



UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPTO. INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

PROFESOR GUIA: CRISTHIAN AGUILERA

“Propuesta técnica y económica para implementar un sistema de adquisición de datos para el análisis de resistencia de corte a muestras de suelo mediante ensayos de corte directo”

Proyecto de Titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de “Ingeniero de Ejecución en Electrónica”

16 de Enero, 2017

AUTOR (ES): Erik Díaz Díaz

Fabián Vargas Cárcamo

RESUMEN

El presente documento detalla el proyecto cuyo propósito es automatizar el proceso llamado “Ensayo de Corte Directo”, realizado en el laboratorio de suelos del Departamento de Ciencias de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío, éste consiste en determinar la resistencia de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en terreno producto de la aplicación de una carga. Para ello, se trabajó en el diseño de un sistema automatizado de adquisición, control y monitoreo de las variables de proceso, a través del desarrollo de seis capítulos presentados a continuación:

En el primer capítulo se explica la clasificación unificada de los suelos, una de varias que existen. También se describen ensayos complementarios al ensayo principal en cuestión, teoría de fallas de suelo y además se describe en detalle el procedimiento para llevar a cabo el Ensayo de Corte Directo.

En el segundo capítulo se describe en detalle el actual sistema implementado para realizar el Ensayo de Corte Directo, incluyendo imágenes y datos técnicos del equipo.

En el tercer capítulo se detalla el equipamiento disponible en el mercado electrónico para realizar el Ensayo. Para esto se describen equipos y tecnologías disponibles para actualizar el equipo que se encuentra en Laboratorios de Ciencias de la Construcción.

El cuarto capítulo contempla la definición, estructura y proceso de la adquisición de datos. Se detalla software, hardware, lenguajes y comunicación en la industria a implementar para llevar a cabo una adquisición de datos.

En el capítulo número cinco se explica lo que es una HMI (Interfaz Humano-Máquina) en general y también se detalla el funcionamiento de la HMI programada según los requerimientos del laboratorio de suelos del Departamento de Ciencias de la Construcción, de la Universidad del Bío Bío.

El sexto capítulo detalla cuatro propuestas técnicas y económicas para intentar dar solución a la problemática de adquisición de datos.

Finalmente en la sección Conclusiones y Comentarios se da a conocer la finalización del trabajo realizado detallando los resultados y aclaraciones de toda la investigación dedicada al ensayo de Corte Directo.

ÍNDICE

RESUMEN	I
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE ANEXO	VIII
INTRODUCCIÓN	1
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	5
OBJETIVOS	9
OBJETIVO GENERAL.....	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
CAPITULO I	10
DESCRIPCION DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO DEL LABORATORIO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCION	10
1.1 CLASIFICACIÓN UNIFICADA DE LOS SUELOS	11
1.2 ENSAYOS COMPLEMENTARIOS AL DE CORTE DIRECTO	12
1.2.1 <i>Análisis Granulométrico</i>	13
1.2.2 <i>Límite de consistencia</i>	13
1.3 ENSAYO DE CORTE DIRECTO	13
1.4 PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO	15
1.4.1 <i>Teoría de falla de Coulomb</i>	16
1.4.2 <i>Valores característicos del ángulo de fricción de algunos suelos</i>	18
1.5 PROCEDIMIENTO	19
1.5.1 <i>Preparación de la muestra</i>	19
1.5.2 <i>Etapa de Consolidación</i>	20
1.5.3 <i>Etapa de Corte</i>	20
1.6 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE CORTE DIRECTO	22
CAPITULO II	25

ANTECEDENTES TECNICOS DEL ACTUAL SISTEMA PARA ENSAYO DE CORTE DIRECTO	25
2.1 PARTES DE LA MÁQUINA DE CORTE	26
2.1.1 Máquina de corte digital ELE 26-2114	26
2.1.1.1 Motor de la máquina de corte	27
2.1.2 Recipiente de caja de corte	28
2.1.3 Caja de corte	28
2.1.4 Eje de carga.....	29
2.1.5 Palanca de Carga	29
2.1.6 Cargas	30
2.1.7 Micrómetro de desplazamiento vertical y horizontal	30
2.1.8 Anillo de fuerza	31
2.1.9 Otros equipos	32
CAPITULO III	33
EQUIPAMIENTO DISPONIBLE EN EL MERCADO ELECTRÓNICO	33
3.1 EQUIPOS DE CORTE DIRECTO EXISTENTES EN EL MERCADO.....	35
3.2 TECNOLOGÍA DISCRETA DISPONIBLE EN EL MERCADO	37
3.2.1 SENSORES:	37
3.2.1.1 Transformador diferencial:	37
3.2.1.2 Galga Extensiométrica:	38
3.2.1.3 Transductor lineal de Posición Resistivo	40
3.2.1.4 Celda de carga.....	41
3.2.2 SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS	43
3.2.2.1 Datalogger:	43
3.2.2.3 Módulo de adquisición de datos ADAM.....	44
CAPITULO IV.....	45
SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA ENSAYO DE CORTE DIRECTO.	45
4.1 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (SAD)	45
4.1.1 Estructura del sistema de adquisición de datos.....	45
4.1.2 Proceso para la adquisición de datos.....	46
4.1.3 Tarjetas DAQ.....	46
4.1.4 Software.....	47

4.1.4.1 Microsoft Visual Studio	47
4.1.4.2 LabVIEW.....	47
4.1.4.3 MATLAB.....	47
4.1.4.4 Lenguaje C++.....	48
4.1.4.5 VisualBasic.NET.....	48
4.2 COMUNICACIÓN EN LA INDUSTRIA.....	48
4.2.1 Interfaces de comunicación	48
4.2.1.1 Interfaz RS-232-C	49
4.2.1.2 Interface RS-485.....	49
4.2.1.3 USB.....	50
4.2.1.4 ETHERNET	52
4.2.1.4.1 Pines Ethernet (RJ45)	52
4.2.1.4.2 Tipos de Ethernet	53
4.2.1.4.2.1 Ethernet	53
4.2.1.4.2.2 Fast Ethernet.....	54
4.2.1.4.2.3 Gigabit Ethernet.....	54
4.2.2 Protocolos de comunicación	54
4.2.2.1 Buses de campo.....	54
4.2.2.1.1 Profibus (Process field bus)	55
4.2.2.1.2 Foundation fieldbus	55
4.2.2.1.3 Modbus	55
4.2.2.1.4 Devicenet.....	55
CAPITULO V	57
DISEÑO DE UNA HMI PARA MONITOREO DE VARIABLES DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO	57
5.1 Requerimientos solicitados en Laboratorio de Suelos para la realización de la HMI	58
5.2 HMI diseñada para el Ensayo de Corte Directo.....	60
CAPITULO VI.....	65
PROPUESTA TÉCNICA Y ECONÓMICA TOTAL DEL PROYECTO	65
6.1 CRITERIO DE SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS	65
6.2 PROPUESTAS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS DE LA MÁQUINA DE CORTE DIRECTO	65
6.2.1 Propuesta N°1: Máquina de Corte Directo nueva y automatizada HUMBOLDT	65

6.2.1.1 Cotización máquina de corte HUMBOLDT completa	66
6.2.1.2 Cotización sensores HUMBOLDT por separado	67
6.2.2 Propuesta N°2: Máquina de Corte Directo Nueva y automatizada ELE.....	68
6.2.2.1 Cotización máquina de corte ELE completa	69
6.2.3 Propuesta N°3 Construcción de sistema de adquisición de datos en base a Datalogger CR300.	70
6.2.3.1 Sensores LVDT	70
6.2.3.2 Celda de carga tipo "S"	70
6.2.3.3 Datalogger	70
6.2.3.4 Presupuesto para la construcción del sistema de adquisición de datos	71
6.2.3 Propuesta N°4: Construcción de sistema de adquisición de datos en base a ADAM-40929+	71
6.2.3.1 Sensores para la adquisición de datos	71
6.2.3.2 Modulo ADAM.....	71
6.2.3.3 Presupuesto para la construcción del sistema adquisición de datos	72
CONCLUSIÓN	74
BIBLIOGRAFIA.....	76
ANEXOS.....	77

Índice de Figuras

Figura N° 1 "Torre de Pisa" (Fotografía extraída de la web).....	1
Figura N° 2 "Desplazamiento de suelo bajo carretera" (Fotografía extraída de la web).....	2
Figura N° 3 "Desastre condominio Don Tristán, Santiago" (Fotografía extraída de la web).....	2
Figura N° 4 "Catástrofes edificio Alto Rio, Concepción" (Fotografía extraída de la web).....	2
Figura N° 5 "Hoja de registros etapa de Consolidación".....	7
Figura N° 6 "Hoja de registros etapa Corte Directo"	8
Figura N° 7 "Tamices del laboratorio de suelos"	13
Figura N° 8 "Graficas para la etapa de Consolidación"	14
Figura N° 9 "Grafica para etapa de Corte"	14
Figura N° 10 "Ecuación de falla de Coulomb representada gráficamente"	16

Figura N° 11 “Esfuerzo de Corte vs Esfuerzo Axial, grafica extraída de planilla Excel Ensayo de Corte Directo, Laboratorios de Suelo, Universidad del Bio-Bio”	17
Figura N° 12 “Muestra inalterada”	19
Figura N° 13 “Caja de corte sumergida”	20
Figura N° 14 “Movimiento caja de corte”	21
Figura N° 15 “Muestra cortada”	21
Figura N° 16 “Diagrama de flujo del Ensayo de Corte Directo”	24
Figura N° 17: “Sistema para ensayo de Corte Directo”	25
Figura N° 18 “Máquina de corte digital, panel frontal”	26
Figura N° 19 “Máquina de corte digital, panel trasero”	27
Figura N° 20 “Motor de la máquina de corte”	27
Figura N° 21 “Contenedor y caja de corte”	28
Figura N° 22 “Partes de caja de corte”	28
Figura N° 23 “Eje de carga”	29
Figura N° 24 “Sistema para aplicar fuerza Normal”	29
Figura N° 25 “Cargas”	30
Figura N° 26 “Micrómetro análogo con indicador dial de desplazamiento vertical”	30
Figura N° 27 “Micrómetro análogo con indicador dial de desplazamiento horizontal”	31
Figura N° 28 “Anillo de fuerza”	31
Figura N° 29 “Cronometro digital”	32
Figura N° 30 “Balanza de precisión”	32
Figura N° 31 “Máquina para ensayo de Corte Directo, laboratorios IDIEM”	33
Figura N° 32 “Interfaz de Humboldt Material Testing Software”	34
Figura N° 33 “Máquina de Corte Directo modelo HM-2750, Humboldt” (Fotografía extraída de la web).....	35
Figura N° 34 “Máquina de Corte Directo modelo 26-2114/01, ELE International” (Fotografía extraída de la web)	35
Figura N° 35 “Máquina de corte modelo 25Sixty Shear, Humboldt” (Fotografía extraída de la web).....	36
Figura N° 36 “Máquina de Corte Directo automático modelo S0125/SM” (Fotografía extraída de la web)	37
Figura N° 37 “Esquema Transformador Diferencial”	37
Figura N° 38 “Transformador Diferencial” (Fotografía extraída de la web)	38
Figura N° 39 “Conexión de galga con puente de Wheatstone”	39
Figura N° 40 “Galga extensiométrica” (Fotografía extraída de la web)	39
Figura N° 41 “Esquema del cableado de Transductor lineal de posición”	40

Figura N° 42 “Transductor lineal de posición” (Fotografía extraída de la web)	40
Figura N° 43 “Celda de Carga Tipo S”	41
Figura N° 44 “Esquema Celda de Carga”	42
Figura N° 45 “Datalogger”	43
Figura N° 46 “ADAM 4019+”	44
Figura N° 47 “Esquema del proceso”	47
Figura N° 48 “Pines de conector macho y hembra de RS-232C Y RS-485, DB-9”	50
Figura N° 49 “Líneas eléctricas del puerto USB” (Fotografía extraída de la web).....	51
Figura N° 50 “Líneas eléctricas del puerto USB 3.0”	51
Figura N° 51 “Pines RJ45 macho” (Fotografía extraída de la web)	52
Figura N° 52 “Esquema general de un sistema SCADA”	58
Figura N° 53 “Parte del Excel donde se registran datos del proceso”	58
Figura N° 54 “Parte de la plantilla del informe generado para el cliente”	59
Figura N° 55 “Acceso de usuario de HMI”	60
Figura N° 56 “Elección de probeta para realizar ensayo de Corte Directo”	60
Figura N° 57 “Datos del cliente”	61
Figura N° 58 “Identificación de la muestra”	61
Figura N° 59 “Ingreso de datos iniciales del Ensayo”	62
Figura N° 60 “Gráfica en tiempo real en escala normada por ASTM-D3080”	62
Figura N° 61 “Registro de datos, etapa de consolidación”	63
Figura N° 62 “Registro de datos, etapa de corte”	63
Figura N° 63 “Ingreso de datos finales del Ensayo”	64
Figura N° 64 “Circuito para VDIV 2:1”	70
Figura N° 65 “PCB de VDIV 2:1, diseño en Proteus ISIS”	71
Figura N° 66 “Conexión por RS-485” (Fotografía extraída de la web).....	72
Figura N° 67 “Módulos ADAM para conversión en la comunicación serial”	72

Índice de Tablas

Tabla N° 1 “Ensayos realizados en Laboratorio de suelos”	5
Tabla N° 2 “Velocidades estándar para actuador de máquina de corte”	11
Tabla N° 3 “Símbolos de grupo (SUCS)”	11
Tabla N° 4 “Tipología de suelos (SUCS)”	12

Tabla N° 5 “Ángulos de fricción interno de algunos suelos”	18
Tabla N° 6 “Datos de caja de corte”	28
Tabla N° 7 “Datos de Micrómetro análogo con indicador dial de desplazamiento vertical”	30
Tabla N° 8 “Micrómetro análogo con indicador dial de desplazamiento horizontal”	31
Tabla N° 9 “Datos de Anillo de fuerza”	31
Tabla N° 10 “Datos de Transformador diferencial (LVDT)”	38
Tabla N° 11 “Datos de Galga extensiométrica”	39
Tabla N° 12 “Datos de Transductor lineal de Posición”	40
Tabla N° 13 “Datos de Celda de carga tipo S”	41
Tabla N° 14 “Resumen de sensores”	42
Tabla N° 15” Datos de Datalogger CR300”	43
Tabla N° 16” Datos ADAM-4019+”	44
Tabla N° 17 “Función de pines DB-9 de RS-232C”	49
Tabla N° 18 “Función de pines DB-9 de RS-485”	50
Tabla N° 19 “Velocidades de Versiones USB”	52
Tabla N° 20 “Pines RJ45 macho”	53
Tabla N° 21 “Resumen de protocolos de comunicación”	56
Tabla N° 22 “Cotización COTECNO (Comercial Tecnológica LTDA), Santiago de Chile”	66
Tabla N° 23 “Cotización COTECNO (Comercial Tecnológica LTDA), Santiago de Chile”	67
Tabla N° 24 ”Cotización máquina de Corte Directo marca ELE”	69

Índice de Anexo

Anexo N° 1 “P&ID, Datalogger CR-300”	77
Anexo N° 2 “Diagrama eléctrico, Datalogger CR-300”	78
Anexo N° 3 “P&ID, Adquisidor de datos ADAM 4019+”	79
Anexo N° 4 “Diagrama eléctrico, ADAM 4019+”	80
Anexo N° 5 “Traducción de la Norma ASTM D 3080 -04: Ensayo de Corte Directo - “Método de prueba estándar para Ensayo de Corte Directo de Suelos bajo condiciones consolidadas de drenaje”	81

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la construcción la calidad del suelo cumple un papel fundamental para el desarrollo de proyectos por lo tanto es de vital importancia identificar las características del suelo y así verificar la capacidad de soportar diferentes estructuras.

Toda estructura u obra civil se apoya en el suelo y ejerce una fuerza sobre éste llegando a producir deformaciones que en casos extremos puede producir deslizamientos de tierra y eventualmente fallas en las obras construidas. Es por esto que es de suma importancia anticiparse a dichos sucesos para lo cual se realizan diversos estudios de laboratorios como por ejemplo la resistencia al corte del suelo para obtener datos propiamente tal del material en análisis como lo es el ángulo de rozamiento, densidad y cohesión.

Un antecedente histórico radica en el año 1173 con la construcción de la torre de pisa. (Ver Figura N°1). Después de que se construyera la tercera planta, la torre se inclinó tres metros hacia el norte, debido a unos cimientos débiles, en un subsuelo inestable. Años después se añadieron cuatro nuevas plantas, construidas con cierto ángulo con objeto de contrarrestar la inclinación y finalmente la última planta. Esto demuestra que en eso años no se realizaban estudios de suelo previos a las construcciones.



Figura N° 1 "Torre de Pisa" (Fotografía extraída de la web)

En la actualidad, uno de los incidentes más comunes relacionados con el estudio de suelos son las fallas en construcción de carreteras. (Ver Figura N°2). Generalmente ocurren por el desplazamiento de suelos en invierno, exceso de líquido en subsuelos.



Figura N° 2 “Desplazamiento de suelo bajo carretera” (Fotografía extraída de la web)

Una constructora realizó la edificación en cimientos débiles y con rellenos lo que provocó un deslizamiento del terreno dejando a muchas familias damnificadas (Ver Figura N°3). Según documentación revisada en la investigación los planos tienen una “relevante discordancia” con las especificaciones indicadas por la empresa que elaboró el informe de mecánica de suelos.



Figura N° 3 “Desastre condominio Don Tristán, Santiago” (Fotografía extraída de la web)

El colapso del edificio “Alto Río” fue uno de los hechos más catastróficos hasta la fecha, según antecedentes recopilados se dio a conocer que existieron problemas de diseño y construcción, además uno de los aspectos más importantes fue el error en el estudio del suelo en el cual falló la clasificación de este mismo (Ver Figura N°4).



Figura N° 4 “Catástrofes edificio Alto Río, Concepción” (Fotografía extraída de la web)

Dada la importancia de tener conocimiento de los parámetros del suelo donde se lleva a cabo la construcción es que, en dependencias del laboratorio de suelos del Departamento de Ciencias

de la Construcción de la Universidad del Bio-Bio, se llevan a cabo diversos ensayos de laboratorio y en particular se implementa el ensayo de Corte Directo para realizar análisis de muestras de suelos para distintos clientes.

Se llama Cliente, en este trabajo de título, a todas aquellas empresas que tienen un contrato de asistencia técnica con el laboratorio de suelos, para poder realizar ensayos y certificar sus procesos o elementos propios de la construcción de viviendas, edificaciones, etc.

Este ensayo intenta conseguir la rotura de una muestra a través de la aplicación de carga según un plano predeterminado, con el fin de poder conocer experimentalmente los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna que nos definen la resistencia del suelo.

Existen tres tipos de ensayos según las condiciones en que se realicen, estos son:

- Ensayo consolidado-drenado (CD)
- Ensayo consolidado-no drenado (CU)
- Ensayo no consolidado-no drenado (UU)

Para obtener estos datos, se realizan dos etapas complementarias llamadas Consolidación y Corte respectivamente. En la Consolidación se aplica una carga vertical y se mide la deformación de la muestra mientras se encuentra sumergida en agua, por lo tanto solo se toman datos del micrómetro con dial análogo vertical, los tiempos para tomar estos datos están normados y tabulados en la Figura N°5, luego con los datos obtenidos se genera una gráfica “deformación normal v/s raíz del tiempo” con la cual se realizan cálculos matemáticos para obtener la velocidad del posterior corte.

En la etapa de Corte se aplica al actuador el dato de velocidad con que este ejerce presión sobre la muestra y se mantiene la carga vertical. Una vez iniciado el proceso se debe tomar datos de micrómetros vertical, horizontal y de anillo de fuerza, y ser registrados en una hoja de datos (Ver Figura N°6).

Los dispositivos de medición del equipo usado en el proceso son análogos, las mediciones son tomadas a través de los diales dispuestos en los ejes verticales y horizontales de una probeta. Esta probeta contiene muestras de suelo inalterado para su posterior estudio. Para realizar el análisis se llevan a cabo tres ensayos de la misma muestra y a distintas cargas que aumentan progresivamente, para corroborar que la toma de datos sea proporcional y por lo tanto correcta.

Al utilizar diales análogos la toma de datos es realizada por un operador en forma manual, lo cual muchas veces llega a durar 96 horas o más dependiendo el tipo de suelo.

Gracias a los avances tecnológicos, es posible pensar en la automatización de este proceso, logrando una mayor productividad del mismo operador y agilizando sus tiempos. Para esto se contempla utilizar dispositivos electrónicos que cumplan con los estándares de calidad y certificaciones que aseguren la estabilidad del proceso.

Identificación del problema

En el laboratorio de suelos del Departamento de Ciencias de la Construcción, de la Universidad del Bío Bío, se realizan estudios de suelos rigiéndose cada uno de estos por normas donde se establece el procedimiento estándar para llevar a cabo cada ensayo.

Tabla N° 1 “Ensayos realizados en Laboratorio de suelos”

ENSAYO	NORMA
Humedad	NCh 1515 Of 1979
Densidad en el terreno – Método del Cono de arena	NCh 1516 Of 1979
Límite Líquido	NCh 1517/1 Of 1979
Límite Plástico	NCh 1517/2 Of 1979
Densidad de Partículas Sólidas	NCh 1532 Of 1980
Compactación, Método Proctor Modificado	NCh 1534/2 Of 1979
Razón de soporte (CBR)	NCh 1852 Of 1981
Análisis granulométrico	Manual de Carreteras 8.102.1 – 2008
Densidad Máxima	ASTM D 4253 -00(2006)
Densidad Mínima	ASTM D 4254-00(2006)e1
Compresión no Confinada	ASTM D 2166 -06
Corte Directo	ASTM D 3080 -04
Cubicidad de Partículas	Manual de Carreteras 8.202.6 – 2008
Determinación de Material Fino Menor 0,08 mm	NCh 1223 Of 1977
Desgaste de las gravas	NCh 1369 Of 1978
Densidad en Terreno, Método Nuclear (**)	Manual de Carreteras 8.502.1 (LNV 19) – 2008

El problema nace con un ensayo en específico llamado Corte Directo cuyo método determina la resistencia al corte de una muestra de suelo utilizando un equipo que a través de dispositivos análogos realiza mediciones de desplazamientos y fuerza.

Dentro del periodo de duración del ensayo se denota un proceso continuo y a muy baja velocidad, tomando tiempos de hasta 96 horas. Se distinguen tres tipos de ensayos según las


condiciones en que se apliquen, consolidado- drenado, consolidado-no drenado y no consolidado-no drenado.

La primera etapa de este ensayo se llama consolidación, la muestra de suelo es puesta dentro de una probeta, que corresponde a una caja metálica, y se le aplica una carga vertical en forma discreta que consiste en tres pesos específicos que van en incremento. Una vez terminada la etapa de Consolidación, y gracias a los datos recopilados, inspección visual del operador mediante micrómetros (diales análogos), y a través de ecuaciones matemáticas, es posible determinar la velocidad de corte, dato que se aplica como parámetro al actuador en la etapa de Corte. En la etapa de corte se procede a aplicar una carga horizontal a través de un actuador que realiza presión a una velocidad controlada, y se mantiene la carga vertical para luego realizar lecturas de los desplazamientos horizontales, verticales y fuerza a través de tres micrómetros análogos.

El problema consiste en la adquisición de los datos obtenidos de este ensayo, pues como se describe, la máquina de Corte Directo consta de dispositivos de medición análogos, lo que implica que un operador debe llevar anotaciones manuales de tres micrómetros (dial análogo) los cuales debe observar al mismo tiempo y en intervalos muy pequeños. Esto lleva a una pérdida de tiempo total del operador, pues debe permanecer registrando los valores in situ y no puede realizar el resto de sus labores y por las noches es necesario pausar el ensayo y reanudarlo con la próxima jornada laboral, metodología que para los avances tecnológicos actuales en la industria es prácticamente arcaica y obsoleta; además en caso de presentarse una falla en algunos de los dispositivos actuadores el proceso debe ser repetido dejando pérdidas de tiempo, trabajo y material.

En el mercado existen sistemas que realizan éste Ensayo de manera automática, marcas como Ele International, Humboldt y Proeti, comercializan diversos equipos y software especializados para estudios de suelos.

Se precisa realizar una automatización para el sistema de adquisición de datos y así lograr una optimización de tiempo, pues el proceso ya no requerirá ser pausado y se evitarían las constantes lecturas manuales de los micrómetros con dial análogo.

 Universidad del Bío Bío Laboratorio Ciencias de la Construcción	Determinación de la resistencia al corte		Código: RT-S-018
			Versión 2.0
			Página 2 de 3

O.T.: 687MS

N° de la muestra	4770	Cota	-2,10 s -2.40
------------------	------	------	---------------

REGISTRO DE PROCESO DE CONSOLIDACION ESTADO INICIAL

DATOS PROBETA			
Fecha	24/05/16	Altura Inicial H_0 (mm)	
Hora inicio	09:00	Volumen Inicial V_0 (cm ³)	
Tipo de muestra (Inalterada/Remoldeada/Compactada)	C	Altura Final H_f (mm)	
Fuerza normal N (Kg)	S	Volumen Final V_f (cm ³)	
Área de la probeta A (cm ²)		Cambio en el Espesor de la Muestra (mm)	
Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	0.5	Densidad Seca $\rho_s = \frac{M_s}{V_0} \left(\frac{grs}{cm^3} \right)$	
Humedad Inicial (M_{t0}) grs.	10.6	Gravedad Especifica de los Solidos $G_s = \frac{\text{Densidad Particulas Solidas}}{\rho_s}$	
Masa Húmeda Inicial (M_{tf}) grs.	3482.43	Volumen de los Solidos $V_s = \frac{M_s}{G_s \rho_w}$	
Masa Húmeda Final (M_s) grs.	3559.05	Altura Equivalente de los Solidos $H_s = \frac{V_s}{A}$	
Masa Seca		Indice de Vacios Inicial $e_0 = \frac{H_0 - H_f}{H_s}$	
Humedad Final	24.1	Indice de Vacios Final $e_f = \frac{H_f - H_s}{H_s}$	
Densidad de Particulas Solidas (grs/cm ²)	2.409	Grados de Saturacion Inicial $S_0 = \frac{M_{t0} - M_s}{A \rho_w (H_0 - H_s)} \times 100$	
Clasificación USCS	SW-SM	Grado de Saturacion Final $S_f = \frac{M_{tf} - M_s}{A \rho_w (H_f - H_s)} \times 100$	

Tiempo		Registro de deformación		
t_{real}	\sqrt{t} (min)	Lectura (mm) (vueltas)	Lectura (mm) (rayas)	Lectura (mm)
00'06"	0.32	-1	-1	
00'15"	0.50	-1	-4	
00'30"	0.71	-1	-6	
01'00"	1.0	-1	-8	
02'15"	1.5	-1	-11	
04'00"	2.0	-1	-13	
06'15"	2.5	-1	-14	
09'00"	3.0	-1	-17	
12'15"	3.5	-1	-18	
16'00"	4.0	-1	-19	
20'15"	4.5	-1	-20	
25'00"	5.0	-1	-20	
40'00"	6.32	-1	-22	
60'00"	7.75	-1	-23	
90'00"	9.49			
3 Horas	13.42			
8 Horas	21.91			
24 Horas	37.95			

Nota: Grafico Deformacion normal v/s Raiz Cuadrada del tiempo, adjunto.

Grafico Deformacion normal v/s Logaritmo del tiempo, adjunto.

PROBETA		
Tiempo estimado	t_r	60
Desp. Horiz. Estimado (mm)	d_r	10
Velocidad de carga (mm/min)	V_d	0.1667

Figura N° 5 "Hoja de registros etapa de Consolidación"


 Universidad del Bío Bío Laboratorio Ciencias de la Construcción	Determinación de la resistencia al corte			Código: RT-S-018		
				Versión 2.0		
				Página 2 de 3		
Registro de Ensayo de Corte						
N° Ingreso de muestra						
Probeta N°						
Ancho de caja (mm)						
Atura probeta						
Carga vertical aplicada						
Esfuerzo normal σ (Kpa)						
Velocidad de carga (mm/min)						
Desplazamiento horizontal (mm) 0.01 mm						
Desplazamiento horizontal (mm) 0.01mm	Desplazamiento vertical			Caja horizontal (rayas)	Fuerza (KN)	Corte (t) F/A (Kpa)
	Vueltas	Rayas	Total (mm)			
0	-	-	-	-		
5	0	+0		6		
10	0	+0		32		
20	0	+1		48		
30	0	+2		81		
40	0	+2		101		
50	0	-1		126		
75	0	-6		189		
100	0	-7		214		
125	0	-2		231		
150	0	-1		256		
175	0	+19		286		
200	0	+27		304		
250	0	+62		343		
300	+1	+2		367		
350	+1	+16		382		
400	+1	+22		390		
450	+1	+24		391		
500	+1	+26		396		
600	+1	+28		400		
700	+1	+30		404		
800	+1	+31		402		
900	+1	+32		399		
1000	+1	+32		396		
1100	+1	+32		396		
1200	+1	+32		393		
1300						
1400						

Figura N° 6 “Hoja de registros etapa Corte Directo”

Objetivos

Objetivo general

-Automatización del proceso de adquisición y registro de datos del ensayo de corte directo.

Objetivos específicos

- Estudio de la máquina que caracteriza el ensayo.
- Estudio de las normativas que regulan el ensayo.
- Formulación de la propuesta técnica y económica.

CAPITULO I

DESCRIPCION DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO DEL LABORATORIO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCION

Los ensayos y experiencias en materiales de construcción están sujetos a normativas, la más importante y que da origen a las normas chilenas son las normas utilizadas por estados unidos por la ASTM (American Society for Testing and Materials). Desde su fundación en 1898 se reúnen productores, usuarios y consumidores, entre otros, para crear normas de consenso voluntarias, para el desarrollo de ensayos y materiales.

La norma que rige el Ensayo de Corte Directo pertenece a la ASTM D3080M-11 la cual según su nomenclatura indica que la última revisión fue el año 2011.

Esta normativa a grandes rasgos señala parámetros a considerar: alcance y propósito, documentos de referencia, terminología, resumen del método de ensayo, significado y uso, equipamiento, preparación de la(s) muestra(s), calibración de los dispositivos, procedimiento de ensayos, cálculos con datos registrados, reportes, precisión y tendencias.

Dentro del laboratorio de suelos del Departamento de Ciencias de la Construcción, hasta hace poco, se regían por la norma ASTM 3080-04 la cual defiere en muy poco con la norma que rige actualmente (3080-11). La principal diferencia es que se agregan formas para obtener la velocidad del actuador, pues con la norma antigua se obtenía empíricamente a través de la etapa de consolidación, y con la actualización de esta norma se agregan velocidades estándar para cada clasificación de muestras de suelo (Ver Tabla N°2).

Tabla N° 2 “Velocidades estándar para actuador de máquina de corte”

USCS	Mínimo tiempo de falla t_f (min)	Constante d_f (mm)	Velocidad máxima de corte (mm/min)
SW, SP (<5% finos)	10	5	0,5000
SW-SM, SP-SM, SM (>5% fines)	60	10	0,1667
SC, ML, CL, SP-SC	200	10	0,0500
MH, CH	1440	10	0,0069

1.1 Clasificación unificada de los suelos

Una rigurosa y adecuada clasificación permite al Ingeniero tener una idea del comportamiento a esperar de un determinado tipo de suelo. Existen variadas clasificaciones para los tipos de suelos dentro de las cuales se destaca la Clasificación general de Casagrande Modificada, la cual años más tarde, fue modificada naciendo El sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); este sistema fue adoptado por la ASTM como parte de sus métodos normalizados.

En la Tabla N°3 el prefijo representa la composición del suelo, y el sufijo representa sus propiedades.

Tabla N° 3 “Símbolos de grupo (SUCS)”

Tipo de suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Limite liquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Limite liquido bajo (<50)	H

Con los símbolos de la Tabla anterior se pueden realizar combinaciones que definen tipos de suelo (Ver Tabla N°4).

Tabla N° 4 “Tipología de suelos (SUCS)”

Símbolo	Características generales		
GW GP GM GC	Gravas (>50% en tamiz, #4 ASTM)	Limpias (finos <5%)	Bien graduados
Pobrementemente graduados			
Con Finos (finos >12%)		Componente limoso	
		Componente arcilloso	
SW SP SM SC	Arenas (<50% en tamiz, #4 ASTM)	Limpias (finos <5%)	Bien graduados
Pobrementemente graduados			
Con Finos (finos >12%)		Componente limoso	
		Componente arcilloso	
ML MH	Limos	Baja plasticidad (LL<50)	
Alta plasticidad (LL<50)			
CL CH	Arcillas	Baja plasticidad (LL<50)	
Alta plasticidad (LL<50)			
OL OH	Suelos orgánicos	Baja plasticidad (LL<50)	
Alta plasticidad (LL<50)			
Pt	Turba	Suelos altamente orgánicos	

Con esta información es posible clasificar los suelos, para esto se someten a ensayos previos que se explican a continuación.

1.2 Ensayos complementarios al de Corte Directo

Para el estudio del ensayo de corte directo es necesario mencionar y comprender otros procesos y ensayos relacionados a este mismo. Estos son:

1.2.1 Análisis Granulométrico

Este proceso tiene como objetivo determinar la distribución de tamaños de las partículas que componen el suelo seco retenido en cada tamiz (Ver Figura N°7), los cuales son herramientas que permiten separar las partes finas de las gruesas, para poder clasificar el suelo según el tamaño de sus partículas y así obtener una muestra homogénea.

Este proceso se guía por la norma “Manual de Carreteras 8.102.1 – 2008”.



Figura N° 7 “Tamices del laboratorio de suelos”

1.2.2 Límite de consistencia

Este tipo de ensayo se utiliza para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. Estos tipos de suelos solo pueden existir en cuatro estados de consistencia según su humedad.

Estado sólido, cuando se habla de un suelo seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semi sólido, plástico y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado a otro son los denominados límites de consistencia.

1.3 Ensayo de Corte Directo

Es el método más usado en la investigación de la resistencia al corte de los suelos y se realiza utilizando una caja de acero llamada caja de corte.

Este ensayo consiste en colocar la muestra en una caja de corte directo, aplicando un esfuerzo normal determinado, humedeciendo o drenando la muestra de ensayo, o ambas cosas, consolidando la muestra bajo el esfuerzo normal, soltando los marcos que contiene la muestra y desplazado un marco horizontalmente respecto al otro a una velocidad constante de

deformación y medir la fuerza de corte y los desplazamientos horizontales a medida que la muestra es llevada a la fallo.

Al realizar un ensayo de Corte Directo, tanto en la etapa de Consolidación como en la de Corte se registran datos con los cuales se realizan graficas que poseen formas predeterminadas.

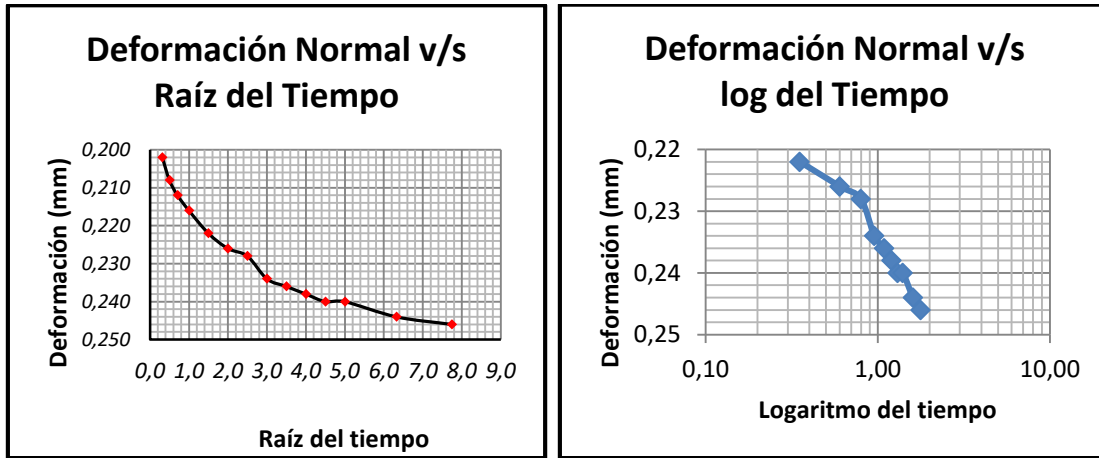


Figura N° 8 “Graficas para la etapa de Consolidación”

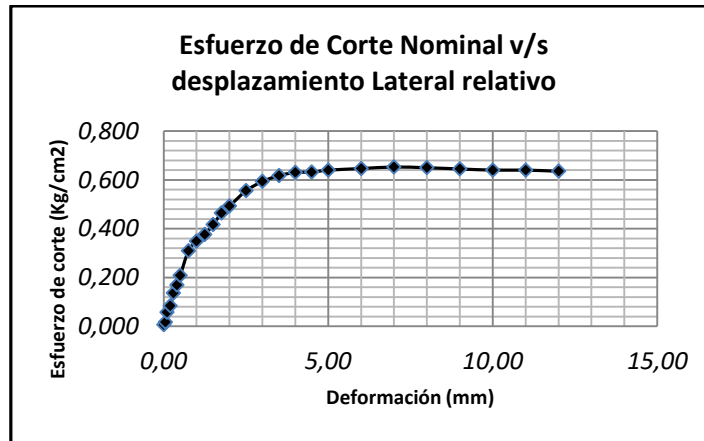


Figura N° 9 “Grafica para etapa de Corte”

Un ensayo completo sobre un determinado suelo consiste en llevar a fallo tres muestras idénticas del mismo suelo bajo tres cargas verticales distintas proporcionadas por el cliente, si esta información no es entregada el laboratorio tiene tres cargas estándar que son N1=5Kg, N2=10Kg y N3=15Kg, las cargas son amplificadas por diez gracias al sistema de carga que posee la máquina, estas cargas pueden variar dependiendo el laboratorio en el cual se realice el ensayo, se debe garantizar que el suelo sea el mismo en todos los ensayos. En este mismo

sentido la velocidad del ensayo siempre debe ser constante, es decir, las tres cargas normales deben ser llevadas a fallo bajo las mismas condiciones de velocidad.

El primer ensayo se realiza con la carga N1, el segundo se hace bajo una carga N2 y así hasta terminar con el tercer ensayo con carga N3; Cada uno de estos ensayos se debe hacer con el suelo que en el previo Análisis Granulométrico fue separado por el tamiz correspondiente para garantizar que el tamaño de grano del suelo sea el mismo en todos los ensayos y que se lleve a falla la muestra del suelo como un todo y no una sola partícula. En este mismo sentido la velocidad del ensayo siempre debe ser constante, es decir, las tres cargas normales explicadas anteriormente deben ser llevadas a fallo bajo las mismas condiciones de velocidad.

Existen 3 tipos de ensayos según las condiciones en las que se realicen, estos son:

1. Ensayo consolidado-drenado (CD) (Norma ASTM D 3080): Se permite el drenaje de la muestra durante todo el ensayo, de modo que las presiones intersticiales, que es la presión ejercida en los poros o espacios vacíos en una sustancia, sean nulas durante la aplicación del esfuerzo cortante.
2. Ensayo consolidado-no drenado (CU) (Norma ASTM D 3080): Se permite el drenaje de la muestra durante la aplicación del esfuerzo vertical, por lo que al comenzar a aplicar el esfuerzo de corte la presión intersticial es nula, pero no durante su aplicación posterior.
3. Ensayo no consolidado-no drenado (UU): No se permite el drenaje de la muestra, ni durante la aplicación de la carga vertical y tampoco en la aplicación del esfuerzo cortante.

1.4 Parámetros de resistencia del suelo

La resistencia al corte es el resultado de la resistencia al movimiento entre partículas, La resistencia al corte se deriva de la resistencia a la fricción entre partículas y a la cohesión entre partículas. Esta resistencia al corte determina factores como la estabilidad y capacidad de carga de un suelo y el empuje de este contra un muro.

1.4.1 Teoría de falla de Coulomb

El Ensayo está diseñado para determinar rápidamente las propiedades de resistencia consolidadas y drenadas del suelo. La resistencia drenada y consolidada de un suelo se expresa según la ecuación (1), ecuación de falla de Coulomb.

$$\tau' = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (1)$$

Dónde:

τ' : Esfuerzo efectivo de corte

c' : Cohesión

σ' : Esfuerzo efectivo normal

ϕ' : ángulo de fricción interna

El Ensayo de Corte Directo tiene por finalidad obtener 3 puntos de la recta presentada en la ecuación (1). Los parámetros de resistencia resultan de la intersección de la recta con el eje del esfuerzo de corte (cohesión) y el ángulo respecto la horizontal de la recta (ángulo de fricción interna) que son obtenidos mediante un ajuste estadístico.

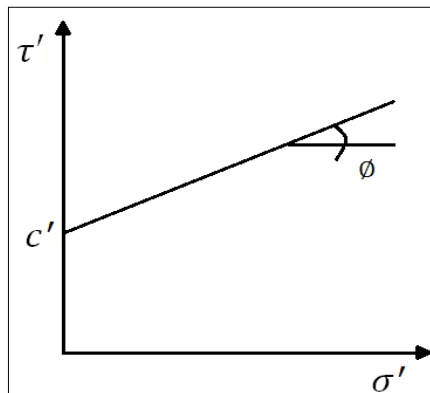


Figura N° 10 “Ecuación de falla de Coulomb representada gráficamente”

En la teoría de fallas de suelo Coulomb observo que si el empuje de un suelo contra un muro produce un desplazamiento en este, en el suelo retenido se forma un plano recto de deslizamiento. Es así que postulo que la máxima resistencia al corte en el plano de falla está dado por la cohesión de suelo más el esfuerzo efectivo normal multiplicado por la tangente del ángulo de fricción interno, lo cual está representado matemáticamente en la ecuación de falla de Coulomb, ecuación (1) anteriormente mencionada en este capítulo.

Angulo de fricción interna (ϕ): Corresponde a la resistencia al deslizamiento causado por la fricción que hay entre las superficies de contacto de las partículas y de su densidad.

Los suelos granulares presentan una buena trabazón por lo tanto tendrán fricciones internas altas. En cambio, los suelos finos las tendrán bajas.

La fricción interna de un suelo, está definida por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal aplicada a dicho plano.

Cohesión (c'): La cohesión es la máxima resistencia del suelo a la tensión. Ésta resulta de la interacción de factores tales como la adherencia de la superficie de las partículas, la tensión capilar de las partículas de agua, las condiciones de drenaje y los esfuerzos del suelo. La cohesión de un suelo variará si cambia su contenido de humedad. La cohesión se mide kg/cm^2 . Los suelos arcillosos tienen cohesión alta de $0,25 \text{ kg/cm}^2$ a 1.5 kg/cm^2 , o más. Los suelos limosos tienen muy poca, y en las arenas la cohesión es prácticamente nula.

Para calcular el ángulo de fricción interna y la cohesión se toman tres pares de puntos que se obtienen de las tres muestras que se ocupan en el Ensayo de Corte Directo. Estos puntos representan, en el eje Y, al esfuerzo de corte (Kg/cm^2) que corresponde al valor máximo obtenido del anillo de fuerza registrado en la etapa de corte, dividido por el área de la caja de corte (100 cm^2), y en el eje X representa al Esfuerzo Axial (Kg/cm^2) que corresponde al peso aplicado en el eje de carga. Graficando estos puntos dan origen a la ecuación de falla de Coulomb. Ver Fig. Siguiente.

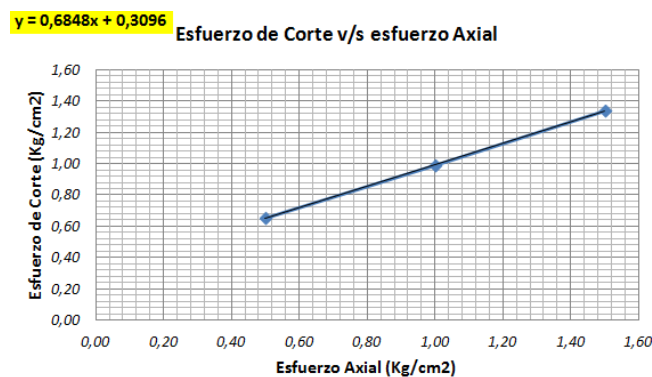


Figura N° 11 “Esfuerzo de Corte vs Esfuerzo Axial, grafica extraída de planilla Excel Ensayo de Corte Directo, Laboratorios de Suelo, Universidad del Bío-Bío”

El valor de la cohesión corresponde a la intersección de la recta con el eje Y, y el ángulo de fricción interno a la arcotangente de la pendiente de la recta, representado matemáticamente en la siguiente ecuación:

$$\phi = \text{atan}(m) \tag{2}$$

1.4.2 Valores característicos del ángulo de fricción de algunos suelos

Mediante Ensayos realizados es posible tabular algunos ángulos característicos para la fricción interna de un suelo representados en la siguiente tabla.

Tabla N° 5 “Ángulos de fricción interno de algunos suelos”

Suelo	ϕ suelto	ϕ denso	Suelo	ϕ suelto	ϕ denso
Limo	27°-30°	30°-36°	Arena bien gradada	33°	45°
Arena limosa	27°-33°	30°-35°	Grava arenosa	35°	50°
Arena uniforme	28°	34°	Suelo anguloso uniforme	35°	43°
Suelo redondeado uniforme	30°	37°	Suelo anguloso bien gradado	39°	45°
Suelo redondeado bien gradado	34°	40°	Rangos de la tabla	27°-39°	30°-45°

1.5 Procedimiento

1.5.1 Preparación de la muestra

Se utilizan muestras inalteradas proporcionadas por un cliente, esta debe ser lo suficientemente grande para obtener un mínimo de tres muestras idénticas.



Figura N° 12 “Muestra inalterada”

Antes de comenzar el ensayo es necesario determinar ciertos parámetros, tipo de suelo y humedad, a través de los cuales se obtiene la velocidad con la que se procede a deformar la muestra horizontalmente. Estos parámetros se obtienen a través de dos ensayos complementarios denominados “Granulometría” y “Limite de Consistencia”, ensayos que muchas veces son obviados pues generalmente el cliente entrega la muestra previamente clasificada.

1. Se procede a extraer material de la muestra inalterada para una probeta (caja de corte en la que se compacta la muestra de suelo).
2. Se ensambla la caja de corte, si la muestra es inalterada se corta un trozo de suelo del tamaño de la caja de corte, si la muestra se prepara en el laboratorio se compacta el material dentro de esta con ayuda de un pisón de mano.
3. En el fondo de la caja de corte se introduce una piedra porosa, de igual manera en la parte superior de la caja luego de que la muestra este entre estas dos capas.
4. Se asegura la caja mediante los tornillos de alineación.

Al ser un proceso milimétrico se debe realizar los ajustes del ensayo completo previo al inicio de las etapas.

1. Se conecta y ajusta el sistema de carga de corte de tal manera que no se registre ninguna deformación en el anillo
2. luego de esto se ajusta el actuador, que produce la deformación horizontal.
3. Se procede a ajustar en “cero” los micrómetros con dial analógico, tanto el de deformación horizontal como el del anillo de fuerza.
4. Se posiciona el micrómetro de deformación vertical sobre la caja de corte y se ajusta en “cero”.

1.5.2 Etapa de Consolidación

Dependiendo del tipo de ensayo, consolidado drenado, consolidado no drenado y no consolidado no drenado:

1. se sumerge la probeta en agua para comenzar con la etapa de Consolidación (Ver Figura N°13).
2. Se aplica la carga normal agregando el peso a utilizar y se quita el seguro para comenzar con esta etapa.
3. Los datos obtenidos son tabulados manualmente en tiempos normados (Ver Figura N°5).
4. Con los datos obtenidos de esta etapa se determina la velocidad de corte que se aplicara en la posterior etapa.



Figura N° 13 “Caja de corte sumergida”

Es necesario destacar que con la nueva actualización de la norma ASTM D3080-11 existen estándares aproximados de máximas velocidades dependiendo el tipo de suelo.

1.5.3 Etapa de Corte

1. Una vez obtenido el dato de la velocidad, este valor se ingresa manualmente en el actuador mediante un teclado numérico.

2. Se quitan los tornillos de alineación y se presiona el botón RUN del actuador para proceder a la realización del corte.
3. Se cortara la muestra a la velocidad ingresada y de la forma que muestra la Figura Siguiete.

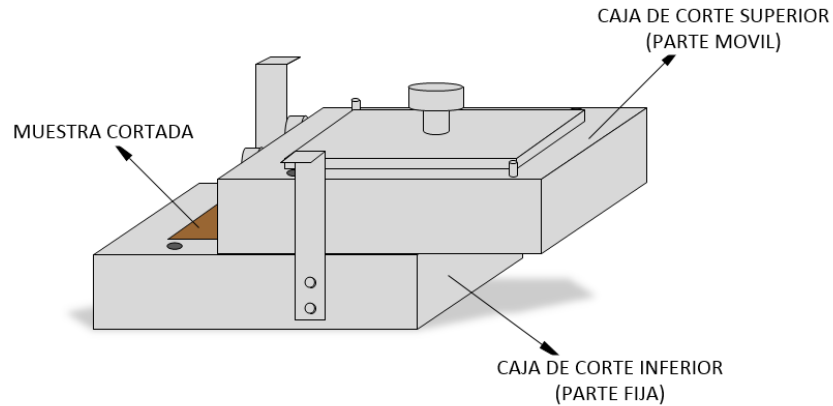


Figura N° 14 “Movimiento caja de corte”

4. Se registran los datos manualmente tanto del micrómetro vertical, como horizontal y del anillo de fuerza (Ver Figura N°6).
5. Al terminar el ensayo se remueven las cargas normales y finalmente se retira la caja de corte.
6. En la muestra se verá claramente el corte realizado, tal como muestra la Figura Siguiete.

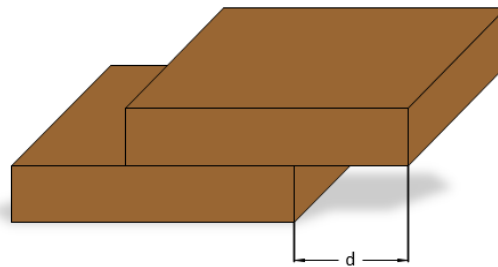
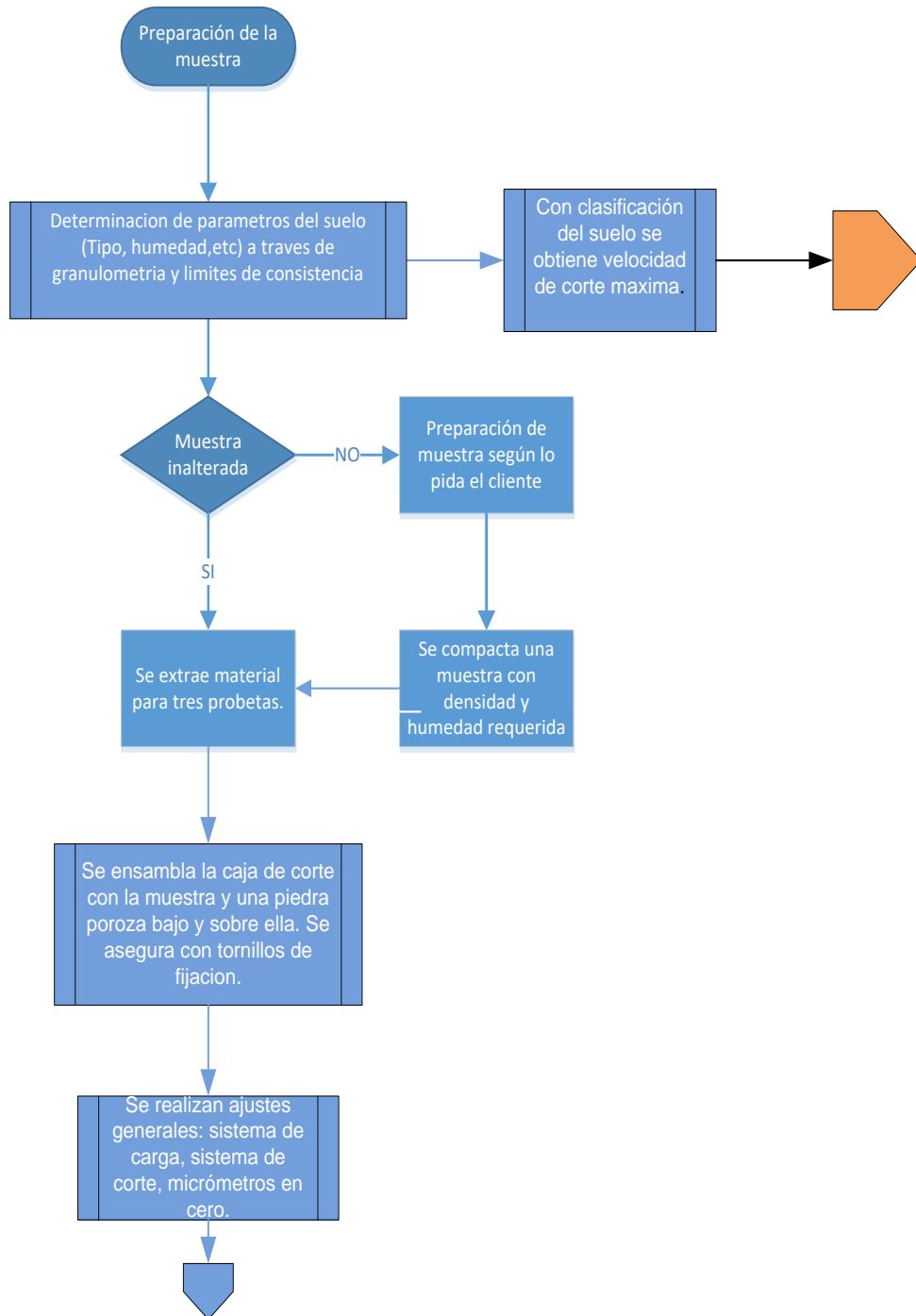


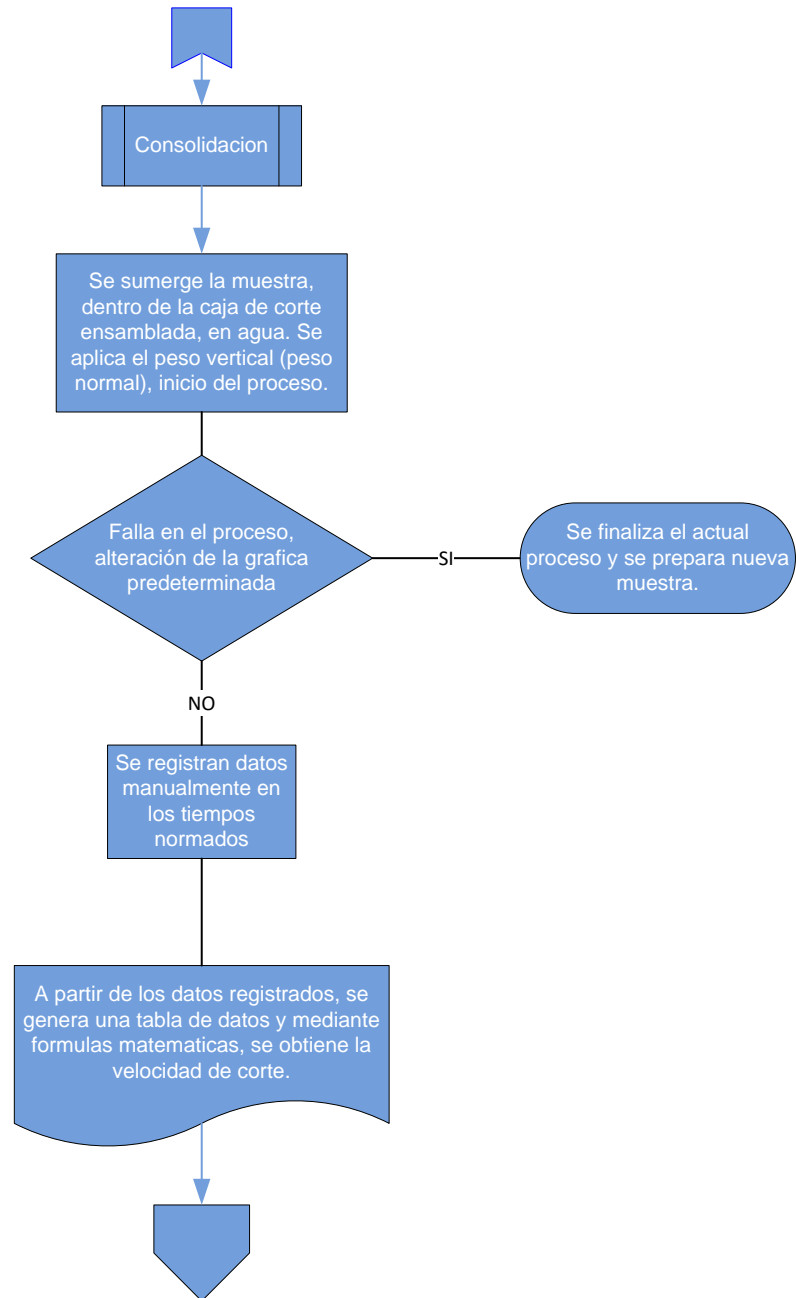
Figura N° 15 “Muestra cortada”

Este proceso debe ser repetido tres veces, a distintas cargas mencionadas anteriormente, para asegurar una correcta realización del ensayo, pues los datos obtenidos de cada ensayo deben ser proporcionales a los pesos utilizados, de lo contrario se puede concluir que el ensayo se ha realizado de manera incorrecta.

1.6 Diagrama de flujo del proceso de Corte Directo

Se presenta un diagrama de flujo del actual proceso que se realiza en el laboratorio de suelos de la Universidad del Bio-Bío, rigiéndose por la norma ASTM D3080.





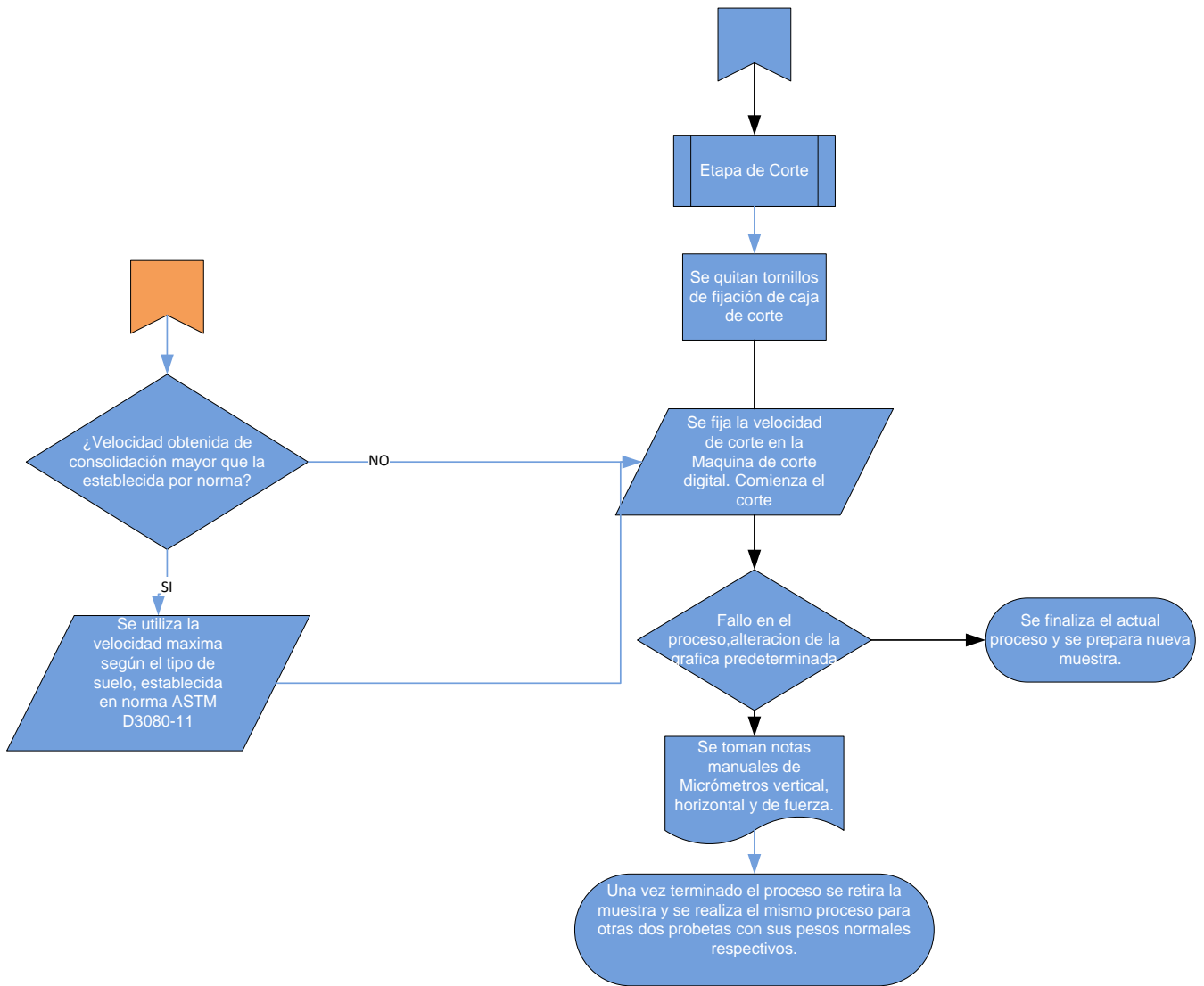


Figura N° 16 “Diagrama de flujo del Ensayo de Corte Directo”

CAPITULO II

ANTECEDENTES TECNICOS DEL ACTUAL SISTEMA PARA ENSAYO DE CORTE DIRECTO

En el presente capitulo se detalla las partes y accesorios que conforman la Máquina de Corte Directo. Actualmente en Laboratorio de Suelos se realiza el Ensayo mediante la “Máquina digital de Corte Directo/Residual, Modelo 26-2114” (Ver Figura N°17). Esta máquina fue fabricada por ELE International y adquirida a través de la sucursal en Santiago de Chile, esta empresa estadounidense se especializa en el diseño, construcción y suministro de equipos de alta calidad para ensayos de materiales de construcción y otros.

El año 2006 se realizó la puesta en marcha del sistema para este ensayo, y su última calibración fue realizada por Arquimed el 23 de enero del año 2013.

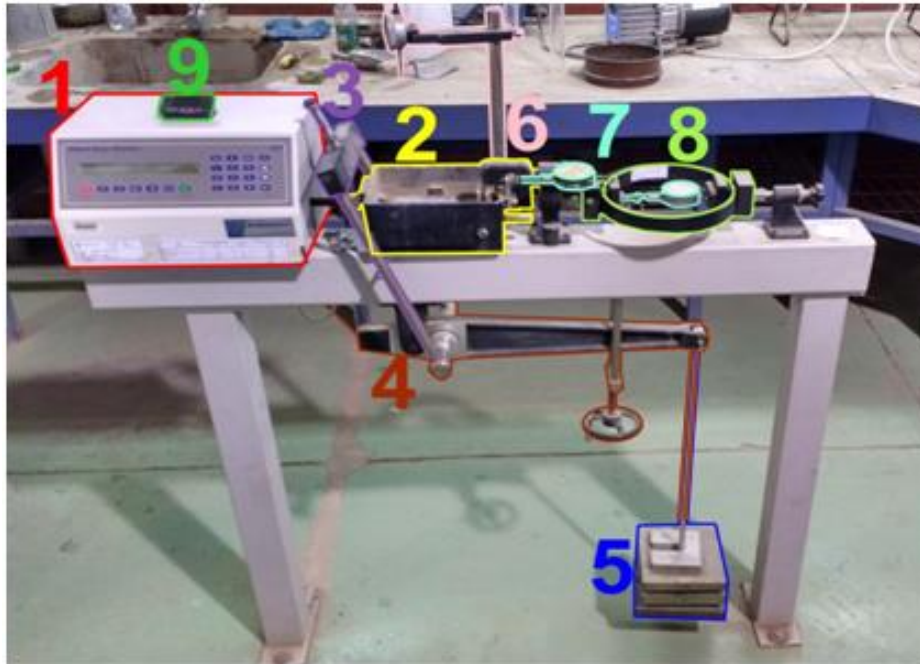


Figura N° 17: “Sistema para ensayo de Corte Directo”

El sistema para ensayo de Corte Directo se conforma de la siguiente manera:

1. Máquina de corte digital ELE 26-2114
2. Recipiente de caja de corte
3. Eje de carga
4. Palanca de carga
5. Cargas
6. Micrometro vertical con su respectivo soporte
7. Micrometros horizontales
8. Anillo de fuerza
9. Cronometro.

La Máquina de Corte cuenta con un actuador que tiene un desplazamiento lineal del cual la velocidad puede ser configurada esta se aplica a una de las caras de la muestra, permitiendo el

drenado del agua a través de unas placas porosas en los límites superior e inferior de la muestra de suelo. Estas piedras generalmente están construidas de carburo de silicio, oxido de aluminio o un metal no corrosivo, la permeabilidad debe ser mayor a la de la muestra de suelo contenida entre éstas. La cara superior es la que es sometida a un esfuerzo normal debido a la interacción de pesos dados que transfieren su carga a la muestra mediante el sistema de palanca de carga.

Los marcos que sostendrán la muestra están contruidos de materiales suficientemente rígidos para prevenir su deformación plástica durante el proceso de corte, Solo se produce un movimiento horizontal en la etapa de Corte. Varias partes de la máquina de corte están hechas de material anticorrosivo resistentes a la humedad o sustancias presentes en el suelo.

2.1 Partes de la Máquina de Corte

2.1.1 Máquina de corte digital ELE 26-2114

Es la que realiza la fuerza horizontal para el corte. Tiene 4 modos de operación (Manual, Serial, Set 0 Datum y Set-Up).

En este laboratorio se trabaja con el modo manual, en el cual se ingresa una velocidad con el teclado numérico para accionar el motor y cortar la muestra a una velocidad constante.

Con el modo serial se puede controlar la velocidad y dirección a distancia a través de un computador o terminal, pero este modo no se utiliza dentro del laboratorio ya que no se conoce el funcionamiento de este.

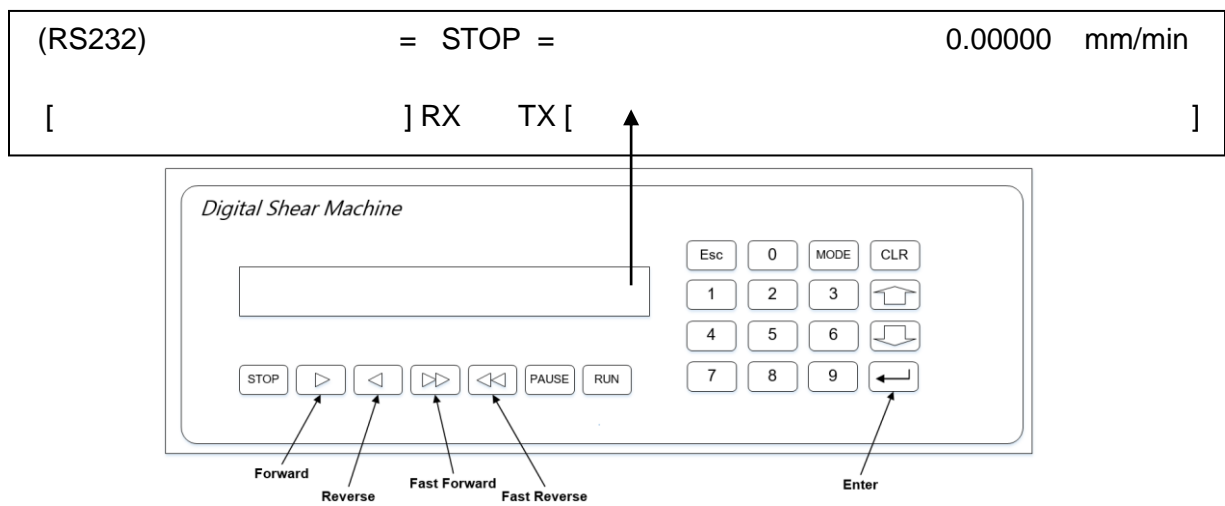


Figura N° 18 “Máquina de corte digital, panel frontal”

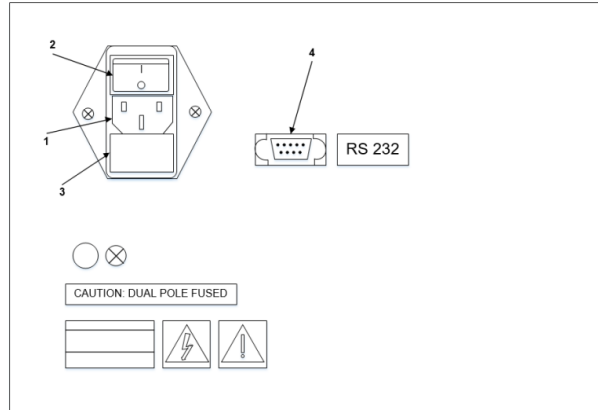


Figura N° 19 “Máquina de corte digital, panel trasero”

- 1- Entrada de red eléctrica 220V. 2- Switch on/off. 3- Selector de fusible/voltaje. 4- Salida RS232.

La máquina de corte digital consta de control por microprocesador, visualización por pantalla LCD, ingreso de datos directo a través de teclado táctil sensible, velocidad totalmente variable desde 0.00001 a 9.99999 mm/min. Incluso es posible variar o pausar la velocidad durante un ensayo.

2.1.1.1 Motor de la máquina de corte

En el interior de la máquina de corte, existe una caja sellada en donde está el motor que aplica la fuerza, a una velocidad indicada, para realizar el corte de la muestra (Ver Figura N°20). El control de este motor se realiza directamente desde la pantalla de la máquina de corte, a través de un teclado físico (Ver Figura N°18).



Figura N° 20 “Motor de la máquina de corte”

2.1.2 Recipiente de caja de corte

Recipiente metálico en el que se deposita y asegura la caja de corte, en él se aplica la fuerza horizontal proporcionada por la máquina de corte para la realización del ensayo, este se llena de agua desde la consolidación hasta finalizar el corte. Para efectos de fuga de agua desde este recipiente se encuentra un balde en el piso.



Figura N° 21 “Contenedor y caja de corte”

2.1.3 Caja de corte

Una caja de corte, cuadrada, hecha de acero inoxidable, con piezas que permiten el drenado a través de la parte superior e inferior. Estas piezas son las piedras porosas, las cuales al tener una alta permeabilidad, mayor que la muestra de suelo, permiten el drenado del agua. La caja está dividida verticalmente por un plano horizontal en dos mitades con el mismo espesor unido con unos tornillos de seguridad que aseguran el espacio entre estas (Ver Figura N° 22).

Tabla N° 6 “Datos de caja de corte”

Caja de corte	
Tamaño	100x100 mm
Grosor	25 mm
Peso aprox.	5.2 Kg



Figura N° 22 “Partes de caja de corte”

1. Piedras porosas, 2. Molde de muestra, 3. Caja de corte inferior y superior, 4. Tapa
1. Base, 6. Tornillos de fijación

2.1.4 Eje de carga

Transmite la fuerza normal aplicada por las cargas y amplificada por el sistema de carga a la caja de corte y a la vez se une con el micrómetro vertical para indicar la deformación de la muestra en ese eje.



Figura N° 23 "Eje de carga"

2.1.5 Palanca de Carga

Permite aplicar la fuerza normal basada en un peso determinado que es colocado en su base. Cuenta con seguro que al girarlo permite que el peso se transfiera al eje de carga y se aplique a la muestra. Posee un sistema de amplificación por 10 mediante efecto palanca, realizando el movimiento en torno a un pivote.

El sistema de carga completo lo conforman el eje de carga, pivote, palanca de carga y por último las cargas (Ver Figura N° 24). Un balde es usado para la recepción de agua filtrada y derramada por gravedad del recipiente de caja de corte.

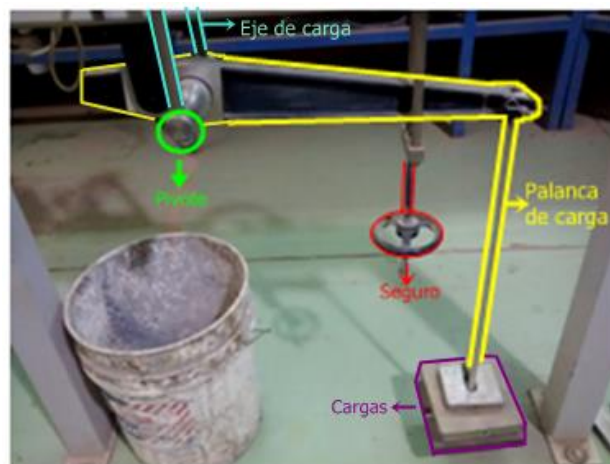


Figura N° 24 "Sistema para aplicar fuerza Normal"

2.1.6 Cargas

Son objetos metálicos de pesos determinados, en el laboratorio de suelo se tiene como pesos estándar 5kg, 10kg y 15kg (Ver Figura N° 25). Se utilizan para aplicar la fuerza normal por gravedad. Es posible que el cliente especifique cargas para realizar el ensayo, en caso contrario se realiza con los pesos estándar del laboratorio.



Figura N° 25 “Cargas”

2.1.7 Micrómetro de desplazamiento vertical y horizontal

Es un transductor de desplazamiento que mide el cambio de espesor de la muestra con una precisión de 0.002 mm para el vertical y 0.01 mm para el horizontal (Ver Figura N° 26 y Figura N° 27).

Tabla N° 7 “Datos de Micrómetro análogo con indicador dial de desplazamiento vertical”

Micrómetro con indicador dial	
Rango	0-20mm
Resolución	0.002mm



Figura N° 26 “Micrómetro análogo con indicador dial de desplazamiento vertical”

Tabla N° 8 “Micrómetro análogo con indicador dial de desplazamiento horizontal”

Micrómetro con indicador dial	
Rango	25mm
Resolución	0.01mm



Figura N° 27 “Micrómetro análogo con indicador dial de desplazamiento horizontal”

2.1.8 Anillo de fuerza

Un anillo de carga o celda de carga con precisión de 1% de la fuerza de corte en condiciones de ruptura. En este laboratorio se utiliza un anillo de fuerza con una capacidad de 2kN (Ver Figura N° 28). La repetibilidad y exactitud de este anillo cumplen con los requisitos de NIS 0415 “Acreditación para la calibración de los anillos de fuerza y celdas de carga utilizadas en Ensayos de Suelo”

Tabla N° 9 “Datos de Anillo de fuerza”

Nombre	Anillo de fuerza
Repetibilidad	0.2% de la carga indicada
Precisión	±1%
Capacidad	2 KN, 200 Kgf
Sensibilidad típica de diseño	1.3 KN/div, 0.13Kgf/div



Figura N° 28 “Anillo de fuerza”

2.1.9 Otros equipos

Recipiente para muestras, cronómetro, balanzas de precisión, cucharón, pisón.

Cronometro: Es de suma importancia para la realización del Ensayo pues el sistema actual no cuenta con ningún dispositivo para la toma de datos en los tiempo normados para la etapa de Consolidación y etapa de Corte. Estos tiempos se encuentran tabulados en el Capítulo I, páginas 7 y 8.



Figura N° 29 “Cronometro digital”



Figura N° 30 “Balanza de precisión”

CAPITULO III

Equipamiento disponible en el mercado electrónico

Dentro de los laboratorios de la Región del Bio Bio se visitaron dos laboratorios donde se realizan Ensayos de Corte Directo. En IDIEM y laboratorios de la Universidad Católica de la Santísima Concepción se logra revisar y contrastar la realización del ensayo.

Se tomó contacto con IDIEM y se consiguió una visita técnica al Centro de Ingeniería y Tecnología dependiente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. En reunión con el jefe de laboratorio Don Cristian Peñailillo y el operado de la máquina Don Marcelo Barriga, se inspeccionaron dos máquinas de Corte Directo con un sistema implementado por ellos (Ver Figura N° 31). El equipamiento de aplicación de fuerza horizontal se implementó a través de un motor controlado por un variador de frecuencia, y reductores en su eje de salida. La fuerza vertical es aplicada a través de pesos los cuales no son amplificados a través de sistema de palanca, por lo tanto el operador va agregando cargas con pesos determinados hasta los 100kg aproximadamente, para aplicar la carga vertical en la etapa de consolidación. La adquisición y registro de datos se realiza de forma manual a través de lecturas de 3 micrómetros.

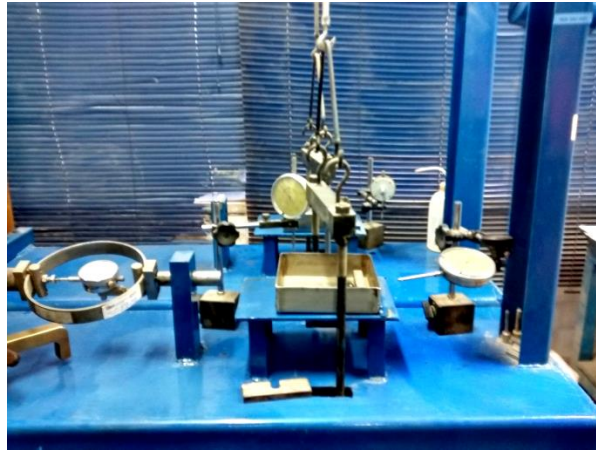


Figura N° 31 “Máquina para ensayo de Corte Directo, laboratorios IDIEM”

En otra visita realizada al laboratorio de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, el señor Roberto Ponce guió la visita y se revisó el funcionamiento de la máquina que poseen. Dicha máquina fue comprada a Humboldt Mfg, Co., empresa estadounidense fabricante y proveedor de equipos de ensayos de materiales para la construcción que también tiene una sucursal en Santiago.

La máquina posibilita realizar un ensayo de forma automática, ésta cuenta con sensores LVDT y celdas de carga. La información capturada por los sensores es capturada por un sistema de adquisición de datos, que luego son procesados para ser mostrados en un computador a través de un software de la propia compañía y es de libre uso (Ver Figura N° 32). Este software realiza tabulación, gráficas y calibración de sensores y otras funciones extras.

Gracias a la automatización del proceso es posible realizar tareas programadas durante la noche lo cual permite realizar ensayos en menor tiempo y tener registros digitales al término de cada uno de éstos.

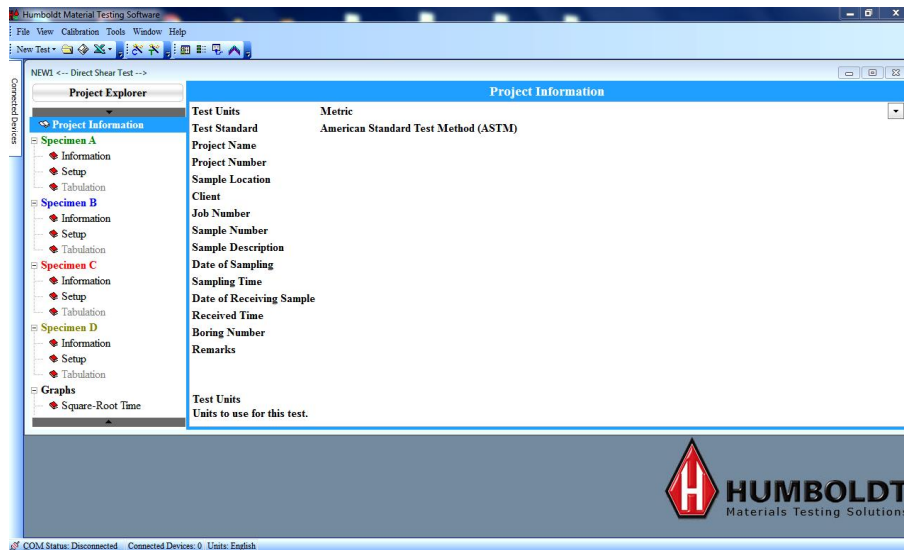


Figura N° 32 “Interfaz de Humboldt Material Testing Software”

En cuanto al hardware, el laboratorio tiene una máquina de corte “Humboldt 2750” (Ver Figura N° 33). Esta máquina utiliza el sistema de peso muerto, y es posible configurarla para realizar de manera automática tanto la etapa de Consolidación como la de Corte. El fabricante indica que el sistema utiliza un microprocesador para el accionamiento dado por un motor paso paso, el cual provee desplazamientos angulares discretos. El sistema de adquisición de datos tiene tres canales para transductores de deformación vertical y horizontal. Es posible realizar todo el ensayo de manera automática y obtener registros digitales y en tiempo real cumpliendo con la norma ASTM D3080.

Otra característica es que posee una comunicación por interfaz RS232 hacia un computador, con un software propio para la configuración de los ensayos.



Figura N° 33 “Máquina de Corte Directo modelo HM-2750, Humboldt” (Fotografía extraída de la web)

3.1 Equipos de Corte Directo existentes en el mercado

En el mercado nacional e internacional es posible encontrar una gama variada de equipos para realizar este tipo de ensayos. ELE International, con sucursal en Chile, provee actualmente un modelo de Máquina de Corte Directo, modelo 26-2114/01, muy parecido al utilizado en Laboratorios de Ciencias de la Construcción. La gran diferencia es que es posible acceder a una máquina con sensores transductores los cuales hacen posible una adquisición de datos y por lo tanto un registro automático de estos. Se utilizan dos Transformadores Diferenciales LVDT para medir desplazamiento horizontal y vertical; los cuales envían una señal de voltaje a la entrada de la máquina de corte digital. Para la medición de la fuerza aplicada por el actuador se utiliza una celda de carga tipo “S”, cuya salida se conecta directo a la entrada de la máquina de corte digital.



Figura N° 34 “Máquina de Corte Directo modelo 26-2114/01, ELE International” (Fotografía extraída de la web)

Humboldt también provee una versión que reemplaza el sistema de peso muerto por uno de presión neumática para la aplicación de la fuerza vertical (Ver Figura N° 35).

El fabricante indica que el sistema utiliza un microprocesador para el accionamiento dado por un motor paso a paso. El sistema de adquisición de datos tiene cuatro canales para

transductores. Posee una interfaz USB para la conexión de un ordenador o impresora. Es posible realizar hasta 99 ensayos seguidos, de manera automática y obtener registros digitales en tiempo real cumpliendo con la norma ASTM D3080.



Figura N° 35 "Máquina de corte modelo 25Sixty Shear, Humboldt" (Fotografía extraída de la web)

Proeti S.A. (Producción de Equipos Técnicos e Industriales, S.A.) es una empresa Española fabricante de equipos de laboratorio para el control y ensayo de materiales para la construcción utilizada en obras de ingeniería civil. Dentro de la gama de equipos que ofrece se encuentra la máquina de Corte S0125/SM10 Soilmatic, este equipo de Corte Directo automático es un sistema de corte universal capaz de realizar de forma completamente automatizada las fases de consolidación y Corte. El equipo está compuesto por una unidad de sobremesa controlada por ordenador que utiliza controles PID para aplicar las cargas verticales y horizontales a la muestra de suelo a ensayar, a través de motores dedicado, tanto para la fuerza vertical como la horizontal. Posee transductores de fuerza. Es capaz de realizar cálculos de velocidad al terminar la Consolidación y además muestra en tiempo real los gráficos del proceso. Es posible controlar el sistema en modo remoto desde cualquier ubicación geográfica. Cumple con la norma ASTM D3080.



Figura N° 36 “Máquina de Corte Directo automático modelo S0125/SM” (Fotografía extraída de la web)

3.2 Tecnología discreta disponible en el mercado

Considerando que existe la posibilidad de implementar un sistema con tecnología discreta que exista en el comercio, a continuación se expone la tecnología disponible en el mercado electrónico, que corresponde a sensores y sistemas de adquisición de datos. Dado la nula información sobre el motor y los componentes electrónicos de la máquina de corte, no es posible realizar un control sobre este, debido a que no tenemos conexas ni parámetros eléctricos para manipular dicho motor.

3.2.1 Sensores:

3.2.1.1 Transformador diferencial:

El transformador diferencial de variación lineal (LVDT según sus siglas en inglés) es un tipo de transformador eléctrico utilizado para medir desplazamientos lineales. El transformador posee tres bobinas, la bobina central es el primario (P) y las externas son los secundarios (S1 y S2) (Ver Figura N°37). Posee un núcleo ferromagnético de forma cilíndrica, sujeto al objeto cuya posición desea ser medida, se desplaza respecto a las bobinas a lo largo del eje de la barra.

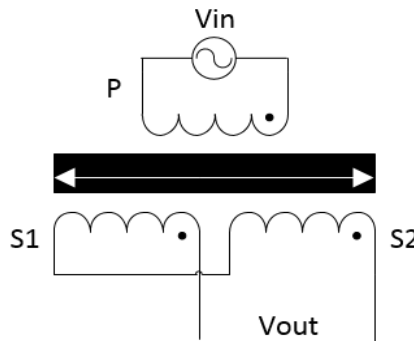


Figura N° 37 “Esquema Transformador Diferencial”

Cuando el núcleo es desplazado en una dirección, el voltaje en una bobina aumenta mientras que en la otra disminuye, causando que el voltaje de salida también aumente desde cero hasta su máximo.

Debido a que el núcleo deslizante no toca el interior del tubo, puede moverse prácticamente sin fricción, haciendo del LVDT un dispositivo muy fiable. La ausencia de contactos deslizantes o rotatorios permite que el LVDT sea completamente sellado y almacenado para su venta (Ver Figura N° 38).

Tabla N° 10 “Datos de Transformador diferencial (LVDT)”

LD620-2.5, OMEGA	
Temperatura de operación	0...+65°C
Tensión de alimentación	10 – 30 V
Salidas	4-20 mA – 0-10 V
Resolución	Infinita
Consumo	25 mA máx.



Figura N° 38 “Transformador Diferencial” (Fotografía extraída de la web)

3.2.1.2 Galga Extensiométrica:

Una galga extensiométrica o extensómetro es un sensor, que mide la deformación, presión, carga, par, posición, etc. y se basa en el efecto piezorresistivo, que es la propiedad que tienen ciertos materiales de cambiar el valor nominal de su resistencia cuando se les somete a ciertos esfuerzos y se deforman en dirección de los ejes mecánicos (Ver Figura N° 39). Un esfuerzo que deforma la galga producirá una variación en su resistencia eléctrica. Esta variación se produce por el cambio de longitud, el cambio originado en la sección o el cambio generado en la resistividad.

Para realizar mediciones se utilizan un puente de Wheatstone donde la magnitud mecánica se induce al transductor originando esfuerzos en la superficie del cuerpo del resorte. Las galgas extensométricas se conectan a un puente de Wheatstone para suministrar una tensión que permite medir fácilmente cualquier deformación. Ver figura siguiente.

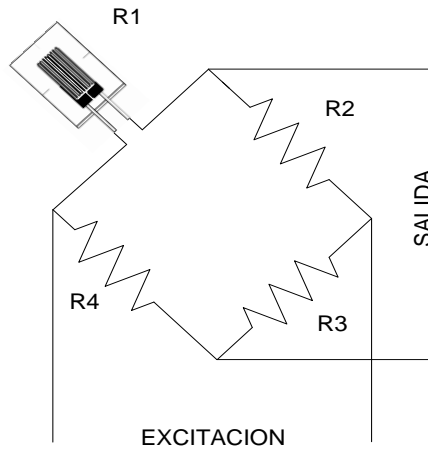


Figura N° 39 “Conexión de galga con puente de Wheatstone”

Tabla N° 11 “Datos de Galga extensiométrica”

Galga Extensiométrica BF350-3AA, AGS TECH Inc.	
Resistencia	350Ω ±0.1Ω
Coefficiente de sensibilidad	2.0 2.20
Rango de precisión	2.11% ±1%
Límite de deformación	2.0%
Rango de temperatura de funcionamiento	-30...+80 °C

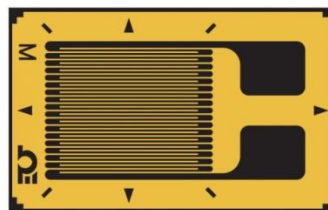


Figura N° 40 “Galga extensiométrica” (Fotografía extraída de la web)

3.2.1.3 Transductor lineal de Posición Resistivo

Los transductores lineales de posición permiten detectar la posición de las partes mecánicas en movimiento. En estos transductores las variaciones de la posición que se quiere medir se convierten en variaciones de resistencia eléctrica, así al energizar la máquina el transductor entrega inmediatamente la posición real sin necesidad de realizar operaciones de reposicionamiento mecánico.

Tienen una gran vida útil desde 100 millones de movimientos, una elevada resolución que es prácticamente infinito y fácil instalación.

El esquema eléctrico es como el de un potenciómetro convencional y posee sus propios colores como vemos en la Figura Siguiete:

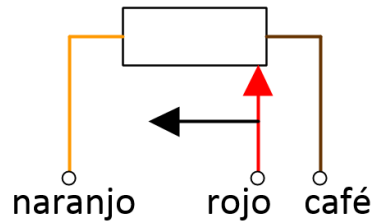


Figura N° 41 “Esquema del cableado de Transductor lineal de posición”

Tabla N° 12 “Datos de Transductor lineal de Posición”

TL GUEMISA Tipo T25 Con cable	
Distancia eléctrica definida	25 mm
Resistencia nominal	1KΩ
Tolerancia de la resistencia	±20%
Resolución	0.002 mm
Max. Corriente en caso de avería	10 mA
Max. Voltaje aplicado permisible	42 V
Rango de temperatura	-30...+100 °C

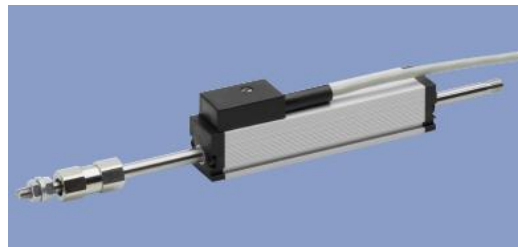


Figura N° 42 “Transductor lineal de posición” (Fotografía extraída de la web)

3.2.1.4 Celda de carga

La celda de carga es una estructura diseñada para soportar cargas de compresión, tensión y flexión, en cuyo interior se encuentra uno o varios sensores que detectan los valores de deformación. La celda de carga digital detecta esta deformación mediante circuitos wheatstone interno, el cual según la variación de la resistividad produce una diferencia de potencial. Una vez obtenida la resistencia, se produce la transducción y se puede obtener el valor que la máquina resiste.

Se debe considerar el grado de sensibilidad de la celda de carga digital, pues es determinante para conocer la capacidad, el rango de deformación y la máxima de deformación.

Las celdas de carga tipo S, conocidas también como Z, evidentemente por su estructura externa, pueden ser empleadas en procesos de pesaje que involucren compresión o tensión y son usados en sistemas de alto pesaje y pesaje industrial. Este tipo de celda de carga se implementa en actividades de pesaje relacionadas con: tanques, bins, tolvas, conversión de básculas de camiones, medición de tensión y compresión.

Este tipo de celda de carga es la que se utiliza principalmente en las máquinas para ensayos de Corte Directo.

Tabla N° 13 “Datos de Celda de carga tipo S”

LCR-2K, OMEGA	
Salida	3 mV/V $\pm 0.25\%$
Tensión de alimentación	10-15 V
Rango de temperatura en funcionamiento	-18...+71 °C
Resistencia del puente	350 Ω
Repetibilidad	± 0.01



Figura N° 43 “Celda de Carga Tipo S”
(Fotografía extraída de la web)

Su esquema de conexión se puede observar en la Figura N° 44.

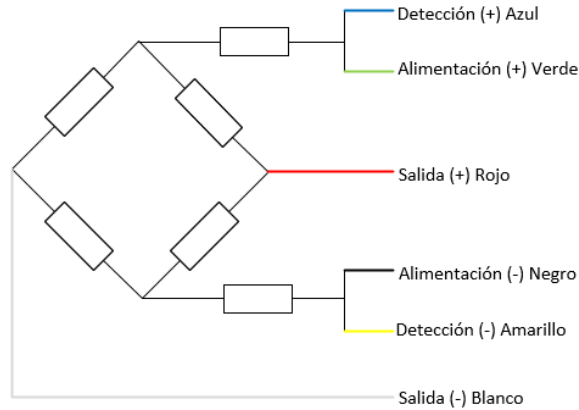

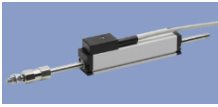



Figura N° 44 “Esquema Celda de Carga”

Tabla N° 14 “Resumen de sensores”

	LD620-2.5	BF350-3AA	TL GUEMISA Tipo T25	LCR-2K
				
Alimentación	10 – 30 V	-	42 V – 10 mA (Max)	10-15 V
Salida	4-20 mA – 0-10 V	Requiere acondicionamiento	Depende de la tensión de alimentación.	3mV/V ±0.25%
Resolución	Infinita	Depende del diseño del puente de wheatstone	0.002 mm	Depende de la resolución del adquisidor
T° operación	0...+65°C	-30...+80°C	-30...+100 °C	-18...+71 °C

3.2.2 Sistemas de adquisición de datos

3.2.2.1 Datalogger:

Un registrador de datos (datalogger) es un dispositivo electrónico que registra datos en el tiempo o en relación a la ubicación por medio de instrumentos y sensores propios o conectados externamente. Casi todos están basados en microcontroladores. Por lo general son pequeños, con pilas, portátiles, y equipados con un microprocesador, memoria interna para almacenamiento de datos y sensores.

Uno de los principales beneficios del uso de registradores de datos es la capacidad para recopilar automáticamente datos las 24 horas del día. Tras la activación, los registradores de datos normalmente se dejan sin vigilancia para medir y registrar la información durante toda la duración del período de seguimiento. Esto permite una visión global y precisa de las condiciones ambientales objeto de seguimiento

Tabla N° 15” Datos de Datalogger CR300”

Datalogger CR300, CAMBBELL SCIENTIFIC	
Velocidad de muestreo	144 MHz
Canales análogos	1-6 single o 1-3 diferenciales
Rango Voltaje de entrada	16 – 32 Vdc
Corriente de entrada máxima	0.9 A
Alimentación	12 V (Batería)
Resolución	0.23 μ V
Temperatura de funcionamiento estándar	-40°...+70°C



Figura N° 45 “Datalogger”
(Fotografía extraída de la web)

3.2.2.3 Módulo de adquisición de datos ADAM

De tecnología taiwanesa ADAM es un módulo con entradas analógicas universales de 8 canales, posee diversos rangos de entrada 4-20 mA, $\pm 100\text{mV}$, $\pm 10\text{V}$, etc. Su diseño de entrada mixta permite la configuración individual de cada canal para ahorrar costos y espacio de las aplicaciones, también proporciona el protocolo Modbus/RTU para satisfacer diferentes demandas de aplicación. También se puede lograr una comunicación por RS232 y USB mediante los módulos ADAM 4520 y 4561 de respectivamente.

Tabla N° 16” Datos ADAM-4019+”

ADAM-4019+	
Velocidad de muestreo	50 KHz (máx.)
Canales análogos	8 diferenciales
Señales de entrada	$\pm 10\text{V}$, $\pm 100\text{mV}$, $\pm 20\text{mA}$, 4-20mA,...
Alimentación	10-30 Vdc
Resolución	16 bits
Temperatura de funcionamiento estándar	$-10^{\circ} \dots +70^{\circ}\text{C}$



Figura N° 46 “ADAM 4019+”
(Fotografía extraída de la web)

CAPITULO IV

Sistema de adquisición de datos para ensayo de corte directo.

4.1 Sistema de adquisición de datos (SAD)

Un sistema de adquisición de datos o señales es un equipo cuyo funcionamiento consiste en la toma de muestras de un sistema análogo para generar datos que puedan ser utilizados por un sistema digital. El sistema toma una o más variables físicas de un proceso las cuales se convierten en tensiones eléctricas para luego digitalizarlas de manera que se puedan procesar en un computador o controlador.

Los datos son una representación simbólica de un valor, este no tiene sentido por sí mismo, pero al procesarse, con los rangos adecuados, se pueden utilizar en el registros de estos datos.

4.1.1 Estructura del sistema de adquisición de datos

El SAD debe tener un sistema estructurado y organizado, el que está conformado por un conjunto de dispositivos que interactúan entre ellos mismos, ofreciendo servicios más completos y de alto nivel. Las señales se envían por el bus de datos hacia el computador, para luego procesarse con una aplicación, guardarlas en un disco duro, visualizarlas en pantalla, etc.

Este sistema está conformado típicamente por sensores, transductores, amplificadores, conversores análogo digital y digital análogo, para procesar información acerca de un sistema físico de forma digitalizada.

Uno de los dispositivos con un rol muy importante dentro del SAD son los sensores, ellos tienen la función de convertir la variable física en una magnitud eléctrica (voltaje, corriente, resistencia, etc.). Las variables físicas que se utilizaran en el Ensayo de Corte Directo son, las ya nombradas en capítulos anteriores, desplazamiento y deformación.

Otros parámetros relevantes dentro de la adquisición de datos son los bits de resolución y el rango de este mismo. Los bits de resolución son simplemente el número de bits que el conversor análogo digital (CAD) utiliza para representar una señal y el Rango representa los valores máximos y mínimos entre los que trabaja el sensor o dispositivo utilizado.

4.1.2 Proceso para la adquisición de datos

La adquisición de datos comienza con el fenómeno físico o la propiedad física de un proceso que se desea medir. Un eficaz sistema de adquisición de datos puede medir todas estas diferentes propiedades o fenómenos.

Como se mencionó anteriormente un sensor es un dispositivo que convierte una propiedad física o fenómeno en una señal eléctrica correspondiente medible, tal como tensión, corriente, el cambio en los valores de resistencia, etc. La capacidad de un sistema de adquisición de datos para medir los distintos fenómenos depende de los transductores para convertir las señales de los fenómenos físicos en la adquisición de datos por hardware. El SAD también despliega diversas técnicas de acondicionamiento de señales para modificar adecuadamente diferentes señales eléctricas en tensión, que luego pueden ser digitalizadas.

El acondicionamiento de señales suele ser necesario si la señal desde el transductor no es adecuado para hardware que se utiliza. La señal puede ser amplificada o atenuada, puede requerir de filtrado, o un cierre patronal, en el amplificador se incluye para realizar demodulación. Varios otros ejemplos de acondicionamiento de señales podría ser la prestación actual de tensión o excitación al sensor, el aislamiento, linealización, etc.

Existen tarjetas integradas que pueden realizar tanto la adquisición como el acondicionamiento de la señal. Estas son llamadas tarjetas DAQ o hardware DAQ.

4.1.3 Tarjetas DAQ

Son por lo general las interfaces entre la señal y un PC. Podría ser en forma de módulos que pueden ser conectados a la computadora de los puertos (paralelo, serie, USB, etc...) o ranuras de las tarjetas conectadas a (PCI, ISA) en la placa madre. Las tarjetas DAQ a menudo contienen múltiples componentes (multiplexores, CAD, CDA, TTL-IO, temporizadores de alta velocidad, memoria RAM). Estos son accesibles a través de un bus por un micro controlador, que puede ejecutar pequeños programas.



Figura N° 47 “Esquema del proceso”

4.1.4 Software

En los sistemas de adquisición de datos es el software quien controla y administra los recursos del computador, presenta los datos y participa en el análisis. Es una parte esencial que requiere de especial cuidado. Para los sistemas DAQ se necesita de un software de instrumentación, que sea flexible para futuros cambios, y preferiblemente que sea de fácil manejo, siendo lo más poderoso e ilustrativo posible.

Algunos de los programas y lenguajes de programación empleados para este fin son:

4.1.4.1 Microsoft Visual Studio

Es un entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) para sistemas operativos Windows. A través de los múltiples lenguajes que soporta, tales como, lenguaje c++, c#, vb.net, python, es posible desarrollar sitios y aplicaciones web, además de crear algo muy importante para este estudio, una HMI.

4.1.4.2 LabVIEW

En inglés Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench, es un entorno de desarrollo gráfico con funciones integradas para realizar adquisición de datos, análisis de medida y presentaciones de datos. LabVIEW le da la flexibilidad de un potente ambiente de programación, pero mucho más sencillo que los entornos tradicionales.

4.1.4.3 MATLAB

Es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M) y servicio de especie. Está disponible para plataformas Unix, Windows, Mac OS X y GNU/Linux.

4.1.4.4 Lenguaje C++

Es un lenguaje de propósito general desarrollado en 1972. Surge para cubrir las carencias de lenguaje B desarrollado en 1967, el lenguaje tenía un manejo muy débil. C entonces incorpora algunas ideas de B pero hace más fuerte el control de tipos le agrega definiciones de estructura y algunos operadores extra entre otras.

Una particularidad del C++ es la posibilidad de redefinir los operadores, y de poder crear nuevos tipos que se comporten como tipos fundamentales.

4.1.4.5 VisualBasic.NET

Es un lenguaje de programación orientado a objetos implementados sobre el framework .NET, el cual es un componente de software que puede ser añadido al sistema operativo de Windows. Este framework proporciona un gran número de soluciones predefinidas para necesidades generales de la programación de aplicaciones y será requisito para poder ejecutar aplicaciones programadas en VB.NET.

Aquellos que utilizan este lenguaje ocupan el entorno de desarrollo integrado Microsoft Visual Studio en sus distintas versiones, que a medida que cambia la versión permite usar frameworks actualizados, aunque existen otros software tales como SharpDevelop y MonoDevelop.

4.2 Comunicación en la Industria

Las comunicaciones industriales son aquellas que permiten el flujo de información del controlador a los diferentes dispositivos a lo largo de un proceso de producción interactuando con sensores, actuadores, entre otros. Dentro de esta comunicación se le llamara interface a quien se encarga de preparar los datos para que puedan ser transmitidos, y protocolo a quien establece las reglas que gobernarán el intercambio de datos entre distintos equipos.

4.2.1 Interfaces de comunicación

Las interfaces de comunicación serial son elementos que permiten la transmisión de información de un equipo terminal de datos (DTE) hacia un MÓDEM o hacia el medio de transmisión por el cual va a comunicarse con otro equipo terminal de datos (DTE), y se encuentra sujeto a estándares internacionales para asegurar la compatibilidad entre distintos fabricantes.

4.2.1.1 Interfaz RS-232-C

RS 232 es un estándar para la conexión serial de señales de datos binarias entre un DTE (Equipo terminal de datos) y un DCE (Equipo de terminación del circuito de datos), este define el tipo de conector a emplear, las características eléctricas, los niveles de tensión, longitudes máximas a distintas velocidades, los nombres de las señales que intervienen en el funcionamiento y la estructura del protocolo de comunicación.

Señal eléctrica bipolar para representar niveles lógicos altos y bajos.

Las velocidades de transmisión que puede soportar este estándar van desde los 0 bps hasta los 20 Kbps. Con respecto a las distancias máximas se propone que no sean superiores a 15 metros.

Tabla N° 17 “Función de pines DB-9 de RS-232C”

PIN DB9	FUNCION
3 TXD	TRANSMITIR DATOS
2RXD	RECIBIR DATOS
4 DTR	TERMINAL DE DATOS LISTO
6 DSR	EQUIPO DE DATOS LISTO
7 RTS	SOLICITUD DE ENVIO
8 CTS	LIBRE PARA ENVIO
1 DCD	DETECCION DE PORTADORA
5 GND	TIERRA
9 RI	INDICADOR DE LLMADA

Es importante tener presente que para poder utilizar el puerto serie es necesario configurarlo para indicar al PC como debe actuar en las comunicaciones, que puerto se utilizara, velocidad de transmisión y recepción de datos, paridad, etc.

4.2.1.2 Interface RS-485

A diferencia de la RS-232C, se define interfaces de tipo balanceada y con transmisión diferencial, lo cual quiere decir respectivamente que la transmisión de cada señal se realiza a través de un circuito exclusivo de dos hilos, y que la información está representada por la diferencia de potencial existente entre los dos hilos del circuito comprendido desde la salida del transmisor hasta la entrada del receptor.

Posee transmisión de datos de hasta 100 Kbps a una distancia de 1000 m., alta calidad en la transmisión, permiten enlaces multipunto, etc.

Tabla N° 18 “Función de pines DB-9 de RS-485”

PIN DB9	FUNCION
3 RTS+ (HSO+)	SOLICITUD DE ENVIO
2 CTS+(HSI+)	LIBRE PARA ENVIO
4 RXD+	RECIBE DATO
6 CTS-(HSI-)	LIBRE PARA ENVIO
7 RTS- (HSO-)	SOLICITUD DE ENVIO
8 TXD+	ENVIA DATO
1 GND	TIERRA
5 RXD-	RECIBE DATO
9 TXD-	ENVIA DATO

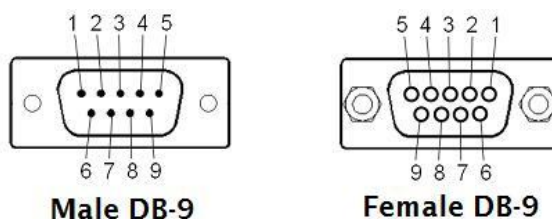


Figura N° 48 “Pines de conector macho y hembra de RS-232C Y RS-485, DB-9”
(Fotografía extraída de la web)

4.2.1.3 USB

Universal Serial Bus ó su traducción al español, línea serial universal de transporte de datos. Es básicamente un conector de 4 terminales que permite la transmisión de datos entre una gran variedad de dispositivos externos con una computadora.

Las versiones USB 1.0/1.1 y USB 2.0 transmiten en un medio unidireccional los datos, esto es solamente se envía ó recibe datos en un sentido a la vez, mientras que la versión USB 3.0 cuenta con un medio Duplex que permite enviar y recibir datos de manera simultánea.

4.2.1.3.1 Tipos de puertos USB

El puerto USB en general cuenta con 3 tipos, denominados A, B y mini, incluida la versión USB 3.0 (esta última cuenta con sus respectivos conectores agregados).

4.2.1.3.2 Terminales del puerto USB 1.0/1.1, USB 2.0 y USB 3.0

Los puertos USB 1.0, 1.1 y USB 2.0 tienen 4 contactos, mientras que el puerto USB 3.0 cuenta con 9 (2 por los cuáles es capaz de enviar, 2 por los cuáles recibir de manera simultánea); en las siguientes figuras se muestran las líneas eléctricas y su descripción básica

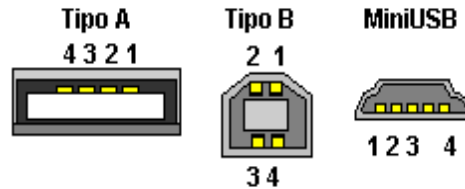


Figura N° 49 “Líneas eléctricas del puerto USB” (Fotografía extraída de la web)

1.- Vbus (+ 5 Volts, alimentación) 2.- D- (- datos) 3.- D+ (+ datos) 4.- GND (tierra).

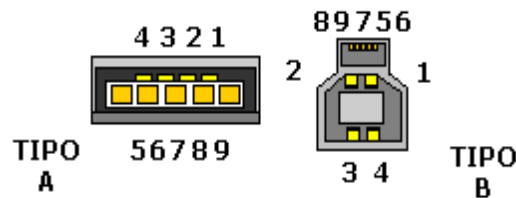


Figura N° 50 “Líneas eléctricas del puerto USB 3.0”

1.- Vbus (+ 5 volts, alimentación) 2.- D- (- datos) 3.- D+ (+ datos) 4.- GND (tierra) 5.- StdA_SSRX- (Recibe datos) 6.- StdA_SSRX+ (Recibe datos) 7.- GND_DRAIN (tierra-drenado) 8.- StdA_SSTX- (Envía datos) 9.- StdA_SSTX+ (Envía datos).

4.2.1.3.3 Velocidad de transmisión del puerto USB

Hay 2 formas de medir la velocidad de transmisión de datos del puerto USB, en MegaBytes/segundo (MB/s) y en Megabits por segundo (Mbps).

Cada versión del puerto USB tiene su velocidad característica, lo cual aumenta con cada nueva versión, como se muestra en la Tabla N° 19.

Tabla N° 19 “Velocidades de Versiones USB”

Versión del puerto	Velocidad máxima en Megabits por segundo	Velocidad máxima en (MegaBytes/segundo)
USB 1.0 (Low Speed)	1.5 Mbps	187.5 KB/s
USB 1.1 (Full Speed)	12 Mbps	1.5 MB/s
USB 2.0 (Hi-Speed)	480 Mbps	60 MB/s
USB 3.0 (Super Speed)	3200 Mbps / 3.2 Gbps	400 MB/s

4.2.1.4 ETHERNET

Ethernet es un estándar de redes de área local para computadores con acceso al medio por detección de la onda portadora y con detección de colisiones (CSMA/CD, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) cuya traducción al español es “Acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones”. Dichas colisiones se provocan cuando varios dispositivos envían paquetes de datos al mismo tiempo, y para solucionar este problema se creó CSMA/CD el cual es un protocolo utilizado en las redes Ethernet para solucionar este problema. Mediante CSMA/CD, es posible que los dispositivos escuchen la red para determinar si el canal y los recursos se encuentran libres. En caso afirmativo, se podrá realizar la transmisión para no colisionar con otros paquetes.

Es una red de puesta en marcha muy rápida gracias a su sistema de conexión simple. Posee un rendimiento escalable o posibilidad de ampliar sin alterar equipos ya instalados.

4.2.1.4.1 Pines Ethernet (RJ45)

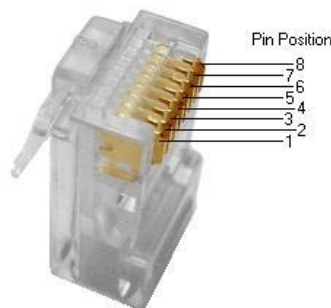


Figura N° 51 “Pines RJ45 macho” (Fotografía extraída de la web)

Tabla N° 20 “Pines RJ45 macho”

Pin	Uso
1	TX+
2	TX-
3	RX+
4	SIN USO
5	SIN USO
6	RX-
7	SIN USO
8	SIN USO

4.2.1.4.2 Tipos de Ethernet

4.2.1.4.2.1 Ethernet

1BASE-5: El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1Mb/s sobre cable par trenzado a una distancia máxima de 250m.

10BASE-5: Es el estándar IEEE para Ethernet en banda base a 10Mb/s sobre cable coaxial de 50 Ω troncal y AUI (attachment unit interface) de cable par trenzado a una distancia máxima de 500m.

10BASE-2: El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 10MB/s sobre cable coaxial delgado de 50 Ω con una distancia máxima de 185m.

10BROAD-36: El estándar IEEE para Ethernet en banda ancha a 10Mb/s sobre cable coaxial de banda ancha de 75 Ω con una distancia máxima de 3600m.

10BASE-T: El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 10 Mb/s sobre cable par trenzado sin blindaje (Unshielded Twisted Pair o UTP) siguiendo una topología de cableado horizontal en forma de estrella, con una distancia máxima de 100m desde una estación a un hub.

10BASE-F: El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 10Mb/s sobre fibra óptica con una distancia máxima de 2.000 metros (2Km).

4.2.1.4.2.2 Fast Ethernet

100BASE-TX: El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 100Mb/s sobre dos pares (cada uno de los pares de categoría 5 o superior) de cable UTP o dos pares de cable STP.

100BASE-T4: El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 100Mb/s sobre 4 pares de cable UTP de categoría 3 (o superior).

100BASE-FX: Es el estándar IEEE para Ethernet en banda base a 100Mb/s sobre un sistema de cableado de dos fibras ópticas de 62.5/125 μm .

100BASE-T2: El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 100Mb/s sobre 2 pares de categoría 3 (o superior) de cable UTP.

4.2.1.4.2.3 Gigabit Ethernet

1000BASE-SX: El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000Mb/s (1Gb/s) sobre 2 fibras multimodo (50/125 μm o 62.5/125 μm) de cableado de fibra óptica.

1000BASE-LX: El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000Mb/s (1Gb/s) sobre 2 fibras monomodo o multimodo (50/125 μm or 62.5/125 μm) de cableado de fibra óptica.

1000BASE-CX: El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000Mb/s (1Gb/s) sobre cableado de cobre blindado balanceado de 150 Ω . Este es un cable especial con una longitud máxima de 25m.

1000BASE-T: El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000Mb/s (1Gb/s) sobre 4 pares de categoría 5 o superior de cable UTP, con una distancia máxima de cableado de 100m

4.2.2 Protocolos de comunicación

El protocolo de comunicación corresponde al lenguaje con que se comunican los dispositivos en la red. Formalmente se puede definir como un conjunto de convenciones relacionadas al formato de datos, métodos de transmisión, topología de red, accesos de bus y procedimientos de control en general necesarios para la comunicación entre dos o más equipos o servicios.

4.2.2.1 Buses de campo

Se denomina buses de campo a los buses de datos que permiten la integración de equipos para la medición y control de variables de proceso. Un bus de campo es un sistema de

transmisión de información (datos) que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción. Generalmente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLCs, transductores, actuadores, sensores y equipos de supervisión.

Al no existir un bus de campo universal, es posible encontrar varios de estos. A continuación se mencionan algunos:

4.2.2.1.1 Profibus (Process field bus)

Profibus DP que se orienta a sensores/actuadores enlazados a procesadores. Profibus PA para control de proceso. Profibus FMS para comunicación.

4.2.2.1.2 Foundation fieldbus

Específicamente se utiliza en aplicaciones de control distribuido. Puede comunicar grandes volúmenes de información, ideal para aplicaciones con varios lazos complejos de control de procesos y automatización.

4.2.2.1.3 Modbus

Es un protocolo de transmisión para sistemas de control y supervisión de procesos (SCADA) con control centralizado, puede comunicarse con una o varias Estaciones Remotas (RTU) con la finalidad de obtener datos de campo para la supervisión y control de un proceso. Las Interfaces de Capa Física puede estar configurada en: RS-232, RS-422, RS-485.

4.2.2.1.4 Devicenet

Red de bajo nivel adecuada para conectar dispositivos simples como sensores fotoeléctricos, sensores magnéticos, pulsadores, etc., y dispositivos de alto nivel (PLCs, controladores, computadores, HMI, entre otros).

Tabla N° 21 “Resumen de protocolos de comunicación”

	PROFIBUS	DEVICENET	MODBUS	ETHERNET
Estándar	DIN 19245 EN 13321/1 (FMS) EN 50254/2 EN 50170/2 IEC 61158 Type 3 SEMI E54.8 (DP)	ISO 11898	No international standard	IEEE 802.3
Aplicable para E/S sensores/actuadores	NO	SI	NO	NO
E/S remotas	SI	SI	SI	SI
Comunicación entre controladores o equipos inteligentes	SI	SI	SI	SI
Variantes más empleadas	DP/V1	-	RTU	10BaseT 100BaseTx
Cable	2 hilos	4 hilos	RS-232 RS-485/422	Par trenzado
Máximo número de maestros	Sin límite (en la práctica solo 1)	1	1	Sin limite

CAPITULO V

Diseño de una HMI para monitoreo de variables del Ensayo de Corte Directo

Las tareas automatizadas en la mayoría de los casos se realizan a través de Pc's en conjunto de un controladores lógicos programables, microcontroladores, u otro dispositivo que se ajuste al proceso asociado. Es por esto que es necesario visualizar e intervenir en dicho proceso, para lo cual se necesita un interfaz que nos haga amigable esta tarea.

La sigla HMI significa "Human machine Interface" lo que traducido al español es "Interfaz Humano-Máquina". Corresponde a la "ventana" a través de la cual el operador entra en contacto con una máquina y por lo tanto es posible para él intervenir en algún proceso que se está ejecutando.

Una HMI idealmente debería ser de fácil uso para cualquier operador, por lo tanto debe diseñarse para que se explique de forma intuitiva y sin necesidad de una mayor formación, a pesar de que siempre un operador debe estar capacitado en su labor.

Es necesario comprender que es un sistema SCADA para comprender aún mejor el término HMI. SCADA proviene de las siglas Supervisory Control and Data Acquisition, lo que traducido al español es Adquisición de Datos y Supervisión de Control. En resumen, un sistema SCADA es una aplicación software de control de producción que se comunica con los dispositivos de campo y controla el proceso de forma automatizada, proporciona información al operador, realiza el control directo mediante algún controlador conectado a un ordenador que realiza las funciones de dialogo con el operador para lo cual es necesario tener un HMI; por lo tanto la HMI es la parte terminal de un sistema SCADA la cual nos ofrece interactuar con la máquina que interviene en algún proceso.

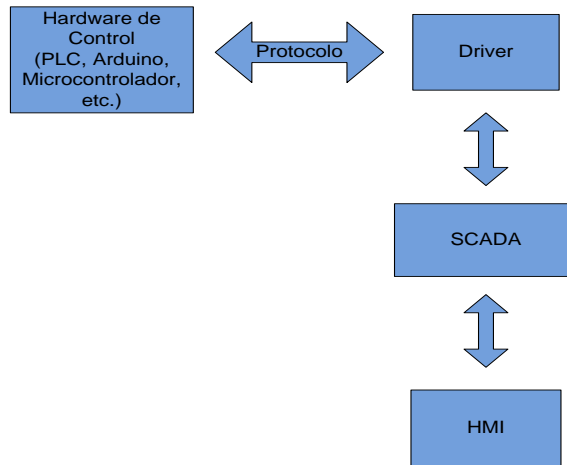


Figura N° 52 “Esquema general de un sistema SCADA”

5.1 Requerimientos solicitados en Laboratorio de Suelos para la realización de la HMI

El desafío principal en este trabajo de título es intentar dar solución a la problemática de adquisición de datos para el Ensayo de Corte Directo. Para esto se realizan reuniones con el profesional a cargo de esta área en Laboratorios de Suelos, donde se explica los principales requerimientos para poder desarrollar un software que permita adquirir y guardar los datos obtenidos de dicho ensayo. El profesional a cargo, Sr, Cristian Senoceain, explica que se necesita realizar una adquisición de datos y exportarlos a un Excel donde, a través de fórmulas, se llenan diversos campos de este y completan graficas del comportamiento del proceso (Ver Figura N° 50).

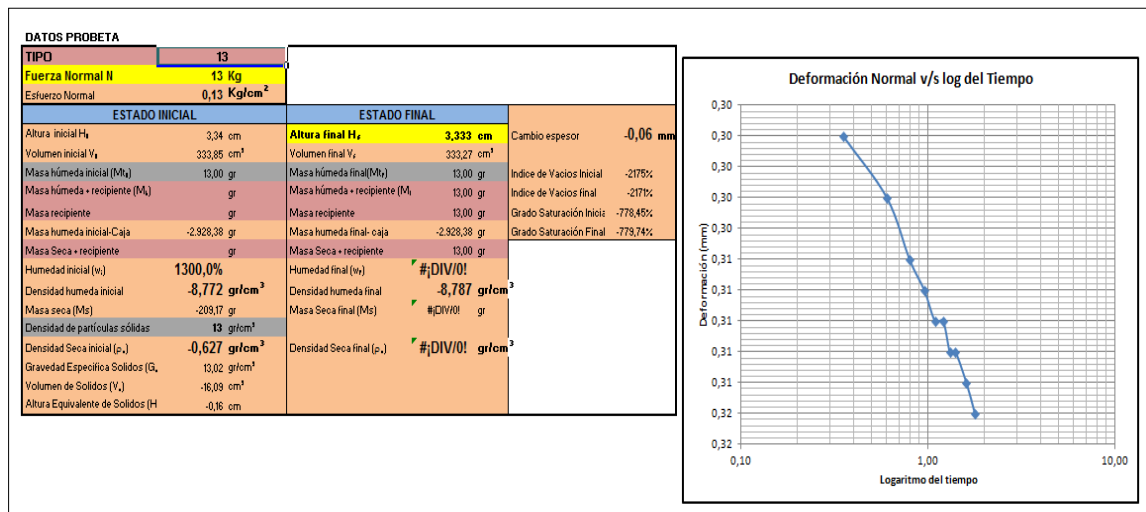


Figura N° 53 “Parte del Excel donde se registran datos del proceso”

A través de este Excel es posible obtener los datos necesarios para llevar a cabo el informe final que es entregado al cliente (Ver Figura N° 51).



 UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO LABORATORIO CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN		INFORME DE ENSAYO ENSAYO DE CORTE DIRECTO		 SISTEMA NACIONAL DE ACREDITACION INN - CHILE Acreditación LE 555																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">NÚMERO INFORME :</td> <td style="width: 33%;">FECHA DE EMISION :</td> <td style="width: 33%;">N° DE PAGINA : Página 1 de 4</td> </tr> <tr> <td>AREA :</td> <td>CODIGO INTERNO : S-CD-</td> <td>O.T. N° :</td> </tr> <tr> <td colspan="3">N° CORRELATIVO RESPECTO : DE LA OBRA</td> </tr> </table>						NÚMERO INFORME :	FECHA DE EMISION :	N° DE PAGINA : Página 1 de 4	AREA :	CODIGO INTERNO : S-CD-	O.T. N° :	N° CORRELATIVO RESPECTO : DE LA OBRA											
NÚMERO INFORME :	FECHA DE EMISION :	N° DE PAGINA : Página 1 de 4																					
AREA :	CODIGO INTERNO : S-CD-	O.T. N° :																					
N° CORRELATIVO RESPECTO : DE LA OBRA																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">DATOS DEL CLIENTE</td> </tr> <tr> <td>IDENTIFICACION DEL CLIENTE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>DIRECCION DEL CLIENTE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>MANDANTE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>EMPRESA CONSTRUCTORA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>NOMBRE OBRA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>UBICACION DE LA OBRA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PROFESIONAL RESPONSABLE OBRA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>SOLICITADO POR</td> <td></td> </tr> </table>						DATOS DEL CLIENTE		IDENTIFICACION DEL CLIENTE		DIRECCION DEL CLIENTE		MANDANTE		EMPRESA CONSTRUCTORA		NOMBRE OBRA		UBICACION DE LA OBRA		PROFESIONAL RESPONSABLE OBRA		SOLICITADO POR	
DATOS DEL CLIENTE																							
IDENTIFICACION DEL CLIENTE																							
DIRECCION DEL CLIENTE																							
MANDANTE																							
EMPRESA CONSTRUCTORA																							
NOMBRE OBRA																							
UBICACION DE LA OBRA																							
PROFESIONAL RESPONSABLE OBRA																							
SOLICITADO POR																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">METODOS UTILIZADOS</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <ul style="list-style-type: none"> • ASTM D2487-11 "Standard Practice for Classification of Soils for Engeneerin Purposes (Unidied Soil Classification System)" (ENSAYO NO ACREDITADO) • ASTM D3282-09 "Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes" (ENSAYO ACREDITADO) • ASTM D3080/D3080M-11 "Standard Test Method gor Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions" </td> </tr> </table>						METODOS UTILIZADOS		<ul style="list-style-type: none"> • ASTM D2487-11 "Standard Practice for Classification of Soils for Engeneerin Purposes (Unidied Soil Classification System)" (ENSAYO NO ACREDITADO) • ASTM D3282-09 "Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes" (ENSAYO ACREDITADO) • ASTM D3080/D3080M-11 "Standard Test Method gor Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions" 															
METODOS UTILIZADOS																							
<ul style="list-style-type: none"> • ASTM D2487-11 "Standard Practice for Classification of Soils for Engeneerin Purposes (Unidied Soil Classification System)" (ENSAYO NO ACREDITADO) • ASTM D3282-09 "Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes" (ENSAYO ACREDITADO) • ASTM D3080/D3080M-11 "Standard Test Method gor Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions" 																							

Figura N° 54 “Parte de la plantilla del informe generado para el cliente”

El principal objetivo es obtener las gráficas a partir de la deformación en unidades milimétricas de las muestras, obtenidos desde los sensores.

Para realizar la segunda etapa del Ensayo (Etapa de Corte) se requiere un dato de velocidad para aplicarlo al actuador. Este dato es posible setearlo a valores máximos que están establecidos en la última actualización de la norma para este Ensayo. Para cumplir con este requerimiento se establece una opción para seleccionar la velocidad dependiendo del tipo de muestra, y además una opción para editarla en caso de que se requiera calcularla.

Actualmente se aplica una corrección de error establecida a través de la calibración de los sensores, por lo que se requiere una opción dentro de la HMI para setear dicho valor y corregir las lecturas dentro del documento a generar.

5.2 HMI diseñada para el Ensayo de Corte Directo

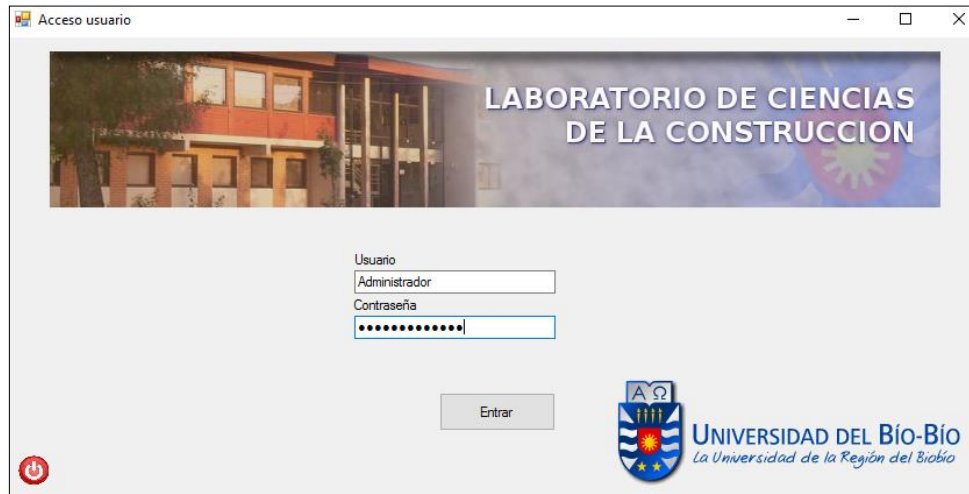


Figura N° 55 “Acceso de usuario de HMI”

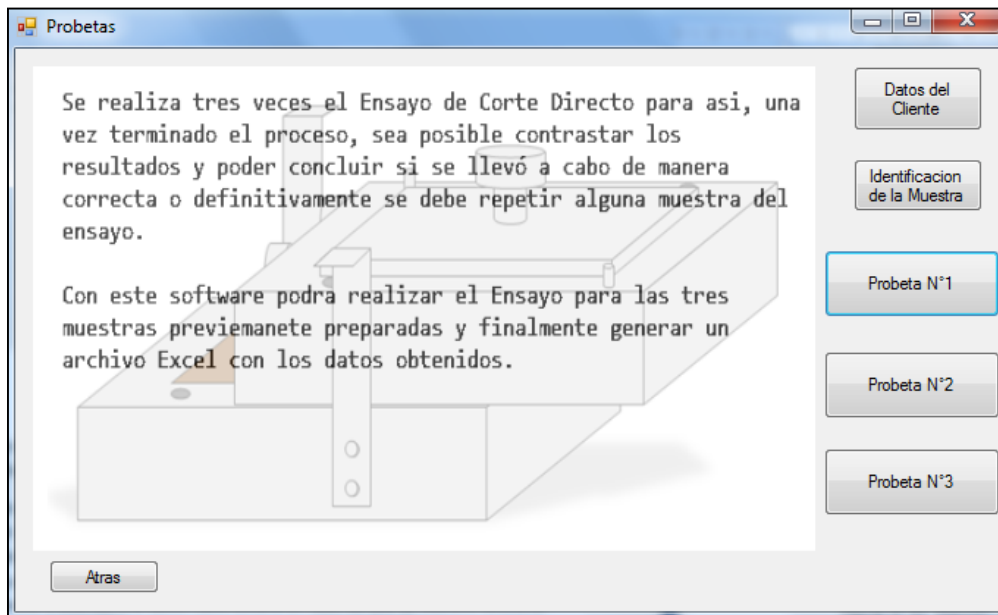


Figura N° 56 “Elección de probeta para realizar ensayo de Corte Directo”

The screenshot shows a software window titled "Datos del Cliente". It contains two columns of text input fields. The left column includes: "Nombre del Cliente", "Direccion del Cliente", "Mandante", "Empresa Constructora", "Nombre Obra", "Ubicacion de la Obra", "Profesional responsable de la Obra", and "Solicitado por". The right column includes: "N° de Informe", "Área", "N° Correlativo respecto de la Obra", "Fecha de emision", "Codigo Interno", and "O.T.N°". At the bottom of the window, there are two buttons: "Atras" on the left and "Guardar" on the right.

Figura N° 57 "Datos del cliente"

The screenshot shows a software window titled "Identificación de la Muestra". It contains a single column of text input fields: "N° Ingreso muestra", "Calicata N°", "Sondaje N°", "Profundidad/Cota (m)", "Horizonte", "Procedencia", "Tipo de Muestra", "Fecha de muestreo", and "Laboratorista a cargo". At the bottom of the window, there are two buttons: "Atras" on the left and "Guardar" on the right.

Figura N° 58 "Identificación de la muestra"

Figura N° 59 “Ingreso de datos iniciales del Ensayo”

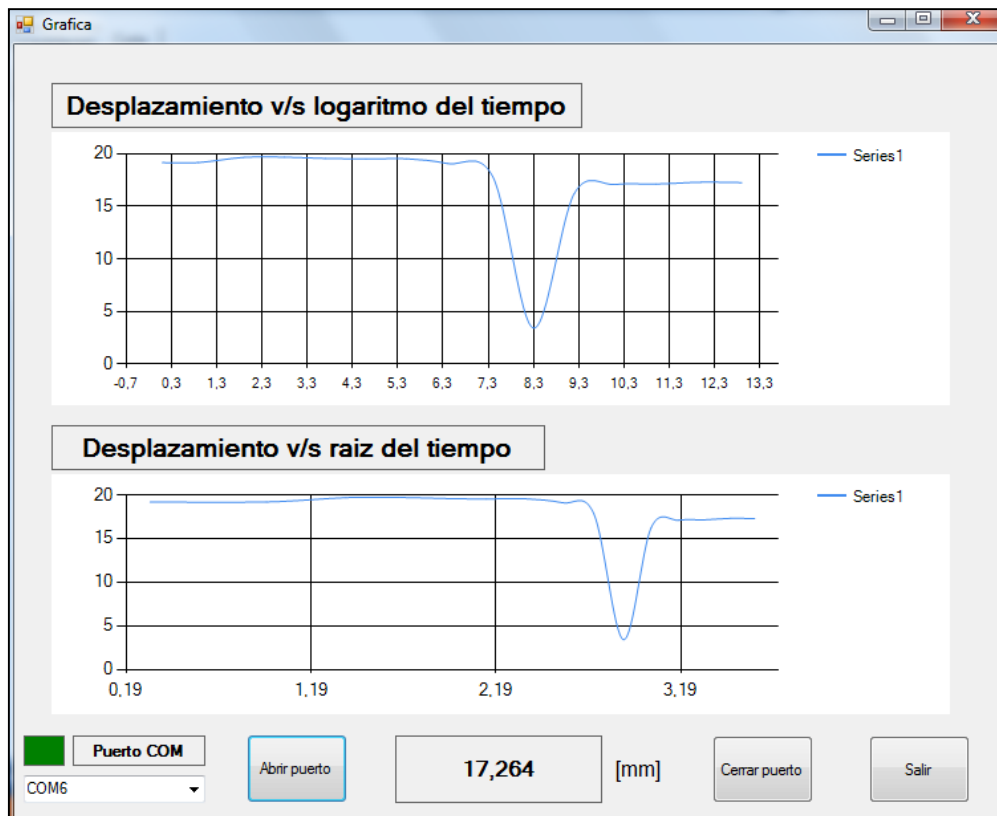


Figura N° 60 “Grafica en tiempo real en escala normada por ASTM-D3080”

The screenshot shows a software window titled 'Probeta N°1' with a tab for 'Consolidación'. It features two columns of input fields for 'Tiempo (min)' and 'Deformación (mm)'. The 'Tiempo (min)' column has values: 0, 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2.25, 4, 6.25, 9, 12.25, 16, 20.5, 25. The second 'Tiempo (min)' column has values: 40, 60, 90, 180, 480, 1440. There are buttons for 'Datos Iniciales', 'Datos Finales', 'Cargar Datos', 'Guardar Datos', 'Atras', and 'Iniciar Ensayo'.

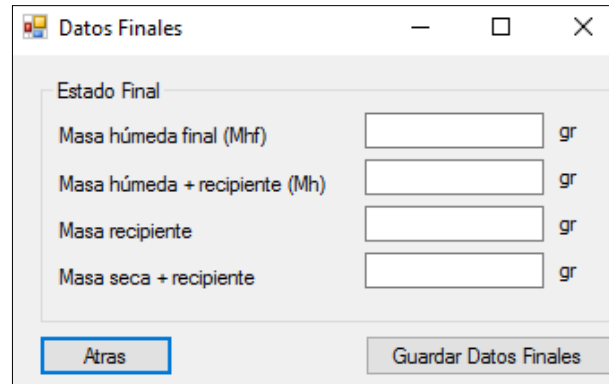
Figura N° 61 “Registro de datos, etapa de consolidación”

The screenshot shows the 'Corte' tab in the 'Probeta N°1' software. It contains two sets of columns for 'Desplazamiento Horizontal (mm)', 'Desplazamiento Vertical (mm)', and 'Fuerza (Kgf)'. On the right, there is a table with test parameters:

USCS	Tf Minimo (min)	df (mm)	Vel. max. de corte (mm/min)
SW.SP	10	5	0.5000
SW.SM, SP-SM, SM	60	10	0.1667
SC, ML, CL, SP-SC	200	10	0.0500
MH, CH	1440	10	0.0069

Below the table is a dropdown menu labeled 'Seleccionar Velocidad:'. At the bottom, there are buttons for 'Cargar Datos', 'Atras', and 'Iniciar Ensayo'.

Figura N° 62 “Registro de datos, etapa de corte”



Datos Finales

Estado Final

Masa húmeda final (Mhf)	<input type="text"/>	gr
Masa húmeda + recipiente (Mh)	<input type="text"/>	gr
Masa recipiente	<input type="text"/>	gr
Masa seca + recipiente	<input type="text"/>	gr

Atras Guardar Datos Finales

Figura N° 63 “Ingreso de datos finales del Ensayo”

Luego del ingreso de los datos manualmente y los registrados por los sensores a través del gráfico, se completan dos Excel mencionados anteriormente (Ver Figura N° 50 y Figura N° 51), gracias a esto se tienen los datos registrados para uso del laboratorio y un informe final para el cliente.

CAPITULO VI

Propuesta Técnica y Económica Total del Proyecto

El ensayo de Corte Directo se realiza en un periodo de tiempo muy extenso, que pueden ser varios días, en los que un operador debe registrar los datos manualmente. Por esto es muy necesario un sistema de adquisición de datos que cumpla esta función. Se realiza este estudio con las diversas opciones en el mercado para la instrumentación electrónica, esto corresponde a sensores de desplazamiento, de fuerza y adquisidores de datos.

6.1 Criterio de selección de instrumentos

Si bien existe una amplia gama de sensores en el mercado, pero una pequeña cantidad es la que realmente sirve para el ensayo de Corte Directo, esto es porque se necesitan instrumentos muy precisos para las pequeñas distancias que se miden. Uno de los aspectos más importantes para los sistemas de adquisición de datos es que sus entradas sean diferenciales, ya que los sensores aptos para el ensayo tienen este tipo de salidas.

6.2 Propuestas para la adquisición de datos de la máquina de corte directo

A continuación se muestran las opciones estudiadas para la automatización del registro de datos de la máquina de Corte Directo, estas propuestas dan opción a equipamientos específicos para el ensayo y también a soluciones con instrumentos adecuados para la construcción del sistema de adquisición de datos.

6.2.1 Propuesta N°1: Máquina de Corte Directo nueva y automatizada HUMBOLDT

La empresa estadounidense Humboldt ofrece una máquina de corte totalmente automatizada, con sensores, adquisidores y un software específico para el ensayo.

Esta es una máquina de corte directo con diales digitales y salida de datos RS232C. Al ser una máquina totalmente nueva esta contiene una caja de corte de 100x100 mm, un tampón de 100x100 mm, un cortador de 100x100 mm y un juego de pesos de 32 Kg.

Humboldt también nos proporciona los instrumentos por separado y da opciones para la construcción del sistema de adquisición de datos.

Para los sensores de desplazamiento ofrece dos opciones, una es el Dial digital Humboldt de 25.4 mm x 0.002 mm, que proporciona, además de enviar la información al adquisidor, un indicador para ver en tiempo real el desplazamiento y la segunda es el Transductor lineal LSCT

de 50mm, que es un instrumento extremadamente preciso y fiable muy superior al LVDT. El sensor de fuerza es una celda de carga tipo S de 2.5 KN

Dentro de los adquirentes de datos Humboldt se tiene el Minilogger digital HM-2330D.3F, para diales, contiene 4 canales de tiempo real, este almacena 1000 lecturas por cada canal y posee salida USB al computador. La otra opción es el Minilogger digital HM-2325A.3F, para transductores y celdas de carga y también cuenta con salida USB.

Junto con todo esto, Humboldt proporciona un software para los procesos de Consolidación y Corte, la cual esta optimizada para sus instrumentos.

6.2.1.1 Cotización máquina de corte HUMBOLDT completa

Tabla N° 22 “Cotización COTECNO (Comercial Tecnológica LTDA), Santiago de Chile”

Ítem	Cantidad	Descripción	\$	total neto
1	1	Equipo de corte directo digital con diales con salida de datos RS232C, Humboldt, USA, 220V 50Hz, HM-2750D.3F (ASTM D3080)	9.517.937	\$ 9.517.937
2	1	Caja de corte de 100x100 mm, HM-2751.100S	837.589	\$ 837.589
3	1	Tampón para 100x100 mm, HM-2703.100S	85.011	\$ 85.011
4	1	Cortador para 100x100 mm, HM-2702.100S	180.566	\$ 180.566
5	1	Juego de pesas de 32kg, HM-1122	396.718	\$ 396.718
6	1	Software para corte directo, HM-2700SW	507.430	\$ 507.430
			Total	\$ 11.525.829

6.2.1.2 Cotización sensores HUMBOLDT por separado

Tabla N° 23 “Cotización COTECNO (Comercial Tecnológica LTDA), Santiago de Chile”

Ítem	Producto	Cantidad	Precio unitario	Dsct.	Total
1	HM-2330D.3F, Minilogger digital para diales 4 canales de tiempo real, almacena 1000 lecturas por canal, salida USB para PC, 220v, 50Hz	1	\$1.788.000,0	0,00%	\$1.788.000,0
2	HM-4470.10, Dial digital Humboldt de 25.4 mm x 0.002 mm, a batería o corriente, HM-4470.10	1	\$424.000,0	0,00%	\$424.000,0
3	HM-4469C, Cable de data para dial digital	1	\$ 87.000,0	0,00%	\$ 87.000,0
4	HM-1100SW, Software Humboldt para CONSOLIDACION	1	\$ 931.000,0	0,00%	\$ 931.000,0
5	HM-2300.005, Celda de carga en S de 2,5 KN	1	\$ 370.000,0	0,00%	\$ 370.000,0
6	HM-2310.20, Transductor lineal LSCT de 50mm	1	\$ 838.000,0	0,00%	\$ 838.000,0
7	HM-2325A.3F, Minilogger digital Humboldt de 4 canales para conexión de transductores y celdas de carga con interface USB, 220v, 50Hz	1	\$ 1.940.000,0	0,00%	\$ 1.940.000,0
Neto					6.378.000
IVA					1.211.820
Total					7.589.820

6.2.2 Propuesta N°2: Máquina de Corte Directo Nueva y automatizada ELE

La máquina de Corte Directo digital que presenta ELE es un modelo similar al ya instalado en el Laboratorio de suelos de la UBB, pero la nueva posee nuevos sensores de desplazamiento y fuerza, además la máquina de corte digital contiene los puertos para conectar cada uno de los instrumentos que se utilizan.

Al igual que la propuesta anterior, esta máquina es totalmente nueva, por esto posee una nueva caja de corte de 60x60 mm, un cortador de muestra 60x60 mm, una herramienta de extrusión de muestra de 60x60 mm y un set de pesos que contiene 4 de 1Kg, 5 de 4 Kg y 4 de 16 Kg.

La máquina contiene 2 sensores LVDT y una celda de carga adecuadas para el funcionamiento del ensayo. También el uso de la salida RS232C para entregar los datos desde la interfaz de la máquina de corte.

6.2.2.1 Cotización máquina de corte ELE completa

Mediante contactos de Universidad del Bio-Bio se realiza cotización a Arquimed, cuya empresa posee máquinas de corte de la misma marca que la que se encuentra en el Laboratorio de Suelos

Tabla N° 24 "Cotización máquina de Corte Directo marca ELE"

Ítem	Marca/Código	Descripción	Cantidad	Formato	Valor
1	ELE 26-2114-01	Equipo de Corete Directo/Residual ASTM D3080, AASHTO T236 220- 240V 50/60Hz	1	Unidad	\$ 13.998.000
2	ELE 25-0440	Indicador de Dial Vertical Métrico	1	Unidad	
3	ELE 88-4110	Indicador de Dial Horizontal Métrico	1	Unidad	
4	ELE 78-0260	Anillo de Carga de Compresión de 4,5kN (1,000lb)	1	Unidad	
5	ELE 26-2181	Caja Cuadrada de 60x60mm	1	Unidad	
6	ELE 26-2185	Cortador de muestra cuadrada 60x60mm	1	Unidad	
7	ELE 26-2189	Herramienta de extrusión de muestra cuadrada 60x60mm	1	Unidad	
8	ELE 25-0535	Pesas set de 4 piezas de 1Kg, 5 de 4Kg y 4 de 16Kg.	1	Set	
9		Instalación y puesta en marcha	1	Unidad	
			Valor Neto		\$ 13.998.000
			I.V.A. 19%		\$ 2.659.620
			Total		\$ 16.657.620

6.2.3 Propuesta N°3 Construcción de sistema de adquisición de datos en base a Datalogger CR300

Para la construcción de este sistema de adquisición se utilizarán 2 sensores LVDT y una celda de carga tipo “S”, las cuales irán conectadas a las entradas diferenciales del datalogger, luego esta información ira al computador el cual registrara los datos mediante la HMI realizada. El P&ID y diagrama eléctrico puede observarse en el Anexo N°1 y N°2.

6.2.3.1 Sensores LVDT

El sensor LVDT a utilizar es el modelo LD620-2.5, de la marca OMEGA. Estos sensores estarán ubicados uno sobre la caja de corte y el segundo a un costado del recipiente de la caja de corte, para medir la deformación vertical y horizontal de la muestra respectivamente, estos sensores tienen salidas de 4-20mA o 0-10V.

6.2.3.2 Celda de carga tipo “S”

El modelo de la celda de carga que se utiliza es el LCR-2K, de la marca OMEGA. LA ubicación es a un costado del recipiente de la caja de corte, en la misma ubicación donde se encuentra el anillo de fuerza actualmente. La salida de este sensor es de 3mV/V, lo que quiere decir es que la salida será de 3mV por cada Volt que se alimente la celda de carga.

6.2.3.3 Datalogger

El Datalogger CR300 proporcionado por Cambell Scientific es de mucha utilidad para la adquisición de la información proporcionada por los sensores mencionados. Lo único que este instrumento necesita es un divisor de voltaje VDIV 2:1. Este circuito puede ser adquirido junto al Datalogger, pero al ser solo un circuito divisor de voltaje, existe la posibilidad de construirlo para abaratar costos. La salida hacia el computador puede ser por puerto RS232 o también por USB.

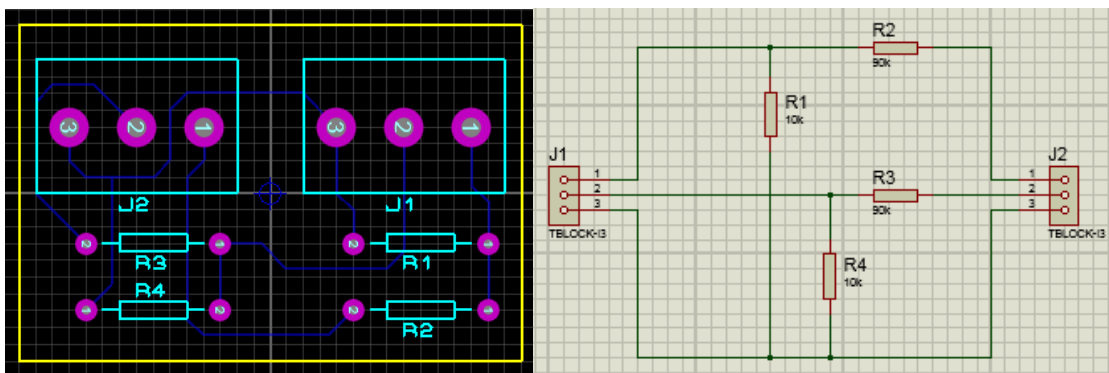


Figura N° 64 “Circuito para VDIV 2:1”

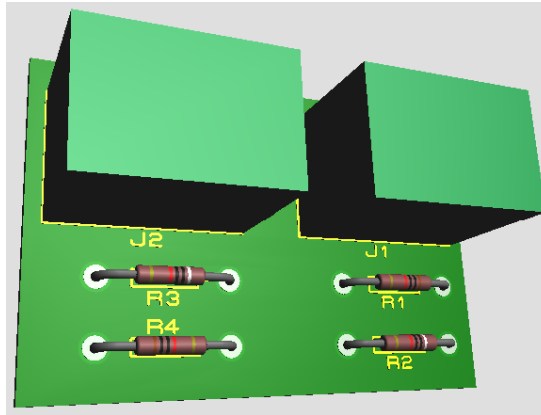


Figura N° 65 “PCB de VDIV 2:1, diseño en Proteus ISIS”

6.2.3.4 Presupuesto para la construcción del sistema de adquisición de datos

Ítem	Marca	Descripción	Cantidad	Valor
1	OMEGA	Sensor LVDT LD620-2,5	2	\$ 751.260
2	OMEGA	Celda de carga LCR-2K	1	\$ 200.995
3	CAMBELL SCIENTIFIC	Datalogger CR300	1	\$ 562.786
4	CAMBELL SCIENTIFIC	VDIV 2:1	3	\$ 197.700
			Total	\$ 1.712.741
			Total sin VDIV	\$ 1.515.041

6.2.3 Propuesta N°4: Construcción de sistema de adquisición de datos en base a ADAM-40929+

En la construcción de esta propuesta se utilizan los mismos sensores de la propuesta anterior. El P&ID y diagrama eléctrico puede observarse en el Anexo N°3 y N°4.

6.2.3.1 Sensores para la adquisición de datos

Los sensores utilizados en esta propuesta son los ya mencionados LVDT LD620-2.5, de la marca OMEGA y la celda de carga LCR-2K, de la marca OMEGA.

6.2.3.2 Modulo ADAM

El módulo de adquisición de datos de la marca ADAM modelo 40929+, gracias a sus características de entradas diferenciales y a las señales de entrada que admite, cumple a la perfección a los requerimientos para el ensayo de Corte Directo. Para la comunicación al computador tenemos una conexión a través del puerto RS485.

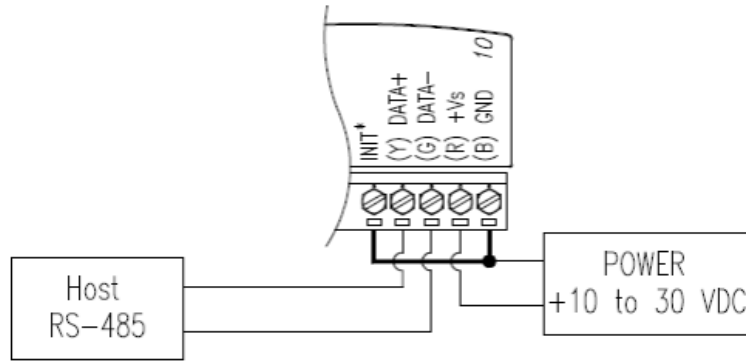


Figura N° 66 “Conexión por RS-485” (Fotografía extraída de la web)

Pero también existen dos opciones de módulos de ADAM, el 4520 y 4561, los cuales permiten la comunicación por puerto RS232 y USB respectivamente.

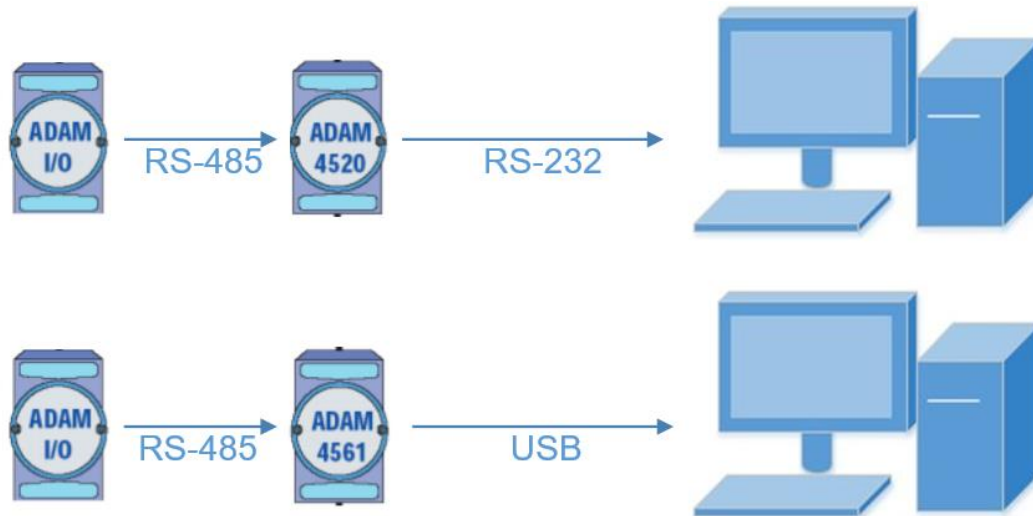


Figura N° 67 “Módulos ADAM para conversión en la comunicación serial”

6.2.3.3 Presupuesto para la construcción del sistema adquisición de datos

Ítem	Marca	Descripción	Cantidad	Valor
1	OMEGA	Sensor LVDT LD620-2,5	2	\$ 751.260
2	OMEGA	Celda de carga LCR-2K	1	\$ 200.995
3	ADAM	Módulo 4019+	1	\$ 230.650
4	ADAM	Módulo 4520	1	\$ 69.900
5	ADAM	Módulo 4561	1	\$ 92.260
			Total	\$ 1.182.905
			Total con Modulo 4520	\$ 1.252.805
			Total con Modulo 4561	\$ 1.275.165

Al analizar las cuatro propuestas se recomienda utilizar la propuesta N°4 ya que posee características técnicas suficientes para la correcta ejecución del Ensayo de Corte Directo. Esta propuesta se realiza de tal manera de no sobredimensionar dichas características técnicas, lo cual implica una eficiencia en la compra de dispositivos necesarios para la actualización que se refleja en el costo final.

CONCLUSIÓN

A lo largo del presente trabajo de título, se realizó un estudio técnico y económico para intentar dar solución a la problemática de adquisición de datos de un Ensayo de Corte Directo del Laboratorio de Suelos del Departamento de Ciencias De la Construcción, Universidad del Bío-Bío. Para ello, fue necesario realizar un levantamiento de la información técnica disponible en las instalaciones de la universidad y además investigar sobre tecnologías similares dentro de la región, realizando visitas técnicas a Laboratorios de Idiem, sede Hualpen, Universidad de Chile.

Para intentar dar solución a la forma manual en que se registran los datos, se realizó una propuesta técnica y económica para la adquisición y monitoreo de datos. De esta forma la toma de datos no dependerá de un operador en terreno durante un periodo prolongado, solo para la marcha inicial del ensayo y la transición de una etapa a otra del ensayo en cuestión. Desde el punto de vista de la eficiencia del ensayo, se destaca la posibilidad de acortar la duración total del ensayo ya que al ser un proceso automatizado, puede trabajar independientemente durante la noche.

Para la realización de la HMI se ocupó el entorno de desarrollo integrado "Microsoft Visual Studio", debido a su amplia variedad de lenguajes de programación, su interfaz intuitiva que facilita la programación. Se optó por el lenguaje Visual Basic.NET (VB.NET) por su simplicidad, fácil aprendizaje y por un mayor control de aspectos visuales para el diseño del HMI. Dentro de la amplia gama de sensores y adquirentes en el mercado nacional, se realizó una propuesta con los instrumentos más adecuados para el ensayo. Dentro de las características se buscó mayor precisión, productos confiables, probados en la industria y aptos para ensayos de certificación, además de abaratar los costos del proyecto.

La interfaz HMI diseñada en VB.NET a través del software Visual Studio permite ver gráficamente y en tiempo real las características más importantes, lo que permite identificar fallas durante el proceso, que actualmente solo se reconocen al finalizar el ensayo según los requerimientos del usuario.

Al finalizar el ensayo se realiza un informe para el cliente, el cual contiene los datos y graficas más relevantes del ensayo, además del respectivo análisis y las conclusiones a las que llega el profesional a cargo, esto también es parte de la automatización sugerida, para lo cual se integra dentro de la HMI dos secciones de registro de datos, uno que contiene tabulaciones y gráficas, y la otra para una plantilla del informe que se genera para el cliente.

Se concluye que es conveniente actualizar el actual equipo para el Ensayo de Corte Directo, puesto que la compra de una máquina nueva, con las funcionalidades de la propuesta es alrededor de diez veces mayor a la que se puede implementar con dispositivos discretos y sigue cumpliendo los requerimientos de la norma ATSM D3080 establecidos internacionalmente.

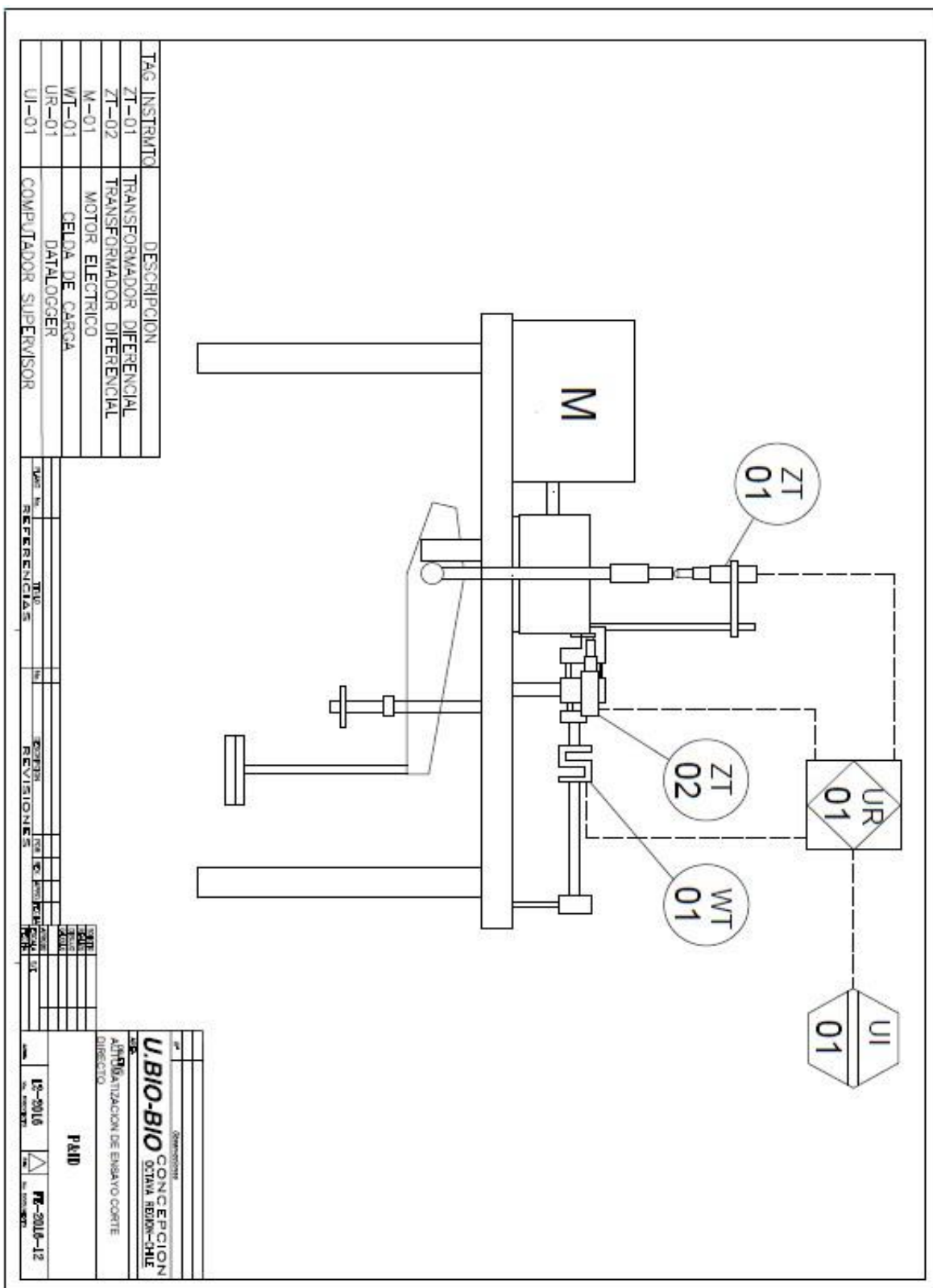
Se sugiere la intervención de un nuevo grupo de alumnos seminaristas electrónicos en un próximo trabajo de título para que, una vez se tengan elegidos los equipos definitivos para realizar la compra y posterior implementación del proyecto, se continúe de forma detallada con el trabajo de elegir los protocolos de comunicación y la correcta conexión con la HMI diseñada, debido a que no basta con conectar los equipos para que estos realicen un correcto funcionamiento.

BIBLIOGRAFIA

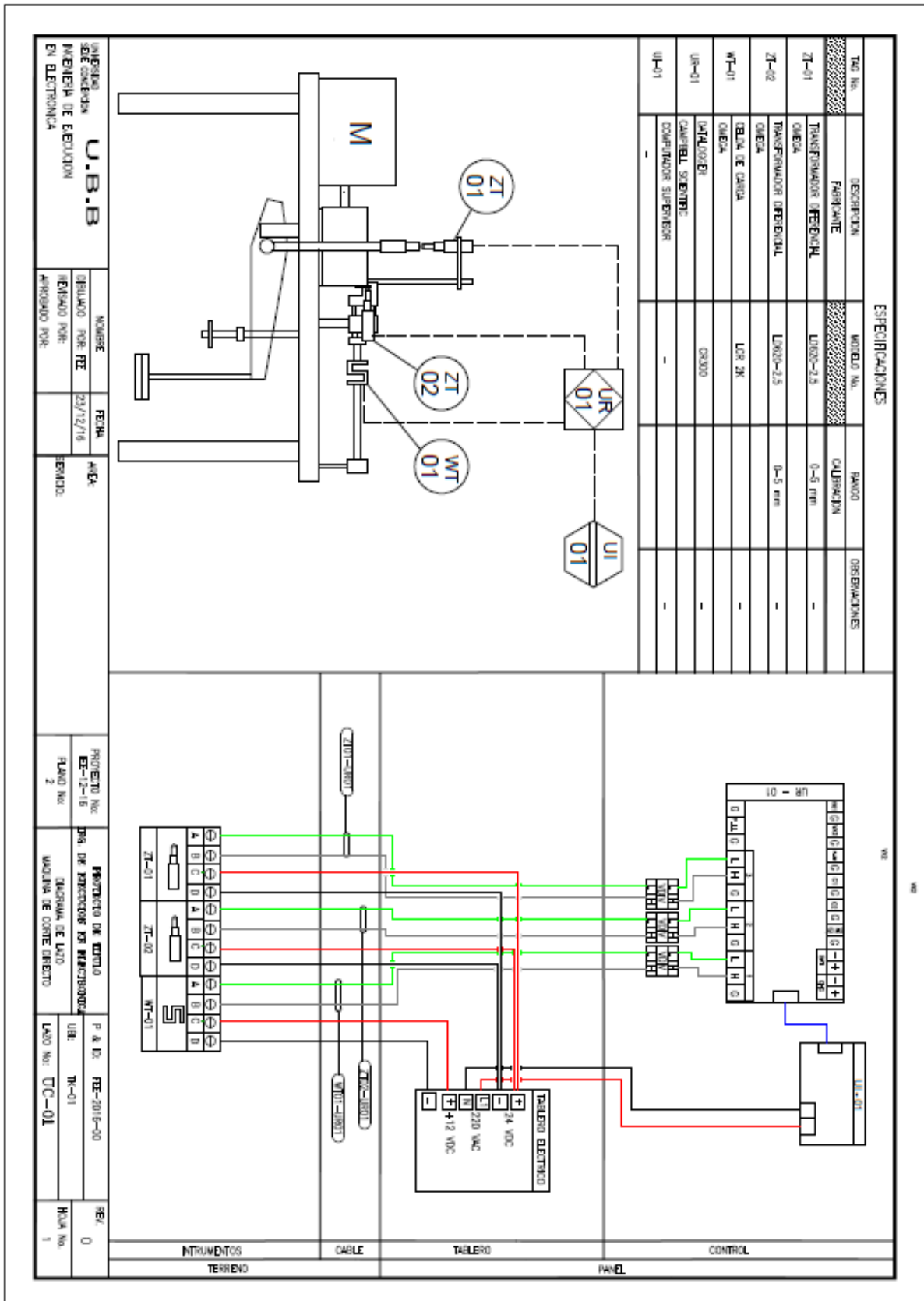
- [1] ASTM D 3080 -04: Ensayo de Corte Directo - "Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions"
- [2] Manual de Carreteras 8.102.1 – 2008
- [3] www.ele.com "Ele International, Construction materials testing equipment & environmental instrumentation".
- [4] www.humboldtmg.com "Humboldt, Construction materials testing equipment"
- [5] www.advantech.es "Equipos ADAM para propuestas técnicas"
- [6] www.guemisa.com "Sensores para la Industria"
- [7] www.gfran.com "Sensores para la Industria"
- [8] www.msdn.microsoft.com "Soporte para software Visual Studio"
- [9] www.olimex.cl "Ventas de adquisidores de datos"
- [10] www.tom.cl "Tecnología Omega, Chile"
- [11] ADAM 4000 Series Data Acquisition Modules User Manual. Proporcionado por Advantech, 2016.

ANEXOS

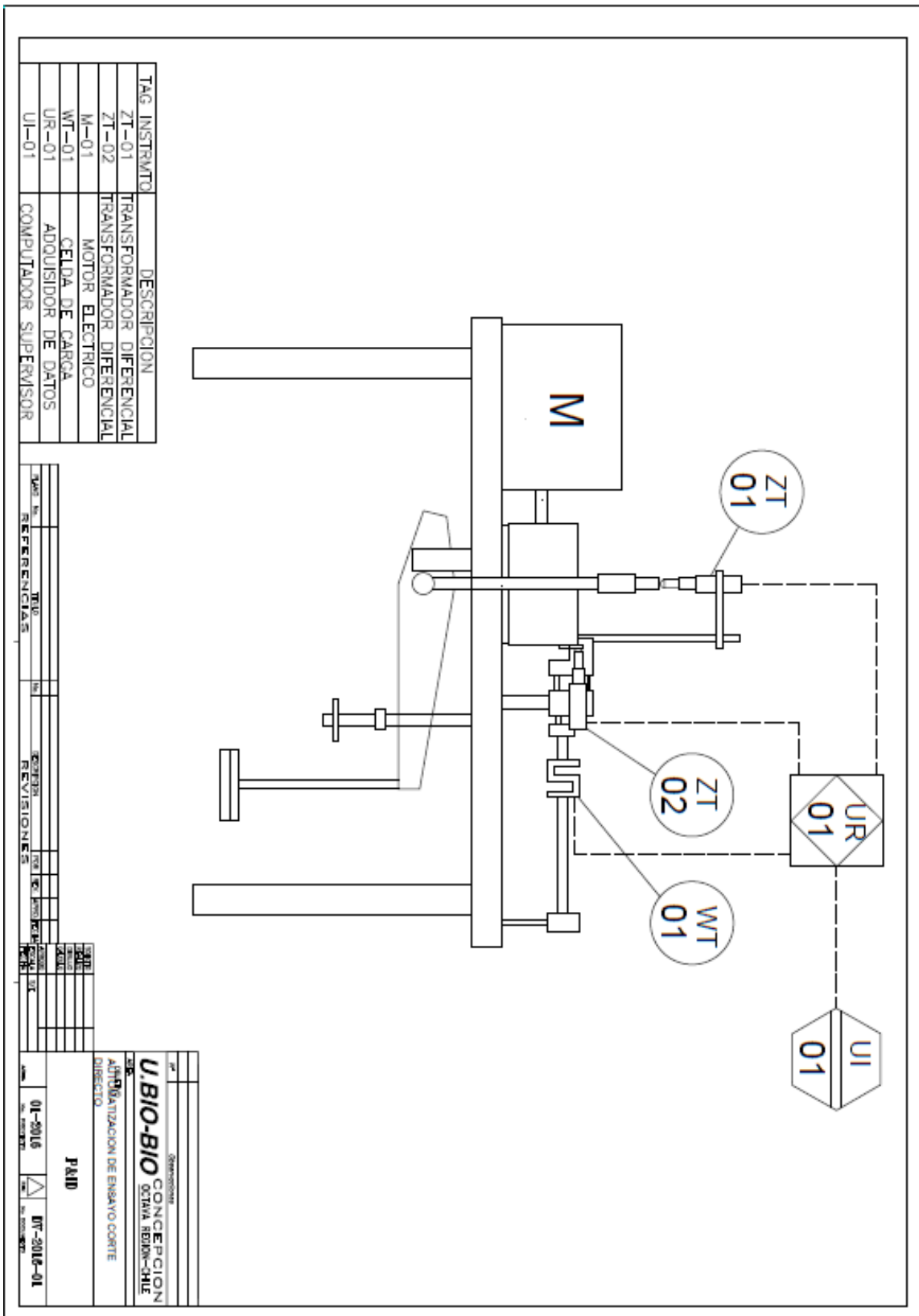
Anexo N° 1 "P&ID, Datalogger CR-300"



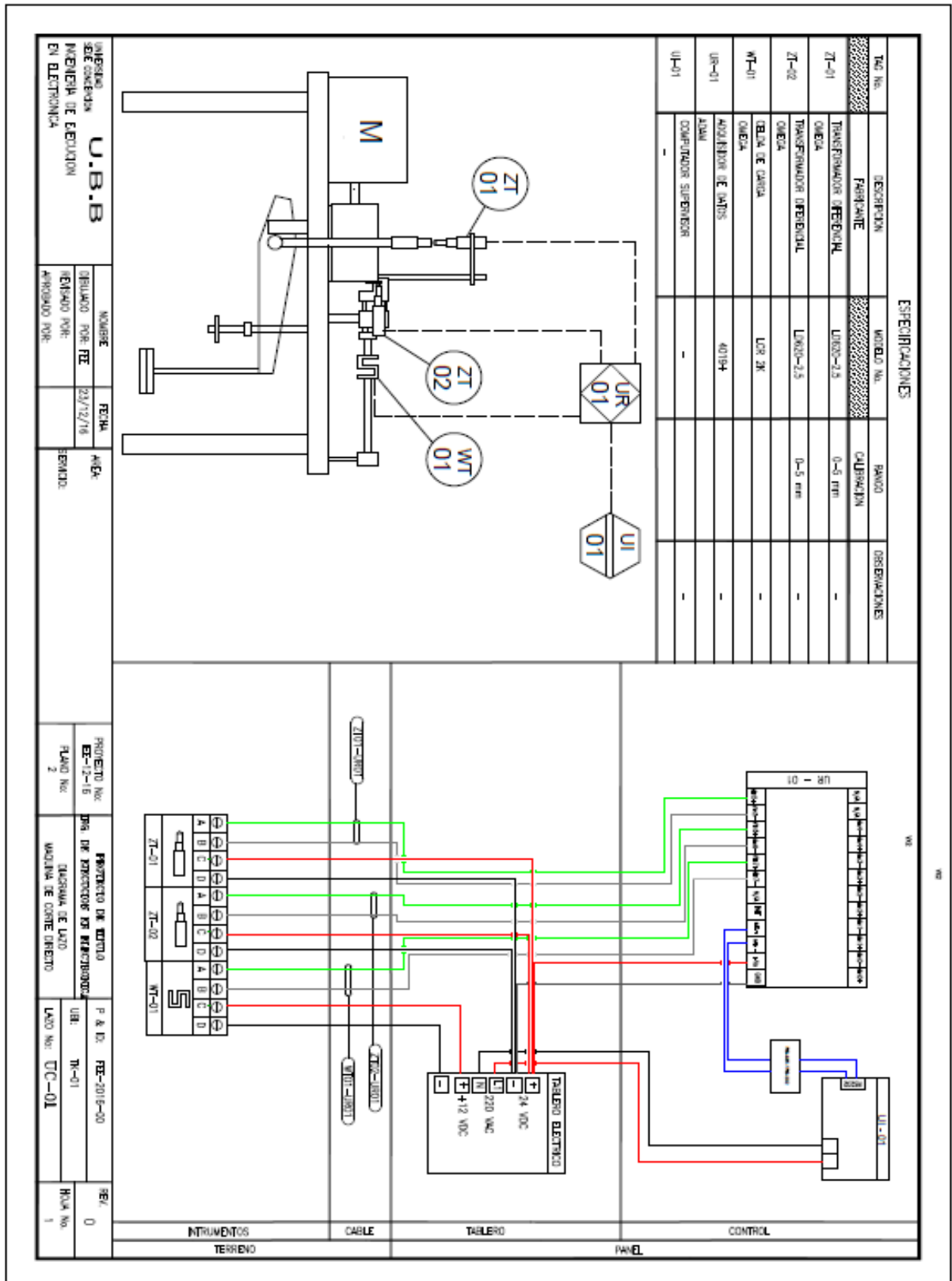
Anexo N° 2 "Diagrama eléctrico, Datalogger CR-300"



Anexo N° 3 “P&ID, Adquisidor de datos ADAM 4019+”



Anexo N° 4 "Diagrama eléctrico, ADAM 4019+"



Anexo N° 5 “Traducción de la Norma ASTM D 3080 -04: Ensayo de Corte Directo - “Método de prueba estándar para Ensayo de Corte Directo de Suelos bajo condiciones consolidadas de drenaje”

Designación: D3080 / D3080M - 11



Método de prueba estándar para Ensayo de corte directo de suelos bajo condiciones de Consolidación drenada ¹

Esta norma ha sido publicada bajo la designación D3080 / D3080M fija; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última aprobación. Una épsilon superíndice (e) indica un cambio editorial desde la última revisión o reaprobación.

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia de corte drenado consolidado de una muestra de suelo bajo condiciones límite de corte directo.

1. Alcance*

1.1 Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia al corte consolidado drenado de un espécimen de un material de suelo bajo condiciones límites de corte directo. El espécimen se deforma a una velocidad controlada en un solo plano de corte determinado por la configuración del aparato.

1.2 tensiones de corte y desplazamientos están distribuidos de manera no uniforme dentro de la muestra. Una altura adecuada no puede ser definida para el cálculo de las tensiones de corte. Por lo tanto, las relaciones de tensión-deformación o cualquier cantidad asociada con el módulo de corte, no se pueden determinar de esta prueba.

1.3 La determinación de la resistencia y el desarrollo de criterios para interpretar y evaluar resultados de las pruebas se dejan para el ingeniero u oficina evaluadora del ensayo.

1.4 Los resultados de la prueba pueden verse afectados por la presencia de partículas de suelo o roca de grano grueso, o ambos, (véase la Sección 7).

¹ Este método de ensayo está bajo la jurisdicción del Comité D18 de ASTM sobre Suelo y Roca y es responsabilidad directa del Subcomité D18.05 sobre Resistencia y Compresibilidad de Suelos.

Edición actual aprobada el 1 de noviembre de 2011. Publicado en enero de 2012. Originalmente aprobada en 1972. Última edición anterior en 2004 como D3080-04. DOI: 10,1520 / D3080_D3080M-11.

* Una sección Resumen de Cambios aparece al final de esta norma.

1.5 Condiciones de la prueba, incluyendo el estrés normal y humedad ambiente, deben ser seleccionados para representar las condiciones de campo que están siendo investigadas. La velocidad de corte deberá ser lo suficientemente lenta para asegurar condiciones de drenaje.

1.6 Generalmente, se realizan tres o más pruebas de una muestra de suelo, cada una bajo una carga normal diferente, para determinar los efectos sobre la resistencia al corte y desplazamiento. Los resultados de una serie de pruebas se combinan para determinar las propiedades de resistencia tales como las resistencias de Mohr. Interpretación de múltiples pruebas requiere un juicio de ingeniería y está más allá del alcance de este método de ensayo. Este método de ensayo se refiere a los requisitos para una sola prueba.

1.7 Puede haber casos en los que la distancia entre las mitades de caja de corte se debe aumentar para dar cabida a partículas de tamaño de arena mayor que la separación especificada. Actualmente no hay suficiente información disponible para especificar la dimensión de la abertura con la distribución del tamaño de partícula.

1.8 Unidades-Los valores indicados en unidades pulgada-libra o en unidades SI [entre paréntesis] han de ser considerados como los estándares. Los valores indicados en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes; Por lo tanto, cada sistema debe ser utilizado independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en una no conformidad con la norma.

1.8.1 Se aplica el sistema gravitacional de unidades pulgada-libra.

En este sistema, la libra (lbf) representa una unidad de fuerza (Peso), mientras que la unidad de masa es slugs, la unidad slug² no es dada, a menos que ($F = ma$) cálculos dinámicos están involucrados. Todos los valores observados y calculados se ajustarán a las directrices para dígitos significativos y el redondeo establecido en D6026 práctica.

1.9.1 El método utilizado para especificar cómo se recogen los datos, calculado, o grabado en esta norma no está directamente relacionada con la precisión con la cual los datos se pueden aplicar en el diseño u otro utiliza, o ambos. Cómo se aplica uno de los resultados obtenidos usando este estándar está más allá de su alcance.

² Slug es una unidad de masa en el sistema de unidades FPS (Foot-Pound-Second system: Sistema Pie-Libra-Segundo)

El slug se define como la masa que se desplaza a una aceleración de 1 ft/s² cuando se ejerce una fuerza de una libra sobre ella. De la ecuación $F=ma$ "despejando" $m=F/a$ tendríamos lo siguiente: 1 unidad de masa = unidad de fuerza / unidad de aceleración.

1.10 Esta norma no pretende abordar todos los problemas de seguridad pero si los asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

2. Documentos de referencia

2.1 Normas ASTM ³

D422 Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. (Método de prueba para el análisis de tamaño de partícula de Suelos)

D653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids. (Terminología de los suelos, roca, y contenido de fluidos)

D698 Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft³(600 kN-m/m³)). (Métodos de ensayo de laboratorio para las propiedades de compactación de suelo mediante Esfuerzo Estándar)

D1557 Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³(2700 kN-m/m³)). (Métodos de ensayo de laboratorio para las propiedades de compactación del suelo Usando Esfuerzo Modificado)

DI 587 Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Soils for Geotechnical Purposes. (Práctica de Pared Delgada de tubo de muestreo de suelos para fines geotécnicos)

³ Para las normas ASTM citadas, visite el sitio web de ASTM, www.astm.org, o póngase en contacto con Servicio al Cliente de ASTM en service@astm.org, Para información de volumen del libro "Annual Book of ASTM Standards", consulte la página de resumen del documento de la serie en el sitio web de ASTM

D2216 Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. (Métodos de ensayo de laboratorio para la determinación de agua (humedad) Contenido de tierra y roca por la masa)

D2435 Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading. (Métodos de ensayo para las propiedades de consolidación unidimensional de suelos usando carga incremental)

D2487 Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System. (Práctica para la Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos))

D2488 Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure). Práctica para la descripción e identificación de suelos (Procedimiento visual-manual))

D3740 Practice for Minimum Requirements for Agencies Engaged in Testing and/or Inspection of Soil and Rock as Used in Engineering Design and Construction. (Práctica para los requisitos mínimos para organismos encargados de pruebas y / o Inspección de tierra y roca que se utiliza en diseño de ingeniería y construcción)

D4220 Practices for Preserving and Transporting Soil Samples, (Prácticas para la preservación y transporte de las muestras de suelo)

D4318 Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. (Métodos de Ensayo para el límite líquido, límite plástico, y el índice de plasticidad de los suelos)

D4753 Guide for Evaluating, Selecting, and Specifying Balances and Standard Masses for Use in Soil, Rock, and Construction Materials Testing. (Guía para evaluar, seleccionar y especificar equilibrio y masas estándar de uso en suelo, roca, y r materiales de construcción de prueba)

D6026 Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data. (Práctica para el uso de dígitos significativos en los datos geotécnicos)

D6027 Practice for Calibrating Linear Displacement Transducers for Geotechnical Purposes. (Práctica para calibrar transductores de desplazamiento lineal para fines geotécnicos)

3. Terminología

3.1 Definiciones: Para las definiciones de los términos técnicos comunes utilizados en este método de ensayo, consultar la terminología D653

3.2 Descripción de términos específicos de esta norma

3.2.1 Falla: La condición de esfuerzo en la rotura de una probeta. La falla a veces se toma como el máximo esfuerzo cortante alcanzado, o la ausencia de una condición optima, el esfuerzo

cortante es un 10 por ciento del desplazamiento lateral relativo. Dependiendo del comportamiento de los suelos y de la aplicación de campo, otros criterios pueden ser definidos en la dirección de la entidad solicitante.

3.2.2 Esfuerzo Normal Nominal: En el ensayo de corte directo, la fuerza normal aplicada (vertical) se divide por el área de la caja de corte. El área de contacto de la muestra en el plano del esfuerzo impuesto en el corte disminuye, por lo tanto el verdadero esfuerzo normal es desconocido.

3.2.3 Esfuerzo de Corte Nominal: En el ensayo de corte directo, la fuerza de corte aplicada se divide por el área de la caja de corte. El área de contacto de la muestra en el plano del esfuerzo impuesto en el corte disminuye, por lo tanto el verdadero esfuerzo de corte es desconocido.

3.2.4 Porcentaje del desplazamiento lateral relativo: La razón, en porcentaje, del desplazamiento lateral con respecto al diámetro o dimensión lateral de la muestra en la dirección del corte.

3.2.5 Previo al corte: En el ensayo de fuerza, La etapa del ensayo después de que la muestra se ha estabilizado con la condición de consolidación de carga y justo antes de la etapa de corte.

3.2.6 Desplazamiento lateral relativo: El desplazamiento entre las mitades superior e inferior de la caja de corte.

4. Resumen del Método de Ensayo

4.1 Este método de ensayo consiste en colocar la muestra de ensayo en el dispositivo de corte directo, aplicando un esfuerzo normal predeterminado, se proporciona la humectación o drenaje de la muestra de ensayo, o ambos, consolidación de la muestra bajo el esfuerzo normal, se desbloquean las mitades de la caja de corte que sujetan la muestra de ensayo, y se corta la muestra mediante el desplazamiento lateral de la mitad de la caja de corte con respecto a la otra a una velocidad constante de deformación del corte mientras se mide la fuerza del corte, desplazamiento lateral relativo y desplazamiento normal (Fig. 1). La tasa de corte debe ser lo suficientemente lenta para permitir la disipación casi completa del exceso de la presión de poro.

5. Significado y Uso

5.1 El ensayo de corte directo se adapta relativamente rápido a la determinación de la resistencia de drenado consolidado porque las vías de drenaje a través de la muestra de ensayo son pequeñas, permitiendo que el exceso de poros se disipe más rápidamente que en

otra prueba de esfuerzo de drenado. El ensayo se puede hacer con cualquier tipo de suelo. Es aplicable para muestras intactas, remodeladas o reconstruidas. Sin embargo hay una limitación en el tamaño máximo de las partículas (ver 6.2)

5.2 Los resultados de las pruebas son aplicables a la evaluación de la fuerza en una situación de campo donde se ha producido la consolidación completa bajo los esfuerzos normales existentes. Se alcanza una falla lentamente en condiciones de drenado, de manera que las presiones de poro se disipan en exceso. La velocidad del corte debe cumplir los requisitos de 9.10. los resultados de varias pruebas se pueden utilizar para expresar la relación entre el esfuerzo de la consolidación y la resistencia al corte drenado.

Nota 1: El equipo especificado en este método estándar no es adecuado para la realización de la prueba al corte sin drenaje. El uso de una velocidad de desplazamiento rápida sin el debido control del volumen de la muestra resultará en mediciones de drenaje parcial incorrectas de los parámetros de corte.

5.3 Durante el ensayo de corte directo, hay una rotación de esfuerzos principales, que puede o no moldear condiciones de campo. Además, la falla no puede ocurrir en el plano más débil pero se ve obligado a producirse en o cerca de un plano que pasa por el centro de la muestra. La ubicación fija del plano en el ensayo puede ser una ventaja en la determinación de la resistencia al corte a lo largo de planos débiles reconocibles dentro del material del suelo y para el ensayo de las interfaces entre materiales diferentes.

5.4 El esfuerzo de corte y los desplazamientos están distribuidos no uniformemente dentro de la muestra, y una altura apropiada no está definida para el cálculo de las deformaciones por corte o cualquier cantidad de ingeniería asociada. La lentitud del desplazamiento proporciona para la disipación del exceso las presiones de poro, pero también permite el flujo plástico de suelos cohesivos blandos.

5.5 El número de pruebas en un nivel de esfuerzo normal de la serie, tasa de corte y condiciones generales de ensayo deben ser seleccionados para aproximarse a las condiciones específicas del suelo objeto de la investigación.

5.6 El área de la superficie de corte disminuye durante la prueba. Esta reducción de la superficie crea incertidumbre en el valor real del esfuerzo de corte y normal en el plano de corte, pero no debe afectar a la relación de estos esfuerzos.

Nota 2: A pesar de la declaración de precisión y sesgo contenida en esta norma: La precisión de este método de ensayo depende de la competencia del personal que realiza la prueba y de la idoneidad de los equipos e instalaciones utilizados. Las agencias que cumplan los criterios

6. Aparto

6.1 Dispositivo de corte: Dispositivo que sostiene la muestra de forma segura entre dos insertos porosos de tal manera que no se aplique torque a la muestra. El dispositivo de corte debe proporcionar un medio para aplicar una tensión normal a las caras de la muestra, para medir el cambio de espesor de la muestra, para permitir el drenaje de agua a través de las inserciones porosas en los límites superior e inferior de la muestra y Sumergiendo el espécimen en agua. El dispositivo deberá ser capaz de aplicar una fuerza de corte a la muestra a lo largo de una longitud predeterminada al plano de corte (corte simple) paralelo a las caras de la muestra. Los marcos que sostienen la muestra deben ser suficientemente rígidos para evitar su distorsión durante el corte. Las diferentes partes del dispositivo de corte deberán estar hechas de materiales no sometidos a la corrosión por humedad o sustancias dentro del suelo, por ejemplo, acero inoxidable, bronce o aluminio, etc., no están permitidos los metales desiguales que puedan causar acción galvánica.

6.2 Caja de corte, una caja de corte, circular o cuadrada, hecha de acero inoxidable, bronce o aluminio, con provisiones para el drenaje a través de la parte superior e inferior. La caja se divide por un plano recto en dos mitades de igual espesor que se ajustan con tornillos de alineación. La caja de corte también está provista de tornillos de separación, que crean el espacio (espacio) entre las mitades superior e inferior de la caja de corte antes del corte. Las dos mitades deben proporcionar una superficie de apoyo para la muestra a lo largo del plano de corte durante el desplazamiento lateral relativo.

6.2.1 El diámetro mínimo de la muestra para muestras circulares; O anchura para ejemplares cuadrados, será de 2,0 pulgadas [50 mm], o no menos de diez (10) veces el diámetro máximo de tamaño de partícula, lo que sea mayor.

6.2.2 El espesor inicial mínimo de la muestra será de 13 mm (0,5 pulg), pero no menor de seis (6) veces el diámetro máximo de la partícula.

6.2.3 El diámetro mínimo de la muestra al espesor o la relación anchura / espesor será de 2: 1.

NOTA 3: El revestimiento de grasa aplicado al interior de la caja de corte puede ser usado para reducir la fricción entre el espécimen y la caja de corte. También se puede usar recubrimiento de fluorocarbono TFE en estas superficies en lugar de grasa para reducir la fricción.

6.3 Insertos porosos. Los insertos porosos funcionan para permitir el drenaje de la muestra de suelo a lo largo de los límites superior e inferior. También funcionan para transferir el esfuerzo cortante desde el inserto hasta los límites superior e inferior del espécimen. Los insertos porosos deberán estar constituidos por carburo de silicio, óxido de aluminio o metal que no esté sometido a la corrosión por sustancias del suelo o humedad del suelo. El grado adecuado de inserto depende del suelo que se esté probando. La conductividad hidráulica del inserto debe ser sustancialmente mayor que la del suelo, pero debe ser texturada lo suficientemente fina para evitar una intrusión excesiva del suelo en los poros del inserto. El diámetro o anchura del inserto o placa porosa superior debe ser 0,01 A 0,02 pulgadas, (0,2 a 0,5 mm) menor que la del interior de la caja de corte. El inserto sirve para transferir el esfuerzo cortante al suelo y debe ser suficientemente grueso para desarrollar el enclavamiento. El chorro de arena o el utillaje del inserto pueden ayudar, pero la superficie del inserto no debe ser tan irregular que provoque concentraciones de estrés sustanciales en el suelo. Las inserciones porosas deben ser revisadas para ver si se obstruyen regularmente.

NOTA 4: No se ha establecido la exactitud de la textura del inserto y la conductividad hidráulica. Para pruebas de suelo normales, los insertos de grado medio con una conductividad hidráulica de aproximadamente 0,5 a 1,0 X 10³ pies / año [5,0 x 10⁻⁴ a 1,0 x 10⁻³ cm / s] son apropiados para ensayar limos y arcillas y insertos de grueso grado con Una conductividad hidráulica de aproximadamente 0,5 a 1,0 X 10⁵ ft / año [0,05 a 0,10 cm / s] es apropiada para arenas. Es importante que la conductividad hidráulica del inserto poroso no se reduzca por la acumulación de partículas de suelo en los poros del inserto. Almacenamiento de los insertos porosos en un recipiente lleno de agua entre los usos Se ralentiza la obstrucción. Los insertos pueden ser limpiados por lavado, ebullición o agitación ultrasónica.

6.4 Carga de dispositivos.

6.4.1 Dispositivo para Aplicar la Fuerza Normal: La fuerza normal se aplica típicamente por pesos muertos, un yugo de carga de palanca activado por pesos muertos (masas), un cilindro de fuerza neumática o un actuador accionado por tornillo. El dispositivo deberá ser capaz de mantener la fuerza normal dentro de ± 1 por ciento de la fuerza especificada, debe aplicar la carga rápidamente sin exceder perceptiblemente el valor constante. Los sistemas de peso muerto deben ser controlados en un horario regular. Todos los sistemas con aplicación de

fuerza ajustable (por ejemplo, un regulador neumático o un tornillo accionado por motor) requieren un dispositivo indicador de fuerza tal como un anillo de prueba, célula de carga o sensor de presión.

6.4.2 Dispositivo para cortar la muestra. El dispositivo debe ser capaz de cortar la muestra a una velocidad uniforme de desplazamiento, con menos de un porcentaje de desviación. La velocidad a aplicar depende de las características de consolidación del material de ensayo como se especifica en 9.10. La velocidad se mantiene usualmente con un motor eléctrico y una disposición de caja de engranajes y la fuerza de corte se determina mediante un dispositivo indicador de fuerza tal como un anillo de prueba o celda de carga.

NOTA 5: Para probar una amplia gama de suelos, el aparato debe permitir el ajuste de la velocidad de desplazamiento de 0,0001 a 0,04 pulgadas / min [0,0025 a 1,0 mm / min].

NOTA 6: Cortar la muestra de ensayo a una velocidad mayor que la especificada puede producir resultados de corte parcialmente drenados que difieran de la resistencia drenada del material. El espécimen debe cortarse lo suficientemente lentamente para permitir que las presiones de los poros se disipen.

6.4.3 Caja de corte Halfof superior: El peso de la mitad superior de la corte soportada por la muestra deberá ser inferior al 1 por ciento de la fuerza normal aplicada durante el corte: lo más probable es que requiera que la caja de corte superior esté soportada por un contrapeso, el equipo modificado o el espécimen cortado bajo una fuerza normal aplicada mayor.

6.5 Dispositivo de Medición de Fuerza Normal: Se requiere un anillo de prueba o una celda de carga (o un sensor de presión calibrado cuando se usa un sistema de carga neumático) con precisión de 0.5 lbf [2.5 N], o 1 por ciento de la fuerza normal durante el corte. Cuando se usa cualquier cosa menos pesos muertos para aplicar la fuerza normal.

6.6 Dispositivo de medición de la fuerza de corte: Anillo de prueba o celda de carga con una precisión de 0,5 lbf (2,5 ND, o 1 por ciento de la fuerza de corte en caso de fallo, lo que sea mayor).

6.7 Indicadores de Deformación: Los sensores o los transductores de desplazamiento capaces de medir el cambio de espesor (Desplazamiento normal) de la muestra, con una legibilidad de al menos 0.0001 pulgadas [0,002] mm y para medir el desplazamiento lateral relativo con una legibilidad de al menos 0,01 mm (0,01 mm). D6027 proporciona detalles sobre la evaluación de los transductores de desplazamiento.

6.8 Recipiente de la Caja de Corte: Una caja metálica que soporta la caja de corte y proporciona una reacción contra la que se retiene una mitad de la caja del ensayo de corte, o una base sólida con disposiciones para alinear la mitad de la caja de corte, la cual es libre de moverse coincidente con la fuerza de corte aplicada a lo largo de un plano. El recipiente también sirve como recipiente para el agua de prueba utilizada para sumergir la muestra.

6.9 Entorno controlado de alta humedad: Si es necesario, para preparar muestras, de forma que se minimice la ganancia o pérdida de contenido de agua durante la preparación de la muestra.

6.10 Ensayo Agua: El agua es necesario para saturar las piedras porosas y llenar el depósito de sumersión. Idealmente, esta agua sería similar en composición al líquido de poro de la muestra. Las opciones incluyen agua de poro extraída del campo, agua potable del grifo, agua desmineralizada o agua salina. La agencia solicitante debe especificar la opción de agua. En ausencia de una especificación, la prueba se debe realizar con agua del grifo potable.

6.11 Trimmer o Anillo de corte, para recortar muestras de gran tamaño a las dimensiones internas de la caja de corte con un mínimo de perturbación. Puede ser necesaria una plantilla exterior para mantener la alineación de la caja de corte.

6.12 Balances: un balance o una balanza que cumpla con los requisitos de la Especificación D4753 legible (sin estimación) a 0,1% o mejor.

6.13 Aparato para Determinar el Contenido de Agua-como se especifica en el Método de Ensayo D2216.

6.14 Equipo para compactar especímenes-si corresponde, como se especifica en los métodos de prueba D698 o D1557.

6.15 Equipo diverso - incluido equipo de temporización con agua de segunda mano, agua destilada o desmineralizada, espátulas, cuchillos, listones, sierras de alambre, etc., utilizados en la preparación de la muestra.

7. Preparación del espécimen de prueba

7.1 Muestras intactas - Prepare muestras intactas de muestras intactas grandes o de muestras aseguradas de acuerdo con la Práctica I1587 u otros procedimientos de muestreo de tubo intacto. Las muestras intactas se conservarán y transportarán como se indica para las muestras del Grupo C o D en la Práctica D4220. Manipule las muestras con cuidado para minimizar la alteración, los cambios en la sección transversal o la pérdida de contenido de agua. Si la

compresión o cualquier tipo de perturbación perceptible fuera causada por el dispositivo de extrusión, divida el tubo de muestra longitudinalmente o corte una pequeña sección para facilitar la extracción de la muestra con un mínimo de perturbación. Prepare las muestras recortadas, siempre que sea posible, en un ambiente que minimice la ganancia o pérdida de humedad de la muestra.

7.1.1 La muestra seleccionada para el ensayo deberá ser lo suficientemente grande para que pueda prepararse un mínimo de tres ejemplares a partir de material similar. Aunque este método de ensayo estándar se aplica a las mediciones de una muestra, la agencia solicitante especificará típicamente una serie de pruebas que cubren una gama de niveles de estrés. La serie debe realizarse sobre un material similar.

7.1.2 Se deberá tener mucho cuidado en la preparación de especímenes intactos de suelos sensibles para evitar la alteración de la estructura natural del suelo.

7.1.3 Montar las mitades de la caja de corte y determinar la masa de la caja vacía. Recortar las dimensiones laterales de la muestra para encajar cómodamente en la caja de corte usando un zapato de corte de forma o una caja de inglete. Con el espécimen en la caja de corte, recorte la superficie y la superficie inferior de la muestra para que sean planos y paralelos.

7.1.4 Determinar y registrar la masa inicial de la caja más el espécimen y la altura de la muestra húmeda para su uso en el cálculo del contenido inicial de agua y la densidad de masa total del material.

Nota 7: Si se encuentran partículas grandes en el suelo después de la prueba, se debe realizar un análisis de tamaño de partícula de acuerdo con el Método D422 para confirmar las observaciones visuales y el resultado debe proporcionarse con el informe de la prueba,

Nota 8: Una caja controlada de alta humedad o caja de guantes de laboratorio proporciona una atmósfera apropiada para recortar la muestra.

7.2 Especímenes fabricados en laboratorio: Los especímenes de ensayo pueden fabricarse mediante reconstitución (7.3) o compactación (7.4). Adquirir suficiente material para realizar la serie de pruebas requerida. Mezclar el material para producir un lote uniforme y si es necesario dividir en cantidades apropiadas para cada contenido de agua requerido. Mezclar el suelo con suficiente agua para producir el contenido de agua deseado. Deje que el material húmedo se pare antes de la preparación de la muestra de acuerdo con la siguiente guía:

Clasificación USGS (02487)	Tiempo Mínimo de Permanencia, h
SW, SP	Ningún requisito
SW.SM, SP_SM, SM (> 5% finos)	3
SC, ML, CL, SP • SC	18
NH, CH	35

7.3 Muestras reconstituidas: Los especímenes se prepararán utilizando el método de compactación, el contenido de agua y la densidad de masa prescritos por el individuo que asigna el ensayo. Los especímenes se pueden moldear amasando o apisonando cada capa hasta que la masa acumulada del suelo colocada en la caja de corte se compacta/ reconstruye a un volumen conocido, o ajustando el número de capas, el número de tamps por capa y la fuerza por tamp. La parte superior de cada capa debe ser escarificada antes de la adición de material para la siguiente capa. Las fronteras de la capa compactada se colocarán de manera que no coincidan con el plano de corte definido por la caja de corte, a menos que sea el propósito declarado para una prueba particular. El tamper utilizado para compactar el material deberá tener un área en contacto con la superficie igual o inferior a Que $\frac{1}{2}$ el área de la caja de corte.

7.3.1 Asegure las mitades de la caja de corte y ensamble en el recipiente. Coloque un inserto poroso húmedo en el fondo de la caja de corte, Determine la masa de suelo húmedo requerido para una sola capa y colóquelo en la caja de corte. Distribuir el material uniformemente y compactar el suelo para lograr la condición deseada. Continúe colocando y compactando el suelo en otros rodillos hasta que toda la muestra sea reconstituida.

Nota 9: El espesor requerido de la elevación compactada puede determinarse midiendo directamente el espesor de la elevación, o formando las marcas en la barra de apisonamiento que corresponden al espesor de la elevación que se esta colocando.

7.3.2 Determinar y registrar la altura y masa inicial de la probeta.

7.3.3 Coloque el inserto poroso húmedo superior sobre la muestra.

7.4 Especímenes compactados Los especímenes de ensayo también pueden prepararse compactando el suelo utilizando los procedimientos y el equipo utilizado para determinar las relaciones de densidad de humedad de los suelos (Métodos de ensayo D698 o D1557) y luego recortar el espécimen de prueba de corte directo de la muestra de compactación más grande

como si fuera una muestra intacta. El plano de corte del tipo de corte directo no debe alinearse con ninguna de las interfaces de elevación de compactación.

8. Calibración

8.1 La calibración es necesaria para determinar la deformación del aparato cuando se somete a la carga de consolidación, de manera que para cada carga de consolidación normal la deflexión del aparato se pueda sustraer de las deformaciones observadas. Por lo tanto,

Sólo deformación debido a la consolidación del espécimen Se informará de las pruebas completadas. La calibración de las características de deformación de carga del equipo debe realizarse en el aparato cuando se pone en servicio, o cuando se cambian las partes del aparato. La siguiente serie de pasos proporciona un método de calibrar el aparato. Otros métodos de precisión probada para calibrar el aparato son aceptables.

8.2 Ensamble el dispositivo de corte directo con un disco o placa de calibración de metal de un espesor aproximadamente igual a la muestra de prueba típica y un diámetro o ancho que sea ligeramente menor que el de corte directo.

8.3 Ensamble el yugo de carga de fuerza normal y aplique una pequeña carga normal equivalente a aproximadamente 1 lbf / in² (5 kPal).

8.4 Coloque el indicador de desplazamiento normal. Ajustar este indicador para que pueda usarse para medir consolidación o hinchazón desde el disco de calibración o la lectura de la placa, Grabar la lectura cero o "sin carga"

8,5 Aplique incrementos de fuerza normal hasta las limitaciones del equipo y registre la lectura del indicador de desplazamiento normal y la fuerza normal. Retire la fuerza normal aplicada en secuencia inversa de la fuerza aplicada y registre las lecturas normales del indicador de desplazamiento y la fuerza normal. Promediar los valores y trazar la deformación de carga del aparato en función de la carga normal. Conservar los resultados para referencia futura en la determinación del espesor de la muestra de ensayo y la compresión dentro del propio aparato de prueba.

8.6 Si la corrección de la deformación del aparato excede el 0,1% del espesor inicial de la muestra a cualquier nivel de carga durante una prueba, la corrección debe aplicarse a cada medida del ensayo.

9. Procedimiento

9.1 Montar la caja de corte y el recipiente de corte en el bastidor de carga.

9.1.1 Insertos intactos de material poroso intacto sobre las superficies expuestas de la muestra en la caja de corte, colocar la caja de corte con la muestra intacta y las inserciones porosas en el recipiente de la caja de corte y alinear la taza en el marco de carga.

NOTA 10-La decisión de amortiguar las inserciones porosas o de utilizar hilos secos depende del problema que se esté estudiando. Para las muestras intactas obtenidas debajo de la capa freática, los insertos porosos se humedecen habitualmente. Para los suelos hinchados, la secuencia de consolidación. Humectación y corte deben prevenir la hinchazón hasta que la muestra se equilibra bajo el estrés normal final.

9.1 Reconstituir el espécimen-Colocar y alinear la caja de corte ensamblada, el espécimen, los insertos porosos y el tazón de fuente en el marco de carga.

No. 11 - Para algunos aparatos, la mitad superior de la caja de corte se mantiene en su lugar mediante una varilla dentada que encaja en un receptáculo en la mitad superior de la caja de corte. La mitad inferior de la caja de corte se mantiene en su lugar en los pernos de retención del recipiente de la caja de corte. Para algunos aparatos, la mitad superior de la caja de corte se mantiene en una placa de anclaje.

9.2 Conectar y ajustar la posición del sistema de carga de esfuerzo cortante de modo que no se imponga fuerza al dispositivo de medición de la carga de corte. Registre el valor cero del dispositivo de medición de la carga de corte.

9.3 Posicionar y ajustar el dispositivo de medición del desplazamiento por corte. Obtener una lectura inicial o ajustar el dispositivo de medición para indicar desplazamiento cero.

9.4 Coloque la placa de transferencia de carga y la rotura de momento en la parte superior del inserto poroso.

9.5 Coloque el yugo de carga de fuerza normal en su posición y ajústelo para que la barra de carga esté alineada. Para los sistemas de carga de palanca de peso muerto, nivele la palanca. Para sistemas de carga neumática o motriz, ajuste el yugo hasta que quede ajustado contra el hueco de la placa de transferencia de carga o coloque un rodamiento de bolas sobre la placa de transferencia de carga y ajuste el yugo hasta que el contacto quede ajustado.

9.6 Aplique una pequeña carga normal de asiento a la muestra. Verifique que los componentes del sistema de carga normal estén sentados y alineados. El inserto poroso superior y la placa de transferencia de carga deben estar alineados de manera que el movimiento de la placa de transferencia de carga en la caja de corte no esté inhibido. El espécimen no debe sufrir compresión significativa bajo esta carga de asientos.

NOTA 12 - La carga normal de asiento aplicada a la muestra debe ser suficiente para asegurar que todos los componentes estén en contacto y alineación pero no tan grandes como para causar la compresión de la muestra. Para la mayoría de las aplicaciones, una carga que resulte en aproximadamente 1 lbf / in.² (5 kPa) será adecuada, pero otros valores que cumplan el objetivo son aceptables.

9.7 Acople y ajuste el dispositivo de medición de desplazamiento normal. Obtener una lectura inicial para el dispositivo de medición de desplazamiento normal junto con una lectura de la carga normal (pesos o dispositivo de medición).

9.8 Consolidación-La carga normal de consolidación final puede aplicarse en un incremento o en varios incrementos intermedios dependiendo del tipo de material, la rigidez del espécimen y la magnitud del esfuerzo final. Los incrementos de carga deben ser lo suficientemente pequeños para evitar la extrusión del material alrededor de los insertos porosos. Para un material de grano rígido cohesivo o grueso, un solo incremento es normalmente aceptable. Para materiales blandos, puede ser necesario limitar la relación de incremento de carga a la unidad como se describe en el Método de Ensayo D2435 (11.4) y aplicar un número de incrementos de carga intermedios. Sobre la base de las consideraciones e instrucciones anteriores de la agencia solicitante, calcule y registre la fuerza normal requerida para alcanzar cada nivel de tensión normal intermedio que avance la muestra desde la carga de asiento hasta la tensión normal de consolidación final.

9.8.1 Aplique el primer incremento de carga y, si es necesario, llene el recipiente de corte con agua de ensayo y manténgalo lleno durante toda la prueba. En ausencia de especificación, el recipiente debe ser llenado con agua potable.

NOTA 13 - Inundar la muestra con agua elimina la presión negativa de los poros debido a la tensión superficial y también evita el secado evaporativo durante la prueba. Si y cuando inundar la muestra así como la química del agua es parte de la especificación de la prueba que debe ser proporcionada por la agencia solicitante,

9.8.2 Para. Cada nivel de tensión intermedio, aplique la carga lo más rápidamente posible. Mantener cada nivel de carga hasta que la consolidación primaria esté esencialmente completa basada en a) la interpretación del tiempo frente a la deformación normal, b) la experiencia

Con el material o c) un valor por defecto de 24 h. Anote la deformación normal al final de cada incremento y la duración del incremento.

9.8.3 Para el nivel de esfuerzo normal máximo y para el nivel de esfuerzo normal final, aplique la carga normal a la muestra lo más rápido posible e inicie inmediatamente la grabación de las lecturas normales de deformación con respecto al tiempo transcurrido. El Método de Prueba D2435 proporciona detalles del procedimiento de carga y sugerencias para horarios apropiados de registro de tiempo. Para estos incrementos de carga, verifique la finalización de la consolidación primaria antes de pasar a la siguiente etapa de la prueba interpretando el gráfico del desplazamiento normal versus el registro del tiempo o la raíz cuadrada del tiempo (en min). El método de prueba D2435 proporciona detalles de interpretación de ambos métodos.

9.8.4 Si la especificación de prueba requiere consolidación a una tensión específica y luego rebote a una tensión menor antes de cortar, entonces la tensión máxima debe mantenerse durante al menos un ciclo de compresión secundaria.

9.8.5 Si el material exhibe una tendencia a hincharse bajo la tensión normal máxima, el suelo debe ser inundado con agua y debe permitirse alcanzar el equilibrio (esencialmente dejar de hincharse) bajo esta tensión normal antes de continuar con la siguiente etapa de la prueba .

9.9 Antes de cortar y después de consolidar el incremento final, registre el desplazamiento normal antes del corte y luego retire los tornillos o pasadores de alineación de la caja de corte. Utilice los tornillos de separación para separar las mitades de la caja de corte a aproximadamente el diámetro de la partícula de tamaño máximo en la muestra de ensayo o 0,025 pulgadas 10,64 mm como valor mínimo predeterminado para materiales de grano fino. Retire los tornillos de separación después de crear la separación.

NOTA .14-Los tornillos de separación en la mayoría de los equipos elevan la mitad de la caja superior en relación con la mitad de la caja inferior, separando las mitades. La creación de la brecha de esta manera aplicará un incremento de tensión a lo largo de la superficie de falla potencial. Puede enfriar involuntariamente el material. La tapa superior no debe moverse hacia arriba mientras crea la separación.

Determinación de la velocidad apropiada de desplazamiento requiere una estimación del tiempo requerido para la disipación de la presión porosa y la cantidad de deformación requerida para alcanzar fracaso. Estos dos factores dependen del tipo de material y de la historia del estrés. Se deben usar los siguientes procedimientos para calcular la tasa de corte requerida. 9.10.1 y 9.10.2 se puede utilizar para calcular los tiempos hasta el fallo cuando el incremento máximo de consolidación produce una normalidad bien definida de deformación frente a curvas de tiempo y el material tiene una relación de sobreconsolidación. 9.10.3 proporciona valores por defecto que se utilizarán en todas las demás situaciones.

9.10.1 Cuando los datos para el incremento de consolidación máximo producen una curva de deformación normal bien definida respecto a la curva de tiempo de registro que se extiende hasta una compresión secundaria, la curva debe interpretarse como en el Método de Ensayo D2435 y calcular el tiempo de fallo usando la siguiente ecuación:

$$t_f = 50t_{50} \quad (1)$$

dónde:

t_f =Tiempo total estimado transcurrido hasta el fallo, min,

t_{50} =Tiempo requerido para que la muestra consiga una consolidación del 50% bajo el incremento de esfuerzo normal máximo, min.

9.10.2 Cuando los datos para el incremento máximo de consolidación no cumplan los requisitos del párrafo 9.10.1 pero produzcan una curva de deformación normal bien definida con respecto al tiempo raíz, la curva debe interpretarse como en el Método de Ensayo D2435 y el tiempo de fallo debe ser Calculado usando la siguiente ecuación:

$$t_f = 11.6t_{90} \quad (2)$$

dónde:

t_{90} =Tiempo requerido para que la muestra alcance el 90% de consolidación t_{90} bajo el esfuerzo normal máximo (incremento), min.

9.10.3 Cuando los datos para el incremento máximo de consolidación no cumplan los requisitos de 9.10.1 o 9, 10.2 o cuando la muestra está significativamente sobreconsolidada (OCR mayor de aproximadamente 2) bajo la tensión de consolidación máxima, los valores por defecto para el tiempo hasta el fallo Debe calcularse sobre la base de un coeficiente normalmente consolidado

de consolidación para el suelo. En ausencia de datos de consolidación específicos del suelo, el tiempo debe basarse en el tipo de suelo. La tabla siguiente proporciona estos valores predeterminados.

Clasificación USCS (D2487)	Tiempo mínimo de Falla, t_f
SW, SP (<5% finos)	10 min
SW-SM, SP_SM, SM (>5% finos)	60 min
SC, ML, CL, SP-SC	200 min
MH, CH	24 h

NOTA 15-Los tiempos tabulados se basan en estimaciones del coeficiente típico de consolidación de los valores de consolidación para cada tipo de suelo y una trayectoria de drenaje de 1 cm. Un suelo particular puede variar considerablemente de estos valores típicos. La raíz cuadrada de las interpretaciones del tiempo puede producir tasas de consolidación erróneamente rápidas para los materiales parcialmente saturados o muy rígidos. Corte de muestras superconsolidadas Ablandará el material en la zona de corte provocando una reducción en el coeficiente de consolidación. En consecuencia, el cálculo de t basado en la deformación frente a las curvas de tiempo puede producir una estimación inadecuada del tiempo requerido para fallar la muestra bajo condiciones drenadas. Para las arcillas sobreconsolidadas que se someten a ensayos bajo tensiones normales inferiores a la presión de preconsolidación del suelo, se sugiere calcular un tiempo hasta el fallo utilizando un valor de t_{50} basado en el coeficiente de consolidación en el intervalo normalmente consolidado para el suelo. Se debe tener cuidado si la interpretación de la curva de tiempo produce tiempos considerablemente más cortos que los valores tabulados.

9.10.4 Estimar el desplazamiento lateral relativo necesario para fallar la muestra. Este desplazamiento dependerá de muchos factores, incluyendo el tipo de material y el historial de tensiones. En la ausencia de experiencia específica relativa a las condiciones de ensayo, como guía, utilice $df = 0,5$ pulg. [10 mm] si el material es normalmente o ligeramente sobre suelos de grano fino consolidado, de otro modo use $df 0,2$ pulg [5 mm].

9.10.5 Determinar la tasa de desplazamiento máximo apropiada a partir de la siguiente ecuación:

$$R_d = \frac{d_f}{t_f} \quad (3)$$

dónde:

R_d = tasa de desplazamiento, en / mm [mm/min], y

D_f = desplazamiento lateral relativo estimado al fallo, en [mm].

9.11 Cortado drenado-Para algunos tipos de aparatos, la velocidad de desplazamiento se logra utilizando combinaciones de ruedas dentadas y posiciones de palanca de cambios. Para otros tipos de equipo, la velocidad de desplazamiento se alcanza ajustando la velocidad del motor. Seleccione y registre una tasa de desplazamiento que sea igual o menor que el valor calculado en 9.10.5.

9.11.1 Registrar el tiempo inicial, los desplazamientos laterales normales y relativos, y las fuerzas normales y de corte.

9.11.2 Arrancar el aparato e iniciar el corte.

9.11.3 Obtener lecturas de datos de tiempo, desplazamiento lateral normal y relativo y fuerza de corte en el intervalo deseado de desplazamiento o tiempo. Las lecturas de datos deben tomarse con la suficiente frecuencia para definir con precisión una curva de esfuerzo de corte-desplazamiento. Como mínimo, los datos deben registrarse en desplazamientos laterales relativos de alrededor de 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3 y luego cada 2 por ciento de desplazamiento lateral relativo hasta la terminación de la prueba.

Nota 16-Las lecturas adicionales pueden ser útiles especialmente al comienzo de la prueba en la identificación de las tendencias en el comportamiento y el valor de la tensión de corte de la sobre el material consolidado o quebradizo.

9,11.4 Puede ser necesario detener el ensayo y volver a separar las mitades de la caja de corte para mantener la separación entre las mitades de la caja de corte. La prueba debe ser revisada periódicamente para confirmar que persiste una brecha a lo largo de la fase de corte de la prueba.

9.11.5 El espécimen debe ser cortado a por lo menos 10 por ciento de desplazamiento lateral relativo, a menos que el organismo especificador provea criterios de terminación específicos. Detenga el accionamiento del motor para terminar el corte.

Nota 17-La forma de la fuerza de corte en función de la curva de desplazamiento dependerá del tipo de suelo y del historial de estrés. La curva puede tener un pico bien definido o puede aumentar de forma monótona a lo largo de la prueba. En general, es mejor continuar el ensayo a una deformación grande en lugar de terminar basándose en la variación de la fuerza de corte.

9.11.6 Retire la fuerza normal de la muestra y desmonte el aparato de carga.

9.12 Para muestras de ensayo cohesivas. Separar las mitades de la caja de corte con un movimiento de deslizamiento a lo largo del plano de falla y en la dirección de corte, No tire de las mitades de la caja de corte separadamente perpendicularmente a la superficie de fallo, ya que este movimiento podría dañar la muestra. Fotografíe, dibuje o describa por escrito la superficie del fallo. Este paso en el procedimiento no es aplicable a especímenes sin cohesión.

9.13 Retire el espécimen de la caja de corte y determine el contenido de agua y la masa seca de acuerdo con el Método de Ensayo D2216. Si procede, recoger el material extruido en un recipiente separado y determinar la masa seca.

10. Cálculo

10.1 Generalidades Las unidades típicas se muestran para los sistemas IP y SI bñth y SD representa dígitos significativos. Además, el prefijo utilizado para cada variable se ha elegido sobre la base de la práctica actual. Otros prefijos son permitidos y requerirán valores numéricos diferentes para los Factores de Conversión de Unidad. Otras unidades son permitidas, siempre que la consistencia de las unidades se mantenga durante los cálculos. Véase 1.8 para comentarios adicionales sobre el uso de unidades pulgadas-libra.

10.2 Calcule lo siguiente para cada lectura durante el corte:

10.2.1 El esfuerzo de corte nominal, que actúa sobre la muestra es:

$$\tau = \frac{F_s}{A} \quad (4)$$

Dónde:

τ = esfuerzo nominal de corte, lbf / in.2 [kPaJ (3 SD),

F_s = Fuerza de corte, lbf [kNj (3 SD), y

A = área de la caja de corte, in.2 [m21 (3 SD).

10.2.2 El esfuerzo normal nominal que actúa sobre la muestra es,

$$\sigma_n = \frac{F_n}{A} \quad (5)$$

dónde:

σ_n = Esfuerzo normal nominal, lbf / in.2 [kPa] (3 SD), y

F_n = fuerza normal que actúa sobre la muestra, lbf [kN] (3 SD).

Nota 18-Los factores que incorporan suposiciones con respecto a la superficie real del espécimen sobre la cual se miden las fuerzas de corte y normales se pueden aplicar a los valores calculados de esfuerzo cortante o normal, o ambos. Si se realiza una corrección, el factor y la justificación para utilizar la corrección se deben explicar con los resultados de la prueba.

10.2.3 Velocidad de desplazamiento: La velocidad de desplazamiento promedio a lo largo de la superficie de corte es:

$$R_d = \frac{d_h}{t_e} \quad (6)$$

Dónde:

R_d = velocidad de desplazamiento, en./min [mm / mm] (3 SD),

d_h = desplazamiento lateral relativo, en [mm] (3 SD),

t_e = tiempo transcurrido de la prueba, min (3 SD).

10.2.4 Porcentaje de desplazamiento lateral relativo: el porcentaje de desplazamiento lateral relativo a lo largo de la superficie de corte es:

$$P_d = 100 \frac{d_h}{D} \quad (7)$$

Dónde:

P_d = porcentaje de desplazamiento lateral relativo, % (3 SD), y

D = diámetro del espécimen o dimensión lateral en la dirección de corte, en mm [3].

10.3 Calcular la relación de vacío inicial, la densidad seca inicial, el contenido inicial de agua y el grado inicial de saturación, la masa húmeda inicial, la masa seca final y el volumen inicial del

espécimen total. El volumen del espécimen se determina mediante mediciones de las longitudes o diámetro de la caja de corte y del grosor medido de la muestra.

10.4 Calcular la relación de huecos antes del secado, densidad seca y contenido de agua sobre la base de los valores usados en 10.3 más la deformación normal medida

11. Informe: Hoja (s) de datos de prueba / formulario (s)

11.1 La metodología utilizada para especificar cómo se registran los datos en la (s) hoja (s) de datos / forma (s), tal como se indica a continuación, se describe en 1.9 y en la Guía D6026.

11.2 Registrar como mínimo la siguiente información general (datos):

11.2.1 Identificación de la muestra, proyecto y ubicación.

11.2.2 Número de prueba, fecha, identificación del aparato y técnico.

11.2.3 Descripción del tipo de dispositivo cortante utilizado en la prueba.

11.2.4 Descripción de la apariencia de la muestra, basada en la práctica D2488 (se puede utilizar el método de ensayo D2487 como alternativa), límites de Atterberg (método de ensayo D43 18) y datos de tamaño de grano (método D422), si se obtienen (véase 7.2) .

11.2.5 Descripción de la estructura del suelo, es decir, si la muestra está intacta, remoldada, reconstituida o preparada de otro modo.

11.2.6 Grosor inicial y diámetro (ancho de las cajas de corte cuadrada).

11.2.7 Masa seca de la muestra de ensayo.

11.2.8 Contenido de agua inicial y pre-corte.

11.2.9 Iniciación y densidad húmeda pre-corte, ver Nota 19.

11.2.10 Relación de densidad seca y vacío inicial y pre-corte, ver Nota 19.

11.2.11 Grado de saturación inicial y pre-corte, ver Nota 19.

11.2.12 Tabla de estrés normal, desplazamiento normal final. Y la duración del incremento de carga durante la consolidación.

11.2.13 Tabla de esfuerzo nominal nominal, esfuerzo de corte nominal, desplazamiento lateral relativo o porcentaje de desplazamiento lateral relativo, desplazamiento normal y velocidad de deformación durante el corte.

11.2.14 Parcela de deformación versus registro de tiempo o raíz cuadrada de tiempo para aquellos incrementos de carga usados para determinar la velocidad de corte.

11.2.15 Representación gráfica del esfuerzo de corte nominal en función del desplazamiento lateral o del desplazamiento lateral relativo porcentual.

11.2.16 Parcela de desplazamiento normal versus desplazamiento lateral o porcentaje de desplazamiento lateral relativo.

11.2.17 Para el material cohesivo, las observaciones realizadas con respecto a la superficie de corte.

11.2.18 Salida de los esquemas del procedimiento, tales como secuencias especiales de carga o requisitos especiales de humectación.

Nota 19-En la mayoría de los casos, hay una pérdida significativa de suelo durante el corte y la forma de la muestra es tal que las relaciones de fase final (densidad, contenido de agua y saturación) no pueden determinarse con ningún grado de fiabilidad. Por lo tanto, estos valores no son necesarios, pero pueden incluirse en el informe de la prueba.

12. Precisión y sesgo

12.1 Los datos de Precisión-Ensayo sobre la precisión no se presentan debido a la naturaleza del suelo o la roca, o ambos materiales probados por esta norma. En este momento no es factible o demasiado costoso tener diez o más laboratorios que participen en un programa de pruebas en ronda. Además, tampoco es factible o demasiado costoso producir múltiples especímenes que tengan propiedades físicas uniformes. Cualquier variación observada en los datos es tan probable que se deba a la variación del espécimen como operador Lo o variación de las pruebas de laboratorio.

12.2 El Subcomité D18.05 está buscando cualquier información pertinente de los usuarios de estos métodos de prueba que puedan ser utilizados para hacer una declaración limitada sobre la precisión.

12.3 Bias-No hay un valor de referencia aceptado para este método de prueba, por lo tanto, el sesgo no se puede determinar.

13. Palabras clave

13.1 especímenes compactados; consolidado; Ensayo de corte directo; Condiciones de ensayo drenadas; intacto; Sobre de fuerza de Mohr; Especímenes reconstituidos; resistencia a la corte

RESUMEN DE CAMBIOS

El Comité D 18 ha identificado la ubicación de los cambios seleccionados en este método de prueba desde el último número, D3080-04, que puede afectar el uso de este método de prueba. (Aprobado el 1 de noviembre de 2011)

(1) Amplios cambios editoriales para aclarar el texto y reenumerar secciones para acomodar cambios más sustanciales. Los siguientes elementos son sólo los cambios sustanciales. Los números de sección y nota se hacen referencia a esta revisión. El resumen de los cambios no indica las reubicaciones específicas de material de sección o notas.

(2) Cambió el número estándar y las modificaciones para hacer unidades duales.

(3) La Sección 1.1 para aclarar el Método cubre solamente una prueba.

(4) Se agregó la sección L6 en la serie de pruebas.

(5) Añadido sección 1.8 en Unidades.

(6) Añada referencia en la Sección 2.

(7) Añadidas las definiciones 3.2.2, 3.2.4, 3.2.5 y 3.2.6.

(8) Sección 4.1 modificada relativa a la velocidad de deformación.

(9) Sección 5.2 declaración adicional sobre la velocidad de corte.

(10) Nota adicional relativa a las pruebas rápidas.

(11) La sección 5.5 agregó el requisito.

(12) Agregó la sección 5.6 sobre los cambios en el área de contacto.

(13) La sección 6.2 agregó el requisito a la caja de corte.

(14) Sección 6.3 nuevo requisito para el control de piedras.

- (15) La Nota 4 (ya través de) cambia la permeabilidad a la conductividad hidráulica.
- (16) La nota 4 añadió orientación sobre el cuidado de las piedras.
- (17) La sección 6.4.1 agregó la opción de usar un bastidor de carga accionado por tornillo para una fuerza normal.
- (18) La Sección 6.4.2 desplazó el requisito de velocidad de corte a la sugerencia en la Nota 5
- (19) Añadido orientación a la Nota 6.
- (20) Sección 6.4.3 título añadido.
- (21) Se agregó la sección 6.5 especificando la medición de la fuerza normal.
- (22) La sección 6.7 cambió la resolución del SI.
- (23) Sección 6.8 función añadida.
- (24) Se agregó la sección 6.10 para la especificación del agua de ensayo.
- (25) La Sección 7 cambió el título y reorganizó algunas de las secciones.
- (26) La sección 7 se divide en secciones Intacta, Reconstituida y Compacta.
- (27) La sección 7.1 cambió sin alteraciones a intacto a lo largo de la norma.
- (28) La Sección 7.1 aclaró que la norma es para una prueba pero la muestra debe ser lo suficientemente grande para las series de prueba.
- (29) La sección 7.1 agregó el método para recortar las muestras.
- (30) La sección 7.2 agregó el método para procesar el material y los símbolos USCS modificados.
- (31) Sección 7.3 método aclarado para formar el espécimen.
- (32) La sección 7.4 agregó el requisito.
- (33) La Sección 8.1 agregó cierta flexibilidad al método que estaba previamente en nota.
- (34) La sección 8,2 modificó la especificación del disco de calibración.
- (35) Se agregó la sección 8.3 y se renumeraron las secciones posteriores.

- (36) Se agregó la sección 8.6 especificando cuándo es necesaria la corrección.
- (37) Sección 9.1 método alterado para ser consistente con la sección 7.
- (38) Se añade aclaración a la Nota lo.
- (39) Artículo 9.2 añadido requisito.
- (40) Sección 9.4.
- (41) La Sección 9.6 agregó aclaraciones a la carga de asientos.
- (42) La nota 12 añadió aclaraciones.
- (43) Artículo 9.7 añadido requisito.
- (44) En la sección 9.8 se añade aclaración y se hace referencia al documento D2435.
- (45) Artículo 9.8.1 nuevo paso procesal.
- (46) Se agregó la Nota 13 para aclaración.
- (47) Añadido Sección 9.8.2 para incrementos de consolidación intermedios.
- (48) La Sección 9.8.3 agregó requisitos para datos de deformación de tiempo.
- (49) Sección 9.8.4 nuevo requisito para pruebas sobreconsolidadas
- (50) La Sección 9.8.5 movió la información de la nota anterior.
- (Si) La sección 9.9 cambió la especificación de la brecha.
- (52) Nota adicional 14 identificando el problema potencial.
- (53) La sección 9.10 se reorganizó por completo y añadió un poco de discusión para aclarar el método de interpretación. Añadida la numeración de las ecuaciones.
- (54) Sección 9.10.1 especificación para el método de tiempo de registro.
- (55) Sección 9.10.2 Especificación del método del tiempo raíz y de la ecuación modificada 2.
- (56) La Sección 9.10.3 agregó el tiempo por defecto basado en el tipo de material y el espécimen de OCR alto.
- (57) Se agregó la nota 15 con justificación y aclaración.

- (58) Se agregó la sección 9.10.4 que era material obligatorio en una nota.
- (59) Sección 9.10.5 nuevos términos en la misma ecuación.
- (60) Sección 9.11 reorganizada para cortar y agregar especificación de velocidad de corte.
- (61) Sección 9.11.3 aumentar la tasa de recopilación de datos.
- (62) Añada la sección 9.11.4 que era información en una nota y ahora es requerida.
- (63) Sección 9.11.5 cambiar el requisito de terminación.
- (64) Se añadió la nota 17 para aclaración.
- (65) La Sección 9.12 añade aclaraciones.
- (66) Sección 9.13 añadir requisito.
- (67) Añádase la Sección 10.1 para aclaración.
- (68) La Sección 10.2 aclara las unidades y los dígitos significativos.
- (69) Ecuación 5: símbolo de la ecuación.
- (70) La ecuación 6 cambia el símbolo de la tasa de desplazamiento.
- (71) Sección 10.2.4 cambiar la ecuación y los símbolos.
- (72) Sección 10.4 agregar requisito,
- (73) La Sección 11 cambia los requisitos de reporte en varios lugares.
- (74) La sección 12 cambia a una advertencia de precisión estándar.
- (75) Cambie el título de la Figura 1.

A5TM International no toma posición respecto a la validez de los derechos de patente que se afirmen en relación con cualquier artículo mencionado en esta norma. Los usuarios de esta norma son advertidos expresamente que la determinación o! La validez de tales derechos de patente, y el riesgo

De la violación de tales derechos, son enteramente su propia responsabilidad.

Esta norma está sujeta a revisión en cualquier momento por el comité técnico responsable y debe ser revisada cada cinco años y si no es revisada, reevaluada o retirada. Sus comentarios son invitados para la revisión de este estándar o para estándares adicionales y deben dirigirse a la sede de ASTM International. Sus comentarios serán cuidadosamente considerados en una reunión del comité técnico responsable, a la cual usted puede asistir. Si considera que sus comentarios no han recibido una audiencia justa, deberá dar a conocer sus opiniones al Comité de Normas de ASTM, en la dirección que se muestra a continuación.

Este estándar está protegido por derechos de autor por ASTM internacional. 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken. PA 19426-2959, Estados Unidos. Reimpresiones individuales (singie o copias múltiples) de esta norma pueden ser obtenidas poniéndose en contacto con ASTM en la dirección arriba mencionada o en 610-832-9565 (teléfono), 610-832-9555 (impuesto), o service@astm.org (e- correo); O a través del sitio web de ASTM (www.astm.org). Los derechos de permiso para fotocopiar la norma también pueden obtenerse del sitio web de ASTM (www.astm.org/COPYRIGHT/).