y el estudio a desarrollar.

Este manual se convertirá en un texto pedagógico, sobre el uso del equipo de ensayo triaxial, de forma que sea útil para estudiantes tanto de la Universidad Politécnica Salesiana como de otras universidades.

1.6 Grupo Beneficiario

Este proyecto será una ayuda pedagógica para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica Salesiana, obteniendo como resultado el manejo adecuado y tecnificado del equipo de ensayo triaxial en sus diferentes variantes no consolidado no drenado (UU), consolidado no drenado (CU) y drenado consolidado (CD).

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Elaborar un manual de uso para el equipo de “Ensayo Triaxial”, mediante la realización de ensayos en laboratorio en las distintas variantes: no consolidado no drenado (UU), consolidado no drenado (CU) y consolidado drenado (CD), utilizando las normas ASTM correspondientes.

1.7.2 Objetivos Específicos

Reconocer las partes del equipo de ensayo triaxial, mediante la inspección visual del equipo, para el detallamiento minucioso del manual.

Estudiar el funcionamiento del software y hardware del equipo, mediante la manipulación de éstos.

Ejecutar calicatas y obtener muestras inalteradas de suelo debidamente embaladas.

Remoldear una muestra de suelos, aplicando la norma ASTM, para la realización del ensayo triaxial en su variante no consolidado no drenado (UU).

Realizar ensayos en muestras de suelos imperturbadas, aplicando la norma ASTM, para la realización del ensayo triaxial en sus variantes no consolidado no drenado (UU), consolidado no drenado (CU) y consolidado drenado (CD).

Comparar resultados de resistencia al corte obtenido en sus variantes no consolidado no drenado (UU), consolidado no drenado (CU) y consolidado drenado (CD). del ensayo triaxial y establecer relaciones entre ellas.

Elaborar la redacción del manual, a través de la ejecución de los ensayos y resultados obtenidos con el fin de presentar el texto didáctico para los usuarios.

Elaborar videos de la extracción de muestra, tallado y ensayos no consolidado no drenado (UU), consolidado no drenado (CU) y consolidado drenado (CD).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Muestreo de suelo

Dentro del estudio de los suelos en la carrera de Ingeniería Civil, es importante conocer a los suelos dentro de su composición química y mecánica lo cual nos indica las propiedades de los mismos, los cuales usaremos para conocer previamente las condiciones del terreno en el cual se asentará una estructura. Las propiedades del suelo indicará las consecuencias a largo y corto plazo como por ejemplo los asentamientos que pueda ejercer una estructura al ser implantada sobre el suelo, es así como el muestreo de suelos se transforma en un procedimiento importante para realizar diversos ensayos en laboratorio, técnicamente hablando el muestreo de suelos en la recolección de muestras en cantidades representativas de un ciertos sitio a estudiarse donde se obtendrán resultado cuantitativos y cualitativos, Morales (2018).

2.1.1 Muestras perturbadas

Una muestra perturbada se la puede extraer de las paredes de una excavación en donde comprende solamente un estrato o también puede ser la combinación de varios estratos, las muestras obtenidas se las debe colocar en bolsas de material polimérico las cuales tiene la característica de ser impermeables y resistentes, estas bolsas deben ser identificadas con los datos del sitio donde fue extraída la muestra, los datos escritos en la etiqueta de identificación no deben ser borrados, Santa Cruz (2018).

Las muestras de suelo perturbado deben ser recolectadas con herramienta manual, las misma que pueden ser palas. Los ensayos que se realizan a estas muestras son: Santa Cruz (2018).

- Análisis de ensayo granulométrico.

- Límites de Atterberg
- Ensayo de compactación y humedad óptima.

2.1.2 Muestras imperturbadas

Las muestras imperturbadas son aquellas que tiene un estrato bien definido, este tipo de muestras tiene un tratamiento especial, por la aplicación de parafina en todo su contorno y su transporte debe ser muy cuidadoso con el fin de evitar golpes y su posible fisuración, es conveniente que su traslado se lo realice en una caja de madera que contenga aserrín para que actúe como amortiguador ante los movimientos bruscos que puede ocurrir en su traslado, Santa Cruz (2018). “Es de buena práctica que la muestras sea tomada en una cara de la excavación que este menos expuesta al sol para evitar cambios en la humedad de la misma”, Santa Cruz (2018).

El muestreo es tan importante como el ensayo y se deben tomar las precauciones para obtener muestras que exhiban la naturaleza real y condiciones de los suelos que se representan, Santa Cruz (2018).

2.2 Ensayo granulométrico

El ensayo granulométrico se entiende que es un proceso manual mediante el cual se procede a separar las partículas que constituyen la muestra de suelo mediante el método de tamizado, las misma que serán clasificadas en diversos tamaños de forma que se podrá conocer los pesos acumulados y parciales de cada grupo de partículas de la muestra de suelo, “En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra”, Con la obtención de los porcentajes de retención del tamiz número 200 se podrá llegar a la conclusión de que la muestras está constituida por partículas gruesas como son las arenas o por partículas finas como los limos o arcillas. (Cañas, 1996).

Figura 2

Juego de tamices



Nota. En la figura se muestra los tamices a usarse para realizar la práctica de clasificación de muestra de suelo según diámetro de partícula usando la norma ASTM D 422.

Fuente: Tiloom 2007

2.3 Límites de Atterberg

La cantidad de agua excesiva en un suelo arcilloso puede hacerlo fluir como un semi líquido, si este mismo suelo es secado gradualmente se podrá comportar como un material con características plásticas siendo estas semi sólidas o sólidas precisamente a este cambio de humedad del suelo, en el que cambia de estado líquido a plástico se lo conoce como límite líquido (LL). De igual manera cuando cambia la humedad del suelo de plástico a semi sólido se lo conoce como límite plástico (LP) y al punto de humedad de muestra donde no cambia su volumen por pérdida de humedad se lo conoce como límite de contracción (LC). Braja. D, (2012)

La norma ASTM D-4318 nos guiará para la realización del ensayo de la copa de Casagrande en el cual definiremos la cantidad de humedad en el que se cierra una ranura de 12.7 mm mediante 25 golpes para la obtención del límite líquido.

Para el límite plástico está definido en la norma ASTM D-4318 donde se encontrará la humedad cuando la muestra de suelo se agriete al formar un rodillo de 3.18 mm de diámetro.

El límite de contracción está definido como la cantidad de humedad en la que la muestra de suelo no experimenta algún cambio en su volumen con pérdida de humedad, esta normado en la ASTM D-427. Braja. D, (2012)

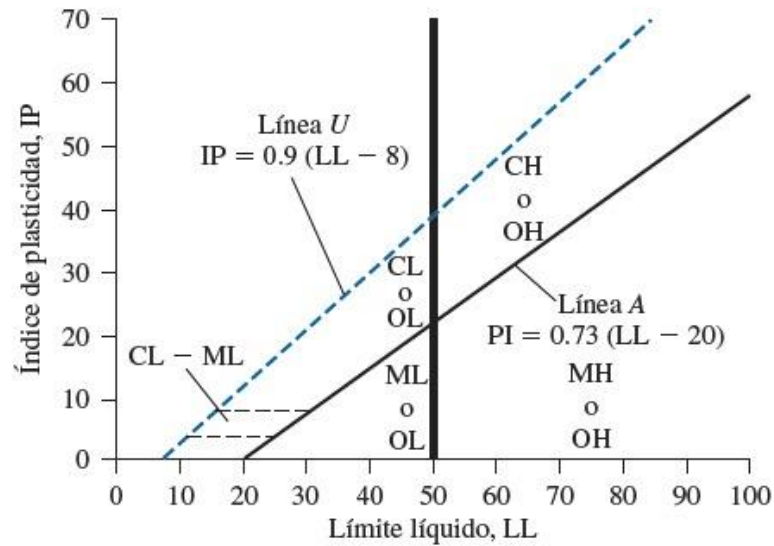
Para encontrar el límite plástico en una muestra de suelo se utilizará la siguiente fórmula (Braja. D, 2001):

$$\%LP = \frac{mh - ms}{ms} \times 100$$

Para encontrar el límite líquido en una muestra de suelo se usa la gráfica con los 25 golpes y la humedad. (Braja. D, 2013):

Figura 3

Carta de plasticidad



Nota: Para encontrar el límite de contracción en una muestra de suelo se utilizará la siguiente formula (Braja. D, 2001):

$$SL = \left(\frac{m1 - m2}{m2} \right) * 100 - \left[\frac{(Vi - Vf) * \rho_w}{m2} \right] * 100$$

$m1$ = masa del suelo húmedo en el recipiente al principio de la prueba (g)

$m2$ = masa del suelo seco (g)

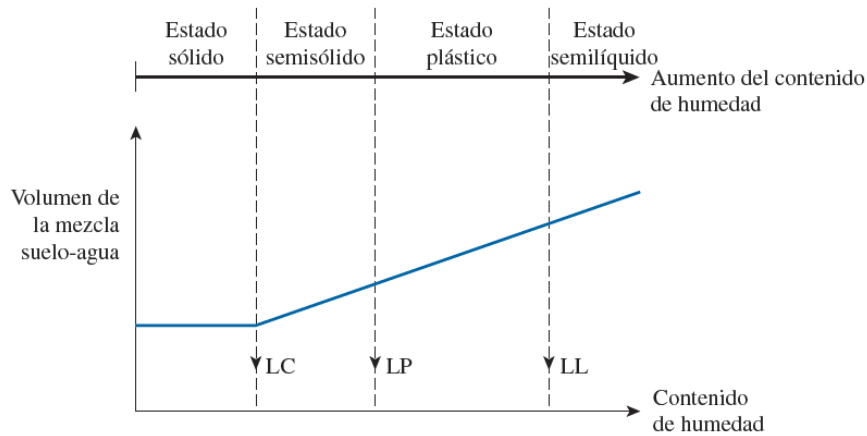
Vi = volumen inicial del suelo húmedo (es decir, el volumen dentro del recipiente, cm^3)

Vf = volumen de la masa del suelo seca en horno (cm^3)

ρ_w = densidad del agua (g/cm^3)

Figura 4

Definición de los límites de Atterbeg



Nota: En la figura se puede observar los límites en los que se puede encontrar una muestra de suelo arcilloso vs el contenido de humedad. Fuente: Braja M. Das, 2012

2.4 Humedad

La humedad en una muestra de suelo es la representación del porcentaje de agua en una determinada masa de suelo con respecto al peso de partículas sólidas, para poder determinar el porcentaje de humedad en una muestra es necesario hacer el uso de un horno de temperatura controlada a $110 \pm 5^\circ \text{C}$, en donde se colocará la muestra de suelo sin contenido orgánico durante 24 horas Bowles, J. (2006)

Para encontrar la cantidad de humedad en una muestra de suelo se utilizará la siguiente fórmula:

$$\%w = \frac{mh - ms}{ms} \times 100$$

%w: Porcentaje de humedad en el suelo

Mh: Masa de muestra húmeda

ms: Masa de muestra seca

2.5 Peso unitario

El peso unitario es definido cómo el peso de un cuerpo por unidad de volumen. El peso unitario del suelo varía de acuerdo al contenido de agua del suelo, definidos como: peso unitario húmedo (no saturado), peso unitario saturado y peso unitario seco. El peso específico se expresa en kilo newtons por metro cubico (kN/m³). Braja M. Das (2012)

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{W_s \left(1 + \left(\frac{W_w}{W_s} \right) \right)}{V} = \frac{W_s(1 + w)}{V}$$

Ws: Peso de sólidos

Ww: Peso del agua

V: Volumen total

2.6 Características del sistema de clasificación unificado (ASTM D-2487-17e1)

La clasificación de suelos es muy importante por la razón de que determinaremos con qué tipo de suelo se está tratando, “El sistema de clasificación de suelos (Unified Soil Classification System) lo propuso A Casagrande en 1942 y más tarde lo reveló y adoptó el United States Bureau of Reclamation y el US Army Corp of Engineers. En la actualidad el sistema se utiliza en todo trabajo geotécnico” Braja, D (2012). El sistema de clasificación unificado es el que usaremos en el presente trabajo escrito para poder nombrar el suelo con el que estemos trabajando para el ensayo triaxial.

2.6.1 Arcilla

La arcilla está compuesta por agregados de silicatos de aluminio hidratados procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas

coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura.

2.6.2 Gravilla

Partículas fragmentadas de roca que pasarán un tamiz de 3 pulgadas (75mm) y quedarán retenidas en un tamiz norteamericano estándar No.4 (4.75-mm) de forma que tengas las siguientes especificaciones, ASTM 2487_17e1, (2021)

Gravilla gruesa– pasa por un tamiz de 3 pulgadas (75-mm) y es retenido en un tamiz de $\frac{3}{4}$ (19-mm);

Gravilla fina – pasa un tamiz de $\frac{3}{4}$ y es retenido en un tamiz No. 4 (4.75-mm).

2.6.3 Arcilla Orgánica

Arcilla con el suficiente contenido orgánico que participa en las propiedades de un suelo, para clasificación; una arcilla orgánica es un suelo que puede ser catalogado como tal, excepto que su valor de límite líquido después del secado en horno es menor al 75%, antes de que sea secado en horno. ASTM 2487_17e1, (2021)

2.6.4 Limo o légamo orgánico

Es un suelo con suficiente contenido orgánico que podrá influenciar las propiedades del suelo. Para su clasificación; el légamo orgánico es un suelo que puede ser catalogado como tal, excepto que su valor de límite líquido después del secado en horno es menor al 75% antes de que sea secado en horno. ASTM 2487_17e1, (2021)

2.6.5 Turba

Suelo compuesto de tejido vegetal en varias etapas de descomposición; usualmente presenta un olor fuerte nauseabundo, un color que varía desde el café oscuro al negro, una consistencia esponjosa, y textura que puede ser desde fibrosa a amorfa ASTM 2487_17e1, (2021)

2.6.6 Arena

Suelo que contiene partículas de roca que pasarán por el tamiz No.4 (4.75-mm) y será retenido en un tamiz estándar No. 200 (75mm) con las siguientes subdivisiones. ASTM 2487_17e1, (2021)

Arena gruesa– pasa un tamiz No. 4 (4.75-mm) y es retenido en un tamiz No. 10 (2.00-m);

Arena media – pasa un tamiz No. 10 (2.00-m) y es retenido en un tamiz No.40 (425-mm) y;

Arena fina – pasa un tamiz No.40 (425-mm) y es retenido en un tamiz No.200 (75-mm).

2.6.7 Limo

Este suelo pasa un tamiz estándar norteamericano No.200 (75- mm) que no es plástico o con poco contenido de plástico y que muestra poca o nula fuerza cuando se seca al aire. Para su clasificación, el légamo es un suelo de grano fino o una porción de suelo de grano fino con un índice de plasticidad menor a 4; si el gráfico del índice de plasticidad contra el límite líquido, cae bajo la línea “A”. ASTM 2487_17e1, (2021)

2.7 Ensayo triaxial

El estudio del suelo siempre ha sido de suma importancia para la ingeniería civil, puesto que el suelo es donde se asienta toda edificación, por ello es necesario conocer la resistencia del

suelo, el cual varía dentro de amplios límites, puesto que depende de las condiciones en los diversos casos que se presente.

El ensayo triaxial constituye el procedimiento más satisfactorio para medir la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, en la mayoría de las situaciones. Una de sus principales ventajas radica en el hecho de poder controlar las tensiones principales, el drenaje y la presión intersticial, lo cual conduce al conocimiento del comportamiento básico del suelo y de las características que se utilizarán posteriormente en el diseño. (Carlos, 2017)

Ante lo citado, este estudio permite determinar la verificación al corte de suelo y se ensayarán suelos de la ciudad de Quito.

El principal fundamento de este ensayo es tallar una probeta cilíndrica, la cual debe estar preparada con una relación altura-diámetro de dos, la misma que será confinada a través de una presión hidráulica constante. Para seguir, se aplicará una carga vertical, que crece hasta llegar a la rotura. La velocidad con la que va a crecer dicha carga debe mantenerse constante. Carlos (2017).

2.7.1 Ensayo Triaxial no consolidado no drenado (UU) ASTM D 2850 – 15 (2016)

Este método de prueba cubre la determinación de las fuerzas y las relaciones de esfuerzo-deformación de un espécimen cilíndrico inalterado o remoldeado de suelo cohesivo y arenas. Los especímenes están sujetos a una presión de confinamiento de un fluido en una cámara triaxial. Ningún drenaje del espécimen se permite durante la prueba. El espécimen es cortado en compresión sin drenaje a una proporción constante de deformación axial (deformación controlada). ASTM D 2850 - 15 (2016)

Si los especímenes de prueba son saturados al 100%, la consolidación no puede ocurrir cuando la presión de confinamiento es aplicada ni durante la parte de corte de la prueba por lo

tanto el drenaje no se permite. Por consiguiente, si se prueban varios especímenes del mismo material, y si todos ellos tienen aproximadamente el mismo contenido de agua y proporción de vacíos cuando ellos se prueben, tendrán aproximadamente la misma fuerza de corte no drenado. Sobre la envolvente de falla de Mohr, normalmente será una línea recta horizontal encima del rango entero de esfuerzos de confinamiento aplicado a los especímenes si los especímenes se saturan totalmente. ASTM D 2850 - 15 (2016)

2.7.2 *Ensayo Triaxial consolidado no drenado (CU) ASTM D 4667 – 11 (2020)*

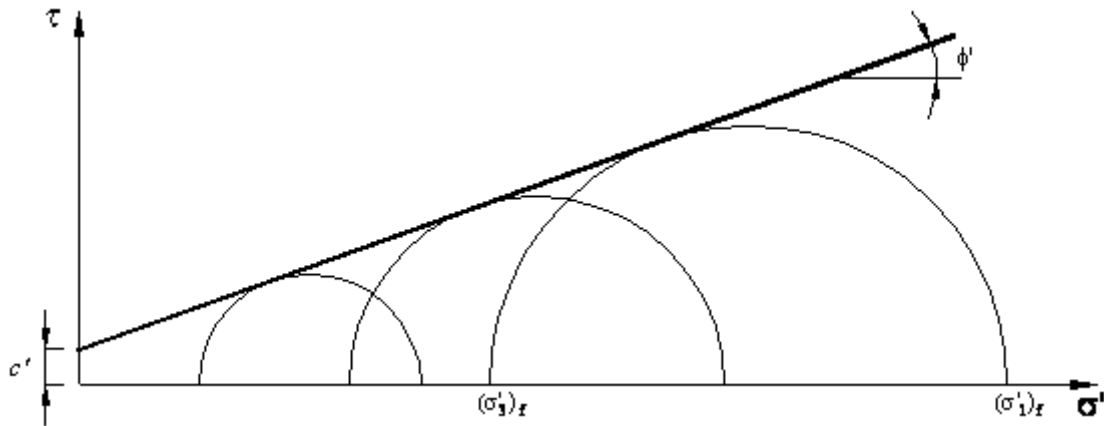
El mencionado ensayo es también conocido como ensayo rápido (R), y está conformado por tres etapas, que son: saturación, consolidación y compresión. Es necesario conocer el tipo de suelo con el que se está trabajando, puesto que de este depende el tiempo de duración de la fase de consolidación, el cual puede durar desde horas a varios días. Hrbs (2010)

Este ensayo tiene como objetivo determinar los parámetros efectivos que son: cohesión (C') y ángulo de fricción (Φ'). “Estos gobiernan la resistencia al corte del suelo y determinarán también algunas características respecto al cambio de volumen y rigidez del suelo”. (Hrbs,2010). Ante lo citado, este ensayo es de gran importancia debido a las características que permite obtener.

Una vez realizado este estudio, se deben trazar los círculos de Mohr, para ello primero se debe establecer los esfuerzos principales σ_1 y σ_3 . “Se recolectan periódicamente los valores de los deformímetros que controlan el anillo de carga y la deformación vertical (DL) de la probeta durante la compresión y también la presión de poros en la probeta.” (Hrbs,2010). Por este motivo se debe ser muy selectivo al instante de tomar datos.

Figura 5

Círculos de Mohr para un CU



Nota: Envolvente de falla para un suelo en un ensayo triaxial CU. Fuente: Hrbs,2010.

2.7.3 Ensayo triaxial consolidado drenado (CD) ASTM D 7181 – 20 (2020)

El mencionado ensayo es también conocido como ensayo lento, al igual que un ensayo CU, consta de tres etapas que son: saturación, consolidación y compresión. La particularidad de este ensayo, es que, los esfuerzos aplicados son efectivos y no se permite la aplicación de incrementos de carga de manera rápida que generen incrementos en la presión de poros. Este tipo de ensayos es utilizado generalmente en suelos granulares como son las arenas, aunque también se puede utilizar en suelos finos, con el respectivo tiempo prolongado en el orden de semanas, es decir que su estudio puede ser tardío. Huayta, Mamani y Toledo (2021).

En este ensayo se debe aplicar una presión de confinamiento, de tal manera que, la muestra aumenta su presión de agua intersticial la cual será disipada en la fase de consolidación. Braja Das (2013)

En suelos saturados, durante el proceso de consolidación se produce un cambio de volumen de la muestra (ΔV_c), la cual se la puede obtener mediante el volumen drenado de agua

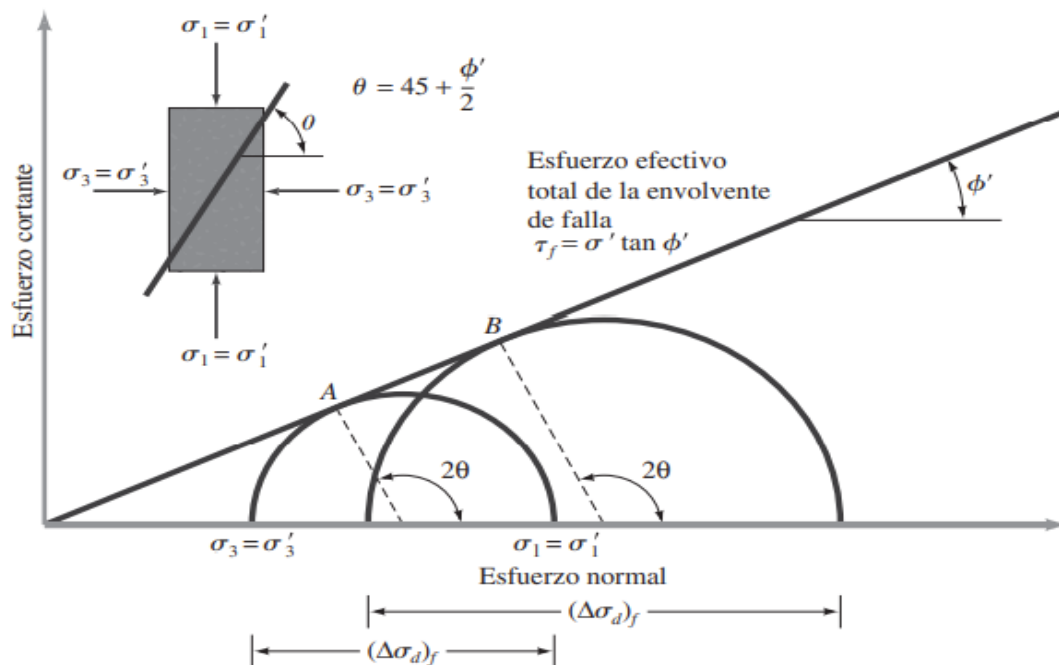
intersticial. Por tal motivo el esfuerzo desviador $\Delta\sigma_d$, se incrementa de una manera muy lenta. La conexión de drenaje se conserva abierta y se aplica lentamente el esfuerzo desviador, el cual permite la disipación completa de cualquier presión de agua intersticial ($\Delta u_d = 0$). Braja Das (2013).

Debido a la presión de agua intersticial y que está completamente disipada durante la realización de la prueba, se genera esfuerzos de confinamiento total y efectivo iguales. Braja Das (2013).

Se debe conocer que, en una prueba triaxial, σ'_1 , es el esfuerzo efectivo principal mayor y σ'_3 , es el esfuerzo efectivo principal menor en la falla. Braja Das (2013).

Figura 6

Círculos de Mohr para un CD



Nota. Esfuerzo efectivo de la envolvente de falla a partir de pruebas de drenaje en arena y arcilla normalmente consolidada. Fuente: Braja Das, 2013.

2.8 Suelos friccionantes y suelos cohesivos

2.8.1 Suelos friccionantes

Las partículas no tienden a juntarse ni adherirse, sus partículas son relativamente grandes, también llamados suelos granulares o friccionantes (arenas, gravas y limos). Suelos cohesivos: Existen partículas muy pequeñas donde predominan los efectos electroquímicos superficiales.

2.8.2 Suelos cohesivos

Un suelo cohesivo es aquel que contiene pequeñas partículas y la arcilla suficiente para que el suelo se adhiera. Según la NEC (2015), “Se consideran como suelos cohesivos o finos, arcillas y limos, todos aquellos que no cumplan con las condiciones de suelos no cohesivos o granulares”. Ante lo citado, esta clasificación es muy importante para conocer en que rango se encuentra cada suelo cohesivo.

2.8.3 Muestra obtenida por calicatas

Las calicatas son una técnica idónea para observar las características del suelo y facilitar el reconocimiento geotécnico de la manera más confiable y segura. Permiten una descripción manual visual de las caras horizontales y verticales expuestas a medida que avanza el pozo y también permiten la recolección de una amplia variedad de tamaños y tipos de muestras. Gracias a ellas se consigue la información más importante para la planificación, diseño y ejecución de cualquier proyecto de construcción.

Muestras alteradas en calicatas. - Siempre se llevan a cabo durante la excavación a la cota deseada. La cantidad de muestra a tomar depende de la granulometría de los materiales y del tipo de ensayo a realizar. En suelos arcillosos o arenosos y ensayos de identificación, es suficiente con dos o tres kilos. Cuando se recoge la muestra esta debe sellarse y registrarla con los datos de la obra, identificación de la calicata, profundidad y número de muestra.

Muestras inalteradas en calicatas. - El tamaño de las muestras inalteradas depende de las exigencias de los ensayos de laboratorio. La longitud mínima de la muestra debe permitir obtener un tramo central suficientemente largo, lo más intacto posible, con un cubo de dimensiones de 30x30x30cm. En el transporte de las muestras inalteradas es muy importante evitar las altas temperaturas, las vibraciones y los golpes. Su almacenamiento idóneo hasta la realización de los ensayos se lleva a cabo en una cámara húmeda del laboratorio.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipos de investigación

Para lograr los objetivos planteados se desarrollará una investigación experimental, que según Rodríguez E, 2005 “Se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por que causa se produce una situación o acontecimiento particular” puesto que, para llegar a obtener los resultados, tanto de suelos cohesivos, como friccionantes, se debe experimentar con muestras perturbadas y saturadas; de esta forma se obtendrá las comparaciones entre las muestras establecidas. Además, se utilizará, la investigación descriptiva, que según Bernal C. 2018 “La investigación descriptiva es un nivel básico de investigación, el cual se convierte en la base de otros tipos de investigación; además, agregan que la mayoría de los estudios tiene, de una u otra formas, aspectos de carácter investigativo” donde se señalará cada uno de los procedimientos que se necesitan desarrollar para obtener un correcto uso del equipo de ensayo triaxial.

3.2 Método

Se debe mencionar que, para lograr obtener el manual para ensayo triaxial, se trabajará con un método experimental, Según Zurita y Narváez, 2014 “El método experimental es una situación provocada por el investigador para introducir determinadas variables de estudio, manipulada por él, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas”. El mismo que nos permitirá realizar las relaciones entre las diferentes variantes del ensayo triaxial, no consolidado no drenado (UU), consolidado no drenado (CU) y consolidado drenado (CD).

Se empleará el método analítico, Según Zurita y Narváez, 2014 “El método analítico es aquel que distingue las partes de un todo y procede a la revisión ordenada de cada uno de sus elementos separados”. En este caso se analizarán los tres tipos de ensayo triaxial, ensayo no consolidado no drenado (UU), consolidado no drenado (CU) y consolidado drenado (CD).

3.3 Técnicas e Instrumentación de investigación

Para recolectar la información, en el manual de uso se empleará la técnica de observación, Según Zurita y Narváez, 2014 “La observación como técnica de recolección de información tiene una relación directa con el proceso intelectual de observar, que consiste en utilizar todos los sentidos para determinar cada uno de los elementos que forman el objeto de estudio”. Donde se observará el comportamiento del equipo de ensayo triaxial y sus resultados ante las diferentes muestras de suelo obtenidos por calicatas tanto friccionantes como cohesivos.

3.4 Proceso técnico de Ingeniería Civil

3.4.1 Reconocimiento de las partes del equipo

Se procederá a realizar una observación minuciosa de todas las partes que conforman la máquina de ensayo triaxial “ELE”, de tal manera que queden identificados el software y el hardware que la conforman.

3.4.2 Estudio del software del equipo de ensayo triaxial

Previamente a utilizar el equipo de ensayo triaxial se debe realizar un estudio del software que maneja el laboratorio de suelos de la Universidad Politécnica Salesiana. Para ello se realiza la técnica de observación y se emplea un método analítico para distinguir los elementos que conforman el software.

3.4.3 Instalación de los elementos del equipo de ensayo triaxial

Se debe montar todas las piezas que conforman el equipo de ensayo triaxial y asegurar que estas queden correctamente instaladas, verificar que las válvulas para la saturación no tengan ninguna mala conexión y que el equipo este correctamente vinculado con la computadora de tal manera que no se obtengan valores erróneos y falle todo el ensayo.

3.4.4 Tallado de muestras para la realización de ensayos para suelos cohesivos

El suelo a utilizarse en este paso debe ser inalterado. Cada prueba se realiza con tres especímenes cilíndricos de la misma muestra de suelo, éstas deben ser talladas después de haber sido obtenidas por calicatas o también conocidas como bloque de suelo, se debe evitar destruir la forma natural del suelo y evitar que este pierda su humedad natural.

Al instante de preparar la muestra se debe tomar una parte del espécimen para determinar el contenido de humedad.

3.4.5 Muestras remodeladas para la realización de ensayos en los diferentes tipos de suelos

Cuando se trata de una muestra alterada o remodelada, se procede a preparar los especímenes de modo que se debe compactar la muestra con una energía determinada (el peso específico de campo debe ser igual al peso específico de laboratorio) a continuación, se debe proceder a realizar los mismos pasos que se realiza con una muestra inalterada.

3.4.6 Realización de ensayos triaxiales en función de las Normas ASTM

Para realizar los ensayos se debe conocer los reglamentos que la norma ASTM menciona, por ello antes de ingresar a los laboratorios se debe leer detalladamente el procedimiento a seguir para tener la información necesaria y evitar errores en la práctica.

3.4.7 Toma de resultados de los ensayos realizados.

Con los resultados obtenidos por el programa que brinda el equipo de ensayo triaxial y una vez que estos hayan sido codificados, se construye, para cada esfuerzo confinante una gráfica esfuerzo vs deformación a escala aritmética.

3.4.8 Informe de resultados obtenidos

Una vez obtenido los resultados se procede a realizar un informe donde se detalle cada una de las respuestas que brinda el programa. Posteriormente se desarrollará una comparación entre los tres ensayos realizados, ensayo triaxial no consolidado no drenado (UU), consolidado no drenado (CU) y consolidado drenado (CD).

3.4.9 Elaboración del manual de uso del equipo de ensayo triaxial

Una vez obtenido los resultados y realizado el informe se procederá a la elaboración del manual, en donde se detalla cada paso a realizarse; aquí se debe colocar imágenes que garanticen la elaboración del ensayo y que permita dar una mejor comprensión al lector.

3.4.10 Elaboración de videos de los ensayos realizados

Una vez culminados todos los ensayos se procede hacer la edición de las grabaciones de los videos los mismos que se los realizarán consecutivamente en cada proceso y ensayo de todo el transcurso del proyecto.

CAPÍTULO IV

MANUAL DEL EQUIPO DE ENSAYO TRIAXIAL “ELE”

4.1 Introducción

En el laboratorio de Suelos de la Universidad Politécnica Salesiana se dispone del equipo triaxial “ELE” producido por “ELE INTERNATIONAL” junto con la Corporación Danaher, quienes son considerados pioneros dentro de la industria de equipos para el ensayo de materiales. En la figura 7 se presenta el sistema instalado en el laboratorio.

Para la realización de los ensayos, no consolidado - no drenado (UU), consolidado – no drenado (CU), consolidado - drenado (CD) se utilizará muestras de suelo plástico por la facilidad de tallado, las mismas que serán cilíndricas con dimensiones de 70mm de diámetro y altura de 140 mm aproximadamente. La muestra estará encerrada por una fina membrana y se colocará dentro de una cámara cilíndrica de plástico. La muestra es sometida a una presión de confinamiento por la compresión del fluido en la cámara. Para causar la falla cortante en la muestra se aplica esfuerzo axial a través de un pistón de carga (llamado esfuerzo desviador).

Braja Das (2013)

4.2 Detallamiento del equipo triaxial “ELE”

Figura 7

Equipo de ensayo triaxial “ELE”



Nota. En la figura se encuentra el sistema completo del equipo de ensayo triaxial “ELE” ubicado en el laboratorio de suelos. Elaborado por: Los autores.

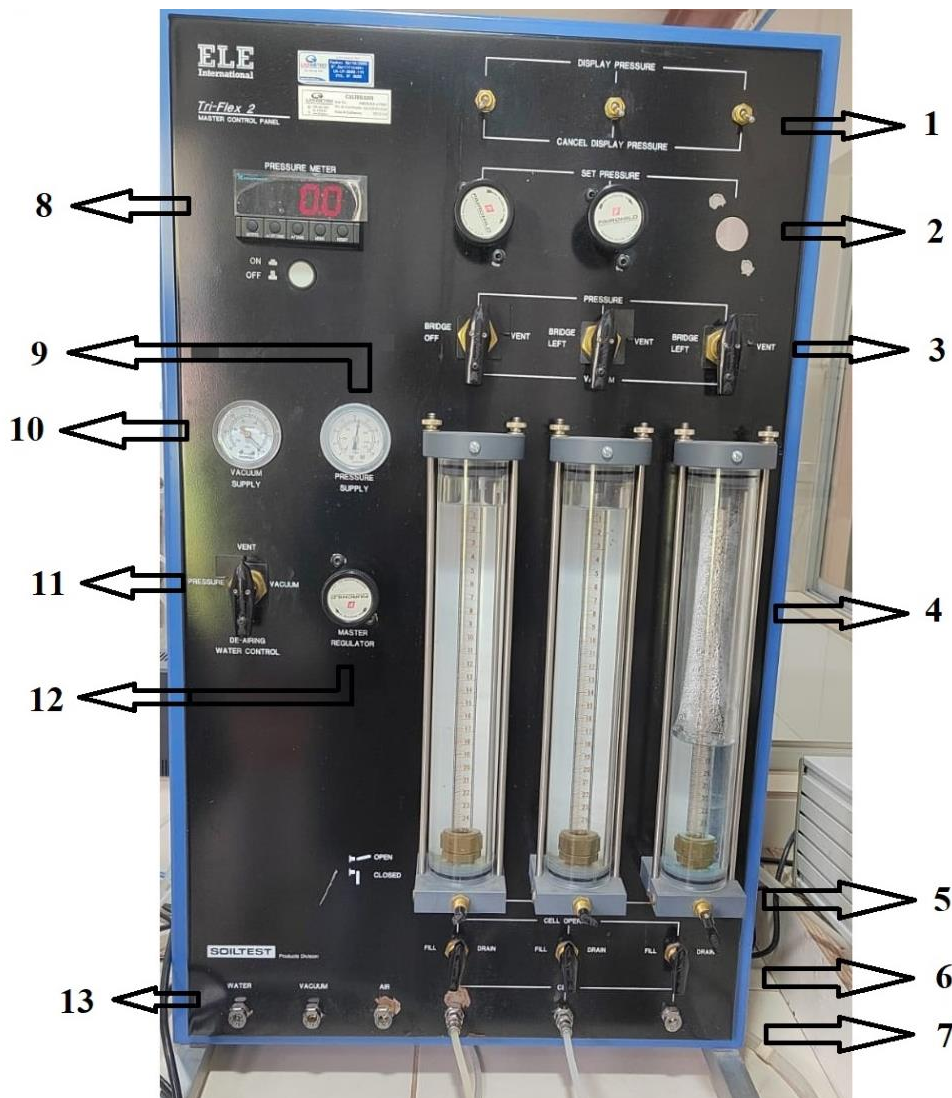
El equipo triaxial “ELE” se encuentra instalado en un sitio estratégico dentro del laboratorio de mecánica de suelos ya que dentro del mismo existe un lavabo y tomas de aire a presión, es un cuarto de aislamiento acústico, posee un computador de escritorio, todo este equipo está instalado en un área de 6 m² cumpliendo con lo estipulado en la norma ASTM 4767 – 11 en el inciso 5.21 donde explica la temperatura del entorno de prueba.

4.3 Reconocimiento de elementos individuales del equipo triaxial “ELE”

4.3.1 Panel de control principal Tri - Flex 2

Figura 8

Panel de control principal Tri - flex 2



Nota. En la figura se muestra como está conformado el panel tri - flex2 este modelo de panel está constituido de tres vías. Elaborado por: Los autores.

1.- Switch de la pantalla de presión: es un switch de doble posición en el cual podemos seleccionar la lectura de presión de cada línea en la pantalla análoga del tablero tri-flex2.

2.- Perillas de control de presión: son perillas cuya función principal es subir la presión de la línea (conexión de acoples rápidos), girando en sentido horario y bajar la presión de la línea girando en sentido antihorario.

3.- Perillas de control de entrada de bureta: son perillas de cuatro posiciones con las cuales se controla la entrada de las buretas.

Pressure: en esta posición se genera presión dentro de la bureta, la misma que será enviada a la línea (conexión de acoples rápidos).

Vent: en esta posición la bureta tendrá una presión igual a la atmosférica.

Vacuum: en esta posición la bureta tendrá conexión directa a la línea de la bomba de vacío y se extraerá el aire que contiene el agua dentro de la bureta.

Bridge off: en esta posición se puede manejar dos buretas con la misma presión.

4.- Buretas: es un tubo de doble cámara en donde la cámara interior se encuentra graduada en mililitros permitiendo medir el volumen de entrada y salida de agua a la muestra a ensayarse, la cámara exterior permite la inserción de agua a la bureta interior cuando esta se vacía.

5.- Switch de control mecánico: permite la conexión entre la cámara interior y exterior de la bureta.

6.- Perillas de control de salida de bureta: son perillas de tres posiciones con las cuales se controla la salida de las buretas.

Cell operate: esta posición permite la operación de la línea, de forma que envía presión a la celda triaxial.

Fill: esta posición se selecciona para el llenado de líquido en la bureta.

Drain: esta posición se utiliza para drenar el líquido de la bureta hacia el exterior del equipo triaxial.

7.- Líneas de acople rápido: aquí se conectarán las mangueras que llevarán el líquido hacia la celda de ensayo triaxial.

8.- Pantalla análoga: en esta se puede leer la presión que se genera en la bureta de acuerdo al switch de la pantalla de presión que esté seleccionado en posición ON. En caso de estar activos dos switches la pantalla medirá la presión más alta aplicada.

9.- Manómetro de presión: este dispositivo muestra la presión máxima de regulación suministrada al tablero tri-flex2 por el compresor de aire.

10.-Manómetro de vacío: este dispositivo muestra la presión negativa que ejecuta la bomba de vacíos.

11.- Perilla de control para el tanque de desaireación de agua tri-flex2: es una perilla de cuatro posiciones y su funcionalidad es la siguiente:

Vent: esta posición permitirá que la presión interna del tanque sea igual a la atmosférica.

Pressure: esta posición permitirá generar presión dentro del tanque.

Fill: esta posición permite el llenado del tanque, el cual será suministrado directamente de una fuente de agua.

Vacuum: esta posición permitirá generar vacío dentro del tanque el cual permitirá que el agua se desaire, tiene conexión directa a la línea de vacío.

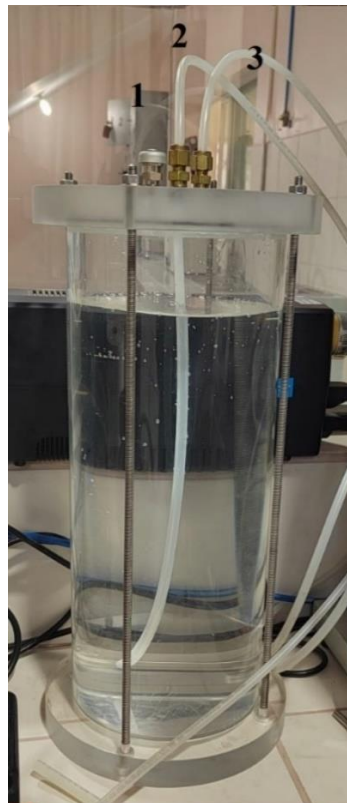
12.- Perilla de regulación de presión principal: esta perilla permite la regulación de la presión máxima de trabajo (900 kPa) hacia el tablero tri-flex2.

13.- Acoples rápidos: es un conjunto de tres acoples rápidos que permite el suministro de agua, aire y presión de vacío hacia el tablero tri-flex2 según el etiquetado.

4.3.2 Tanque de desaireación de agua Tri – Flex 2

Figura 9

Tanque de desaireación



Nota. En la figura se muestra el tanque de desaireación del equipo triaxial “ELE” y la numeración de mangueras de entrada y salida de fluidos. Elaborado por: Los autores.

1.- Válvula de alivio: es una válvula de tipo check; deja escapar presión y no permite ingresar presión de manera automática; también se acciona de forma manual levantado levemente para dejar entrar presión atmosférica al tanque de desaireación.

2.- Salida de líquido: es una manguera que permite la salida de líquido del tanque hacia las buretas del tablero principal tri – flex 2.

3.- Entrada de líquido: es una manguera de triple función que depende de la selección de la Perilla de control para el tanque de desaireación de agua tri-flex2 (11), la primera función es el ingreso de líquido al tanque de desaireación desde una fuente externa, la segunda función es generar presión dentro del tanque de desaireación y la tercera función es generar vacío dentro del tanque de desaireación.

4.3.3 Transductor de presión

Figura 10

Transductor de presión



Nota. En la figura se muestra el transductor de presión con su respectiva llave de paso y su cable tipo DIN de 5 pines. Elaborado por: Los autores.

- 1.- Tornillo de purga: este tornillo es usado para purgar la línea de trabajo.
- 2.- Transductor de presión: es el elemento que envía señal a la unidad autónoma de adquisición de datos (ADU) para que sea leído y traducido en formato de presión (kpa).
- 3.- Llave de paso: es una llave de dos posiciones es decir trabaja abierta o cerrada según la necesidad.

4.3.4 Transductor de desplazamiento

Figura 11

Transductor de desplazamiento



Nota. En la figura se muestra el transductor de desplazamiento el cual mide las variaciones de cambio de longitud del espécimen dentro la celda triaxial. Elaborado por: Los autores.

1.- Adaptador de fijación: es un elemento que permite la fijación del transductor de desplazamiento al eje centrador de carga axial.

2.- Transductor de desplazamiento: es el elemento que envía señal al ADU para que sea leído y traducido en formato de longitud (mm).

4.3.5 *Transductor de cambio de volumen*

Figura 12

Transductor de cambio de volumen



Nota. En la figura se muestra el transductor de cambio de volumen el cual permite realizar una medición automatizada del volumen de agua que entra y sale del espécimen según sea el caso. Elaborado por: Los autores.

1.- Tornillo de purga superior: su función principal es desairear la cámara superior del cilindro evitando tener burbujas de aire en esta parte del circuito.

2.- Tornillo de purga inferior: su función principal es desairear la cámara inferior del cilindro evitando tener burbujas de aire en esta parte del circuito.

3.- Entrada de líquido: es la entrada principal de líquido desde el tablero tri – flex 2.

4.- Salida de líquido: es la salida principal de líquido hacia la celda triaxial.

5.- Conexión para líquido de la cámara superior del cilindro: permite la entrada o salida de líquido de la cámara superior del cilindro.

6.- Conexión para líquido de la cámara inferior del cilindro: permite la entrada o salida de líquido de la cámara inferior del cilindro.

7.- Cámara Superior del cilindro

8.- Cámara inferior del cilindro

9.- Pistón: es el encargado de separar y sellar herméticamente la cámara superior y la cámara inferior del cilindro, también es el encargado de transmitir el movimiento al transductor de cambio de volumen.

A.- Válvula de una vía dos posiciones: Es una llave de paso simple, da paso directo del líquido hacia la muestra sin que éste pase por las cámaras del cilindro; cuando la llave se encuentra en posición vertical está cerrada y no existe conexión entre la entrada 3 con la salida 4, mientras que cuando la llave se encuentra en posición horizontal estará abierta y existe conexión entre la entrada 3 y salida 4.

B.- Válvula de cinco vías tres posiciones: se denomina así porque conecta 5 mangueras y tiene triple funcionalidad según la posición en la que esté colocada.

Arriba. - en primera instancia conecta la entrada 3 con la entrada de cámara superior 5, esto hará que genere presión en la cámara superior del cilindro, en segunda instancia conecta la salida de la cámara inferior 6 con la salida 4, esto hará que el líquido que se encuentra dentro de la cámara inferior vaya hacia la muestra, de ese modo el pistón tendrá un desplazamiento longitudinal hacia abajo, son dos circuitos hidráulicos que trabajan en paralelo.

Horizontal. - en esta posición están cerradas las cámaras del cilindro, es decir el pistón no tendrá movimiento alguno.

Abajo. - en primera instancia conecta la entrada 3 con la entrada de cámara inferior 6, esto hará que genere presión en la cámara inferior del cilindro, en segunda instancia conecta la salida de la cámara superior 5 con la salida 4, esto hará que el líquido que se encuentra dentro de la cámara superior vaya hacia la muestra, de ese modo el pistón tendrá un desplazamiento longitudinal hacia arriba; son dos circuitos hidráulicos que trabajan en paralelo.

C.- Transductor de cambio de volumen. - es el elemento que envía señal al ADU para que sea leído y traducido en formato de volumen (ml).

4.3.6 *Transductor de carga sumergible*

Figura 13

Transductor de carga sumergible



Nota. En la figura se muestra el transductor de carga sumergible, es un dispositivo electrónico que mide fuerza axial. Elaborado por: Los autores.

Este dispositivo es montado directamente sobre los cabezales que cubren la muestra dentro de la celda triaxial, se utiliza para medir con precisión la carga axial aplicada al espécimen de prueba, está configurado de forma que descarta mediciones erróneas por fricción, tiene un rango de medición que va desde los 0 kN hasta 5 kN. (Ulloa, s/f)

4.3.7 *Unidad autónoma de adquisición de datos (ADU)*

Figura 14

Unidad autónoma de adquisición de datos (ADU)



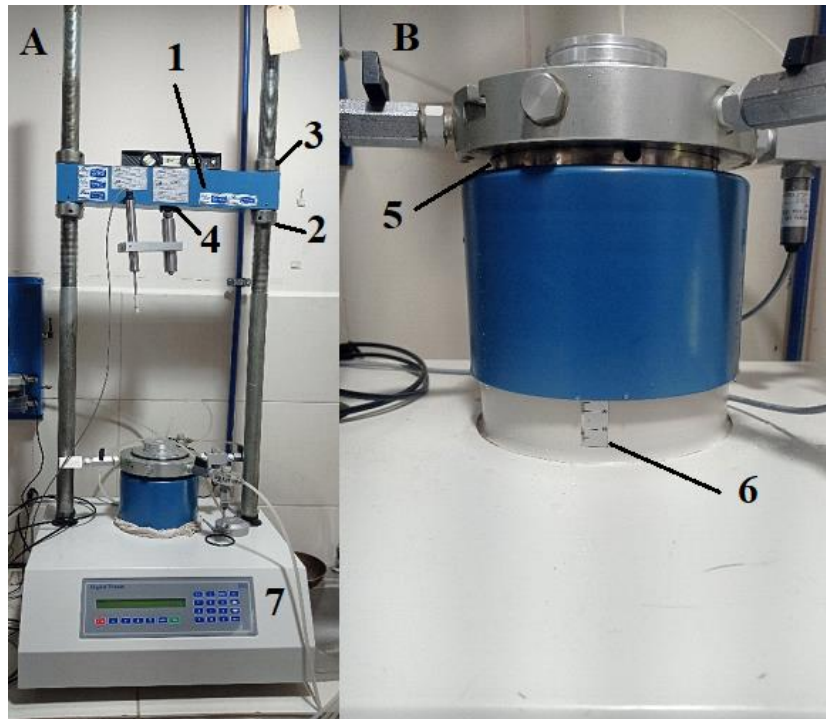
Nota. En la figura se muestra la Unidad autónoma de adquisición de datos (ADU) con una capacidad de 8 canales de lectura. Elaborado por: Los autores.

Es un dispositivo con una capacidad de recibir los datos análogos propuestos por los transductores y llevarlos a formato digital, para posteriormente enviarlos a la computadora de forma que puedan ser proyectados en el monitor con las diferentes magnitudes enviadas por los transductores.

4.3.8 Marco de carga digital test 50

Figura 15

Marco de carga digital test 50



Nota. En la figura se muestra el marco de carga test 50 y sus componentes numerados.

Elaborado por: Los autores.

1.- Cruceta

2.- Tuercas de ajuste

3.- Contratuerca

4.- Adaptador de anillo de carga con asiento de bola

5.- Platina

6.- Regla graduada en milímetros.

7.- Teclado del panel táctil

Figura 16

Teclado del panel táctil



Nota. En la figura se muestra el teclado del panel táctil y sus componentes numerados.

Elaborado por: Los autores.

1.- Pantalla

2.- Stop (Parada). - Cancela todas las funciones de movimiento; el motor se detiene

3.- Up (Arriba). - Mueve hacia arriba a velocidad preestablecida momentáneamente.

4.- Down (Abajo). - Mueve hacia abajo a velocidad preestablecida hasta su carrera final.

5.- Fast Up (Rápido hacia arriba). - Mueve hacia arriba a la máxima velocidad momentáneamente.

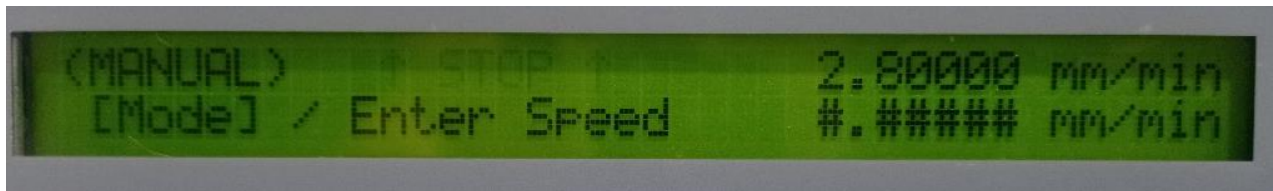
6.- Fast Down (Rápido hacia abajo). - Mueve hacia abajo a la máxima velocidad hasta su carrera final.

7.- Pause (Pausa). – durante una secuencia de ejecución al presionar el botón pausa el motor se detendrá. Para continuar con la secuencia de ejecución presión nuevamente el botón pausa. Mientras el motor estas detenido en pausa se puede ingresar una nueva velocidad a través del teclado. Al presionar cualquier otro botón que no sea pausa, saldrá del modo pausa y regresará a la velocidad preestablecida.

8.- Run (Correr). – Mueve hacia arriba con velocidad preestablecida hasta que el operador decida detener el ensayo.

Figura 17

Pantalla



Nota. En la figura se presenta la pantalla en donde la línea superior muestra el estado del sistema y la velocidad preestablecida. Elaborado por: Los autores.

En cualquier instante se puede realizar el cambio de la velocidad preestablecida, mediante la entrada numérica a través del teclado. En la línea inferior se mostrará la nueva velocidad, esta se activará cuando se presione la tecla ingresar (Ent). La tecla borrar (Clr) nos ayudara a borrar

una entrada errónea antes de presionar la tecla (Ent). El rango de velocidades a ingresar va desde 0.00001 mm/min hasta 9.99999 mm/min y en el sistema de unidades inglesas se tiene un rango de 0.00001 in/min hasta 0.39999 in /min.

El estado del sistema se indica en la pantalla de la siguiente manera.

=STOP=	estable	Motor inactivo
↑ RUN ↑	parpadeando	Motor en ejecución, moviendo hacia arriba velocidad preestablecida
↑	parpadeando	Moviéndose hacia arriba a velocidad preestablecida
↓	parpadeando	Moviéndose hacia abajo a velocidad preestablecida
↑↑	parpadeando	Velocidad rápida hacia arriba
↓↓	parpadeando	Velocidad rápida hacia abajo
PAUSE	estable	Velocidad rápida en pausa detenido en modo de ejecución
↓ STOP ↓	parpadeando	Detenido en el límite de la carrera superior
↑ STOP ↑	parpadeando	Detenido en el límite de la carrera inferior

4.3.9 Celda triaxial

Figura 18

Celda triaxial



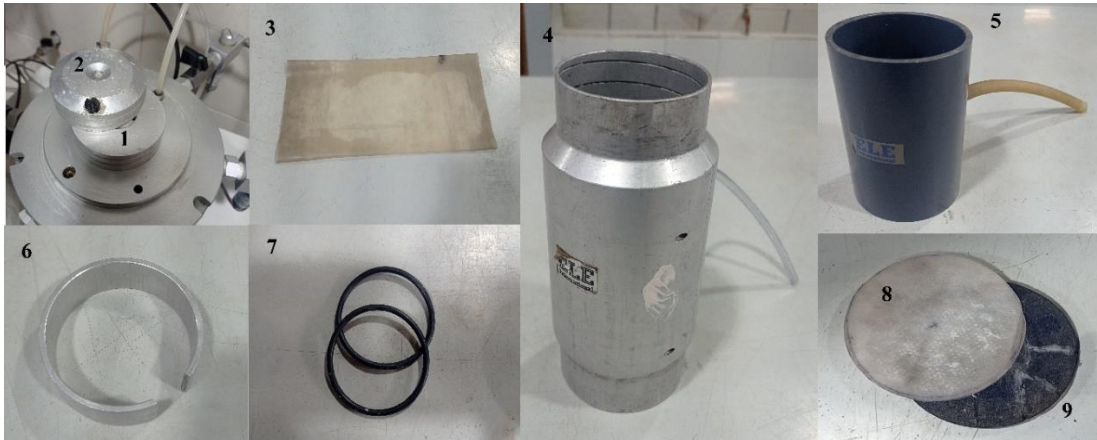
Nota. En la figura se presenta la celda triaxial, elemento que sella herméticamente al espécimen. Elaborado por: Los autores.

La celda triaxial “ELE” es un elemento importante dentro del equipo de ensayo triaxial el mismo que consta de tres barras con rosca en sus extremos para ser sujetadas a la base, la celda triaxial soporta presiones de hasta 250 PSI o 1700 kPa, está construido de un material transparente de manera que se pueda observar al espécimen 360 grados alrededor de él, en la parte superior de la celda triaxial tiene un agujero para colocar el transductor de presión sumergible y otro agujero roscado para purgar el sistema de celda.

4.3.10 Accesorios de prueba triaxial

Figura 19

Accesorios de prueba triaxial



Nota. En la figura se presenta los elementos usados en el montaje de espécimen.

Elaborado por: Los autores.

- 1.- Cabezal inferior de 70 mm de diámetro.
- 2.- Cabezal superior de 70 mm de diámetro.
- 3.- Membrana de látex, con un módulo de Young típico de 1400 kPa (203 lb/in²).
- 4.- Tubo partido para muestras alteradas.
- 5.- Tubo de succión de membrana.
- 6.- Expansor de O-ring, diámetro 81 mm.
- 7.- O-ring de 60 mm de diámetro.
- 8.- Papel filtro.
- 9.- Piedras porosas de 70 mm de diámetro.

4.4 Software DS7 “ELE” para ensayo triaxial Tipo no consolidado no drenado UU, consolidado no drenado CU, consolidado drenado CD

Figura 20

Interface principal de DS7 “ELE”



Nota. En la figura se presenta la interface inicial del software DS7 “ELE”. Elaborado por:
Los autores.

New Test. - en esta opción se podrá iniciar un nuevo ensayo.

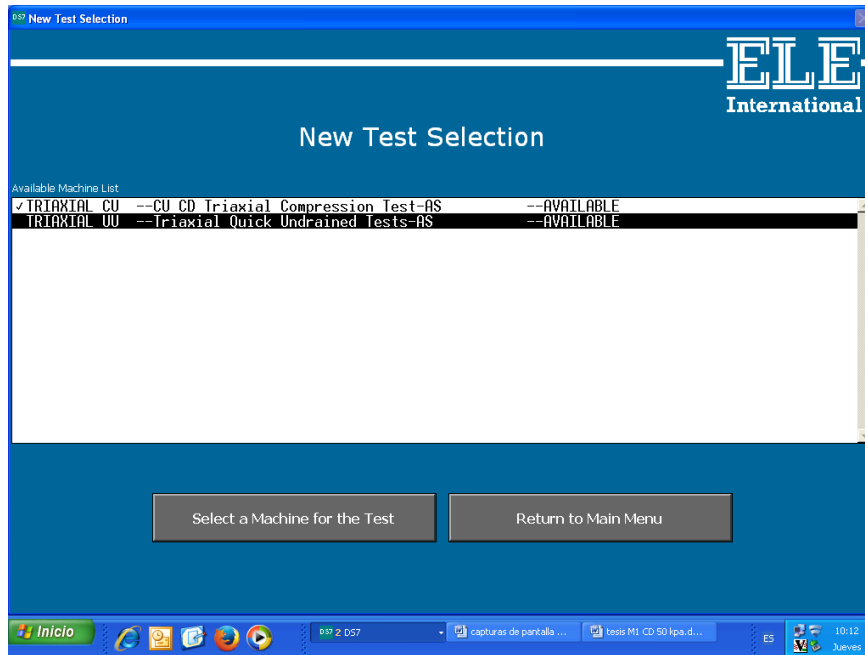
Monitor Test. – en esta opción se podrá observar los ensayos que se encuentran en proceso o activos.

Analysis & Reports. - en esta opción ingresaremos a los archivos generados por DS7, donde se puede realizar reportes automáticos incluyendo gráficas y círculos de Mohr.

Exit. - opción de finalización del programa.

Figura 21

Selección de tipo de ensayo a realizar



Nota. En la figura se presenta la interface para seleccionar un test específico (no consolidado no drenado - UU) a realizarse, esta opción se activa después de pulsar en el botón New Test. Elaborado por: Los autores.

Select a Machine for the Test. - con esta opción iniciaremos el test seleccionado anteriormente en el listado que está dentro de la ventana.

Return to Main Menu. – con esta opción retornaremos a la ventana principal del DS7.

Figura 22

Sample Identification from

Nota. En la figura se presenta la interface de datos del lugar de extracción de muestra, así como también los datos del proyecto. Elaborado por: Los autores.

Current Machine in Test. - en esta pestaña aparecerá el título del ensayo a realizar de forma automática en función a la selección de paso anterior

Company Name. - aquí se deberá ingresar el nombre de la persona o compañía que envía hacer dicho ensayo.

Location. - Se deberá digitar la descripción del lugar del proyecto de donde se extrajo la muestra.

Sample Number. - número de ejemplar de muestra o cubo.

Date Sample. - se deberá ingresar la fecha de ingreso del ejemplar o cubo.

Sample Description. - se redactará las condiciones en las que se encuentra la muestra o cubo que fue extraído del lugar de proyecto con una clasificación de suelo visual.

Job Number. - número de trabajo realizado.

Borehole. - identificación del pozo de excavación.

Sample Type. - es un listado del tipo de ejemplar extraído.

Sample Depth. - es la profundidad de donde se extrajo el ejemplar.

Laboratory Sample. - número de muestra en laboratorio.

Specimen Number. - es una clasificación de espécimen a ensayarse en donde se escogerá en un listado alfabético desde A hasta D

Specimen Description. - se ingresará una descripción de la forma o detalles del cilindro.

Specimen Preparation. - se ingresará la información del cilindro es decir si este fue tallado o remoldeado.

Laboratory Ref.- Referencia de laboratorio.

Tested by and Date. - Realizado por y fecha

Checked By and Date. - Chequeado por y fecha.

Approved by and Date. - Aprobado por y fecha.

Laboratory Specimen. - descripción de espécimen

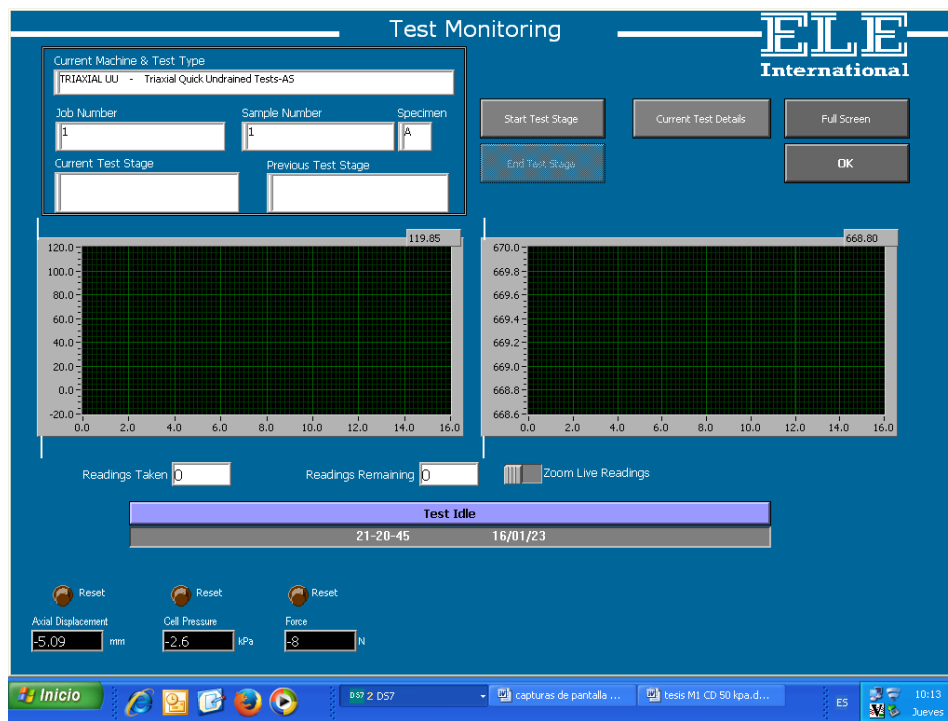
Depth within Sample. - profundidad de donde fue extraído el espécimen del ejemplar o cubo

Orientation within Sample. - orientación de extracción, vertical o transversal.

Comments. - se puede incluir algún comentario relevante.

Figura 23

Ensayo no consolidado no drenado - UU test monitoring.

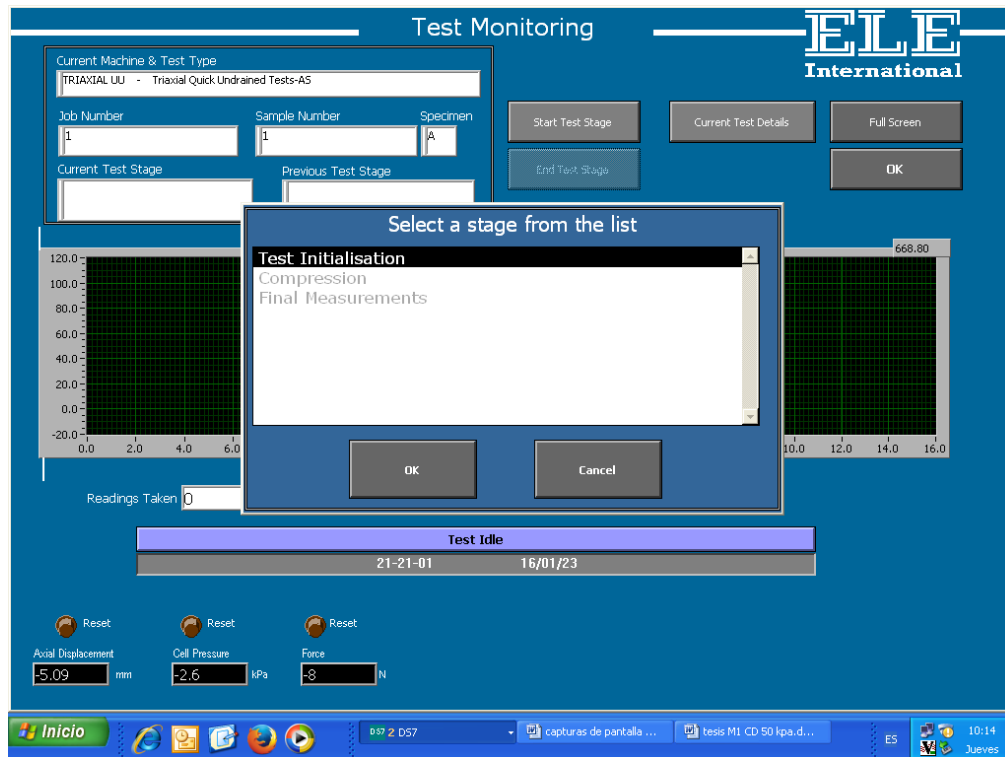


Nota. En la figura se presenta la ventana principal del ensayo no consolidado no drenado - UU llamada test Monitoring. Elaborado por: Los autores.

Star Test Stage. - en este botón nos indicara los pasos a seguir en el ensayo seleccionado.

Figura 24

Select a stage from the list



Nota. En la figura se presenta la ventana del listado para realizar el ensayo no consolidado no drenado. Elaborado por: Los autores.

Current Test Details. - este botón nos llevara a la ventana anterior de identificación de ejemplar.

Full Screen. - mostrará las ventanas sub ventanas de muestreo mucho más grandes.

End Test Stage. - este botón finalizará el test que se estará desarrollando.

Sub ventanas de monitoreo. – Estas ventanas mostrará los datos que este recibiendo la ADU de los diferentes traductores y estos estarán etiquetados tanto en los ejes vertical como horizontal y la gráfica tendrá un título de los datos que está generando.

Reading Taken. - número de datos tomados

Readings Reaminging. - número de datos que faltan ser tomados.

Zoom live Readings. - en esta opción se podrá observar las gráficas en tiempo real de cada uno de los trasductores.

Axial Displacement. - muestra el desplazamiento axial del transductor de desplazamiento.

Cell Pressure. - muestra la presión generada dentro de la celda de cámara.

Force. - muestra la fuerza generada por le transductor de fuerza.

Figura 25

Test Initialisation



Nota. En la figura se presenta la ventana de instalación, donde se insertarán las propiedades físicas del espécimen y membrana. Elaborado por: Los autores.

Se seleccionará el botón “start test” y aparecerá la siguiente pantalla en donde se deberá ingresar los siguientes datos:

Diameter (diámetro). - se deberá ingresar el diámetro promedio del espécimen en milímetros.

Sample Weight (masa de la muestra). - se deberá ingresar la masa de la muestra en gramos.

Height (altura). - se deberá ingresar la altura de la muestra en milímetros.

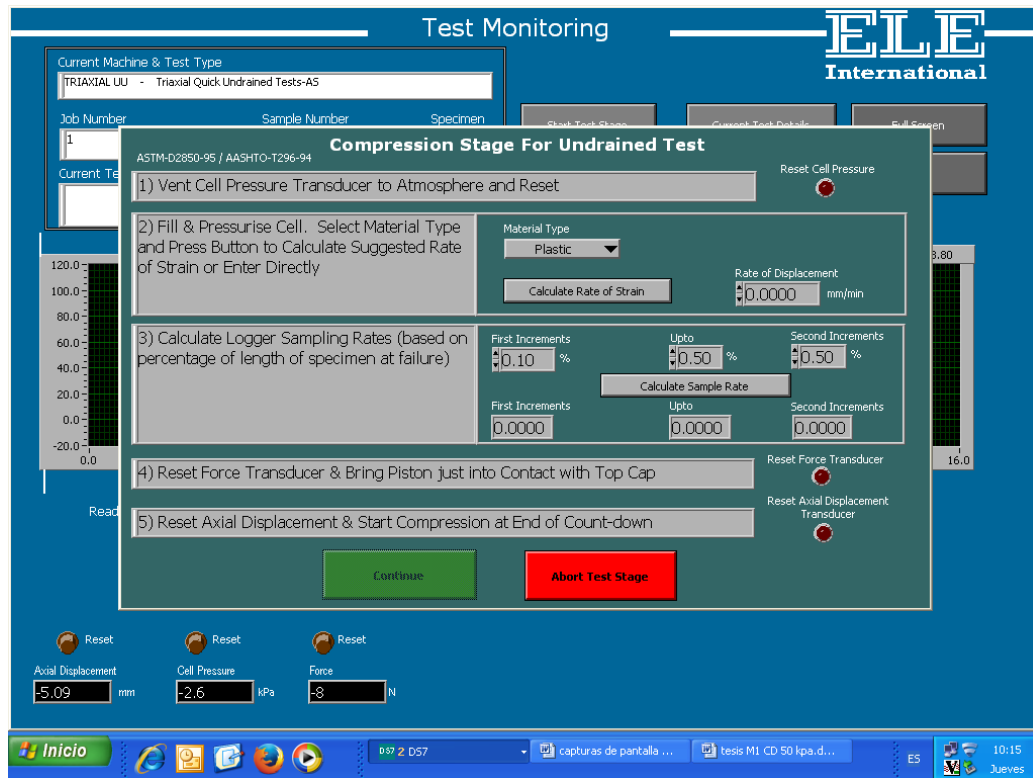
Bulk Density (densidad de muestra). – esta pestaña se calculará automáticamente y mostrará en unidades de mega gramos sobre metro cúbico o su conversión sería igual a gramos sobre centímetro cúbico.

Membrane Thickness (espesor de membrana). - aquí se deberá ingresar el espesor de membrana la cual mide alrededor de 0.36 milímetros.

Youngs Modulus (módulo de Young). - aquí se ingresará el Módulo de Young de la membrana el cual deberá ser determinado en laboratorio mediante el procedimiento estipulado en la norma ASTM 2850 -15 en el inciso 8.8.1, aunque también se podrá ingresar un valor típico de 1400 kPa o 203 lb/in² que también se encuentra dentro de la norma en el mismo inciso.

Figura 26

Compression stage for undrained test



Nota. En la figura se presenta la ventana de etapa de compresión para prueba no drenada donde se ingresarán los datos para realizar la compresión del espécimen. Elaborado por: Los autores.

Material Type (Tipo de material). - aquí se deberá seleccionar el material del espécimen solo existen dos opciones Plastic (Plástico) y Brittle (Frágil).

Rate of Displacement (Tasa de desplazamiento). - la tasa de desplazamiento se calcula en función de la norma ASTM D2850 -15 en el inciso 7.5, nos indica que se usará una velocidad aproximada de 0.3 a 1 % / min o simplemente se podrá calcular la tasa de deformación aplastando

el botón “Calculate Rate of Strain”, también se debe tomar en cuenta que el tiempo de ensayo no debe sobre pasar los 15 minutos hasta la falla.

First Increments (Primer incremento). - aquí se ingresará los incrementos de lectura en los primeros instantes o hasta llegar a un punto cercano de falla en función a la altura de la muestra, los valores recomendados por la norma ASTM D 2850 - 15 en el inciso 7.6, menciona que se podrán hacer incrementos desde 0.1 % hasta 0.5%.

Upto (Hasta). - aquí se deberá ingresar el valor en porcentaje aproximado en el que podrá fallar la muestra, según la sugerencia de la norma ASTM D2850 -15 en el inciso 7.6, se podrá escoger valores entre 0.5% y 3% en función de la altura del espécimen.

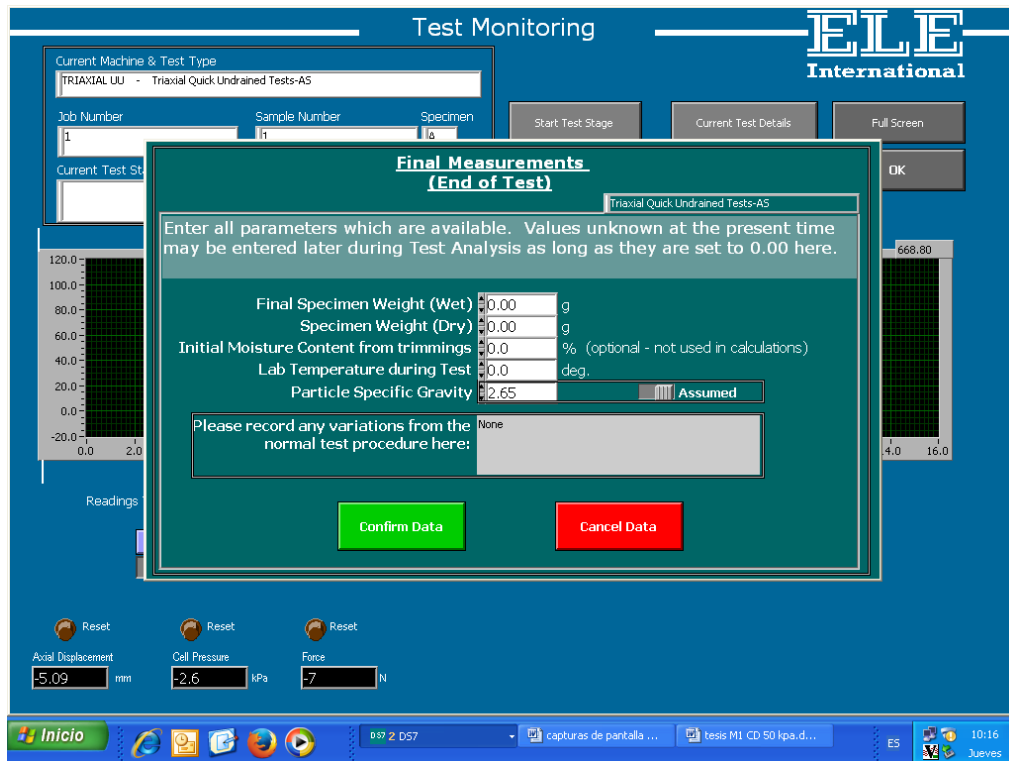
Second Increments (segundo incremento). - para los segundos incrementos se podrá escoger valores de 1% en función de la altura de muestra que está citado en la norma ASTM D 2850 – 15 en el inciso 7.6.

Calculate Sample rate (Calcular frecuencia de muestreo). - presionando este botón obtendremos los resultados de los datos ingresados anteriormente en función a la altura del espécimen.

Es aconsejable que se reinicie los transductores de fuerza y desplazamiento.

Figura 27

Final Measurements, ensayo no consolidado no drenado - UU



Nota. En la figura se presenta la ventana de finalización de ensayo y se deberá ingresar los datos finales de espécimen. Elabora por: Los autores.

Es una ventana que se muestra después de haber finalizado cualquier ensayo siendo estos ensayos, no consolidado no drenado (UU), consolidado no drenado (CU) y consolidado drenado (CD).

Final specimen Weight (wet). - peso final del espécimen húmedo.

specimen weight (dry). - peso final del espécimen seco, después de haber secado en el horno durante 24 horas

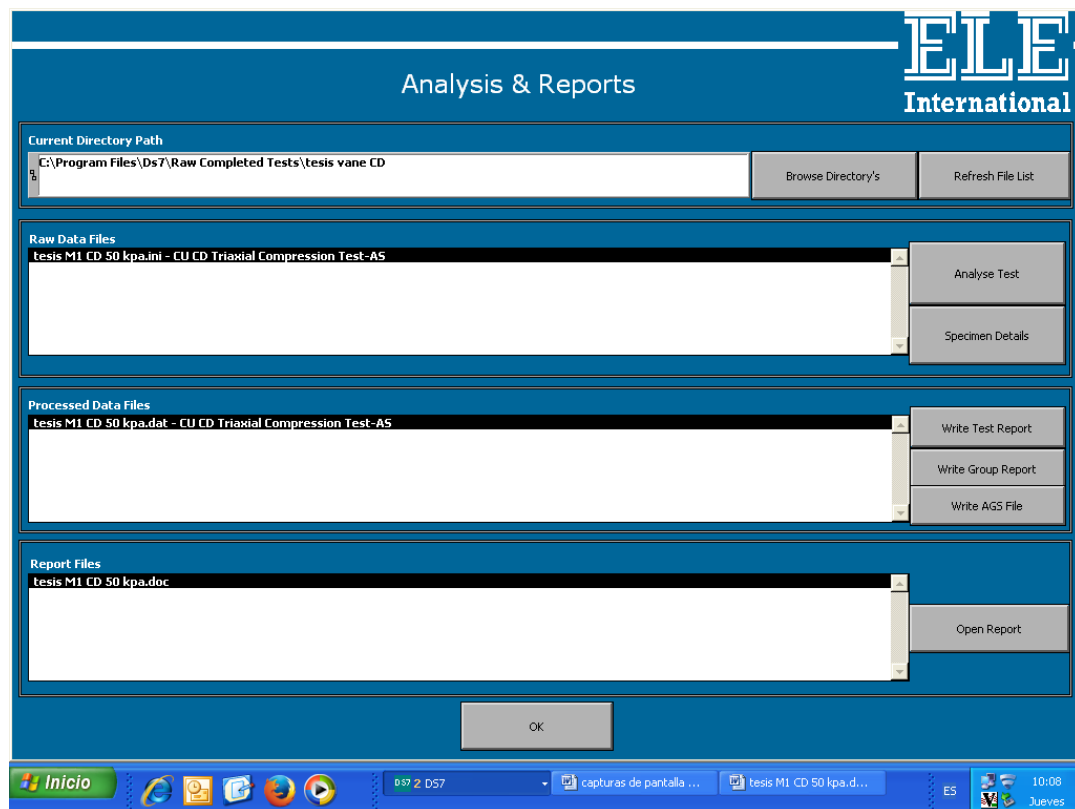
Initial moisture content from trimmings. - contenido de humedad antes de realizar el ensayo

Lab temperature during test. - temperatura ambiente a la que fue hecho el ensayo

Particle specific gravity. - gravedad específica.

Figura 28

Generación de reporte de ensayo UU



Nota. En la figura se presenta la ventana para generar los reportes del ensayo realizado.

Elaborado por: Los autores.

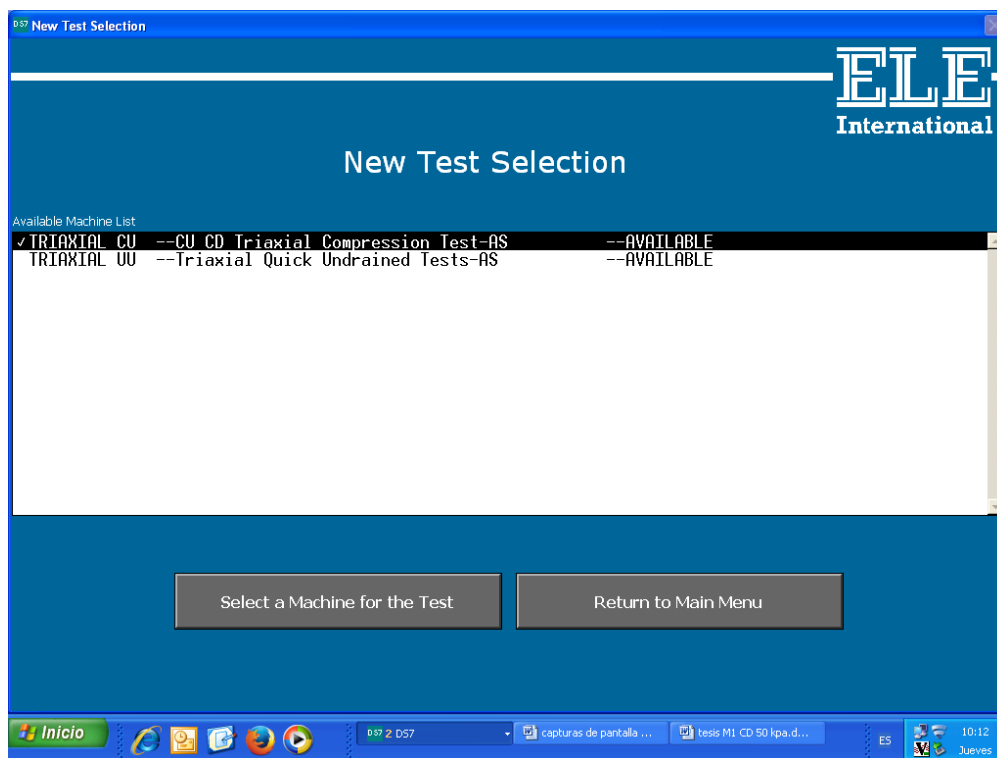
Se deberá escribir la ruta donde se guardó el archivo y se presionara "Enter", luego se presionará el botón "Refresh File List" y se obtendrá un archivo dentro de la ventana "Raw Data

Files”. Se presionará el botón “Analyse Test” para generar un archivo dentro de la ventana “Processed Data Files”, posteriormente se presionará el botón “Write Test Report” y se obtendrá un archivo en la ventana “Report Files” en donde se podrá visualizar todos los datos del ensayo ya tabulados y con gráficas incluidas.

La opción “Write Group Report” realiza la función de generar un solo reporte en conjunto de dos o más ensayos obteniendo la gráfica de los círculos de Mohr.

Figura 29

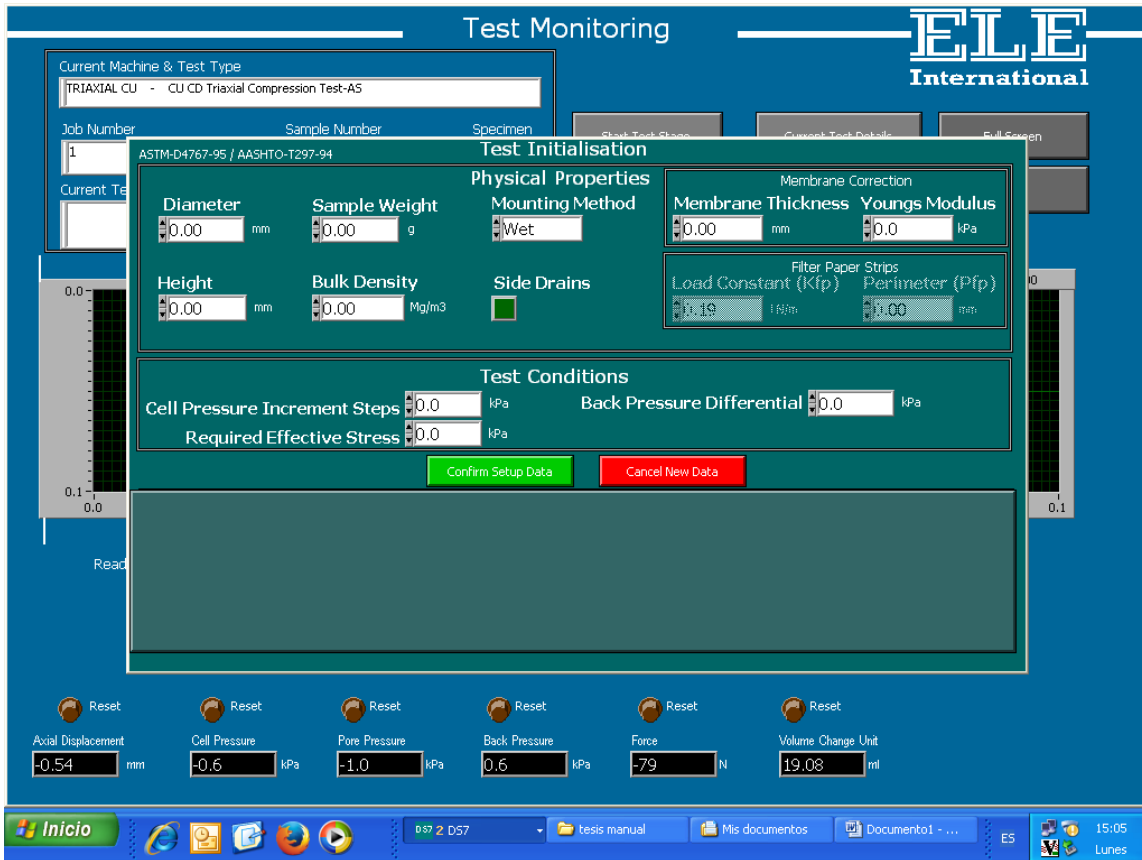
Ensayo consolidado no drenado CU y consolidado drenado CD, test monitoring



Nota. En la figura se presenta la interface para seleccionar un test específico (consolidado no drenado - CU, consolidado drenado - CD) a realizarse, esta opción se activa después de pulsar en el botón New Test. Elaborado por: Los autores.

Figura 30

Test Initialisation, ensayos consolidados no drenados – (CU) y consolidado drenado – (CD)



Nota. En la figura se presenta la ventana de instalación, donde se insertarán las propiedades físicas del espécimen. Elaborado por: Los autores.

Se seleccionará el botón “start test” y aparecerá la siguiente pantalla en donde se deberá ingresar los siguientes datos.

Diameter (diámetro). - se deberá ingresar el diámetro promedio del espécimen en milímetros

Sample Weight (masa de la muestra). - se deberá ingresar la masa de la muestra en gramos.

Height (altura). - se deberá ingresar la altura de la muestra en milímetros.

Bulk Density (densidad de muestra). – esta pestaña se calculará automáticamente y mostrará en unidades de mega gramos sobre metro cúbico o su conversión sería igual a gramos sobre centímetro cúbico.

Membrane Thickness (espesor de membrana). - aquí se deberá ingresar el espesor de membrana que mide alrededor de 0.36 milímetros.

Youngs Modulus (módulo de Young). - aquí se ingresará el Módulo de Young de la membrana el cual deberá ser determinado en laboratorio mediante el procedimiento estipulado en la norma ASTM 2850 -15 en el inciso 8.8.1, aunque también se podrá ingresar un valor típico de 1400 kPa o 203 lb/in² que también se encuentra dentro de la norma en el mismo inciso.

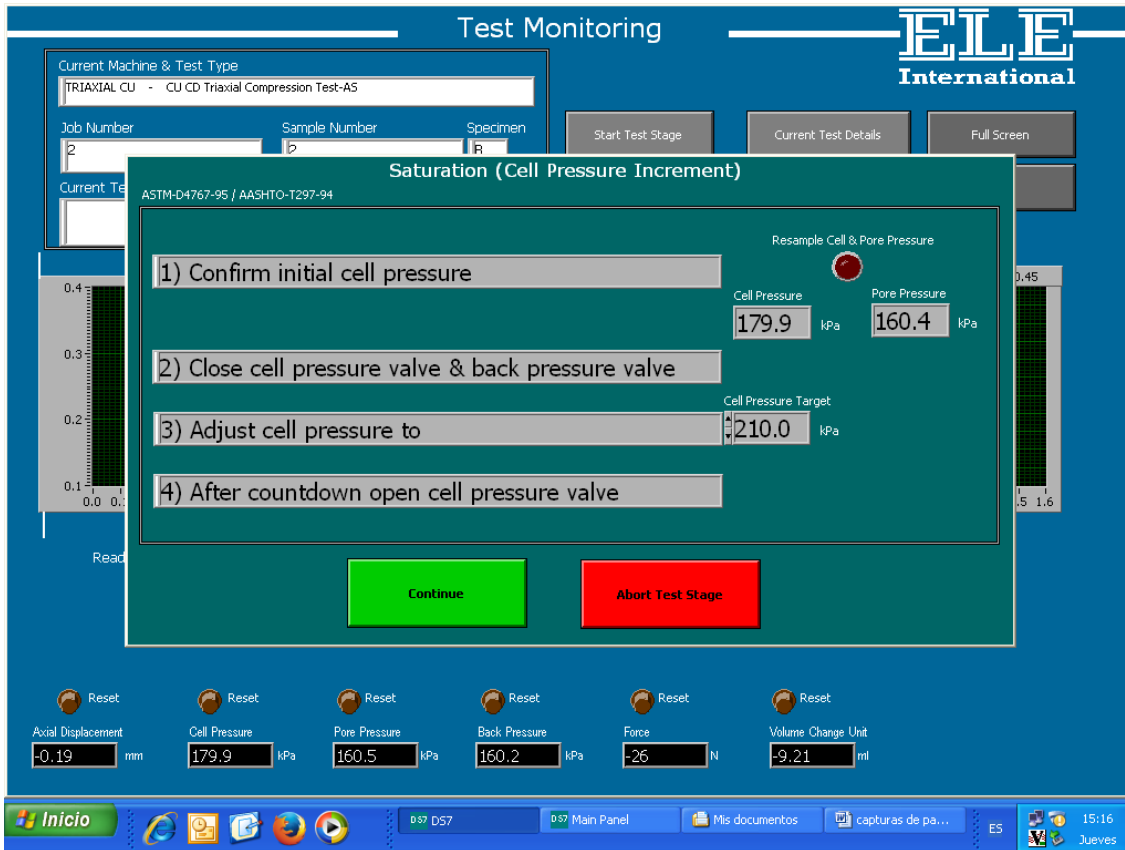
Cell pressure increments steps (Paso de incremento de presión de celda). – se introducirá el paso de incremento de cámara en kPa, para llegar a la saturación del espécimen.

Required effective stress (Esfuerzo efectivo requerido). – se introducirá el esfuerzo efectivo de consolidación en kPa.

Back pressure diferencial (Diferencial de contrapresión). - se introducirá el diferencial de contrapresión en kPa, con un diferencial máximo de 35 kPa.

Figura 31

Saturación de ensayo CU y CD

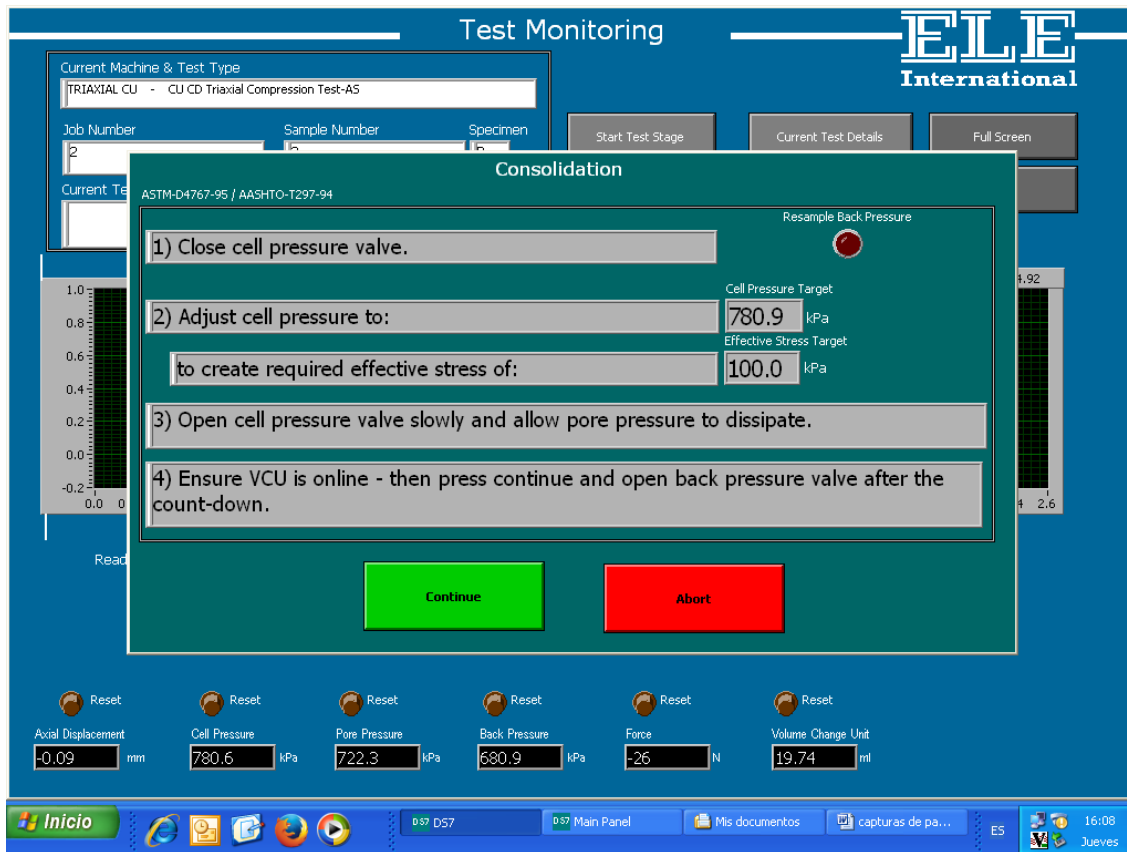


Nota. En la figura se presenta la ventana donde se enumera los pasos a seguir para la saturación de muestra. Elaborado por: Los autores.

En la ventana de Saturation (Cell Pressure Increment) se deberá seguir los pasos numerados para aumentar la presión y contrapresión en la celda triaxial, hasta llegar a la saturación del espécimen.

Figura 32

Consolidación de ensayo CU y CD

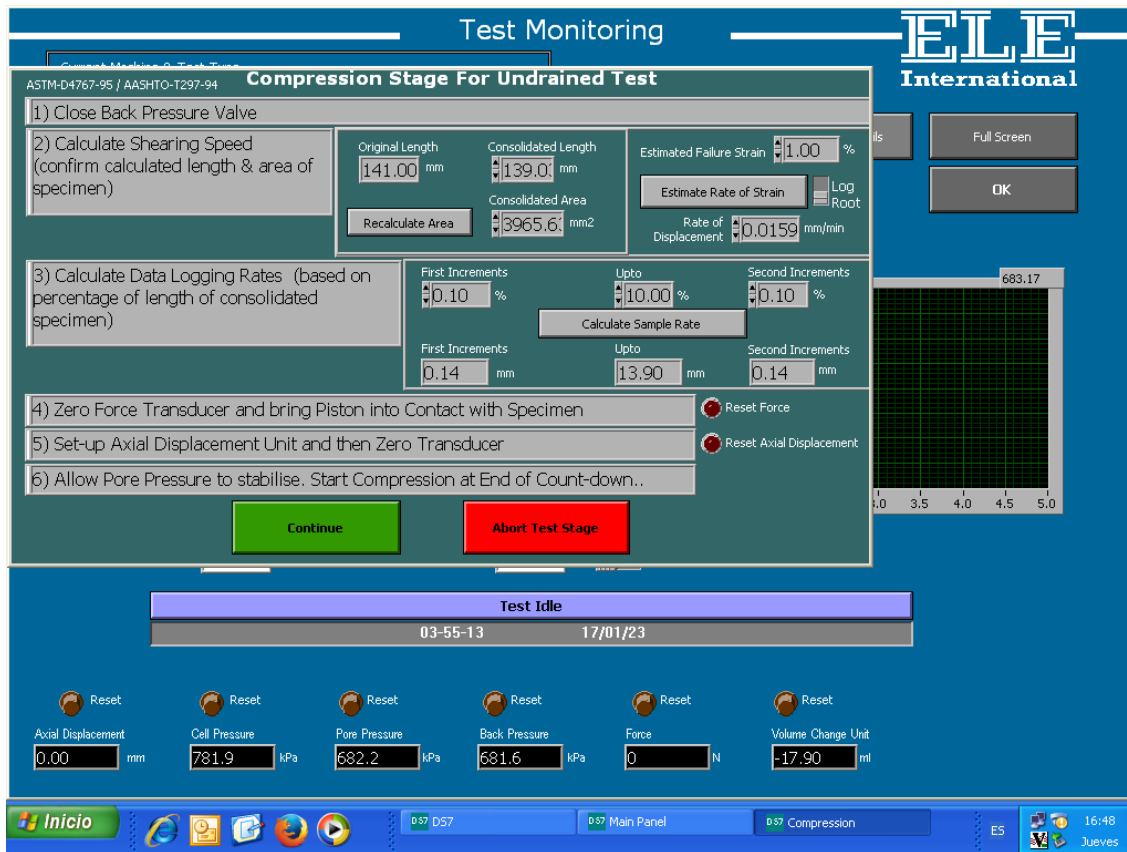


Nota. En la figura se presenta la ventana donde se enumera los pasos a seguir para el proceso de saturación de muestra. Elaborado por: Los autores.

Se debe tomar en cuenta que el transductor de volumen debe estar en línea, es decir la válvula "B" en posición arriba o abajo según la posición en la que se encuentre el pistón, y la válvula "A" vertical en posición cerrado, esto con el fin de medir la cantidad de volumen de líquido expulsado por la muestra, si no se toma en cuenta este procedimiento lo más probable es que no se pueda calcular los parámetros t_{90} de y t_{50} de Casagrande.

Figura 33

Ensayo CU y CD



Nota. En la figura se presenta la ventana de configuración los parámetros de compresión para el espécimen. Elaborado por: Los autores.

Original Length. - aparecerá de forma automática la altura original del espécimen según los datos digitados al inicio.

Consolidated Length. - se deberá calcular la altura de consolidación de muestra en función a la lectura del cuadro del transductor de desplazamiento antes de ser reiniciado y se ingresará la nueva altura.

Estimated failure strain. - se deberá digitar un valor de deformación estimado de falla que aproximadamente puede ser el 4% aunque se puede poner valores diferentes según el material del espécimen.

Estimate Rate of Strain. - pulsaremos en este botón para generar la gráfica de consolidación y poder encontrar los parámetros t_{50} y t_{90}

Recalculate Area.- se debe presionar este botón para calcular la nueva área de consolidación del espécimen.

Rate of Displacement (Tasa de desplazamiento). - la tasa de desplazamiento se calcula en función de la norma ASTM D2850 -15 en el inciso 7.5, nos indica que se usará una velocidad aproximada de 0.3 a 1 % / min o simplemente se podrá calcular la tasa de deformación aplastando el botón "Calculate Rate of Strain".

First Increments (Primer incremento). - aquí se ingresará los incrementos de lectura en los primeros instantes o hasta llegar a un punto cercano de falla en función a la altura de la muestra, los valores recomendados por la norma ASTM D 7181 - 20 en el inciso 9.5.2.1, menciona que se podrán hacer incrementos de 0.1%.

Upto (Hasta). - aquí se deberá ingresar el valor en porcentaje aproximado en el que podrá fallar la muestra, según la sugerencia de la norma ASTM D7181 - 20 en el inciso 9.5.2.1, se podrá escoger un valor de 1%.

Second Increments (segundo incremento). - para los segundos incrementos se escogerá el valor de 1% citado en la norma ASTM D 7181-20 en el inciso 9.5.2.1.

Calculate Sample rate (Calcular frecuencia de muestreo). - presionando este botón obtendremos los resultados de los datos ingresados anteriormente en función a la altura del espécimen.

Rate of displacement. - aquí se debe ingresar el valor de la velocidad el cual será calculada según la siguiente fórmula:

Esta fórmula se usará para el ensayo consolidado no drenado (CU).

$$\varepsilon = \frac{4\%}{10 * t_{50}}$$

Esta fórmula se usará para el ensayo consolidado drenado (CD).

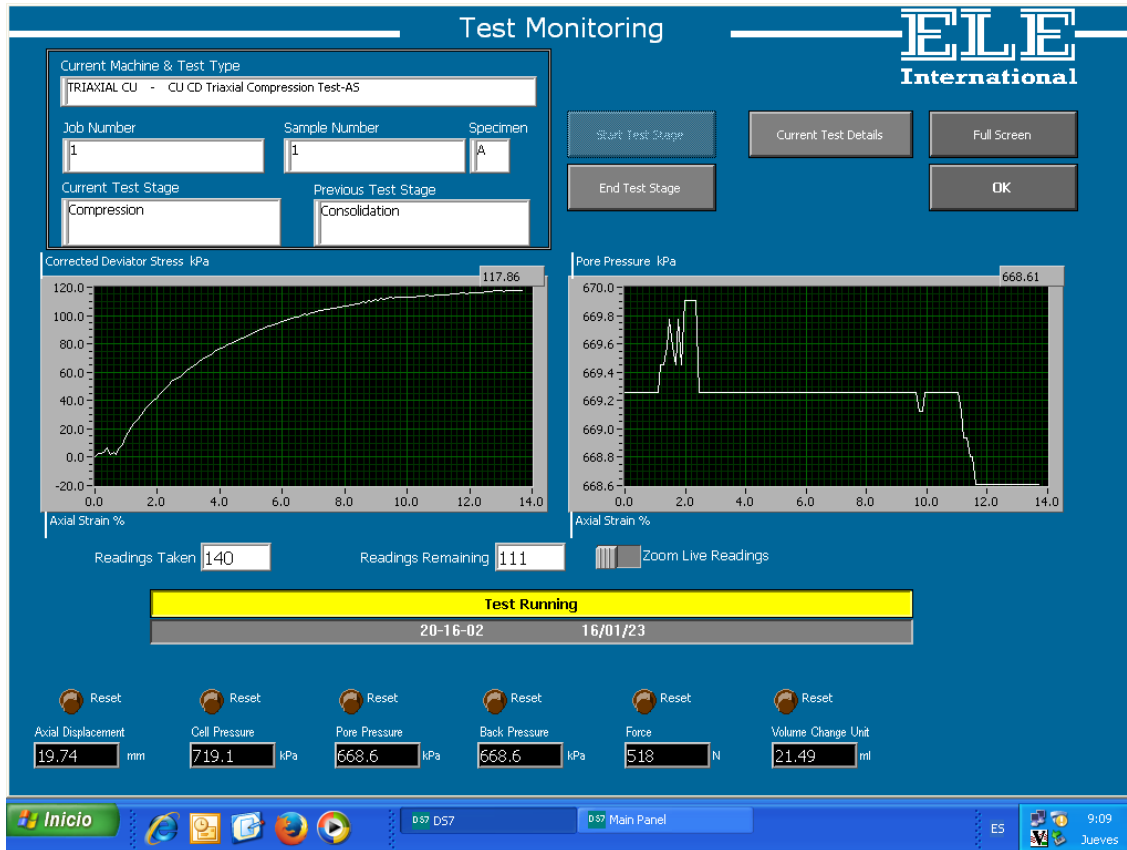
$$\varepsilon = \frac{4\%}{10 * t_{90}}$$

Después de la configuración anterior es en este punto donde se decidirá si el ensayo es drenado o no drenado, para que el ensayo sea drenado se deberá abrir la válvula del transductor de contrapresión para que drene el líquido de la muestra de lo contrario si el ensayo es no drenado esta válvula deberá estar completamente cerrada.

Es aconsejable reiniciar los transductores de fuerza y desplazamiento

Figura 34

Ensayo CU y CD



Nota. En la figura se presenta las ventanas de lectura del ensayo a compresión del espécimen. Elaborado por: Los autores.

En la gráfica de esfuerzo desviador corregido se mostrará una curva ascendente que será tratada de la siguiente manera, la curva deberá llegar hasta un 15% del porcentaje del esfuerzo axial esto para materiales de tipo elástico, y para materiales frágiles se deberá ensayar hasta que decaiga un 20% del esfuerzo pico.

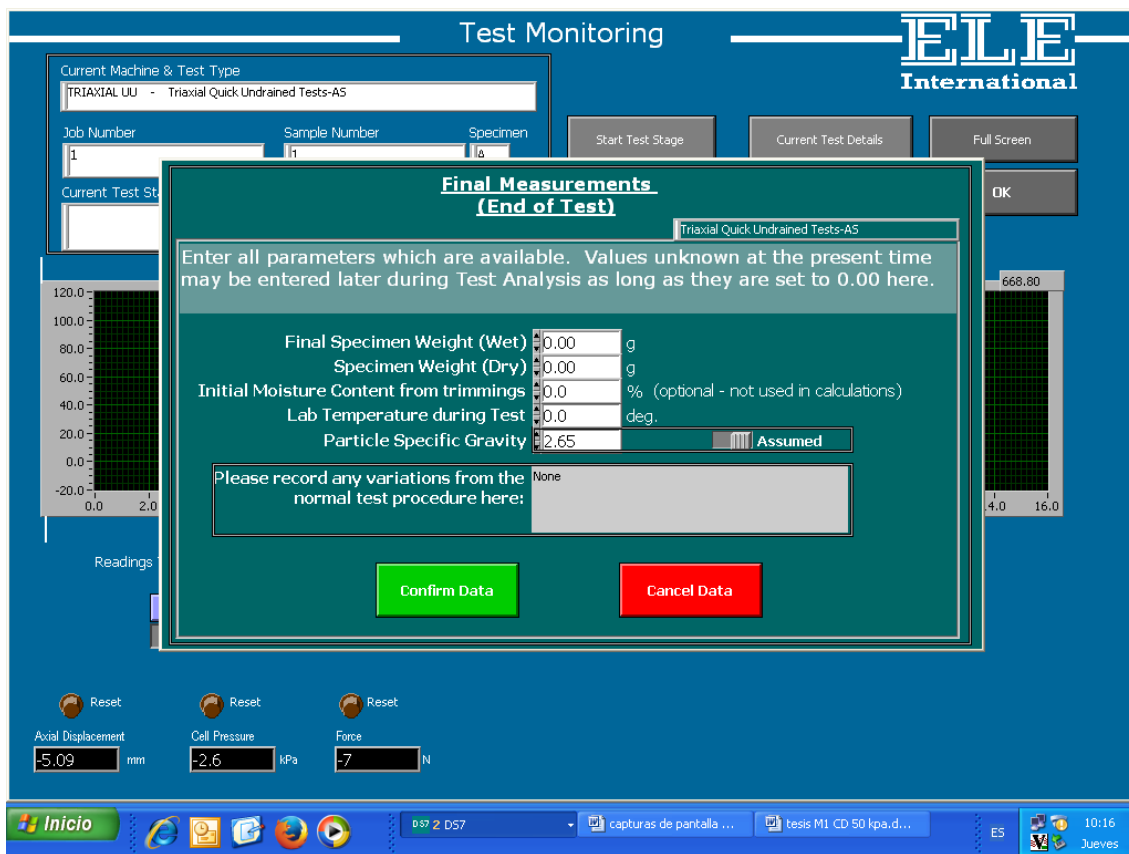
Para la gráfica de la presión de poro se tiene dos criterios;

Ensayo drenado. - la curva deberá ser lo más horizontal posible sin que esta varíe más de 5% si existiera variaciones mayores a este valor se deberá programar una velocidad más baja en el “Marco test 50 “.

Ensayo no drenado. - la curva será de forma ascendente donde marcará el incremento de presión de poro o presión intersticial.

Figura 35

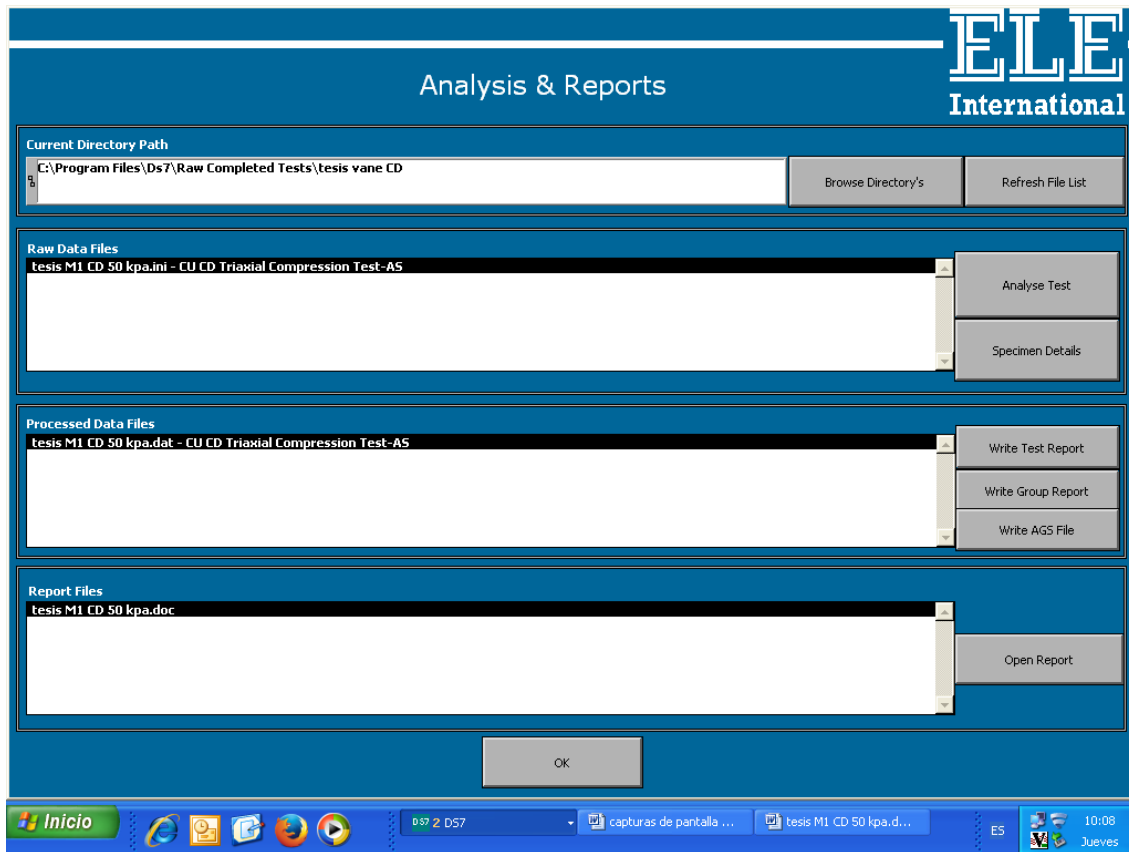
Finalización de ensayo CU y CD



Nota. En la figura se presenta la ventana donde se ingresará los valores finales del espécimen. Elaborado por: Los autores.

Figura 36

Obtención de reporte CU y CD



Nota. En la figura se presenta la ventana donde se realizará los reportes automáticos de los ensayos realizados. Elaborado por: Los autores.

4.5 Obtención de calicatas y tallado de espécimen para el ensayo triaxial

4.5.1 Preparación de probetas a partir de muestras en campo

La muestra fue obtenida en la provincia de Pichincha, cantón Quito, sector sur (Guamaní, barrio la Victoria). Se obtuvo en campo un cubo de 35 x 35 x 35 cm el cual fue embalado con plástico y cinta de embalaje de tal forma que no pierda sus condiciones de humedad in situ.

Figura 37

Vista del terreno



Nota: En la figura se indica el desbroce y movimiento de la capa vegetal en el terreno donde se obtuvo la muestra de suelo. Elaborado por: Los autores.

Figura 38

Calicata y toma de muestra



Nota: En la figura se indica un cubo de la muestra de suelo in situ. Elaborado por: Los autores.

Las muestras de suelo se debe extraer con máximo cuidado, puesto que estas deben conservar sus condiciones in situ como por ejemplo la humedad, esfuerzos y disposición de las partículas de suelo.

Figura 39

Bloque de suelo inalterado



Nota: En la figura se indica la muestra de suelo inalterado, en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Politécnica Salesiana. Elaborado por: Los autores.

Una vez obtenido el bloque de suelo inalterado se procede al tallado manual de los especímenes, el mismo que será realizado mediante probetas con una relación 2:1

Paso 1: Realizar varios cortes al cubo de suelo, de tal manera que vaya quedando un fragmento cilíndrico para posteriormente desmontarlo fuera del bloque y tallarlo, todo eso se realizará con la ayuda de un cúter.

Figura 40

Extracción de un fragmento cilíndrico para el tallado



Nota: En la figura se indica el corte del suelo con el cúter. Elaborado por: Los autores.

Paso 2: Se inicia el proceso de tallado con la ayuda de una probeta cilíndrica cuyas dimensiones son 70 cm de ancho y 140 cm de alto; se va cortando y retirando el suelo sobrante en el extremo inferior y en los lados hasta que el espécimen quede dentro de la probeta.

Figura 41

Tallado de muestras



Nota: En la figura se indica el espécimen dentro de la probeta durante el tallado.

Elaborado por: Los autores.

Paso 3: Se corta y se retira el suelo sobrante en el extremo superior y se saca el espécimen de la probeta. Se debe tener presente cual es la cara superior del suelo.

Figura 42

Muestra tallada



Nota: En la figura se indica el espécimen tallado fuera de la probeta. Elaborado por: Los autores.

Paso 4: Se coloca el espécimen dentro de fundas plásticas y se las sella bien, de tal manera que la muestra no pierda propiedades naturales antes de ser ensayada.

Figura 43

Muestra sellada



Nota: En la figura se indica el espécimen colocado en funda plástica. Elaborado por: Los autores.

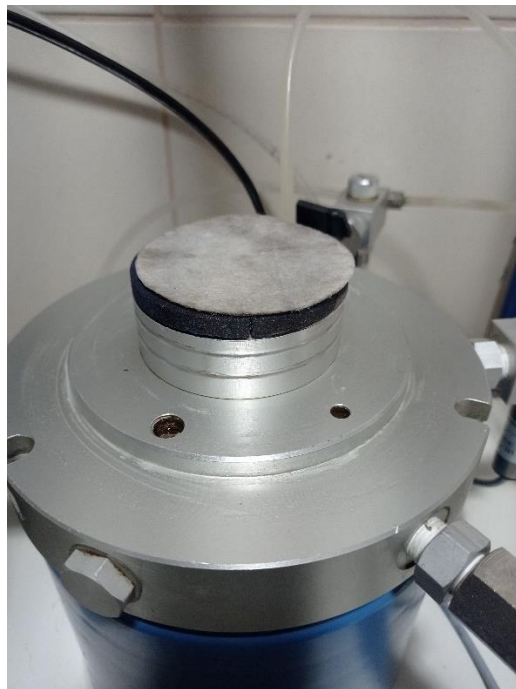
4.6 Montaje de muestra

El montaje del espécimen se debe hacer de forma ordenada y con el mayor cuidado tratando de evita golpes y evitando posibles fisuraciones, como sugerencia se planteará un listado de pasos a seguir para un montaje adecuado.

Paso 1: se debe colocar la primera lámina de papel filtro, seguidamente se colocará la piedra porosa y posteriormente se deberá colocar la segunda lámina de papel filtro, todo esto se realiza sobre el cabezal inferior.

Figura 44

Montaje elementos filtrantes inferiores



Nota: En la figura se muestra la colocacion de los elementos filtrantes sobre el cabezal inferior. Elaborado por: Los autores.

Paso 2: se coloca la membrana dentro del tubo de succión de membrana y se procede acomodar el borde superior de ésta de tal manera que rodee y selle el tubo de succión de membrana, de la misma forma se debe hacer con el borde inferior.

Figura 45

Instalación de membrana

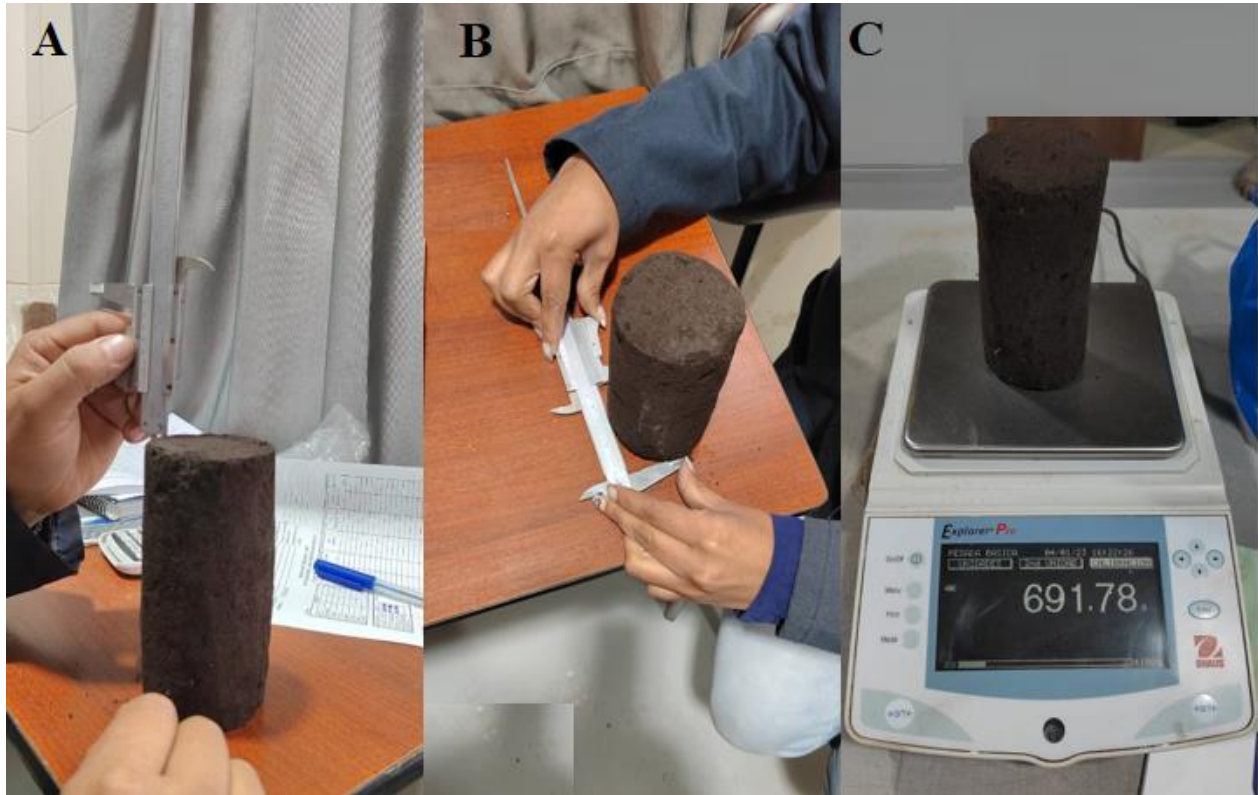


Nota: En la figura A se muestra la colocación de la membrana dentro del tubo succionador y en la figura B se muestra la membrana ya instalada en el tubo succionador. Elaborado por: Los autores.

Paso 3: se debe tomar los datos de las propiedades físicas del espécimen: el peso en gramos con una apreciación de 0.01 gramos, tres dimensiones del diámetro es decir en la parte superior, mitad y base, y su altura, estas medidas serán en milímetros, la medida será tomada con un calibrador pie de rey que tenga una apreciación de 0.02 milímetros.

Figura 46

Recolección de datos físicos de muestras



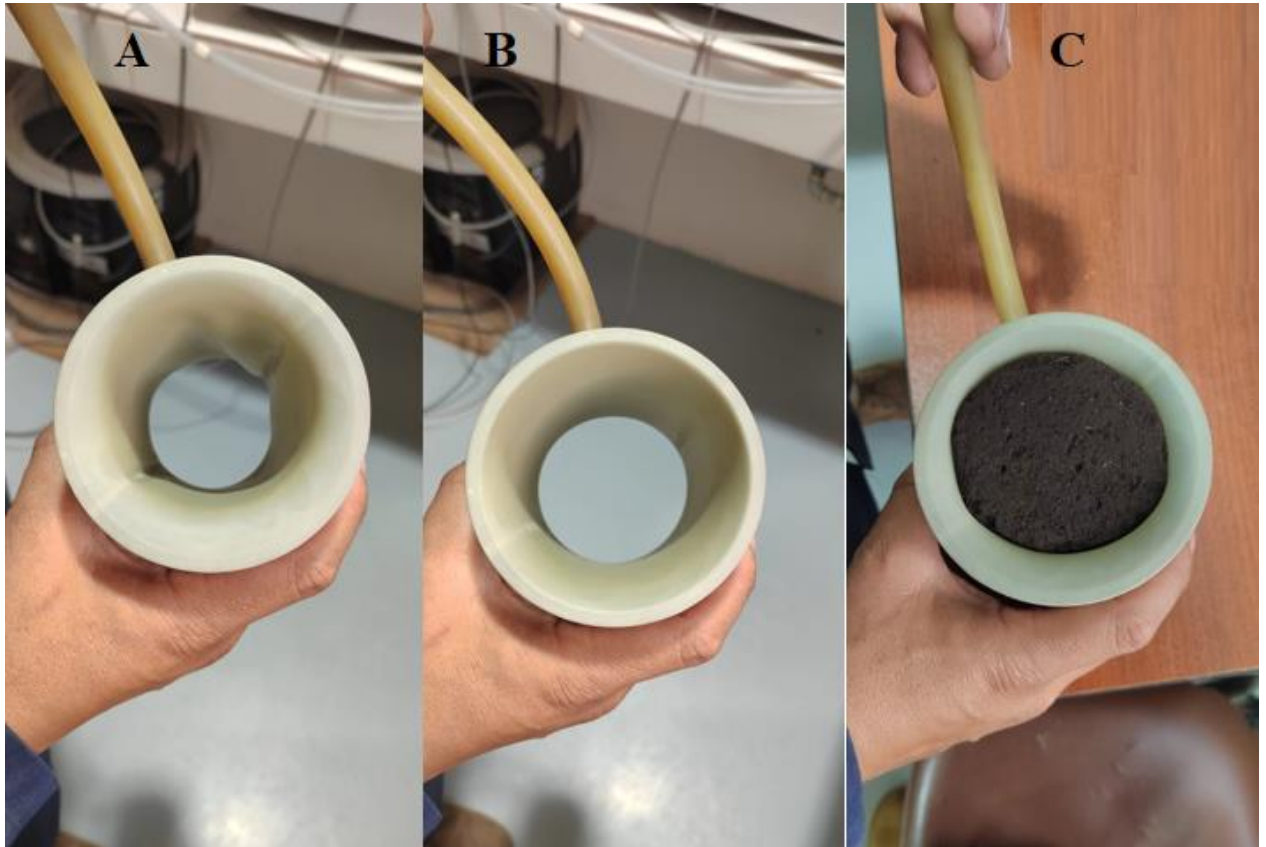
Nota: En la figura se muestra la forma de tomar los datos físicos del espécimen.

Elaborado por: Los autores.

Paso 4: se debe crear vacío dentro del tubo de succión de membrana hasta que se pegue la membrana en la pared interna del tubo de succión, posteriormente se introducirá el espécimen dentro de la membrana succionada y se soltará la manguera de vacío con el fin de sujetar el espécimen con la membrana.

Figura 47

Montaje de muestra dentro de membrana



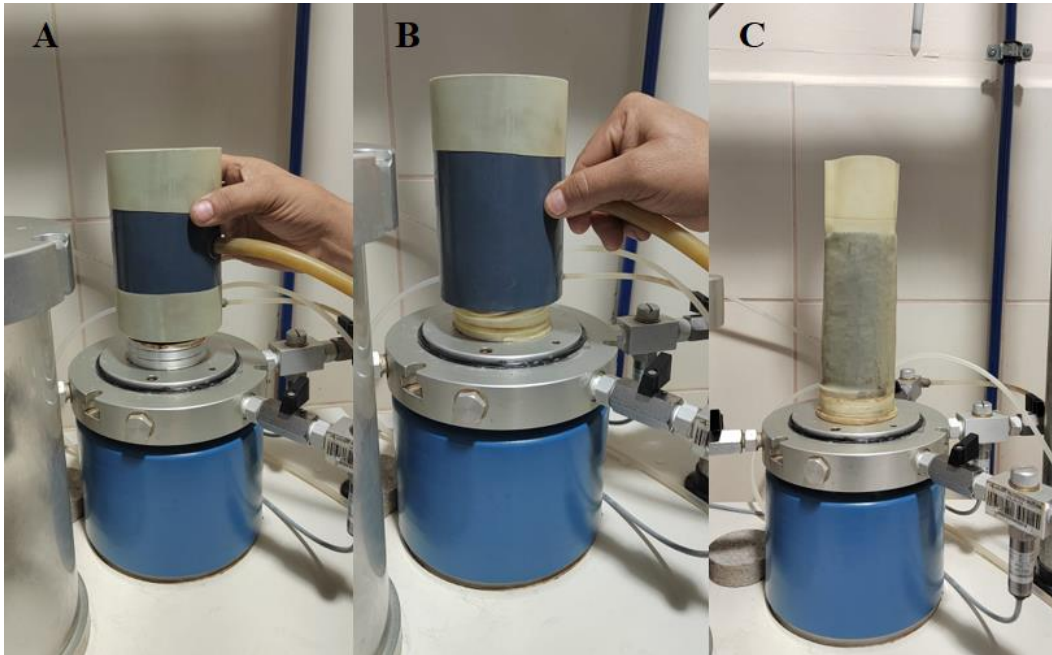
Nota: En la figura se muestra la colocacion del espécimen dentro de la membrana.

Elaborado por: Los autores.

Paso 5: se colocará el espécimen sobre la piedra porosa y papel filtro ya colocados en el paso 1, se procede a instalar el papel filtro y la piedra porosa en la parte superior del espécimen y se soltará los dos extremos de la membrana del tubo de succión para que éste se libere y poder extraerlo.

Figura 48

Montaje de muestra sobre el cabezal



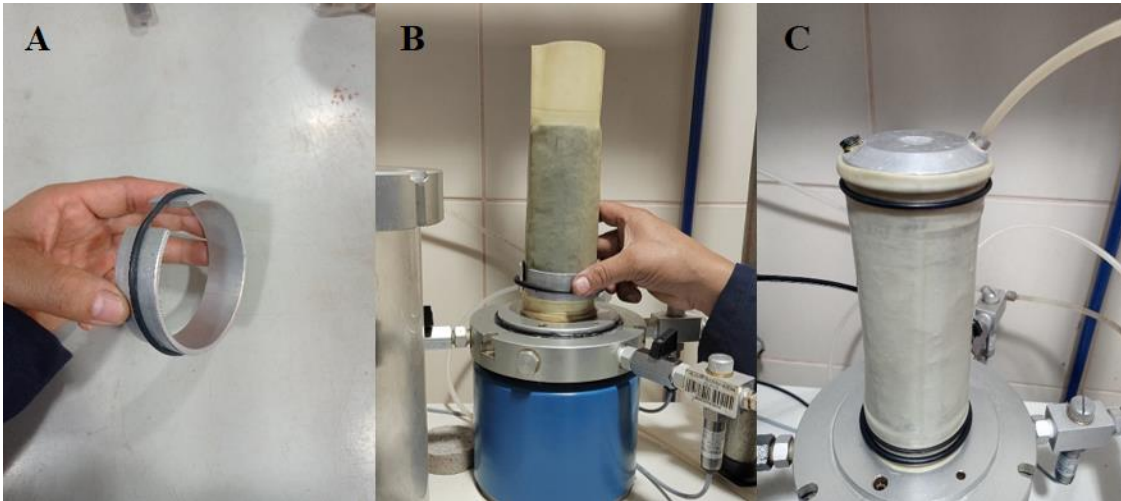
Nota: En la figura se muestra la colocacion del espécimen sobre el cabezal inferior.

Elaborado por: Los autores.

Paso 6: preparamos los o rings colocándoles en el expansor de o ring para posteriormente llevarlos a la parte inferior del espécimen y que estos compriman la membran sellando herméticamente, repetimos el mismo procedimiento en la parte superior, pero adicionando el cabezal superior sobre el espécimen y luego colocando los o rings.

Figura 49

Colocación de o rings



Nota: En la figura se muestra la colocación de o rings en el cabezal inferior y superior.

Elaborado por: Los autores.

Paso 7: se coloca la celda triaxial cuidadosamente sin que el transductor de fuerza choque o golpee la parte superior del espécimen y procedemos a sujetar la celda triaxial con los tres ejes roscados.

Figura 50

Colocación de celda triaxial



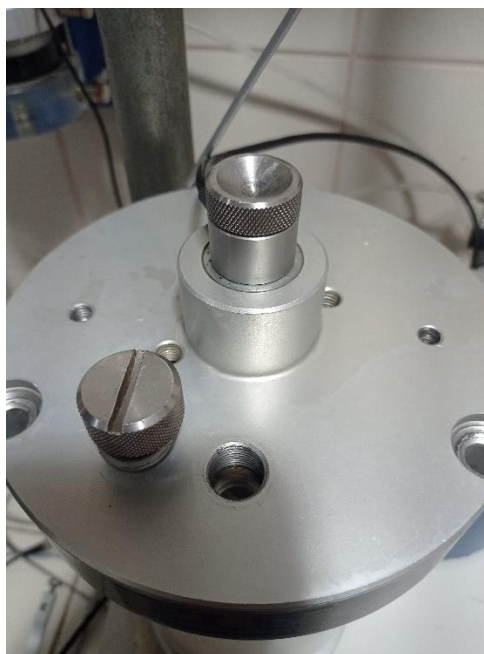
Nota: En la figura se muestra la colocacion de celda triaxial y sujeción de la misma.

Elaborado por: Los autores.

Paso 8: se debe retirar el tornillo de purga para el posterior llenado de líquido en la celda triaxial. Procedimiento de llenado de celda triaxial; ver en el apartado 4.10.

Figura 51

Tornillo de purga retirado



Nota: En la figura se muestra el tornillo de purga fuera de su sitio con el fin de purgar el sistema de solda. Elaborado por: Los autores.

4.7 Remoldeo de muestras de suelo

Para realizar el remoldeo de especímenes reconstituidos o compactados se deberá tomar en cuenta el siguiente procedimiento en función a la norma ASTM D 2850 – 15 en el inciso 6.3:

Primero. - la muestra de suelo a ser compactado se le podrá agregar agua hasta llegará a un contenido de agua deseado.

Segundo. - si a la muestra se le agrega agua esta deberá ser almacenada y tapada durante al menos 16 horas antes de la compactación.

Tercero. - la compactación se deberá realizar en un molde partido o de media caña y se podrá realizar la compactación con al menos 6 capas que serán calculadas en función al volumen del cilindro de media caña que se disponga en el laboratorio.

Cuarto. - el pistón de compactación a usar deberá tener un diámetro igual o menor a la mitad del diámetro de la muestra a compactar.

4.8 Procedimientos puntuales detallados para manejo de equipo triaxial

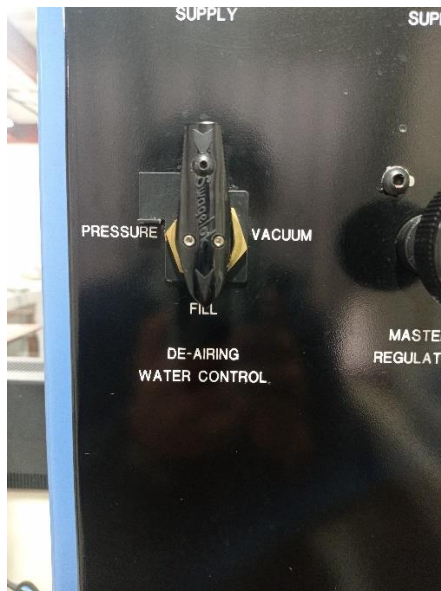
4.8.1 Llenado de tanque de desaireación

Paso 1.- tener una fuente de agua externa de preferencia debe ser agua destilada para prevenir la sedimentación de partículas extrañas dentro del tanque de desaireación.

Paso 2.- colocar la perilla de control para tanque de desaireación en la posición “Fill”

Figura 52

Perilla de control de tanque de desaireación en posición Fill

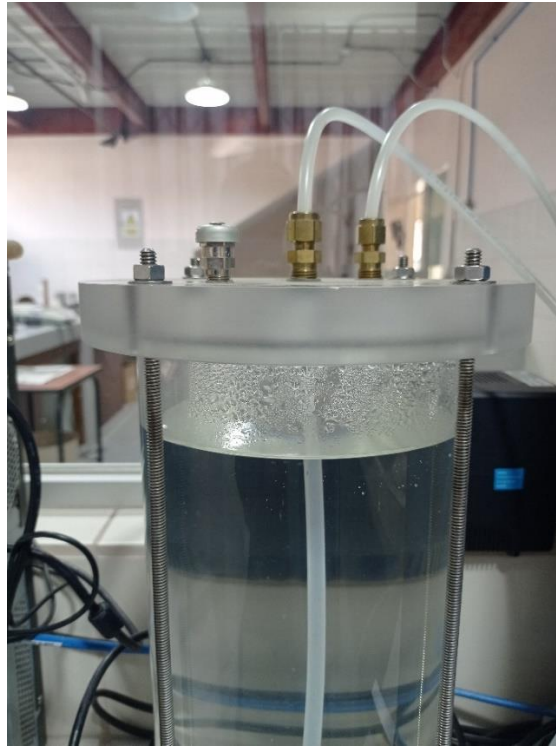


Nota: En la figura se muestran la perilla en la posición Fill. Elaborado por: Los autores.

Paso 3.- dejar llenar el tanque hasta que su nivel de agua llegue a una pulgada o 2.5 centímetros de su nivel superior.

Figura 53

Tanque de desaireación lleno



Nota: En la figura se muestra el tanque de desaireacion hasta su límite lleno. Elaborado por: Los autores.

Paso 4.- al finalizar el llenado del tanque de desaireacion la perilla de control del mismo se debe regresar a la poscicion “Vent”.

Figura 54

Perilla de control de tanque de desaireación en posición Vent



Nota: En la figura se muestran la perilla en la posición “Vent”. Elaborado por: Los autores.

4.8.2 Desaireación del tanque

Paso 1.- conectar la bomba de vacío en el acople rápido de tipo vacuum

Figura 55

Colocación de manguera de bomba de vacío

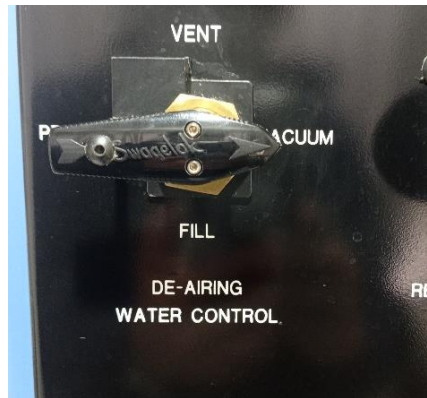


Nota: En la figura se muestra donde debe ir conectada la manguera de bomba de vacío en el tablero tri – flex 2. Elaborado por: Los autores.

Paso 2.- colocar la perilla de control para tanque de desaireación en la posición “Vacuum”

Figura 56

Perilla de control de tanque de desaireación en posición “Vacuum”



Nota: En la figura se muestra la perilla en la posición “Vacuum”. Elaborado por: Los autores.

Paso3.- encender la bomba de vacío

Paso 4.- se debe dejar desairear el agua interna del tanque en periodos de 15 minutos y se dejará en reposos por al menos 5 minutos, este procedimiento se debe repetir hasta que las burbujas de aire dejen de salir del agua que contiene el tanque de desaireación.

Paso 5.- al finalizar el llenado del tanque de desaireacion la perilla de control del mismo se debe regresar a la posición “Vent”.

4.8.3 Llenado de buretas

Paso 1.- verificar que el tanque de desaireación contenga más del 50 % de líquido en su interior y que la misma se encuentre desaireada.

Paso 2.- colocar la perilla de control para tanque de desaireación en la posición “Pressure”

Figura 57

Perilla de control de tanque de desaireación en posición “Pressure”



Nota: En la figura se muestran la perilla en la posición “Pressure”. Elaborado por: Los autores.

Paso 3.- verificar que la perilla de control de entrada de bureta se encuentre en la posición “Vent”

Figura 58

Perilla de control de entrada de bureta en posición “Vent”



Nota: En la figura se muestra la perilla en la posición “Vent”. Elaborado por: Los autores.

Paso 4.- colocar la perilla de control de salida de bureta que esté la posición “Fill”

Figura 59

Perilla control de salida de bureta en posición “Fill”



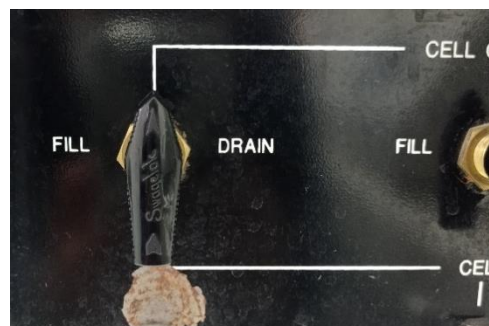
Nota: En la figura se muestra la perilla en la posición “Fill”. Elaborado por: Los autores.

Paso 5.- dejar llenar la bureta hasta el nivel deseado o como sugerencia se debe llenar hasta el nivel de línea cero señaladas en la bureta interior graduada.

Paso 6.- regresar la llave de control de salida de bureta a la posición “CELL OPERATE” y de igual forma la perilla de control principal de tanque de desaireación en la posición “Vent”.

Figura 60

Perilla control de salida de bureta en posición “Cell Operate”



Nota: En la figura se muestra la perilla en la posición “Cell Operate”. Elaborado por: Los autores.

4.8.4 Desaireación de buretas

Paso 1.- verificar que las buretas contengan líquido en su interior, de no existir líquido se debe verificar el procedimiento en el apartado 4.8.3

Paso 2.- conectar la bomba de vacío en el acople rápido de tipo vacuum

Paso 3.- colocar la perilla de control de entrada de bureta en la posición “Vacuum”

Figura 61

Perilla control de entrada de bureta en posición “Vacuum”



Nota: En la figura se muestra la perilla en la posición “Vacuum”. Elaborado por: Los autores.

Paso 4.- se recomienda desairear las buretas por al menos 15 minutos y dejar reposar por al menos 5 minutos, este procedimiento se deber realizar hasta que el agua que está dentro de las buretas deje de burbujear.

4.8.5 Purgado de transductor de cambio de volumen

Para el purgado del sistema de transductor de volumen se debe seguir los siguientes pasos:

Paso 1.- se debe verificar que la válvula “A” este en posición vertical y la válvula “B” este en posición horizontal.

Paso2.- conectar la línea en los acoples rápidos de suministro de agua señalado en el numeral 13 de la figura 8.

Paso 3.- dejar abierta la válvula de contra presión

Paso 4.- mover la válvula B del transductor de volumen hacia arriba y dejar que el pistón llegue a su carrera final superior, luego mover la válvula hacia abajo y dejar llegara al pistón hasta el final de su carrera inferior, esto se debe hacer abriendo los tornillos de purga suavemente, y repetir este procedimiento hasta observar que no existan burbujas de agua dentro del sistema.

CAPÍTULO V

RECOPIACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Granulometría

Tabla 1

Análisis granulométrico

Capsula N°		53			
Masa de Muestra Húmeda (g)		250,01			
Masa de Muestra Seca (g)		180,61			
Tamiz N°	Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Acumulada (g)	% Retenido Acumulado	% que pasa
N° 40	0,425	8,82	8,82	4,88	95,12
N°200	0,075	49,76	58,58	32,43	67,57

Nota: En la tabla se muestra los valores obtenidos después de haber tamizado el suelo seco. Elaborado por: Los autores.

5.2 Límites de Atterberg

Tabla 2

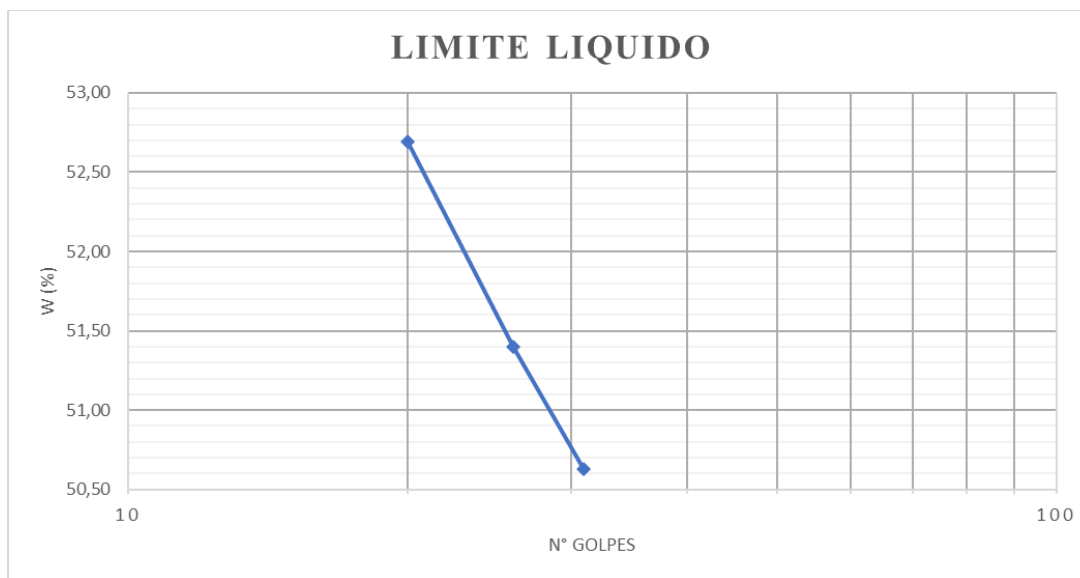
Límite líquido

Límite Líquido					
N° de Golpes	Capsula N°	Masa Capsula	Masa Capsula +M. Húmeda (g)	Masa Capsula + Masa Seca (g)	% Humedad
20	39	29,03	37,26	34,42	52,69
26	97	28,15	36,28	33,52	51,4
31	331+	27,22	33,23	31,21	50,63

Nota: En la tabla se muestra los valores de contenido de humedad luego de haber realizado el ensayo por la copa de Casagrande. Elaborado por: Los autores.

Figura 62

Gráfica de los puntos de limite liquido



Nota: En la gráfica se muestra los valores tabulados de la obtención del número de golpes vs el contenido de humedad. Elaborado por: Los autores.

Tabla 3

Límite plástico

Límite Plástico				
Capsula N°	Masa Capsula	Masa Capsula + M. Húmeda (g)	Masa Capsula + M. Seca (g)	% Humedad
11	21.62	23.47	22.96	38.06
48	21.23	22.52	22.17	37.23
70	21.03	23.44	22.76	39.31

Nota: En la tabla se muestra los valores obtenidos de humedad después de haber realizado el ensayo de limite plástico. Elaborado por: Los autores.

Tabla 4*Contenido de agua del suelo natural*

Contenido de Agua				
Capsula N°	Masa Capsula	Masa Capsula + M. Húmeda (g)	Masa Capsula + M. Seca (g)	% Humedad
45	27.89	68.52	57.33	38.01
317	27.43	71.26	59	38.83

Nota: En la tabla se muestra los valores obtenidos del contenido de humedad del suelo natural. Elaborado por: Los autores.

Tabla 5*Resumen de los límites de Atterberg*

Clasificación Manual visual	
Descripción	Es un suelo de color café oscuro con presencia de raíces
%H	38,42
LL	51,3
LP	38,2
IP	13,1

Nota: En la tabla se muestra los valores obtenidos después de haber tamizado el suelo seco. Elaborado por: Los autores.

5.3 Informe de acuerdo al programa DS7 del ensayo no consolidado no drenado (UU)

5.3.1 Muestra 1 ensayo no consolidado no drenado (UU)

Tabla 6

Detalles de prueba de la muestra 1

Test Details	
General description	Results
Standard	ASTM D2850-95 / AASHTO T296-94
Sample Type	Thin walled push in sample
Sample Description	
Variations from Procedure	None
Specific Gravity of Solids	2.65
Lab. Temperature	15.0 deg.C

Nota: Se presenta los detalles de la muestra 1 a ensayarse. Elaborado por: Los autores.

Tabla 7

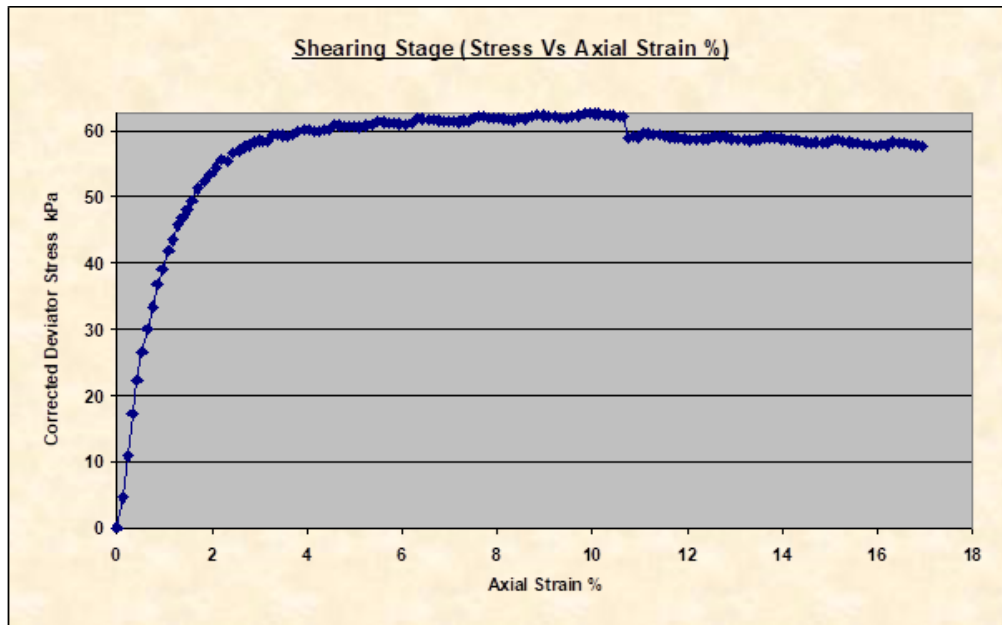
Detalles del espécimen de la muestra 1

General description	Results
Specimen Reference	A
Initial Height	140.00 mm
Initial Diameter	69.40 mm
Initial Dry Unit Weight	10.97 kN/m ³
Initial Moisture Content*	31.7% (trimmings: 1.0 %)
Void Ratio	1.37
Comments	
Stage Reference	1
Description	Suelo de Guamaní
Depth within Sample	20.00mm
Orientation within Sample	vertical
Preparation	Extraído de un bloque cúbico
Degree of Saturation	61.42%

Nota: Se presenta los detalles del espécimen 1 a ensayarse. Elaborado por: Los autores.

Figura 63

Etapa de corte de la muestra 1



Nota: Se presenta la relación deformación axial vs esfuerzo desviador corregido de la muestra 1, con las unidades de porcentaje y kilo Pascal respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Tabla 8

Condiciones de corte de la muestra 1

Shear Conditions	
General description	Results
Rate of Axial Strain	2.00%/min
Cell Pressure	45.6kPa

Nota: Se presenta, tasa de deformación en porcentaje y la presión de celda en kilo Pascal, del espécimen 1. Elaborado por: Los autores.

Tabla 9*Condiciones de falla de la muestra 1*

Conditions at Failure	
General description	Results
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress
Compressive Strength	62.2 kPa
Axial Strain	10.66%
Deviator Stress Correction Applied	3.10kPa
Final Unit Weight	14.45 kN/m ³
Major Principal Stress	107.7 kPa
Minor Principal Stress	45.6 kPa
Final Moisture Content	31.7 %

Nota: Se presenta el criterio de falla con el esfuerzo máximo desviador de la muestra 1.

Elaborado por: Los autores.

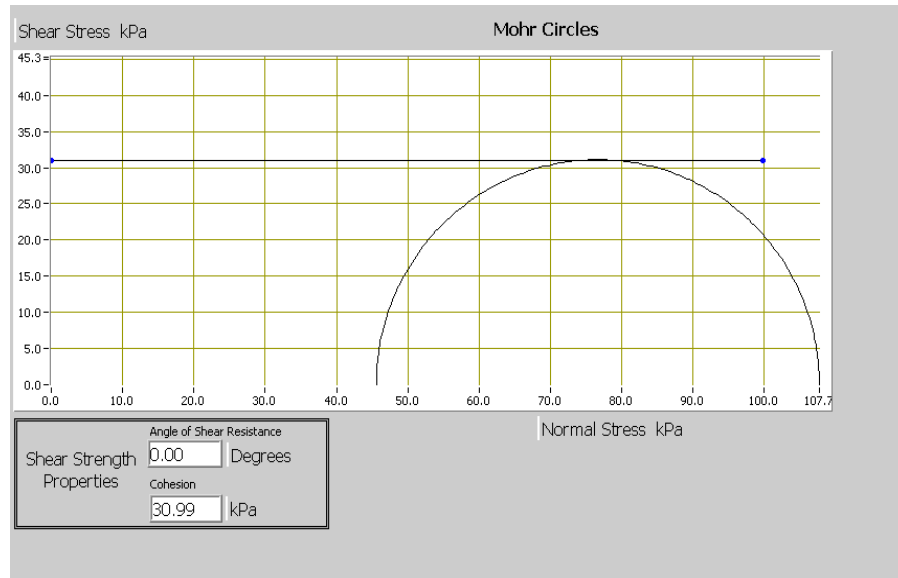
Tabla 10*Resumen de detalles del espécimen*

All Stages					
Conditions at Failure					
Ref	Minor Principal Stress	Major Principal Stress	Compressive Strength (Corrected)	Cumulative Strain	Mode of Failure
Stage1	45.6kPa	107.7 kPa	62.2 kPa	10.66%	Maximum Deviator Stress

Nota: Se presenta el esfuerzo principal menor (σ_3) y el esfuerzo principal mayor (σ_1) del espécimen. Elaborado por: Los autores.

Figura 64

Cohesión no drenada de la muestra del ensayo no consolidado no drenado (UU)



Nota: Se presenta el círculo de Mohr dando como resultado la cohesión no drenada total del espécimen. Elaborado por: Los autores.

5.3.2 Muestra 2 ensayo no consolidado no drenado (UU) con test (CU)

Tabla 11

Detalles de prueba de la muestra 2

Test Details	
General description	Results
Standard	ASTM D4767 – 95 / AASHTO T297 - 94
Sample Type	Thin walled push in sample
Sample Description	
Mounting Method	Wet
Variations from Procedure	None
Lab. Temperature	15.0 deg.C
Particle Specific Gravity	2.65 (Assumed)

Nota: Se presenta los detalles de la muestra 2 a ensayarse. Elaborado por: Los autores.

Tabla 12

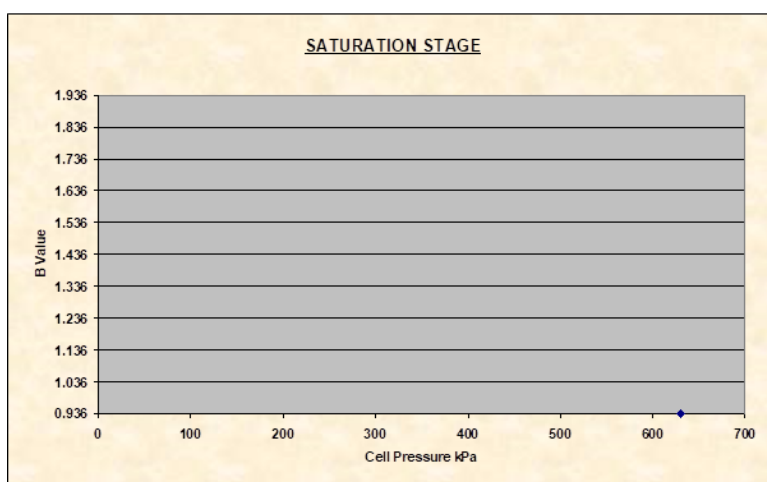
Detalles del espécimen de la muestra 2

Specimen Details	
General description	Results
Specimen Reference	B
Depth within Sample	20.00mm
Initial Height	139.00 mm
Preparation	
Bulk Density	1.56 Mg/m ³
Dry Unit Weight	11.58 kN/m ³
Comments	
Description	Suelo de Guamaní
Orientation within Sample	
Initial Diameter	67.50 mm
Moisture Content	31.8 % (trimmings: 37.3 %)
Initial Voids Ratio	1.246
Initial Degree of Saturation	67.7%

Nota: Se presenta los detalles del espécimen 2 a ensayarse. Elaborado por: Los autores.

Figura 65

Etapa de saturación de la muestra 2



Nota: En la figura se presenta la relación, presión de cámara vs valor B Skempton y el valor con el cual saturó el espécimen 2. Elaborado por: Los autores.

Tabla 13

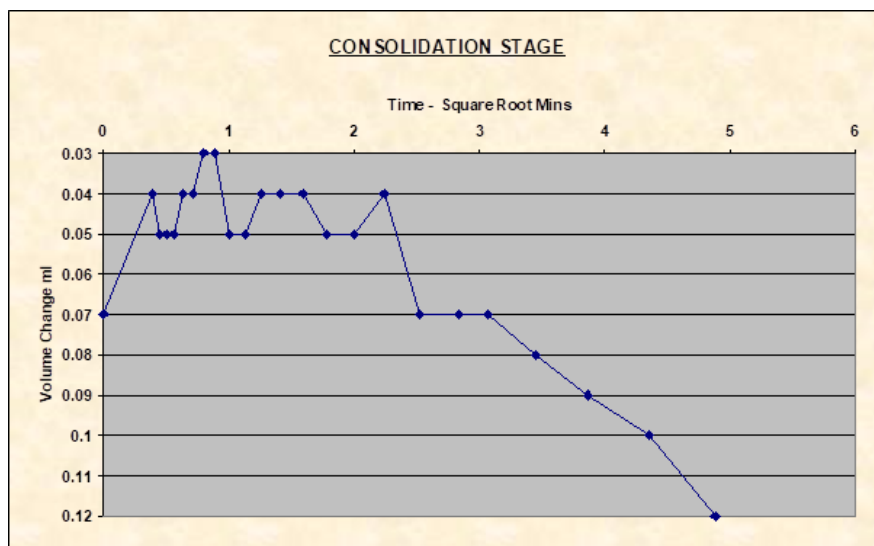
Valores de presiones alcanzadas e incrementos de la muestra 2

Pressure value	
General description	Results
Saturation Method	Cell Pressure Increments
Final Cell Pressure	630.1kPa
Final Pore Pressure	609.1kPa
Cell Increments	629.5 kPa
Back Increments	No Back Pressure Data
Final B Value	0.936

Nota: Se presenta el método de saturación, presión final de celda, presión final de poros, incrementos de presión en celda y el valor B Skempton de la muestra 2. Elaborado por: Los autores.

Figura 66

Etapa de consolidación de la muestra 2



Nota: Se presenta la relación tiempo vs cambio de volumen de la muestra 2, con las unidades de minutos y mililitros respectivamente. Elaborado por: Los autores.

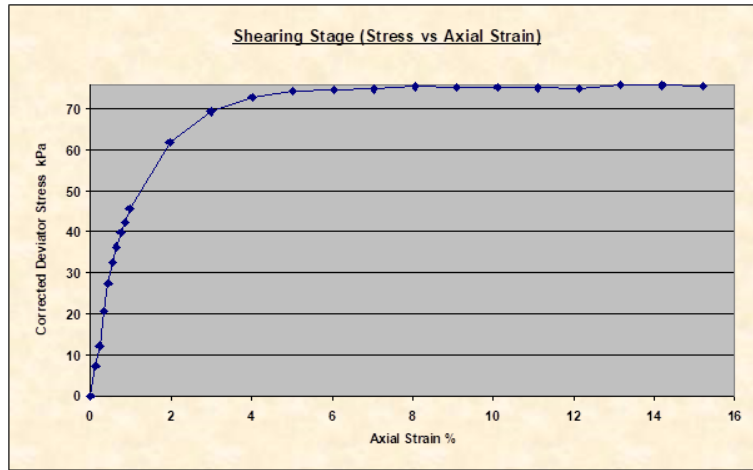
Tabla 14*Resumen de la etapa de consolidación, de la muestra 2*

Consolidation stage	
General description	Results
Cell Pressure	599.7kPa
Effective Pressure	20.5kPa
Final Pore Pressure	580.6kPa
Dry Unit Weight	11.63 kN/m ³
Void Ratio	1.24
Moisture Content	32.0 %
Back Pressure	579.2kPa
Final Pore Pressure Dissipation	12.00%
Time to 50% Primary Consolidation	0.00 Min
Cross sectional Area after consolidation (Method A)	3578.23 mm ²
Saturation	68.7%

Nota: Se presenta todos los resultados de la muestra 2 donde se trabajó un ensayo no consolidado no drenado, el mismo que fue tratado como un ensayo consolidado no drenado, con una consolidación igual a 20kPa que fue utilizado como diferencial de esfuerzos entre la cámara y la contrapresión para saturar la muestra. Elaborado por: Los autores.

Figura 67

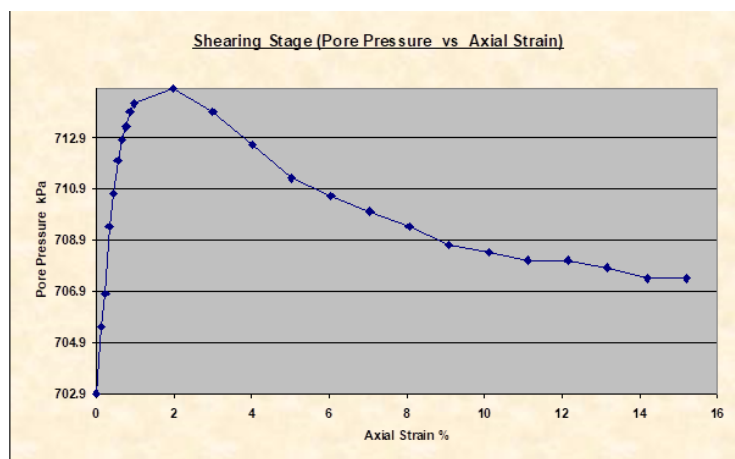
Etapa de corte, relación uno de la muestra 2



Nota: Se presenta la relación deformación axial vs esfuerzo desviador corregido de la muestra 2, con las unidades de porcentaje y kilo Pascal respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Figura 68

Etapa de corte, relación dos de la muestra 2



Nota: Se presenta la relación deformación axial vs presión de poros de la muestra 2, con las unidades de porcentaje y kilopascal respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Tabla 15

Condiciones de corte de la muestra 2

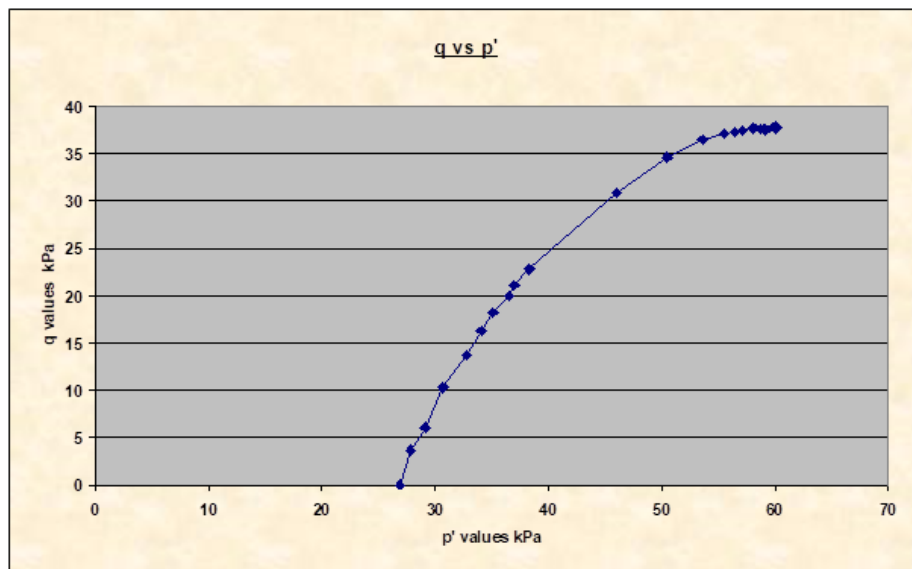
Shear Conditions	
General description	Results
Rate of Strain	2.01 %/Min
Initial Pore Pressure	702.9kPa
Cell Pressure	729.8kPa
Effective Stress at Start of Stage	26.9kPa

Nota: Se presenta, tasa de deformación en porcentaje por minuto, presión de celda, presión intersticial inicial y el esfuerzo efectivo inicial en unidades de kilopascal del espécimen

2. Elaborado por: Los autores.

Figura 69

Trayectoria de esfuerzos efectivos de la muestra 2



Nota: Se presenta la relación esfuerzos efectivos (p') vs esfuerzos cortantes (q) de la muestra 2. *Elaborado por:* Los autores.

Tabla 16*Condiciones de falla de la muestra 2*

Conditions at Failure	
General description	Results
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress
Pore Pressure	707.4kPa
Deviator Stress	75.7kPa
Axial Strain	14.20%
Deviator Stress Correction	4.2kPa
Minor Effective Principal Stress	22.3kPa
Major Effective Principal Stress	98.0kPa
Final Moisture Content	32.0 %

Nota: Se presenta el criterio de falla con el esfuerzo máximo desviador de la muestra 2.

Elaborado por: Los autores.

5.3.3 *Muestra 3 ensayo no consolidado no drenado (UU) con test (CU)*

Tabla 17*Detalles de prueba de la muestra 3*

Test Details	
General description	Results
Standard	ASTM D4767 – 95 / AASHTO T297 - 94
Sample Type	Thin walled push in sample
Sample Description	
Mounting Method	Wet
Variations from Procedure	None
Lab. Temperature	20.0 deg.C
Particle Specific Gravity	2.65 (Assumed)

Nota: Se presenta los detalles de la muestra 3 a ensayarse. Elaborado por: Los autores.

Tabla 18

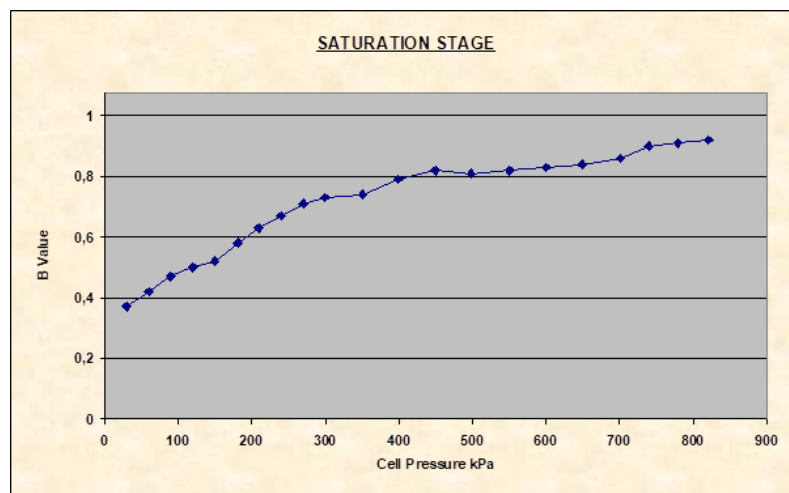
Detalles del espécimen de la muestra 3

Specimen Details	
General description	Results
Specimen Reference	C
Depth within Sample	20.00mm
Initial Height	140.00 mm
Preparation	Extraído de un bloque cúbico
Bulk Density	1.32 Mg/m ³
Dry Unit Weight	9.44 kN/m ³
Comments	
Description	Suelo de Guamaní
Orientation within Sample	vertical
Initial Diameter	68.73 mm
Moisture Content	37.1 %
Initial Voids Ratio	1.753
Initial Degree of Saturation	56.0%

Nota: Se presenta los detalles del espécimen 3 a ensayarse. Elaborado por: Los autores.

Figura 70

Etapa de saturación de la muestra 3



Nota: En la figura se presenta la relación, presión de cámara vs valor B Skempton y el valor con el cual saturó el espécimen 3. Elaborado por: Los autores.

Tabla 19

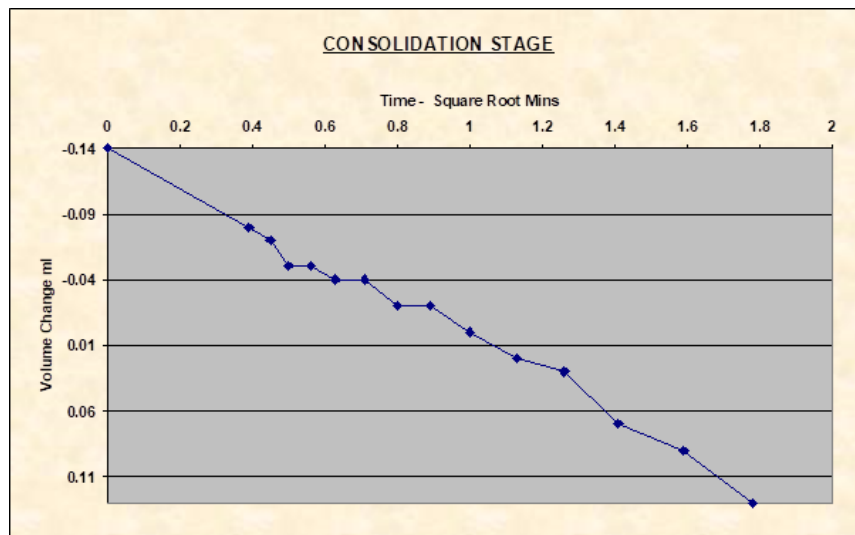
Valores de presiones alcanzadas e incrementos de la muestra 3

Pressure value	
General description	Results
Saturation Method	Cell Pressure Increments
Final Cell Pressure	820.7kPa
Final Pore Pressure	796.1kPa
Cell Increments	29.8,30.4,29.8,30.0,29.6,31.1,29.3,29.6,31.1,29.1,51.1,49.2,49.8,50.2,50.2,50.5,49.2,50.5,39.5,40.1,36.9, kPa
Back Increments	No Back Pressure Data
Final B Value	0.911

Nota: Se presenta el método de saturación, presión final de celda, presión final de poros, incrementos de presión en celda y el valor B Skempton de la muestra 3. Elaborado por: Los autores.

Figura 71

Etapa de consolidación de la muestra 3



Nota: Se presenta la relación tiempo vs cambio de volumen de la muestra 3, con las unidades de minutos y mililitros respectivamente. Elaborado por: Los autores.

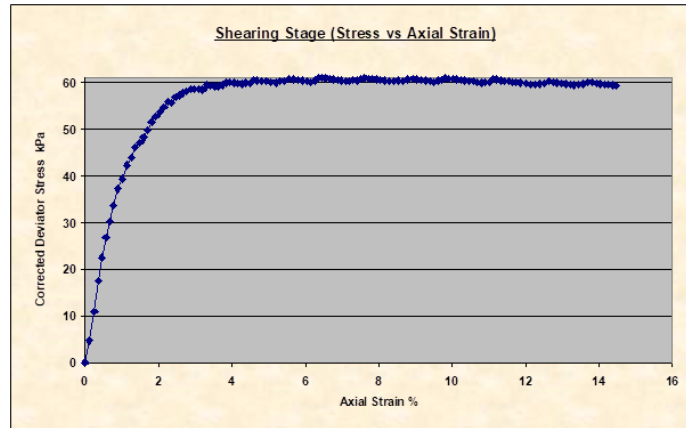
Tabla 20*Resumen de la etapa de consolidación, de la muestra 3*

Consolidation stage	
General description	Results
Cell Pressure	819.6kPa
Effective Pressure	19.6kPa
Final Pore Pressure	799.4kPa
Dry Unit Weight	9.44 kN/m ³
Void Ratio	1.75
Moisture Content	37.1 %
Back Pressure	800.0kPa
Final Pore Pressure Dissipation	50.00%
Time to 50% Primary Consolidation	0.00 Min
Cross sectional Area after consolidation (Method A)	3715.19 mm ²
Saturation	56.0%

Nota: Se presenta todos los resultados de la muestra 3 donde se trabajó un ensayo no consolidado no drenado el mismo que fue tratado como un ensayo consolidado no drenado, con una consolidación igual a los 20kPa que se utilizan como diferencial de esfuerzos entre la cámara y la contrapresión para saturar la muestra. Elaborado por: Los autores.

Figura 72

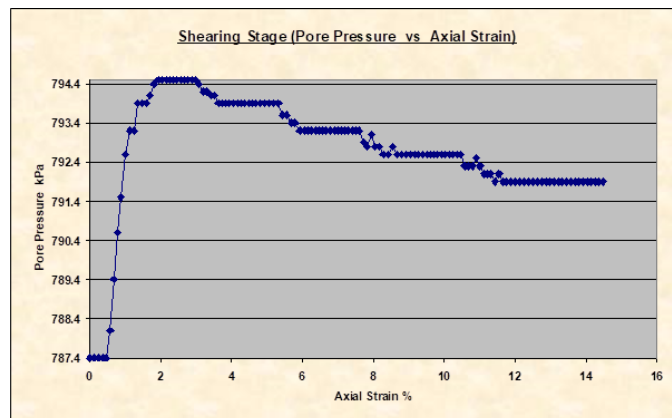
Etapa de corte, relación uno de la muestra 3



Nota: Se presenta la relación deformación axial vs esfuerzo desviador corregido de la muestra 3, con las unidades de porcentaje y kilo Pascal respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Figura 73

Etapa de corte, relación dos de la muestra 3



Nota: Se presenta la relación deformación axial vs presión de poros de la muestra 3, con las unidades de porcentaje y kilo Pascal respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Tabla 21

Condiciones de corte de la muestra 3

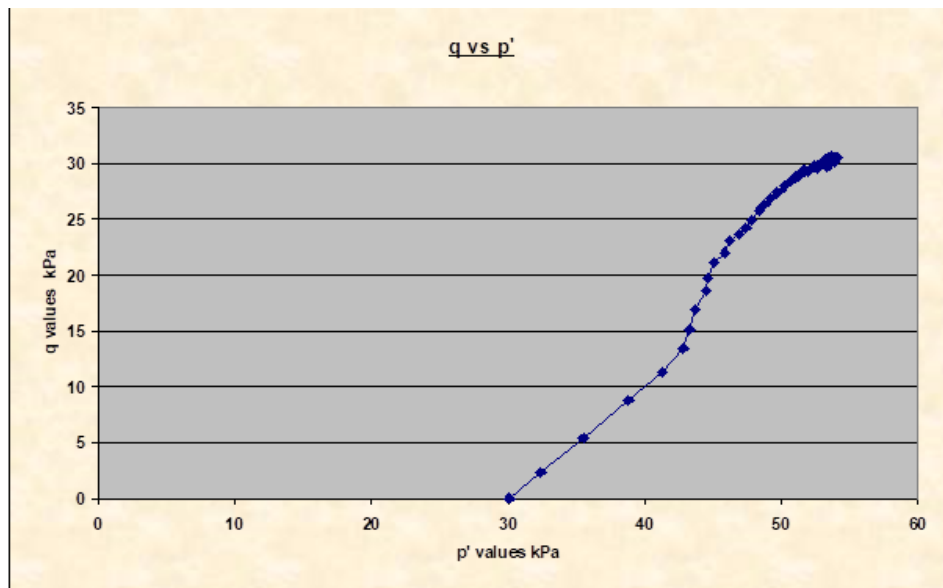
Shear Conditions	
General description	Results
Rate of Strain	2.00 %/Min
Initial Pore Pressure	787.4kPa
Cell Pressure	817.5kPa
Effective Stress at Start of Stage	30.1kPa

Nota: Se presenta, tasa de deformación en porcentaje por minuto, presión de celda, presión intersticial inicial y el esfuerzo efectivo inicial en unidades de kilo Pascal del espécimen

3. Elaborado por: Los autores.

Figura 74

Trayectoria de esfuerzos efectivos de la muestra 3



Nota: Se presenta la relación esfuerzos efectivos (p') vs esfuerzos cortantes (q) de la muestra 3. *Elaborado por:* Los autores.

Tabla 22*Condiciones de falla de la muestra 3*

Conditions at Failure	
General description	Results
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress
Pore Pressure	793.2kPa
Deviator Stress	61.1kPa
Axial Strain	6.36%
Deviator Stress Correction	1.9kPa
Minor Effective Principal Stress	23.1kPa
Major Effective Principal Stress	84.3kPa
Final Moisture Content	37.1 %

Nota: Se presenta el criterio de falla con el esfuerzo máximo desviador de la muestra 3.

Elaborado por: Los autores.

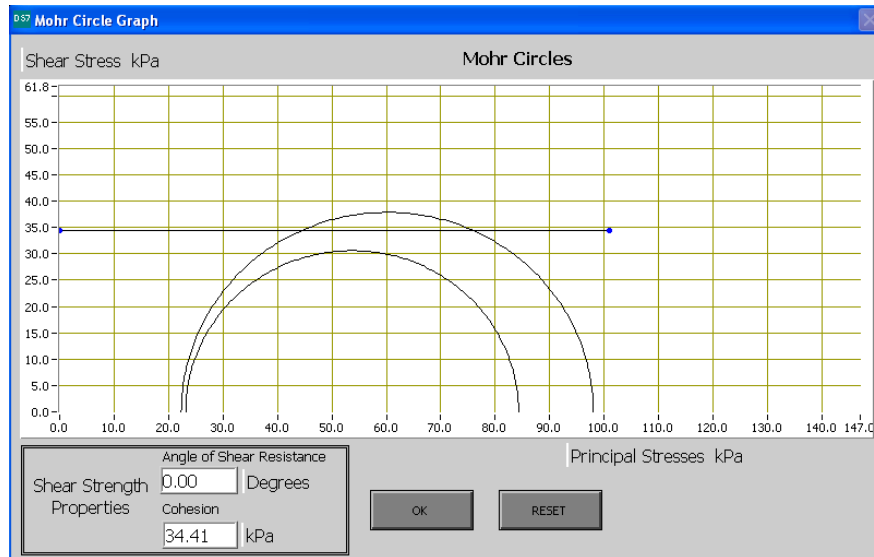
Tabla 23*Resumen de los detalles de los dos especímenes*

Specimen Details		
Specimen Reference	Effective Minor Principal Stress (s_3')	Effective Major Principal Stress (s_1')
B	22.3kPa	98.0kPa
C	23.1kPa	84.3kPa

Nota: Se presenta el esfuerzo efectivo principal menor (σ_3') y el esfuerzo efectivo principal mayor (σ_1') de los dos especímenes. Elaborado por: Los autores.

Figura 75

Cohesión no drenada de las muestras de los ensayos triaxiales no consolidados no drenados



Nota: Se presenta los círculos de Mohr dando como resultado la cohesión no drenada total de los dos especímenes. Elaborado por: Los autores.

5.3.4 Muestra remodelada 4 ensayo no consolidado no drenado

Tabla 24

Detalles de prueba de la muestra 4

Test Details	
General description	Results
Standard	ASTM D2850-95 / AASHTO T296-94
Sample Type	Thin walled push in sample
Sample Description	
Variations from Procedure	None
Specific Gravity of Solids	2.65
Lab. Temperature	20.0 deg.C

Nota: Se presenta los detalles de la muestra 4 a ensayarse. Elaborado por: Los autores.

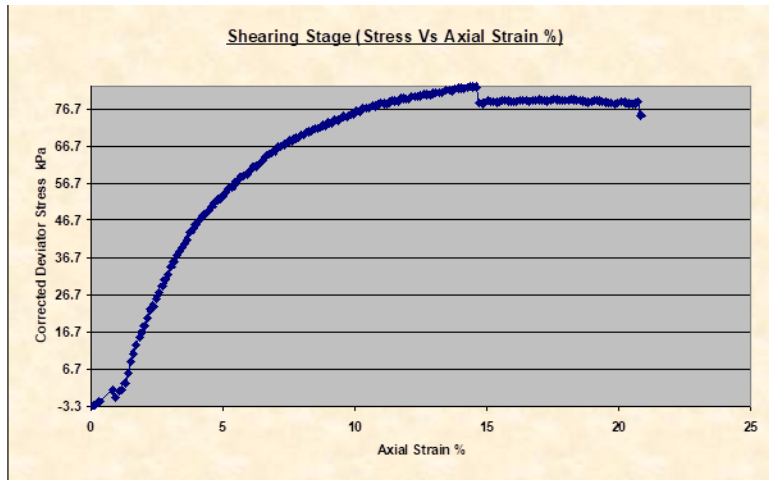
Tabla 25*Detalles del espécimen de la muestra 4*

Specimen Details	
General description	Results
Specimen Reference	D
Initial Height	144.00 mm
Initial Diameter	71.28 mm
Initial Dry Unit Weight	9.75 kN/m ³
Initial Moisture Content*	32.7 %
Void Ratio	1.67
Comments	
Stage Reference	4
Description	Suelo de Guamaní
Depth within Sample	0.00mm
Orientation within Sample	Remoldeada
Preparation	Extraído de un bloque cúbico
Degree of Saturation	51.95%

Nota: Se presenta los detalles del espécimen 4 a ensayarse. Elaborado por: Los autores.

Figura 76

Etapa de corte de la muestra 4



Nota: Se presenta la relación deformación axial vs esfuerzo desviador corregido de la muestra 4, con las unidades de porcentaje y kilo Pascal respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Tabla 26

Condiciones de corte de la muestra 4

Shear Conditions	
General description	Results
Rate of Axial Strain	1.94%/min
Cell Pressure	50.0kPa

Nota: Se presenta, tasa de deformación en porcentaje por minuto y presión de celda en kilo Pascal, del espécimen 4 de una muestra remoldeada. Elaborado por: Los autores.

Tabla 27*Condiciones de falla de la muestra 4*

Conditions at Failure	
General description	Results
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress
Compressive Strength	82.8 kPa
Axial Strain	14.34%
Deviator Stress	4.06kPa
Correction Applied	
Final Unit Weight	12.96 kN/m ³
Major Principal Stress	132.9 kPa
Minor Principal Stress	50.0 kPa
Final Moisture Content	32.9 %

Nota: Se presenta el criterio de falla con el esfuerzo máximo desviador de la muestra 4.

Elaborado por: Los autores.

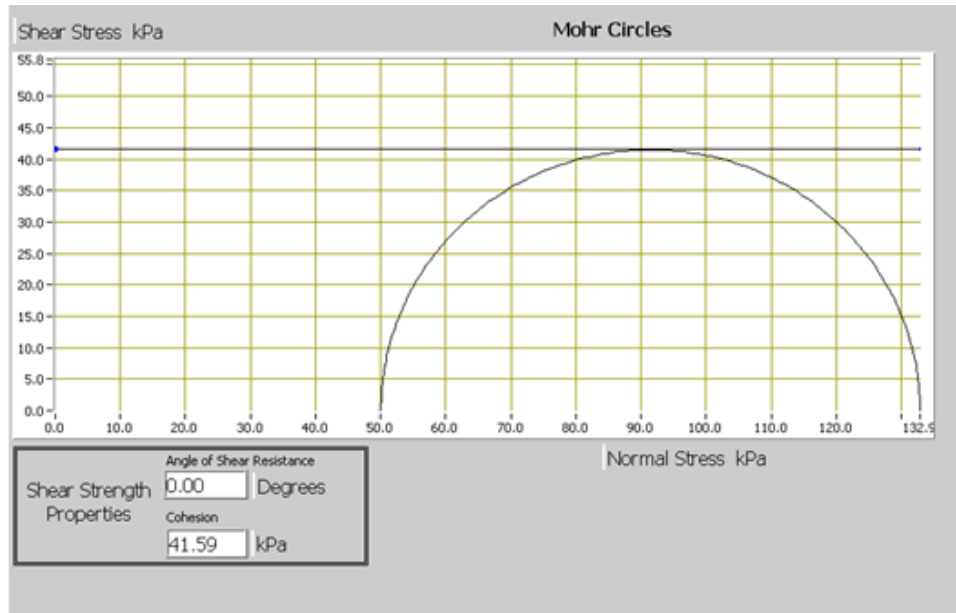
Tabla 28*Resumen de detalles del espécimen 4*

All Stages					
Conditions at Failure					
Ref	Minor Principal Stress	Major Principal Stress	Compressive Strength (Corrected)	Cumulative Strain	Mode of Failure
Stage1	50.0kPa	132.9 kPa	82.8 kPa	14.34%	Maximum Deviator Stress

Nota: Se presenta el esfuerzo principal menor (σ_3) y el esfuerzo principal mayor (σ_1) del espécimen. Elaborado por: Los autores.

Figura 77

Cohesión no drenada de la muestra remoldeada del ensayo triaxial no consolidado no drenado



Nota: Se presenta el círculo de Mohr dando como resultado la cohesión no drenada total del espécimen. Elaborado por: Los autores.

5.4 Informe de acuerdo al programa DS7 del ensayo consolidado no drenado (CU)

Tabla 29

Detalles de prueba de la muestra 1

Test Details	
General description	Results
Standard	ASTM D4767 – 95 / AASHTO T297 - 94
Sample Type	Thin walled push in sample
Sample Description	
Mounting Method	Wet
Variations from Procedure	None
Lab. Temperature	15.0 deg.C
Particle Specific Gravity	2.65 (Assumed)

Nota: Se presenta los detalles de la muestra 1 a ensayarse. Elaborado por: Los autores.

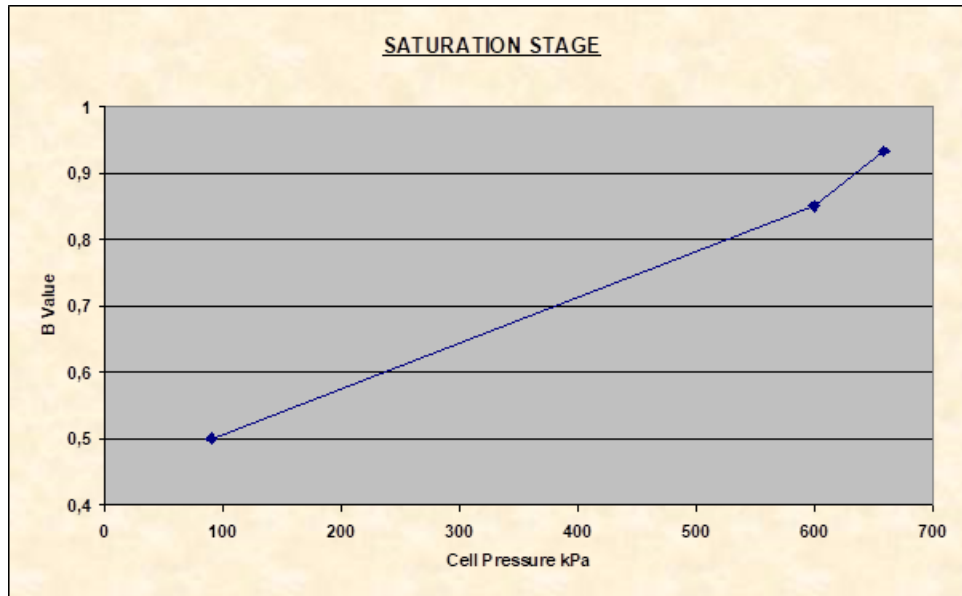
Tabla 30*Detalles del espécimen de la muestra 1*

Specimen Details	
General description	Results
Specimen Reference	A
Depth within Sample	20.00mm
Initial Height	140.00 mm
Preparation	Extraído de un bloque cubico
Bulk Density	1.38 Mg/m ³
Dry Unit Weight	9.92 kN/m ³
Comments	
Description	Suelo de Guamani
Orientation within Sample	vertical
Initial Diameter	67.40 mm
Moisture Content	37.0 % (trimmings: 37.3 %)
Initial Voids Ratio	1.621
Initial Degree of Saturation	60.5%

Nota: Se presenta los detalles del espécimen 1 a ensayarse. Elaborado por: Los autores.

Figura 78

Etapa de saturación de la muestra 1



Nota: En la figura se presenta la relación, presión de cámara vs valor B Skempton y el valor con el cual saturó el espécimen 1. Elaborado por: Los autores.

Tabla 31

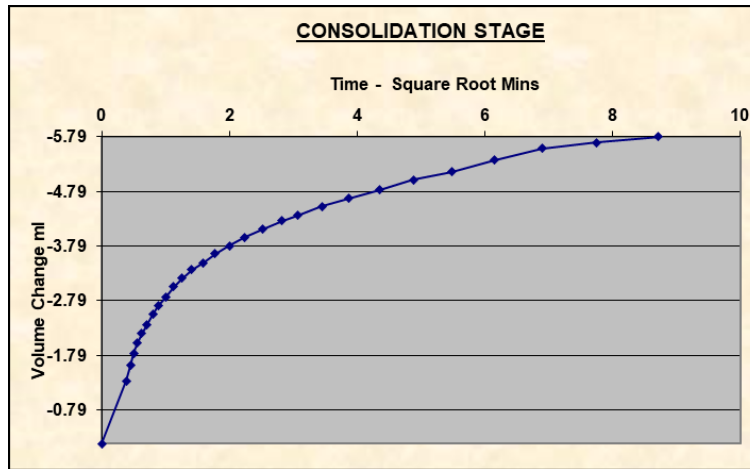
Valores de presiones alcanzadas e incrementos de la muestra 1

Pressure value	
General description	Results
Saturation Method	Back Pressure Increments
Final Cell Pressure	658.9kPa
Final Pore Pressure	629.1kPa
Cell Increments	50.5,163.1,445.5 kPa
Back Increments	92.6 kPa
Final B Value	0.933

Nota: Se presenta el método de saturación, presión final de celda, presión final de poros, incrementos de presión en celda y el valor B Skempton de la muestra 1. Elaborado por: Los autores.

Figura 79

Etapa de consolidación de la muestra 1CU



Nota: Se presenta la relación tiempo vs cambio de volumen de la muestra 1, con las unidades de minutos y mililitros respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Tabla 32

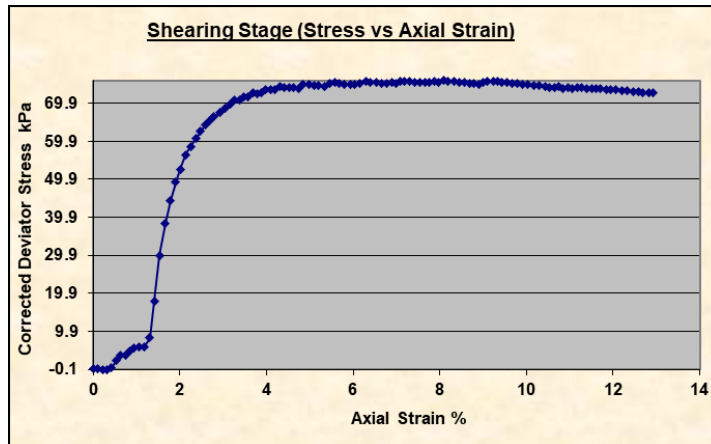
Resumen de la etapa de consolidación, de la muestra 1

Consolidation stage	
General description	Results
Cell Pressure	163.8kPa
Effective Pressure	49.8kPa
Final Pore Pressure	106.8kPa
Dry Unit Weight	10.03 kN/m ³
Void Ratio	1.59
Moisture Content	37.2 %
Back Pressure	113.9kPa
Final Pore Pressure Dissipation	650.50%
Time to 50% Primary Consolidation	0.00 Min
Cross sectional Area after consolidation (Method A)	3552.07 mm ²
Saturation	62.0%

Nota: Se presenta todos los resultados con los cuales se trabajó el proceso de consolidación en el ensayo consolidado no drenado. Elaborado por: Los autores.

Figura 80

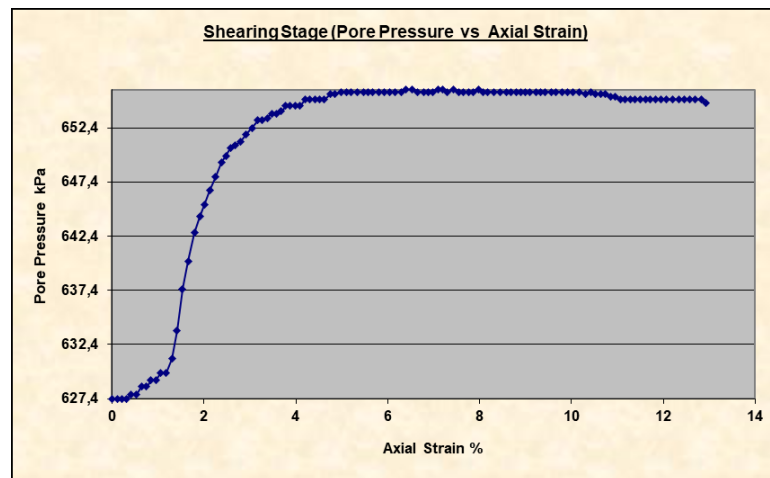
Etapa de corte, relación uno de la muestra 1



Nota: Se presenta la relación deformación axial vs esfuerzo desviador corregido de la muestra 1, con las unidades de porcentaje y kilopascal respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Figura 81

Etapa de corte, relación dos de la muestra 1



Nota: Se presenta la relación deformación axial vs presión de poros de la muestra 1, con las unidades de porcentaje y kilo Pascal respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Tabla 33

Condiciones de corte de la muestra 1

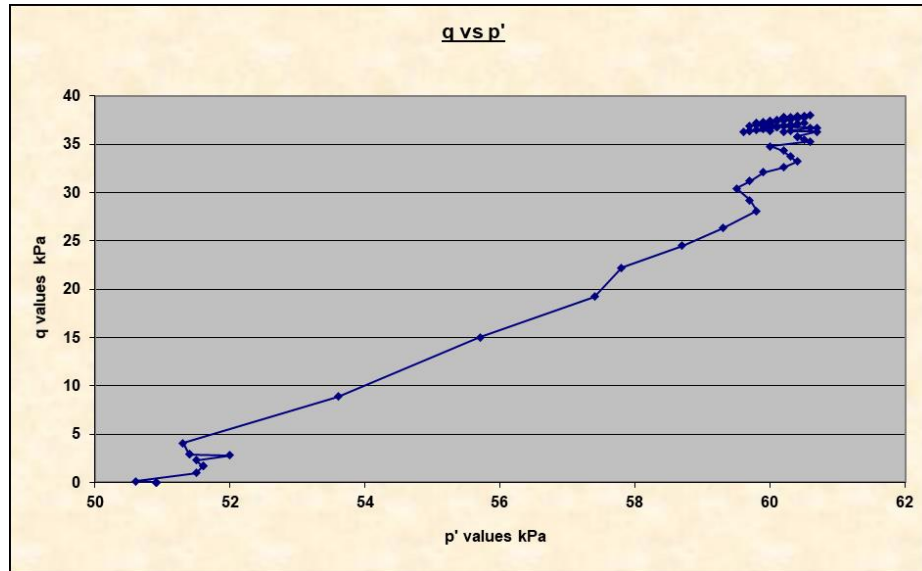
Shear Conditions	
General description	Results
Rate of Strain	2.00 %/Min
Initial Pore Pressure	627.4kPa
Cell Pressure	678.3kPa
Effective Stress at Start of Stage	50.9kPa

Nota: Se presenta, tasa de deformación en porcentaje por minuto, presión de celda, presión intersticial inicial y el esfuerzo efectivo inicial en unidades de kilo Pascal del espécimen

1. Elaborado por: Los autores.

Figura 82

Trayectoria de esfuerzos efectivos de la muestra 1



Nota: Se presenta la relación esfuerzos efectivos (p') vs esfuerzos cortantes (q) de la muestra 1. *Elaborado* por: Los autores.

Tabla 34*Condiciones de falla de la muestra 1*

Condition at Failure	
General description	Results
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress
Pore Pressure	655.7kPa
Deviator Stress	75.7kPa
Axial Strain	9.23%
Deviator Stress Correction	2.8kPa
Minor Effective Principal Stress	22.7kPa
Major Effective Principal Stress	98.4kPa
Final Moisture Content	37.2 %

Nota: Se presenta el criterio de falla con el esfuerzo máximo desviador de la muestra 1.

Elaborado por: Los autores.

Tabla 35*Detalles de prueba de la muestra 2*

Test Details	
General description	Results
Standard	ASTM D4767 – 95 / AASHTO T297 - 94
Sample Type	Thin walled push in sample
Sample Description	
Mounting Method	Wet
Variations from Procedure	None
Lab. Temperature	15.0 deg.C
Particle Specific Gravity	2.65 (Assumed)

Nota: Se presenta los detalles de la muestra 2 a ensayarse. Elaborado por: Los autores.

Tabla 36

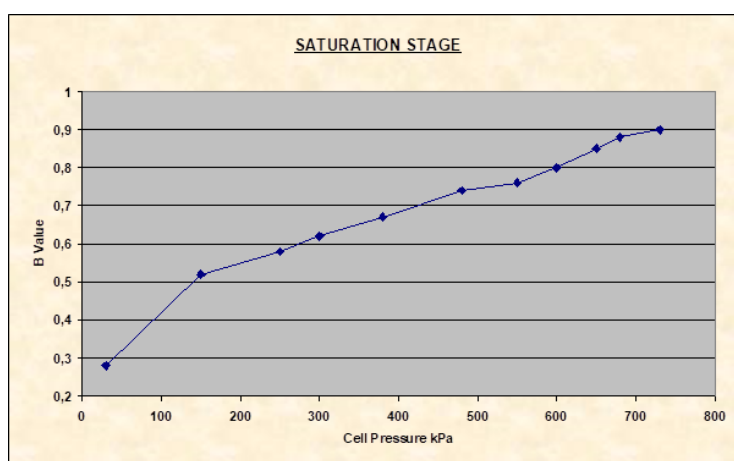
Detalles del espécimen de la muestra 2

Specimen Details	
General description	Results
Specimen Reference	B
Depth within Sample	20.00mm
Initial Height	137.90 mm
Preparation	Extraído de un bloque cubico
Bulk Density	1.80 Mg/m ³
Dry Unit Weight	13.01 kN/m ³
Comments	
Description	Suelo de Guamani
Orientation within Sample	vertical
Initial Diameter	60.10 mm
Moisture Content	36.0 % (trimmings: 37.3 %)
Initial Voids Ratio	0.998
Initial Degree of Saturation	95.6%

Nota: Se presenta los detalles del espécimen 2 a ensayarse. Elaborado por: Los autores.

Figura 83

Etapa de saturación de la muestra 2



Nota: En la figura se presenta la relación, presión de cámara vs valor B Skempton y el valor con el cual saturó el espécimen 2. Elaborado por: Los autores.

Tabla 37

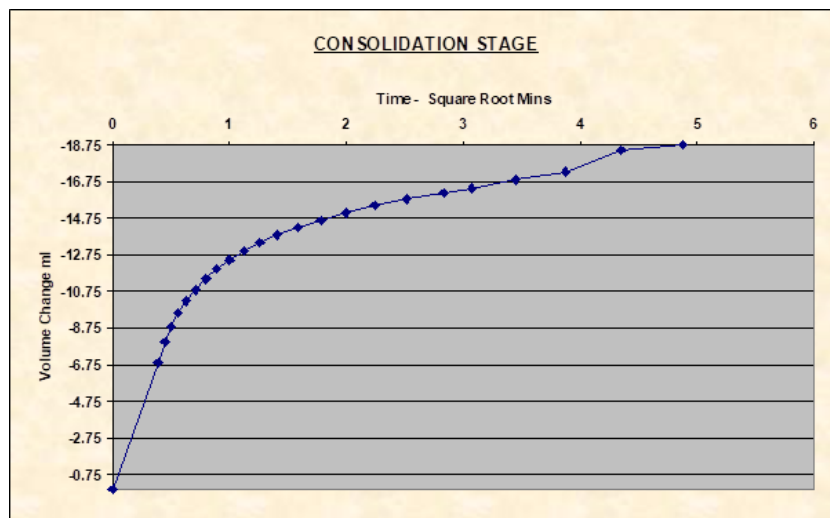
Valores de presiones alcanzadas e incrementos de la muestra 2

Pressure value	
General description	Results
Saturation Method	Cell Pressure Increments
Final Cell Pressure	730.1kPa
Final Pore Pressure	705.7kPa
Cell Increments	29.8,620.1,20.1,10.4,20.1,29.1, 99.7,30.4,19.9,19.5,29.8, kPa
Back Increments	No Back Pressure Data
Final B Value	0.900

Nota: Se presenta el método de saturación, presión final de celda, presión final de poros, incrementos de presión en celda y el valor B Skempton de la muestra 2. Elaborado por: Los autores.

Figura 84

Etapa de consolidación de la muestra 2



Nota: Se presenta la relación tiempo vs cambio de volumen de la muestra 2, con las unidades de minutos y mililitros respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Tabla 38

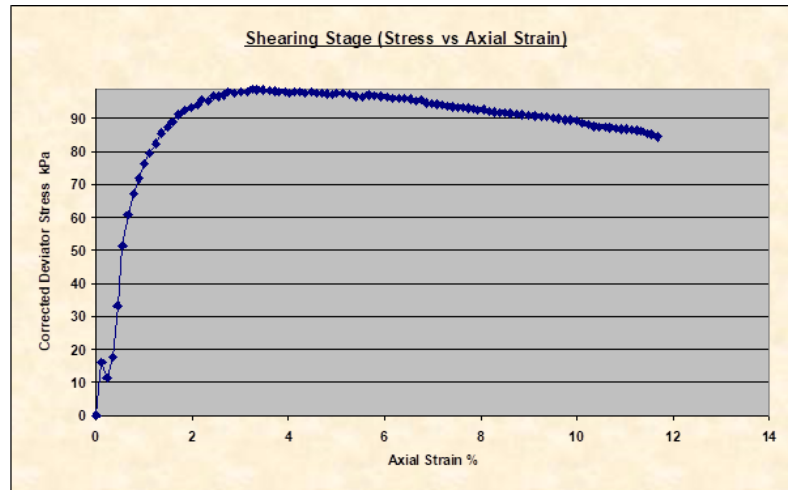
Resumen de la etapa de consolidación, de la muestra 2

Consolidation stage	
General description	Results
Cell Pressure	779.3kPa
Effective Pressure	99.0kPa
Final Pore Pressure	680.9kPa
Dry Unit Weight	13.67 kN/m ³
Void Ratio	0.90
Moisture Content	36.2 %
Back Pressure	680.3kPa
Final Pore Pressure Dissipation	99.09%
Time to 50% Primary Consolidation	0.00 Min
Cross sectional Area after consolidation (Method A)	2718.27 mm ²
Saturation	106.5%

Nota: Se presenta todos los resultados con los cuales se trabajó el proceso de consolidación en el ensayo consolidado no drenado. Elaborado por: Los autores.

Figura 85

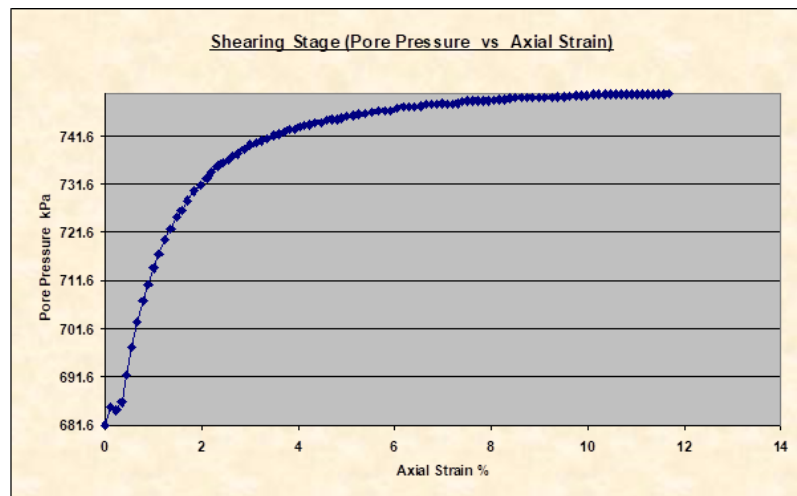
Etapa de corte, relación uno de la muestra 2



Nota: Se presenta la relación deformación axial vs esfuerzo desviador de la muestra 2, con las unidades de porcentaje y kilo Pascal respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Figura 86

Etapa de corte, relación dos de la muestra 2



Nota: Se presenta la relación deformación axial vs presión de poros de la muestra 2, con las unidades de porcentaje y kilo Pascal respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Tabla 39

Condiciones de corte de la muestra 2

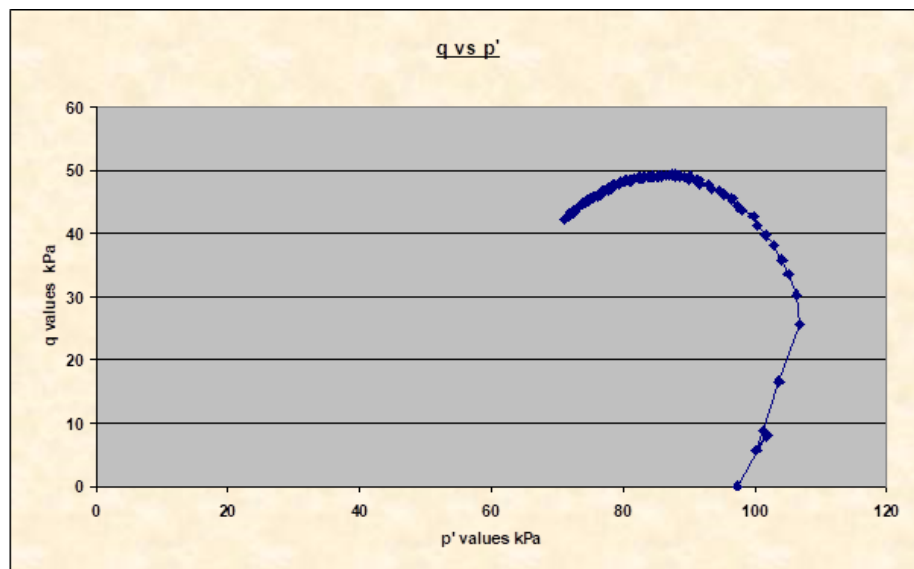
Shear Conditions	
General description	Results
Rate of Strain	2.03 %/Min
Initial Pore Pressure	681.6kPa
Cell Pressure	779.0kPa
Effective Stress at Start of Stage	97.4kPa

Nota: Se presenta, tasa de deformación en porcentaje por minuto, presión de celda, presión intersticial inicial y el esfuerzo efectivo inicial en unidades de kilopascal del espécimen

2. Elaborado por: Los autores.

Figura 87

Trayectoria de esfuerzos efectivos de la muestra 2



Nota: Se presenta la relación esfuerzos efectivos (p') vs esfuerzos cortantes (q) de la muestra 2. *Elaborado por:* Los autores.

Tabla 40*Condiciones de falla de la muestra 2*

Conditions at Failure	
General description	Results
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress
Pore Pressure	741.1kPa
Deviator Stress	98.7kPa
Axial Strain	3.35%
Deviator Stress Correction	1.1kPa
Minor Effective Principal Stress	38.1kPa
Major Effective Principal Stress	136.7kPa
Final Moisture Content	36.2 %

Nota: Se presenta el criterio de falla con el esfuerzo máximo desviador de la muestra 2.

Elaborado por: Los autores.

Tabla 41*Detalles de prueba de la muestra 3*

Test Details	
General description	Results
Standard	ASTM D4767 – 95 / AASHTO T297 - 94
Sample Type	Thin walled push in sample
Sample Description	
Mounting Method	Wet
Variations from Procedure	None
Lab. Temperature	20.0 deg.C
Particle Specific Gravity	2.65 (Assumed)

Nota: Se presenta los detalles de la muestra 3 a ensayarse. Elaborado por: Los autores.

Tabla 42

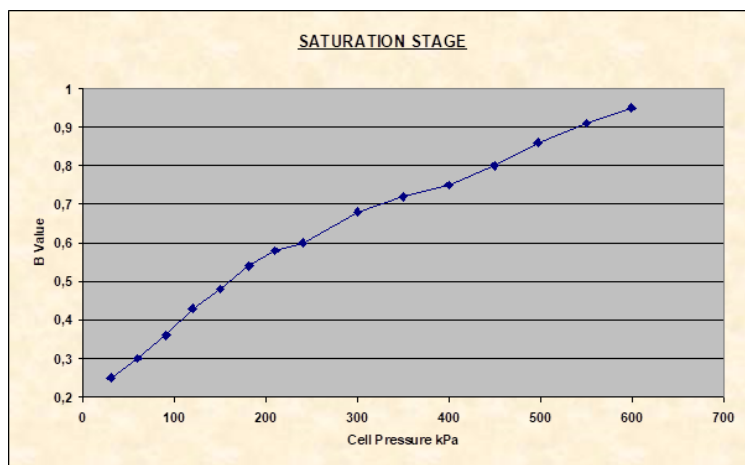
Detalles del espécimen de la muestra 3

Specimen Details	
General description	Results
Specimen Reference	C
Depth within Sample	20.00mm
Initial Height	139.50 mm
Preparation	Extraído de un bloque cubico
Bulk Density	1.52 Mg/m ³
Dry Unit Weight	11.36 kN/m ³
Comments	
Description	Suelo de Guamani
Orientation within Sample	Vertical
Initial Diameter	68.60 mm
Moisture Content	31.3 % (trimmings: 37.3 %)
Initial Voids Ratio	1.289
Initial Degree of Saturation	64.3%

Nota: Se presenta los detalles del espécimen 3 a ensayarse. Elaborado por: Los autores.

Figura 88

Etapa de saturación de la muestra 3



Nota: En la figura se presenta la relación, presión de cámara vs valor B Skempton y el valor con el cual saturó el espécimen 3. Elaborado por: Los autores.

Tabla 43

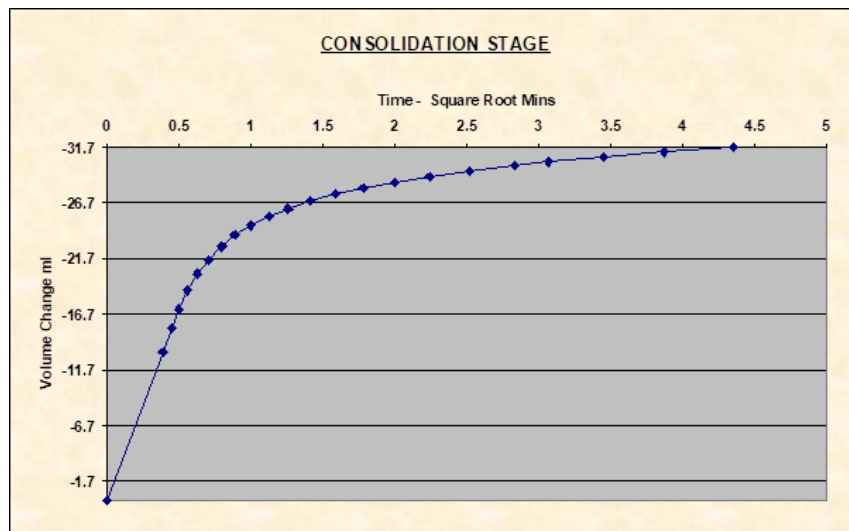
Valores de presiones alcanzadas e incrementos de la muestra 3

Pressure value	
General description	Results
Saturation Method	Cell Pressure Increments
Final Cell Pressure	599.5kPa
Final Pore Pressure	577.3kPa
Cell Increments	30.0,29.8,31.1,29.1,29.1,31.7,29.1,30.4,58.9, 51.1,49.2,50.8,49.5,50.3,49.4,kPa
Back Increments	No Back Pressure Data
Final B Value	0.950

Nota: Se presenta el método de saturación, presión final de celda, presión final de poros, incrementos de presión en celda y el valor B Skempton de la muestra 3. Elaborado por: Los autores.

Figura 89

Etapa de consolidación de la muestra 3



Nota: Se presenta la relación tiempo vs cambio de volumen de la muestra 3, con las unidades de minutos y mililitros respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Tabla 44

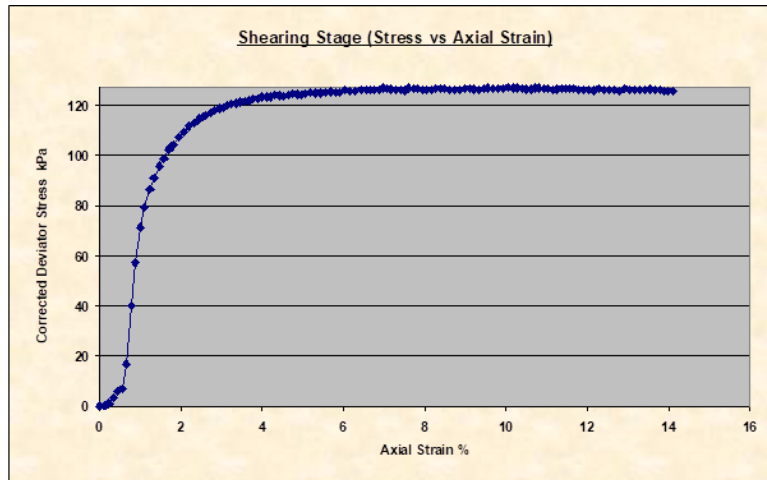
Resumen de la etapa de consolidación, de la muestra 3

Consolidation stage	
General description	Results
Cell Pressure	679.8kPa
Effective Pressure	150.4kPa
Final Pore Pressure	532.0kPa
Dry Unit Weight	12.10 kN/m ³
Void Ratio	1.15
Moisture Content	31.5 %
Back Pressure	529.5kPa
Final Pore Pressure Dissipation	97.91%
Time to 50% Primary Consolidation	0.00 Min
Cross sectional Area after consolidation (Method A)	3540.13 mm ²
Saturation	72.7%

Nota: Se presenta todos los resultados con los cuales se trabajó el proceso de consolidación en el ensayo consolidado no drenado. Elaborado por: Los autores.

Figura 90

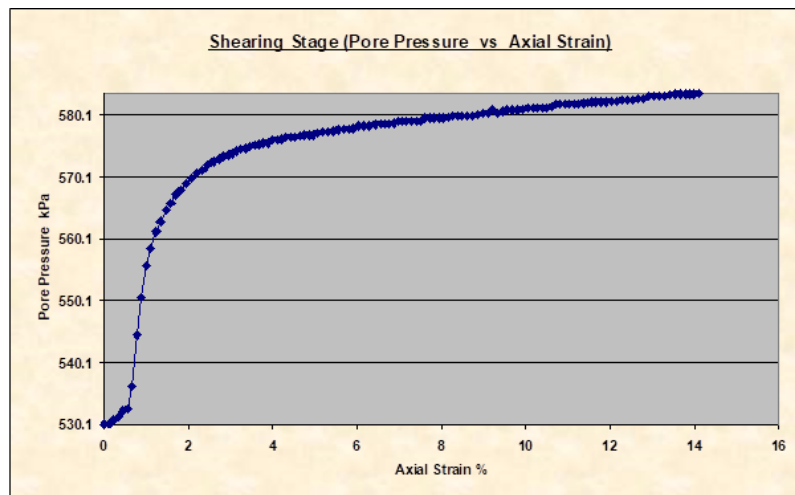
Etapa de corte, relación uno de la muestra 3



Nota: Se presenta la relación deformación axial vs esfuerzo desviador de la muestra 3, con las unidades de porcentaje y kilo Pascal respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Figura 91

Etapa de corte, relación dos de la muestra 3



Nota: Se presenta la relación deformación axial vs presión de poros de la muestra 3, con las unidades de porcentaje y kilo Pascal respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Tabla 45

Condiciones de corte de la muestra 3

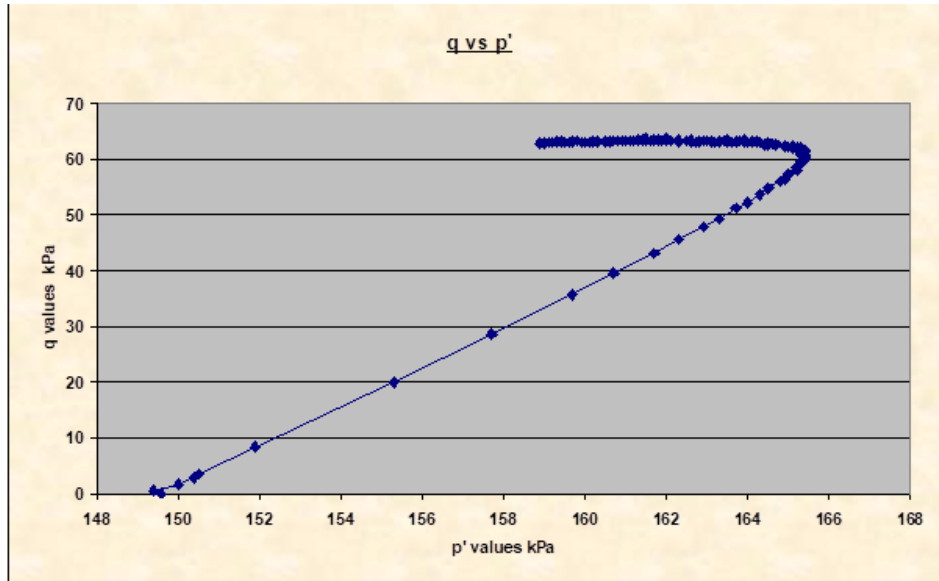
Shear Conditions	
General description	Results
Rate of Strain	2.01 %/Min
Initial Pore Pressure	530.1kPa
Cell Pressure	679.7kPa
Effective Stress at Start of Stage	149.6kPa

Nota: Se presenta, tasa de deformación en porcentaje por minuto, presión de celda, presión intersticial inicial y el esfuerzo efectivo inicial en unidades de kilo Pascal del espécimen

3. Elaborado por: Los autores.

Figura 92

Trayectoria de esfuerzos efectivos de la muestra 3



Nota: Se presenta la relación esfuerzos efectivos (p') vs esfuerzos cortantes (q) de la muestra 3. *Elaborado por:* Los autores.

Tabla 46*Condiciones de falla de la muestra 3*

Conditions at Failure	
General description	Results
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress
Pore Pressure	579.6kPa
Deviator Stress	126.8kPa
Axial Strain	7.61%
Deviator Stress Correction	2.3kPa
Minor Effective Principal Stress	100.1kPa
Major Effective Principal Stress	227.0kPa
Final Moisture Content	31.5 %

Nota: Se presenta el criterio de falla con el esfuerzo máximo desviador de la muestra 3.

Elaborado por: Los autores.

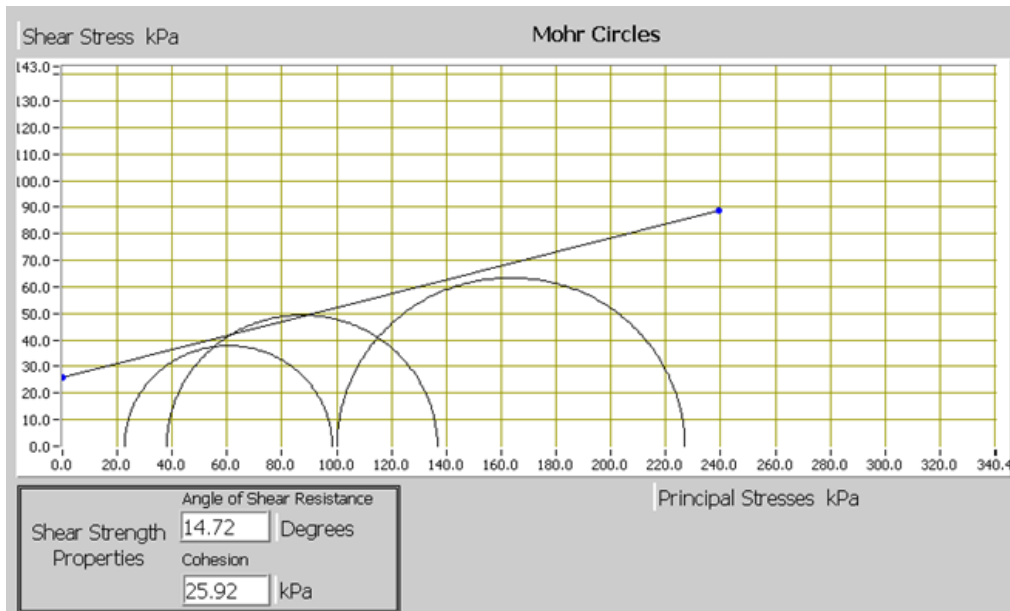
Tabla 47*Resumen de los detalles de los dos especímenes*

Specimen Details		
Specimen Reference	Effective Minor Principal Stress (s_3')	Effective Major Principal Stress (s_1')
A	22.7kPa	98.4kPa
B	38.1kPa	136.7kPa
C	100.1kPa	227.0kPa

Nota: Se presenta el esfuerzo efectivo principal menor (σ_3') y el esfuerzo efectivo principal mayor (σ_1') de los dos especímenes. Elaborado por: Los autores.

Figura 93

Ángulo de fricción y cohesión de las muestras de los ensayos triaxiales consolidados no drenados (CU)



Nota: Se presenta los círculos de Mohr dando como resultado el ángulo de fricción efectivo y la cohesión efectiva de los tres especímenes. Elaborado por: Los autores.

5.5 Informe de acuerdo al programa DS7 del ensayo consolidado drenado (CD)

Tabla 48

Detalles de prueba de la muestra 1

Test Details	
General description	Results
Standard	ASTM D4767 – 95 / AASHTO T297 - 94
Sample Type	Thin walled push in sample
Sample Description	
Mounting Method	Wet
Variations from Procedure	None
Lab. Temperature	20.0 deg.C
Particle Specific Gravity	2.65 (Assumed)

Nota: Se presenta los detalles de la muestra 1 a ensayarse. Elaborado por: Los autores.

Tabla 49

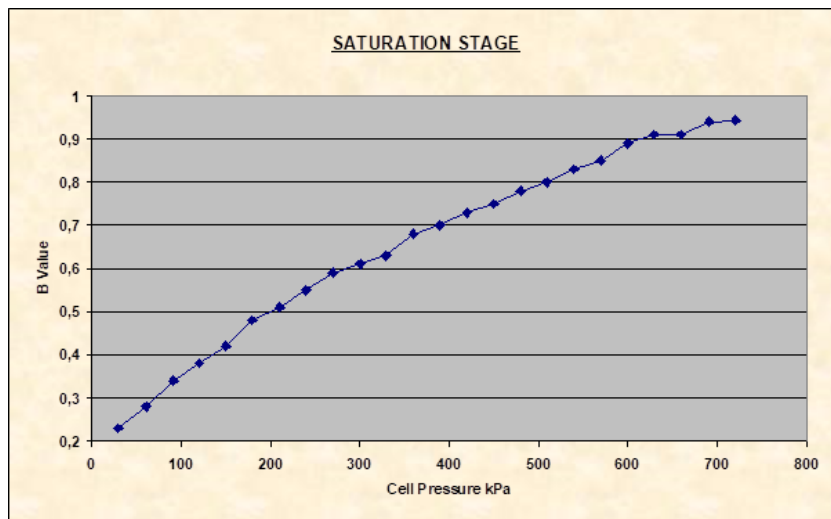
Detalles del espécimen de la muestra 1

Specimen Details	
General description	Results
Specimen Reference	A
Depth within Sample	20.00mm
Initial Height	144.00 mm
Preparation	Extraído de un bloque cúbico
Bulk Density	1.43 Mg/m ³
Dry Unit Weight	10.60 kN/m ³
Comments	
Description	Suelo de Guanají
Orientation within Sample	vertical
Initial Diameter	68.83 mm
Moisture Content	32.2 %
Initial Voids Ratio	1.452
Initial Degree of Saturation	58.8%

Nota: Se presenta los detalles del espécimen 1 a ensayarse. Elaborado por: los autores.

Figura 94

Etapas de saturación de la muestra 1



Nota: En la figura se presenta la relación, presión de cámara vs valor B Skempton y el valor con el cual saturó el espécimen 1. Elaborado por: Los autores.

Tabla 50

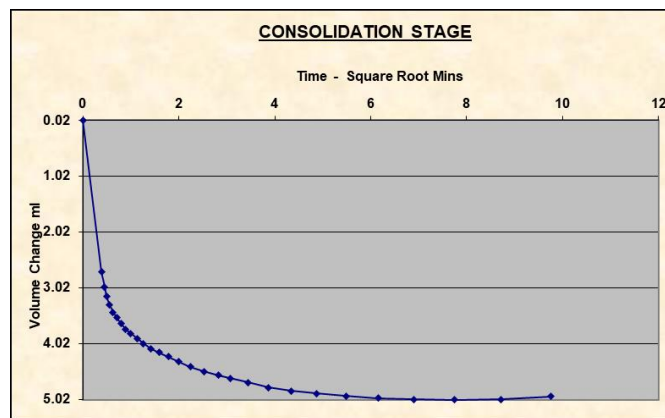
Valores de presiones alcanzadas e incrementos de la muestra 1

Pressure value	
General description	Results
Saturation Method	Cell Pressure Increments
Final Cell Pressure	720.4kPa
Final Pore Pressure	696.0kPa
Cell Increments	29.8,30.4,30.4,29.8,29.8,29.8,30.4,29.8,29.8,30.4,29.6,29.9,30.4,29.8,30.0,30.2,29.6,29.9,29.8,30.4,30.4,29.1,30.4,30.4, kPa
Back Increments	No Back Pressure Data
Final B Value	0.944

Nota: Se presenta el método de saturación, presión final de celda, presión final de poros, incrementos de presión en celda y el valor B Skempton de la muestra 1. Elaborado por: Los autores.

Figura 95

Etapa de consolidación de la muestra 1



Nota: Se presenta la relación tiempo vs cambio de volumen de la muestra 1, con las unidades de minutos y mililitros respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Tabla 51

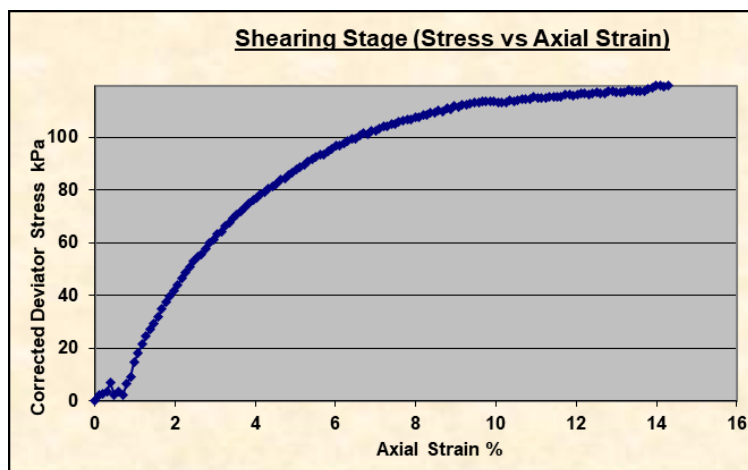
Resumen de la etapa de consolidación, de la muestra 1

Consolidation stage	
General description	Results
Cell Pressure	718.4kPa
Effective Pressure	49.2kPa
Final Pore Pressure	669.5kPa
Dry Unit Weight	10.50 kN/m ³
Void Ratio	1.48
Moisture Content	32.5 %
Back Pressure	669.3kPa
Final Pore Pressure Dissipation	99.23%
Time to 50% Primary Consolidation	0.07 Min
Cross sectional Area after consolidation (Method A)	3773.92 mm ²
Saturation	58.3%

Nota: Se presenta todos los resultados con los cuales se trabajó el proceso de consolidación en el ensayo consolidado drenado. Elaborado por: Los autores.

Figura 96

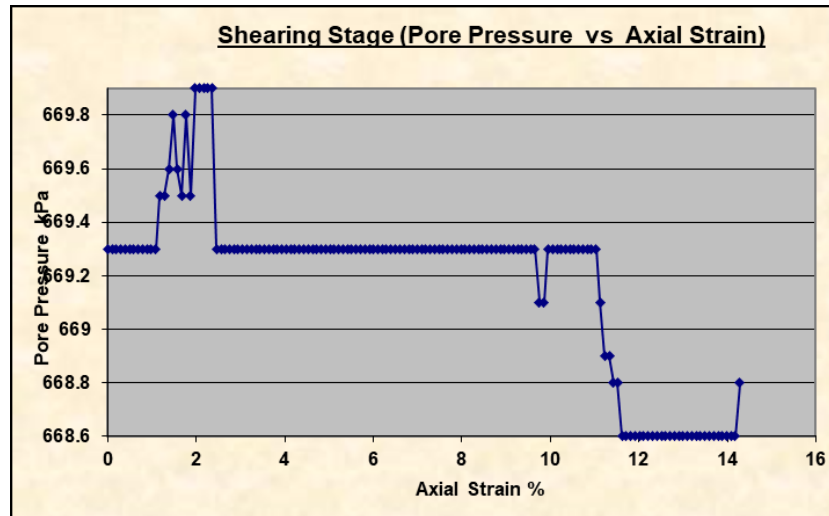
Etapa de corte, relación uno de la muestra 1



Nota: Se presenta la relación deformación axial vs esfuerzo desviador corregido de la muestra 1, con las unidades de porcentaje y kilo Pascal respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Figura 97

Etapa de corte, relación dos de la muestra 1



Nota: Se presenta la relación deformación axial vs presión de poros de la muestra 1, con las unidades de porcentaje y kilo Pascal respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Tabla 52

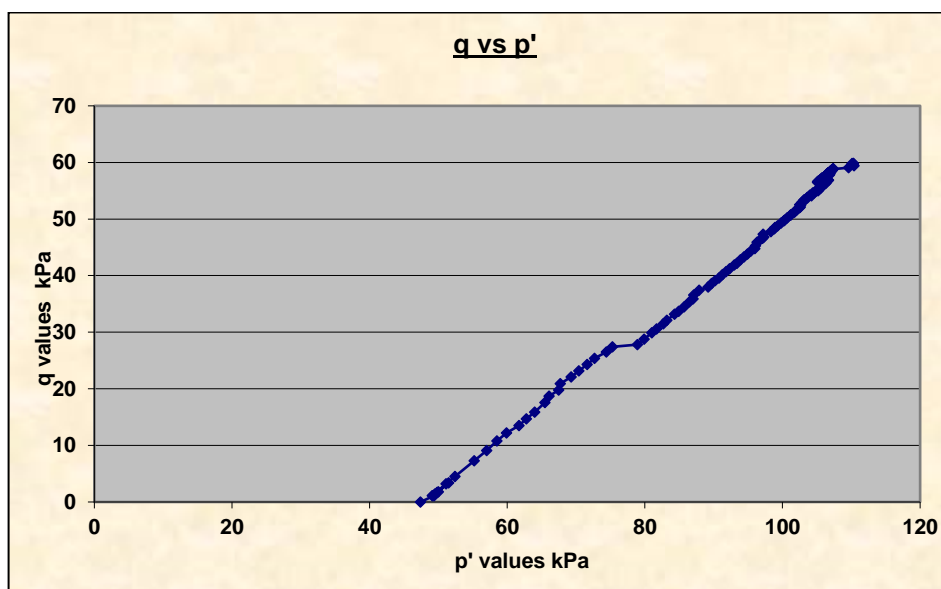
Condiciones de corte de la muestra 1

Shear Conditions	
General description	Results
Rate of Strain	0.01 %/Min
Initial Pore Pressure	669.3kPa
Cell Pressure	716.7kPa
Effective Stress at Start of Stage	47.4kPa

Nota: Se presenta, tasa de deformación en porcentaje por minuto, presión de celda, presión intersticial inicial y el esfuerzo efectivo inicial en unidades de kilo Pascal del espécimen 1. Elaborado por: Los autores.

Figura 98

Trayectoria de esfuerzos efectivos de la muestra 1



Nota: Se presenta la relación esfuerzos efectivos (p') vs esfuerzos cortantes (q) de la muestra 1. *Elaborado por:* Los autores.

Tabla 53

Condiciones de falla de la muestra 1

Conditions at Failure	
General description	Results
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress
Pore Pressure	668.6kPa
Deviator Stress	119.5kPa
Axial Strain	13.98%
Deviator Stress Correction	4.1kPa
Minor Effective Principal Stress	50.5kPa
Major Effective Principal Stress	170.0kPa
Final Moisture Content	32.5 %

Nota: Se presenta el criterio de falla con el esfuerzo máximo desviador de la muestra 1.

Elaborado por: Los autores.

Tabla 54*Detalles de prueba de la muestra 2*

Test Details	
General description	Results
Standard	ASTM D4767 – 95 / AASHTO T297 - 94
Sample Type	Thin walled push in sample
Sample Description	
Mounting Method	Wet
Variations from Procedure	None
Lab. Temperature	20.0 deg.C
Particle Specific Gravity	2.65 (Assumed)

Nota: Se presenta los detalles de la muestra 2 a ensayarse. Elaborado por: Los autores.

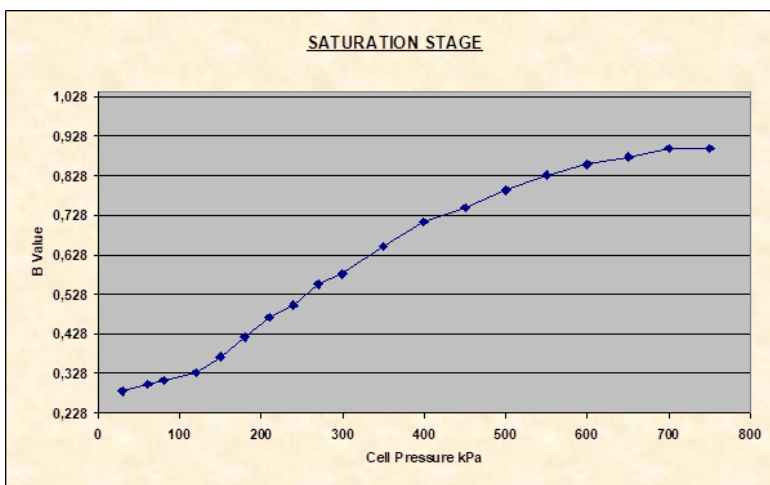
Tabla 55*Detalles del espécimen de la muestra 2*

Specimen Details	
General description	Results
Specimen Reference	B
Depth within Sample	20.00mm
Initial Height	141.00 mm
Preparation	Extraído de un bloque cúbico
Bulk Density	1.41 Mg/m ³
Dry Unit Weight	10.38 kN/m ³
Comments	
Description	Suelo de Guamaní
Orientation within Sample	vertical
Initial Diameter	69.13 mm
Moisture Content	33.2 %
Initial Voids Ratio	1.504
Initial Degree of Saturation	58.5%

Nota: Se presenta los detalles del espécimen 2 a ensayarse. Elaborado por: Los autores.

Figura 99

Etapa de saturación de la muestra 2



Nota: En la figura se presenta la relación, presión de cámara vs valor B Skempton y el valor con el cual saturó el espécimen 2. Elaborado por: Los autores.

Tabla 56

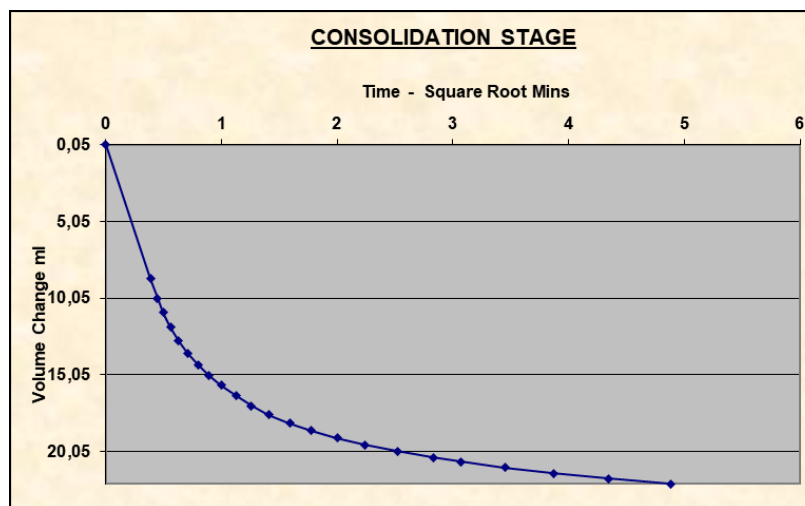
Valores de presiones alcanzadas e incrementos de la muestra 2

Pressure value	
General description	Results
Saturation Method	Cell Pressure Increments
Final Cell Pressure	750.2kPa
Final Pore Pressure	724.9kPa
Cell Increments	29.8,31.1,19.4,39.5,30.1,30.7,29.1,29.8,30.4,29.8,50.5,49.8,50.5, 49.8,49.8,49.8,49.8,49.8,50.5, kPa
Back Increments	No Back Pressure Data
Final B Value	0.900

Nota: Se presenta el método de saturación, presión final de celda, presión final de poros, incrementos de presión en celda y el valor B Skempton de la muestra 2. Elaborado por: Los autores.

Figura 100

Etapa de consolidación de la muestra 2



Nota: Se presenta la relación tiempo vs cambio de volumen de la muestra 2, con las unidades de minutos y mililitros respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Tabla 57

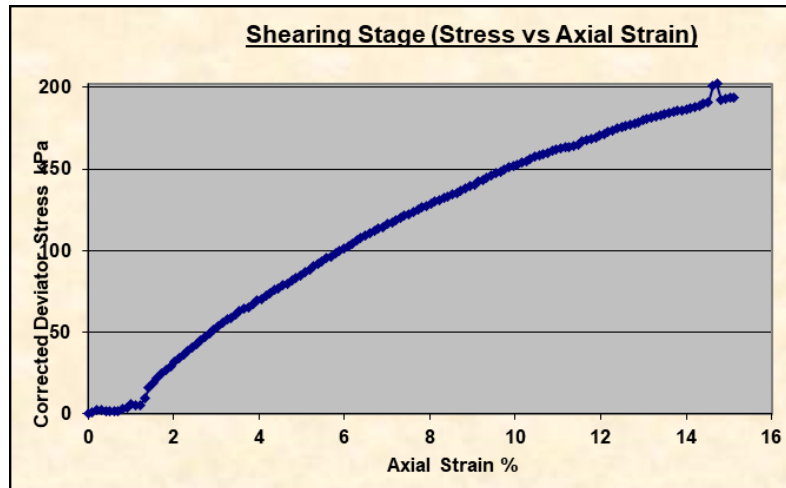
Resumen de la etapa de consolidación, de la muestra 2

Consolidation stage	
General description	Results
Cell Pressure	782.5kPa
Effective Pressure	100.1kPa
Final Pore Pressure	683.2kPa
Dry Unit Weight	9.96 kN/m ³
Void Ratio	1.61
Moisture Content	33.6 %
Back Pressure	682.4kPa
Final Pore Pressure Dissipation	98.93%
Time to 50% Primary Consolidation	0.11 Min
Cross sectional Area after consolidation (Method A)	3965.63 mm ²
Saturation	55.3%

Nota: Se presenta todos los resultados con los cuales se trabajó el proceso de consolidación en el ensayo consolidado drenado. Elaborado por: Los autores.

Figura 101

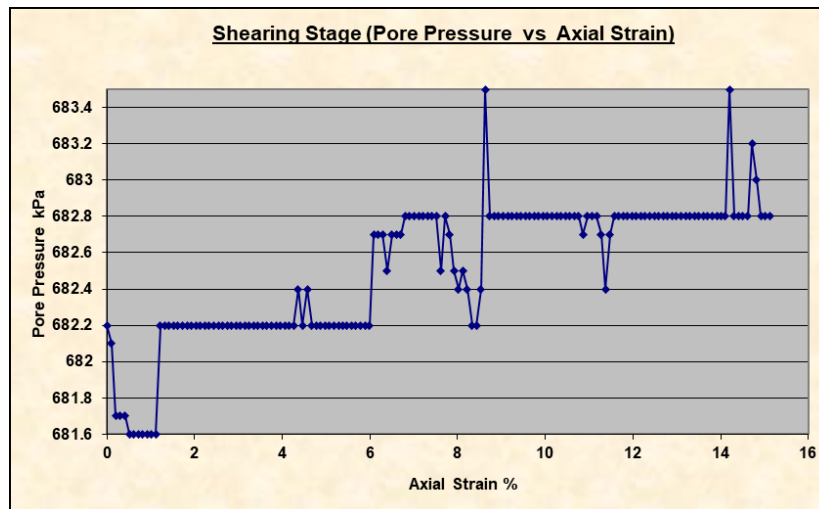
Etapa de corte, relación uno de la muestra 2



Nota: Se presenta la relación deformación axial vs esfuerzo desviador de la muestra 2, con las unidades de porcentaje y kilo Pascal respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Figura 102

Etapa de corte, relación dos de la muestra 2



Nota: Se presenta la relación deformación axial vs presión de poros de la muestra 2, con las unidades de porcentaje y kilo Pascal respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Tabla 58

Condiciones de corte de la muestra 2

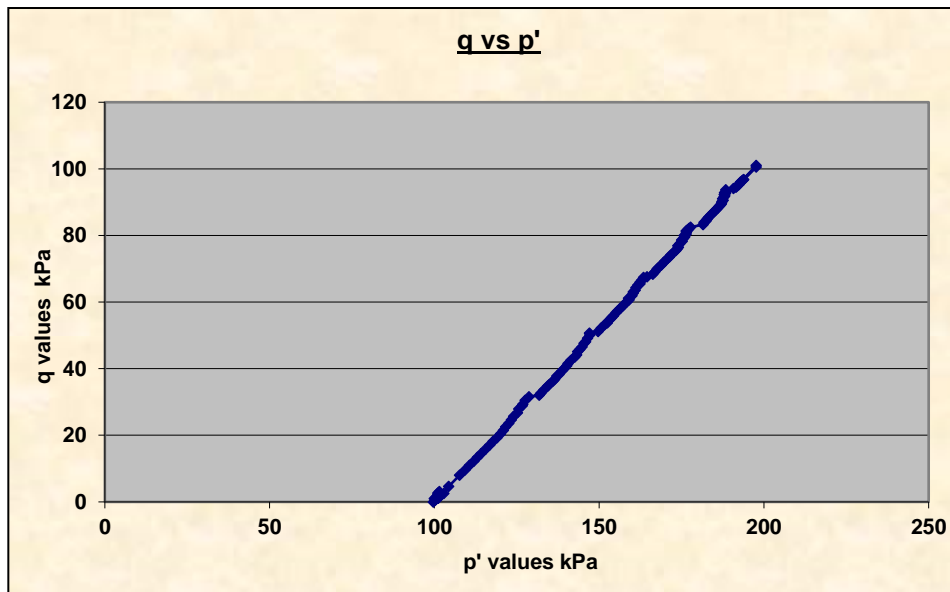
Shear Conditions	
General description	Results
Rate of Strain	0.01 %/Min
Initial Pore Pressure	682.2kPa
Cell Pressure	781.9kPa
Effective Stress at Start of Stage	99.7kPa

Nota: Se presenta, tasa de deformación en porcentaje por minuto, presión de celda, presión intersticial inicial y el esfuerzo efectivo inicial en unidades de kilo Pascal del espécimen

2. Elaborado por: Los autores.

Figura 103

Trayectoria de esfuerzos efectivos de la muestra 2



Nota: Se presenta la relación esfuerzos efectivos (p') vs esfuerzos cortantes (q) de la muestra 2. Elaborado por: Los autores.

Tabla 59*Condiciones de falla de la muestra 2*

Conditions at Failure	
General description	Results
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress
Pore Pressure	682.8kPa
Deviator Stress	193.5kPa
Axial Strain	15.02%
Deviator Stress Correction	4.3kPa
Minor Effective Principal Stress	97.1kPa
Major Effective Principal Stress	290.6kPa
Final Moisture Content	33.6 %

Nota: Se presenta el criterio de falla con el esfuerzo máximo desviador de la muestra 2.

Elaborado por: Los autores.

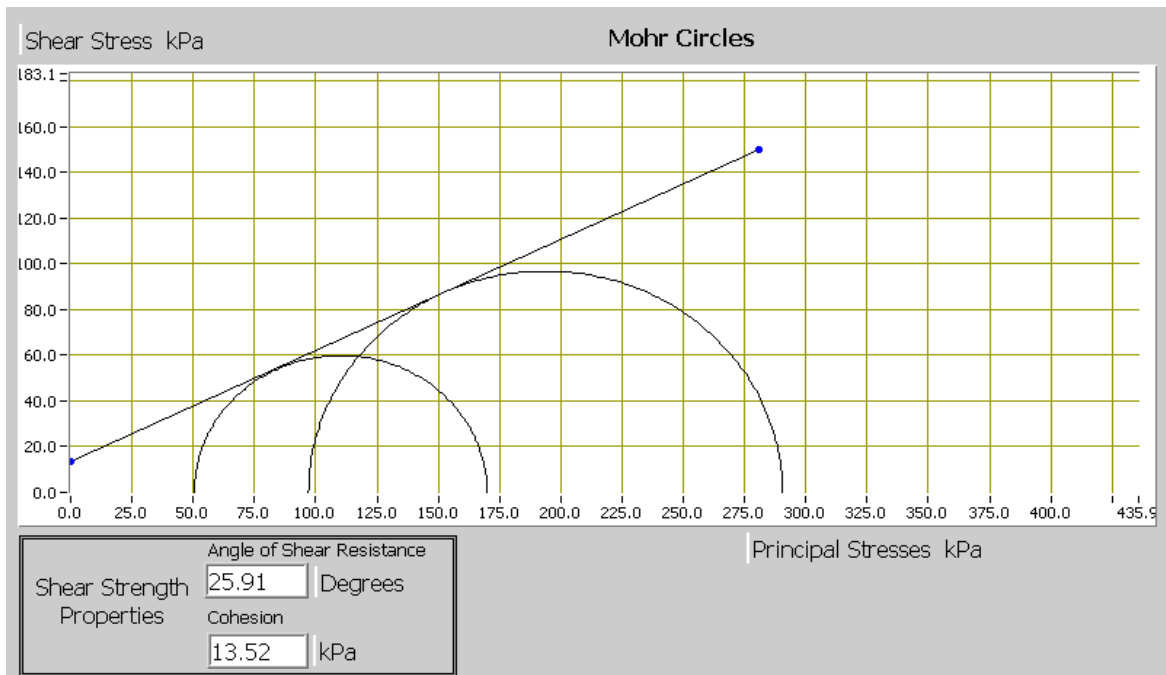
Tabla 60*Resumen de los detalles de los dos especímenes*

Specimen Details		
Specimen Reference	Effective Minor Principal Stress (s_3')	Effective Major Principal Stress (s_1')
B	97.1kPa	290.6kPa
A	50.5kPa	170.0kPa

Nota: Se presenta el esfuerzo efectivo principal menor (σ_3') y el esfuerzo efectivo principal mayor (σ_1') de los dos especímenes. Elaborado por: Los autores.

Figura 104

Ángulo de fricción y cohesión de las muestras de los ensayos triaxiales consolidados drenados (CD)



Nota: Se presenta los círculos de Mohr dando como resultado el ángulo de fricción y la cohesión total de los dos especímenes. Elaborado por: Los autores.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Cálculo de cohesiones para ensayos no consolidados no drenados

$$\text{Muestra 1: } \sigma_3 = 45.6 \text{ kPa} \quad \sigma_1 = 107.7 \text{ kPa} \quad C = 31.05 \text{ kPa}$$

$$\text{Muestra 2: } \sigma_3 = 22.3 \text{ kPa} \quad \sigma_1 = 98.00 \text{ kPa} \quad C = 37.85 \text{ kPa}$$

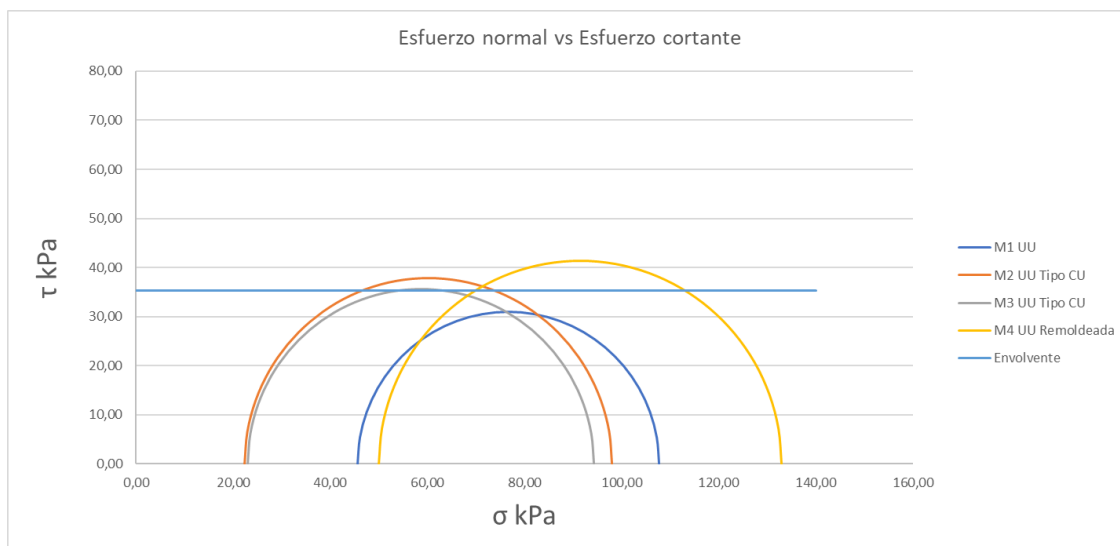
$$\text{Muestra 3: } \sigma_3 = 23.1 \text{ kPa} \quad \sigma_1 = 94.30 \text{ kPa} \quad C = 35.6 \text{ kPa}$$

$$\text{Muestra 4: } \sigma_3 = 50 \text{ kPa} \quad \sigma_1 = 132.9 \text{ kPa} \quad C = 41.45 \text{ kPa}$$

$$C_{\text{promedio}} = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + C_4}{4} = \frac{31.05 + 37.85 + 35.6 + 41.45}{4} = 36.49 \text{ kPa}$$

Figura 105

Círculos de Mohr y envolvente de falla de ensayo no consolidado no drenado – cohesión no drenada



Nota: Se presenta la cohesión no drenada promediada de las cuatro muestras del ensayo no consolidado no drenado. Elaborado por: Los autores.

Realizando una comparación entre las tres muestras inalteradas de suelo y la muestra alterada en el ensayo no consolidado no drenado se obtuvo una cohesión promedio de 35.38 kPa con ángulo de fricción cero.

6.2 Cálculo de cohesión y ángulo de fricción para ensayos consolidados no drenados (CU)

Círculo de 50 kPa y 100 KPa

Muestra 1 (50kPa): $\sigma_3' = 22.7 \text{ kPa}$; $\sigma_1' = 98.4 \text{ kPa}$

Muestra 2 (100kPa): $\sigma_3' = 38.1 \text{ kPa}$; $\sigma_1' = 136.7 \text{ kPa}$

ecuación1:
$$98.4 = 22.7 * \tan^2\left(45 + \frac{\phi_1'}{2}\right) + 2 * C_1' * \tan\left(45 + \frac{\phi_1'}{2}\right)$$

ecuación 2:
$$- 136.7 = -38.1 * \tan^2\left(45 + \frac{\phi_1'}{2}\right) - 2 * C_1' * \tan\left(45 + \frac{\phi_1'}{2}\right)$$

$$38.3 = 15.4 * \tan^2\left(45 + \frac{\phi_1'}{2}\right)$$

Despejamos ϕ :

$$\phi_1' = 25.242^\circ$$

Reemplazando en ecuación 1:

$$C_1' = 13.299 \text{ kPa}$$

Círculo de 50 kPa y 150 KPa

Muestra 1 (50kPa): $\sigma_3' = 22.7 \text{ kPa}$; $\sigma_1' = 98.4 \text{ kPa}$

Muestra 3 (150kPa): $\sigma_3' = 100.1 \text{ kPa}$; $\sigma_1' = 227.0 \text{ kPa}$

ecuación1: $98.4 = 22.7 * \tan^2 \left(45 + \frac{\phi_2'}{2} \right) + 2 * C_2' * \tan \left(45 + \frac{\phi_2'}{2} \right)$

ecuación 2: $- 227.0 = -100.1 * \tan^2 \left(45 + \frac{\phi_2'}{2} \right) - 2 * C_2' * \tan \left(45 + \frac{\phi_2'}{2} \right)$

$$128.6 = 77.4 * \tan^2 \left(45 + \frac{\phi_2'}{2} \right)$$

Despejamos ϕ :

$$\phi_2' = 14.391^\circ$$

Reemplazando en ecuación 1:

$$C_2' = 23.539 \text{ kPa}$$

Círculo de 100 kPa y 150 KPa

Muestra 2 (100kPa): $\sigma_3' = 38.1 \text{ kPa}$; $\sigma_1' = 136.7 \text{ kPa}$

Muestra 3 (150kPa): $\sigma_3' = 100.1 \text{ kPa}$; $\sigma_1' = 227.0 \text{ kPa}$

ecuación1: $136.7 = 38.1 * \tan^2 \left(45 + \frac{\phi_3'}{2} \right) + 2 * C_3' * \tan \left(45 + \frac{\phi_3'}{2} \right)$

ecuación 2: $- 227.0 = -100.1 * \tan^2 \left(45 + \frac{\phi_3'}{2} \right) - 2 * C_3' * \tan \left(45 + \frac{\phi_3'}{2} \right)$

$$90.3 = 63.0 * \tan^2 \left(45 + \frac{\phi_3'}{2} \right)$$

Despejamos \emptyset :

$$\emptyset_3' = 10.258^\circ$$

Reemplazando en ecuación 1:

$$C_3' = 34.282 \text{ kPa}$$

Resumen:

$$\emptyset_1' = 25.242^\circ \quad C_1' = 13.299 \text{ kPa}$$

$$\emptyset_2' = 14.391^\circ \quad C_2' = 23.539 \text{ kPa}$$

$$\emptyset_3' = 10.258^\circ \quad C_3' = 34.282 \text{ kPa}$$

$$Promedio1 = \tan(\emptyset_1') = \tan(25.242) = 0.418^\circ$$

$$Promedio2 = \tan(\emptyset_2') = \tan(14.391) = 0.229^\circ$$

$$Promedio3 = \tan(\emptyset_3') = \tan(10.258) = 0.163^\circ$$

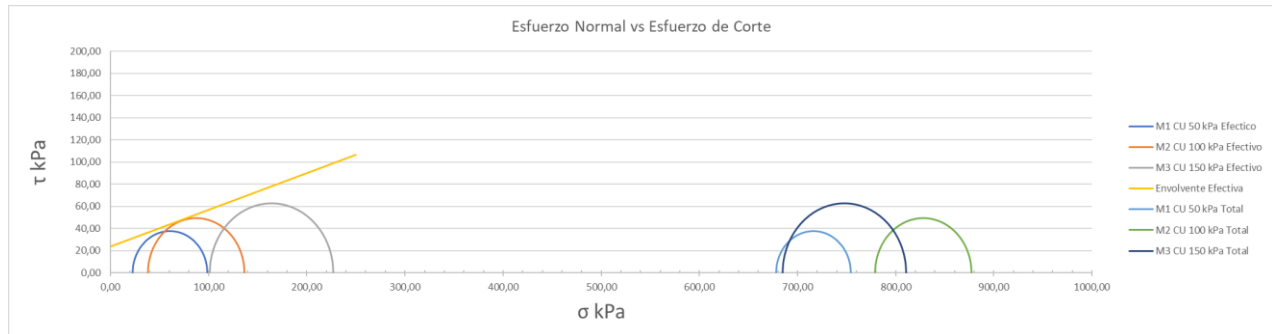
$$Promedio = \frac{0.418 + 0.229 + 0.163}{3} = 0.293$$

$$\emptyset' = \text{atan}(0.293) = 18.35^\circ$$

$$C' = \frac{C_1' + C_2' + C_3'}{3} = 23.71 \text{ kPa}$$

Figura 106

Círculos de Mohr y envolvente de falla de ensayo consolidado no drenado



Nota: Se presenta el ángulo de fricción promediado y la cohesión promediada de las tres muestras del ensayo consolidado no drenado y también se muestran los círculos de Mohr totales y efectivos. Elaborado por: Los autores.

Realizando una comparación entre las tres muestras inalteradas de suelo en el ensayo consolidado no drenado se obtuvo una cohesión efectiva promedio de 23.71 kPa y ángulo de fricción de 18.35°.

6.3 Cálculo de cohesión y ángulo de fricción para el ensayo consolidado drenado (CD)

Círculo de 50 kPa y 100 KPa

$$\text{Muestra 1 (50kPa): } \sigma_3' = 50.5 \text{ kPa} \quad ; \quad \sigma_1' = 170.0 \text{ kPa}$$

$$\text{Muestra 2 (100kPa): } \sigma_3' = 97.1 \text{ kPa} \quad ; \quad \sigma_1' = 290.6 \text{ kPa}$$

ecuación1:
$$170.0 = 50.5 * \tan^2 \left(45 + \frac{\phi_1'}{2} \right) + 2 * C_1' * \tan \left(45 + \frac{\phi_1'}{2} \right)$$

ecuación 2:
$$-290.6 = -97.1 * \tan^2\left(45 + \frac{\phi_1'}{2}\right) - 2 * C_1' * \tan\left(45 + \frac{\phi_1'}{2}\right)$$

$$120.6 = 46.6 * \tan^2\left(45 + \frac{\phi_1'}{2}\right)$$

Despejamos ϕ :

$$\phi_1' = 26.269^\circ$$

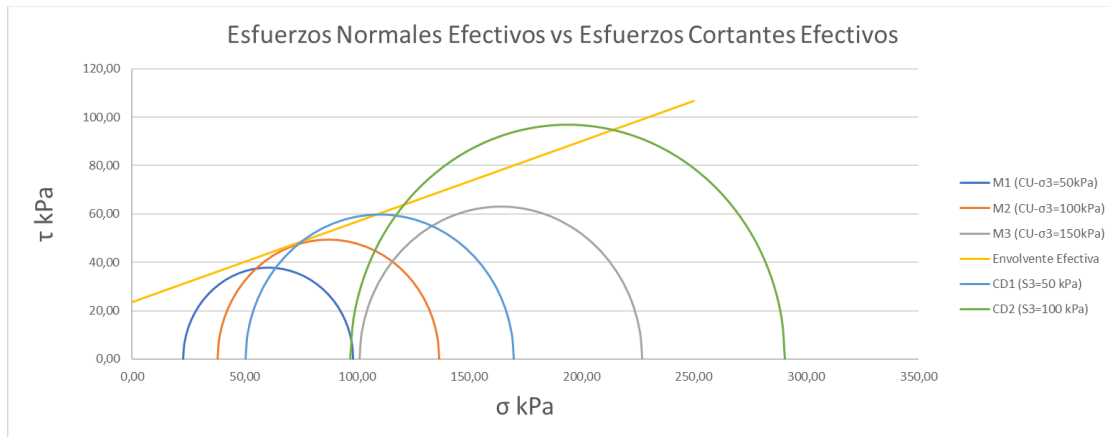
Reemplazando en ecuación 1:

$$C_1' = 14.079 \text{ kPa}$$

Realizando una comparación entre las dos muestras inalteradas de suelo en el ensayo consolidado drenado se obtuvo una cohesión promedio de 14.076 kPa y ángulo de fricción de 26.269°.

Figura 107

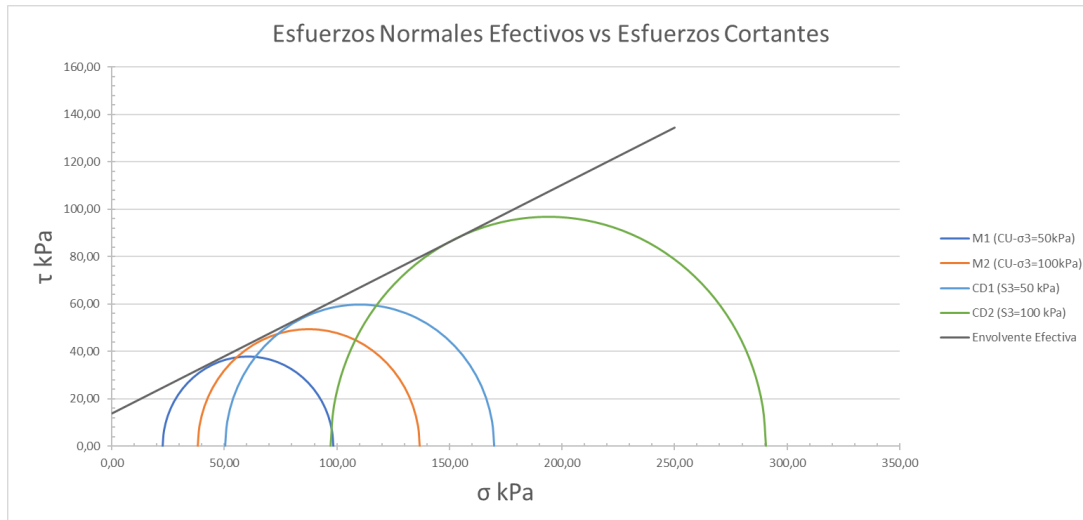
Círculos de Mohr y envolvente de falla de los ensayos consolidado no drenado (CU) y consolidado drenado (CD) con tres tipos de consolidación.



Nota: Se presenta el ángulo de fricción y la cohesión promedio de los dos tipos de ensayos (CU y CD) con consolidaciones de 50 kPa, 100kPa y 150 kPa. Elaborado por: Los autores.

Figura 108

Círculos de Mohr y envolvente de falla de los ensayos consolidado no drenado (CU) y consolidado drenado (CD) con dos tipos de consolidación.



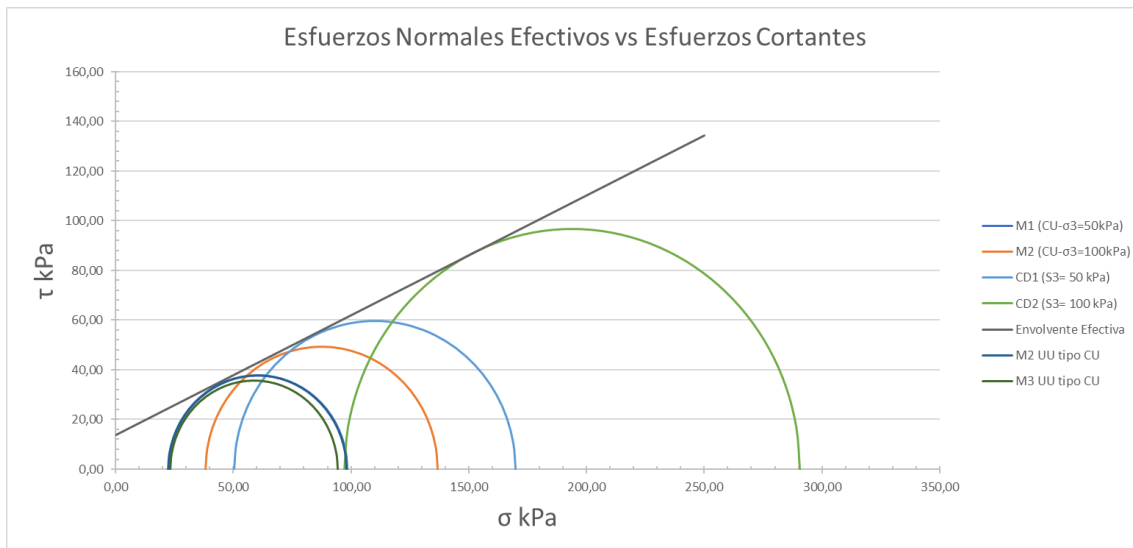
Nota: Se presenta el ángulo de fricción y la cohesión promedio de los dos tipos de ensayos (CU y CD). Elaborado por: Los autores.

Con la relación entre los ensayos consolidado no drenado y consolidado drenado en la gráfica de esfuerzos normales vs esfuerzos cortantes efectivos se llegó a obtener un valor medio de cohesión efectiva de 13.69 kPa y un ángulo de fricción efectivo de 25.75°, para esfuerzos confinantes efectivos comprendidos entre 50 kPa y 150 kPa en los ensayos CU y CD, excluyendo a la muestra 3 del ensayo CU, el cual presentó un comportamiento atípico al compararlo con las otras muestras.

En caso de colocar los resultados de los ensayos UU en términos efectivos el resultado sería:

Figura 109

Círculos de Mohr y envolvente de falla de los ensayos triaxiales no consolidado no drenado - (UU), consolidado no drenado - (CU) y consolidado drenado - (CD) con dos tipos de consolidación.



Nota: En la figura se presenta el ángulo de fricción y cohesión de los tres tipos de ensayos (UU, CU y CD) en términos de esfuerzos efectivos, Elaborado por: Los autores

En la Figura 109 no se ha incluido la muestra M1 ensayada en la modalidad no consolidada no drenada (UU) por cuanto en ese ensayo no se mide la presión de poros y no se conoce la ubicación del círculo efectivo.

De la Figura 109 se puede destacar que la envolvente efectiva es común para todos los ensayos del tipo UU, CU y CD siempre y cuando los esfuerzos normales y cortantes se representen en términos de esfuerzos efectivos.

6.4 Clasificación del suelo

Porcentaje que pasa el tamiz 200: 67.57 %

Porcentaje que pasa el tamiz 40: 95.12 %

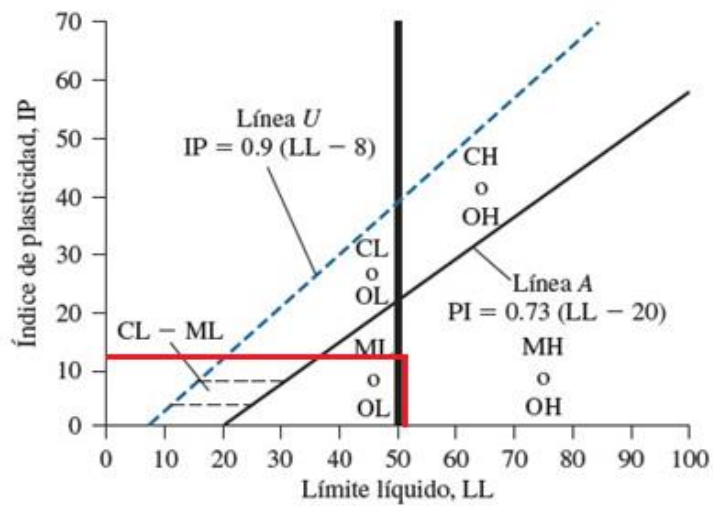
LL: 51.3 %

LP: 38.20 %

$$IP = LL - LP = 51.3 - 38.20 = 13.10$$

Figura 110

Resultado de datos obtenidos en carta de plasticidad



Nota: En la gráfica se obtiene que el tipo de suelo es MH (SUC). Elaborado por: Los autores.

CONCLUSIONES

El programa DS7- ELE que se maneja conjuntamente con el equipo triaxial no es complejo ya que éste nos va indicando los pasos que se deben seguir para la realización de cada ensayo.

La calicata de muestra inalterada de suelo fue obtenida en la provincia de Pichincha, cantón Quito, sector sur (Guamaní), barrio la Victoria a una profundidad de 1 m desde la capa vegetal.

Para el ensayo de la muestra reconstituida se aplicó el método de compactación utilizando el cilindro de media caña, dando como resultado una muestra compactada en 6 capas con una densidad de 1.32 g/cm^3 , altura de 144 mm y diámetro de 71.28 mm.

Para los ensayos no consolidado no drenado (UU) y consolidado drenado se empleó una velocidad de 2.8 mm/min y para el ensayo consolidado drenado se empleó una velocidad de 0.01589 mm/min, en este último los incrementos en las presiones no superaron el 1%.

Se ensayó ocho probetas de limo de alta plasticidad (MH) en condiciones naturales y una probeta en condiciones reconstituida. Obteniendo los siguientes resultados: $H=38.42 \%$, $LL=51.3 \%$, $LP=38.20 \%$, $IP=13.10 \%$.

Mediante el presente manual se expone de forma detallada el procedimiento adecuado para realizar ensayos triaxiales en el equipo triaxial ELE, desde la obtención de un bloque cúbico de suelo inalterado, seguido de su tallado, hasta el montaje del espécimen y su respectivo ensayo.

En la figura 107 se han representado los círculos de Mohr obtenidos en todos los ensayos consolidados no drenados y consolidados drenados en términos de esfuerzos efectivos, del cual se destaca que la Muestra 3 presentó un comportamiento atípico con respecto a las otras muestras

ensayadas por cuanto la misma se aleja de la envolvente de falla efectiva. Se puede atribuir la diferencia al tallado, preparación de la muestra y sección transversal no constante o uniforme.

En la figura 109 se muestran los círculos de Mohr en términos efectivos de todas las muestras ensayadas, las no consolidadas no drenadas (UU), las consolidadas no drenadas (CU) y las consolidadas drenadas (CD) de las cuales se destaca que existe una sola envolvente efectiva común a todos los ensayos.

Se destaca lo importante que sería en los ensayos UU poder medir la presión de poros para poder construir su círculo de Mohr en términos de esfuerzos efectivos y contribuir en la construcción de la envolvente de falla efectiva.

RECOMENDACIONES

Comprobar que el transductor de desplazamiento tenga una longitud mínima expandida del 15% de la muestra.

Antes de iniciar el ensayo verificar que la membrana no tenga ningún orificio que esté en contacto con la muestra y debe ser manipulada con cuidado.

Las muestras deben ser cilíndricas y no deben tener aristas debido a que esto puede romper la membrana.

Revisar constantemente la dirección del pistón de volumen y que éste se encuentre en una posición neutra antes de iniciar la consolidación del espécimen.

Adquirir un torno y tallador para suelos de tal manera que nos pueda dar un espécimen más uniforme.

REFERENCIAS

ANATECH BRASIL (2017, 26 de mayo). 01. *ELE Triaxial Test Training* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=AbbzpGfBL7Y>

ANATECH BRASIL (2017, 26 de mayo). 02. *ELE Triaxial Test Training* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=jhPYSu_wbZ8

ANATECH BRASIL (2017, 26 de mayo). 03. *ELE Triaxial Test Training* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=Cu5wlf4-Oqg>

ANATECH BRASIL (2017, 26 de mayo). 04. *ELE Triaxial Test Training* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=cHgJQnHeQRI>

ASTM D 4767 - 11. (2020). Metodo estandar de prueba de compresion triaxial en suelos cohesivos consolidados no drenados.

<https://pdfcoffee.com/astm-d4767-11-triaxial-cu-pdf-free.html>

ASTM D 7181 -20 (2020). Prueba de compresión triaxial drenada consolidada para suelos.

https://www.academia.edu/42809326/Designation_D7181_20_Standard_Test_Method_for_Consolidated_Drained_Triaxial_Compression_Test_for_Soils_1

ASTM D 2850 – 15 (2016). Método estándar de prueba de compresión triaxial en suelos cohesivos no consolidados no drenados.

<https://pdfcoffee.com/astm-d2850-unconsolidated-undrained-triaxial-compression-test-4-pdf-free.html>

ASTM D 2487- 17e1. (2021) Practica estándar para la clasificación de suelos para propósito de ingeniería (Sistema de clasificación unificado de suelos)

https://www.cesmec.cl/medios/DIC/normas/ASTM_D2487_11_.pdf

- Bowles, J. (2006). Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo
<http://www.lms.uni.edu.pe/Determinacion%20del%20contenido%20de%20Humedad.pdf>
- Braja M. Das (2001) Fundamentos de ingeniería geotécnica primera edición
Editorial Thomson Editores, S.A. de C.V.
- Braja M. Das (2012) Fundamentos de ingeniería de cimentaciones séptima edición
Editorial Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
- Braja M. Das (2013) Fundamentos de ingeniería geotécnica cuarta edición
Editorial Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
- Bernal C. (2006) Metodología de la investigación para administración economía y ciencias sociales, Pearson Educación de México, S.A. de C. V.
https://books.google.com.ec/books?id=h4X_eFai59oC&pg=PA113&dq=investigacion+descriptiva&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjzp6OI9Jb4AhXzk4kEHSV0BHgQ6AF6BAgCEAI#v=onepage&q=investigacion%20descriptiva&f=false
- Cañas J (1996). Análisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y grueso y determinación de material más fino que el tamiz No. 200 (75 μ m) en agregado mineral por lavado. Universidad Centroamericana.
<https://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/GRANULOMETRIA.pdf>
- Hrbs, E. (2010). Ensayo triaxial consolidado no drenado (CU).
<https://www.ingenierocivilinfo.com/2011/03/ensayo-triaxial-consolidado-no-drenado.html>
- Huayta Quispe, M. Mamani Villalba, J y Toledo Vilca, K (2021). Ensayo triaxial.
<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/ingenieria-civil/informe-ensayo-triaxial/17904834>
- Mecánica Científica S.A. (2017). Aparatos para ensayos de materiales – instrumentación científica
https://mecacisa.com/wp-content/uploads/productos/pdf/22_0154.pdf
- Rodríguez E. (2005) Metodología de la investigación, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
<https://books.google.com.ec/books?id=r4yrEW9Jhe0C&pg=PA25&dq=investigaci%C3%B3n+experimental&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiThcu9-Zb4AhXywykDHSGZDn0Q6AF6BAgHEAI#v=onepage&q=investigaci%C3%B3n%20experimental&f=false>

Santa Cruz Perales, D. (2018) Zonificación de la capacidad portante del suelo de la localidad de Soritor del distrito de Soritor – provincia de Moyobamba – región San Martín [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Martín, Perú]

<https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2928/CIVIL%20-%20Tesis%20Dennis%20Santa%20Cruz%20Perales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ulloa, I. (s/f). Equipos para pruebas de materiales de construcción. ELE Internacional. https://www.academia.edu/16800170/Complete_ELE_Catalog_Spanish_7th_Ed

Zurita, H. y Narváez, S. (2014). *Investigación, Ciencia y Tecnología Metodología de Proyectos* Editorial M-MASICO.

ANEXOS

Figura 111

Modo de falla del espécimen en el ensayo no consolidado no drenado - UU



Nota: Se presenta la falla del suelo de la muestra 1: Elaborado por: Los autores.

Figura 112

Modo de falla del espécimen en el ensayo no consolidado no drenado - UU



Nota: Se presenta la falla del suelo de la muestra 2: Elaborado por: Los autores.

Figura 113

Modo de falla del espécimen en el ensayo no consolidado no drenado - UU



Nota: Se presenta la falla del suelo de la muestra 3: Elaborado por: Los autores.

Figura 114

Modo de falla del espécimen en el ensayo no consolidado no drenado - UU



Nota: Se presenta la falla del suelo de la muestra remoldeada 4: Elaborado por: Los autores.

Figura 115

Modo de falla del espécimen en el ensayo consolidado no drenado - CU



Nota: Se presenta la falla del suelo de la muestra 1: Elaborado por: Los autores.

Figura 116

Modo de falla del espécimen en el ensayo consolidado no drenado - CU



Nota: Se presenta la falla del suelo de la muestra 2: Elaborado por: Los autores.

Figura 117

Modo de falla del espécimen en el ensayo consolidado no drenado - CU



Nota: Se presenta la falla del suelo de la muestra 3: Elaborado por: Los autores.

Figura 118

Modo de falla del espécimen en el ensayo consolidado drenado - CD



Nota: Se presenta la falla del suelo de la muestra 1: Elaborado por: Los autores.

Figura 119

Modo de falla del espécimen en el ensayo consolidado drenado - CD



Nota: Se presenta la falla del suelo de la muestra 2: Elaborado por: Los autores.

Figura 120

Acople rápido macho para aire y agua



Nota: Se presententa el acople rápido macho que se envió a fabricar en acero inoxidable se usa como accesorio para agua y aire. Elaborado por: Los autores.

Figura 121

Acople rápido macho para bomba de vacío



Nota: Se presenta el apople rápido macho que se envió a fabricar en acero inoxidable y es usado como accesorio para le bomba de vacío. Elaborado por: Los autores.

Figura 122

Despiece de válvula de cinco vias tres pociones



Nota: Se presenta el despiece de la válvula, del eje principal de conexión de vías el cual tuvo que ser reemplazado por la presencia de fugas . Elaborado por: Los autores.