



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
*La Universidad Católica de Loja*

TITULACIÓN DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**Ampliación del sistema de adquisición y análisis de datos para ensayos del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Técnica Particular de Loja**

Trabajo de fin de titulación.

AUTOR:

Maza Herrera, Diego Fernando

DIRECCIÓN:

Calderón Córdova, Carlos Alberto, Ing.

LOJA – ECUADOR

2012

## Certificación de terminación de tesis

Loja, Octubre del 2012

**Ing. Carlos Alberto Calderón Córdova**

DOCENTE - INVESTIGADOR DE LA TITULACIÓN DE INGENIERÍA EN  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DE LA UTPL

### **C E R T I F I C A:**

Una vez que, en mi calidad de director, he procedido a coordinar y orientar la elaboración de la tesis de grado:

AMPLIACIÓN DEL SISTEMA ADQUISICIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS PARA ENSAYOS DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA; presentada por el Sr. Diego Fernando Maza Herrera, de la titulación de Electrónica y Telecomunicaciones.

El presente trabajo ha sido objeto de minuciosos análisis, revisión y corrección, cumpliendo de tal forma con los requisitos exigidos para este tipo de investigación. Por lo tanto, se autoriza su presentación, sustentación y defensa.

<p>F) .....</p> <p>Ing. Carlos Alberto Calderón Córdova</p> <p><b>DIRECTOR DE TESIS</b></p>	<p>Visto Bueno Coordinador de Titulación</p> <p>F) .....</p> <p>Ing. Jorge Luis Jaramillo</p> <p><b>COORDINADOR DE LA TITULACIÓN DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES</b> Octubre de 2012</p>
---	--

## **Certificación de conformidad de resultados**

Yo, Diego Fernando Maza Herrera; responsable del proyecto AMPLIACIÓN DEL SISTEMA ADQUISICION Y ANALISIS DE DATOS PARA ENSAYOS DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA doy por finalizado el proyecto en mención, habiendo cumplido a cabalidad los objetivos planteados en lo que se refiere a la precisión y fiabilidad del sistema implementado, después de haber realizado con éxito los ensayos incluidos en la propuesta del proyecto como son:

1. Triaxial UU
2. Triaxial CU
3. Corte directo CD
4. Consolidación

Firman conforme:

---

Diego Maza H.  
**Encargado del proyecto**

---

Ing. Carlos Calderón C.  
**Director del proyecto**

---

Ing. Ángel Tapia Ch.  
**Co - Director del proyecto**

## **Cesión de derechos**

Yo, Diego Fernando Maza Herrera; declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art.67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja, que en su parte pertinente textualmente dice: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de las investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad".

---

Maza Herrera Diego Fernando  
C.I.: 1104724651  
**Tesista**

## **Dedicatoria**

A todos los que me conocen. Un granito de arena más en la integración de sistemas de automatización y la tecnología.

## Agradecimientos

En especial a esa fuerza, que como siempre fue la que me mantuvo aunque no siempre firme; pero me permitió seguir avanzando por lo menos a paso lento, y/o que me permitió levantarme y recuperarme de cada una de las caídas. Aquella fuerza como la he denominado, es la fuerza interna, la fe, que no puede ser otra que la manifestación de un ser extraordinario y perfecto. *DIOS*.

También estaré agradecido de por vida con toda mi familia, principalmente con mis *viejos*, mis padres; que tuvieron siempre la esperanza en que toda su dedicación, esfuerzo, sacrificios y sobretodo paciencia, algún día iba a verse reflejada en un primer logro, la titulación como ingeniero. Comprendo la dicha y felicidad que les producirá saber que tienen a su hijo convertido en profesional, estarán satisfechos en parte, supongo, porque deben de esperar mucho más de mi persona, y creo que no les fallaré.

Y como no a aquellas personas que me brindaron un poco de su tiempo con paciencia, para compartir no solo su experiencia en el ámbito académico y referente al proyecto desarrollado con su ayuda, sino en especial por sus vivencias como profesional y sobretodo como amigo; específicamente me refiero a mis dos directores de tesis, al Ing. Carlos Alberto Calderón C. y al Ing. Ángel Tapia Ch.

A mis amigos, compañeros del alma; gracias por haber estado allí cuando mas requería de una mano amiga, no solo por haber compartido algunas horas en actividades académicas, sino también por el apoyo y motivación que en momentos parecía desaparecer. Por aquellos momentos irrepetibles e imborrables, siempre estarán presentes por los recuerdos.

Y, a: mis compañeros de clase, profesores y director de la titulación por sus conocimientos compartidos, experiencias y sobre todo por la paciencia que manifestaron en el transcurso de estos años. Muchas gracias de corazón.

## Índice de contenidos

Certificación de terminación de tesis .....	II
Certificación de conformidad de resultados.....	III
Cesión de derechos .....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimientos .....	VI
Índice de contenidos .....	VII
Resumen.....	X
Objetivos .....	XI
<b>1. Fundamentos.....</b>	<b>- 1 -</b>
1.1. Introducción .....	- 1 -
1.2. Calibración de los equipos de medida.....	- 2 -
1.2.1. Metrología .....	- 2 -
1.2.2. Calibración.....	- 4 -
1.2.3. Incertidumbre .....	- 6 -
1.2.4. Normas ISO 9000 .....	- 9 -
1.3. Ensayos: Metodologías y normas .....	- 9 -
1.3.1. Ensayos Triaxial U-U y C-U .....	- 10 -
1.3.2. Ensayo de corte Directo CD.....	- 13 -
1.3.3. Ensayo de Consolidación.....	- 15 -
1.4. Plataforma de adquisición .....	- 15 -
<b>2. Estado actual del sistema de Adquisición y Análisis de datos para ensayos del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Técnica Particular de Loja. ....</b>	<b>- 16 -</b>
2.1. Adquisición y Análisis de datos del ensayo Triaxial UU.....	- 17 -
2.2. Adquisición y Análisis de datos del ensayo Triaxial CU.....	- 19 -
2.3. Adquisición y Análisis de datos del ensayo de Corte Directo.....	- 22 -
2.4. Adquisición y Análisis de datos del ensayo de Consolidación .....	- 24 -

<b>3. Implementación de la propuesta</b> .....	<b>- 26 -</b>
3.1. Calibración .....	- 26 -
3.1.1. Proceso de calibración .....	- 26 -
3.1.2. Selección de constantes de corrección para los transductores .....	- 28 -
3.1.3. Implementación de constantes de calibración en la aplicación.....	- 28 -
3.2. Ensayo Triaxial UU .....	- 29 -
3.2.1. Análisis de datos .....	- 30 -
3.2.2. Emisión de reportes .....	- 34 -
3.3. Ensayo Triaxial CU .....	- 38 -
3.3.1. Análisis de datos .....	- 38 -
3.3.2. Emisión de reportes .....	- 39 -
3.4. Ensayo de corte directo CD .....	- 43 -
3.4.1. Análisis de datos .....	- 43 -
3.4.2. Emisión de reportes .....	- 45 -
3.5. Ensayo de consolidación.....	- 49 -
3.5.1. Análisis de datos .....	- 49 -
3.5.2. Emisión de reportes .....	- 49 -
<b>4. Análisis de resultados</b> .....	<b>- 52 -</b>
4.1. Calibración .....	- 52 -
4.1.1. Sensor de Carga .....	- 52 -
4.1.2. Sensor de Deformación.....	- 54 -
4.2. Resultados de ensayos: Análisis de datos .....	- 55 -
4.2.1. Ensayo Triaxial UU: Círculo de Mohr .....	- 56 -
4.2.2. Ensayo Triaxial CU: Círculo de Mohr .....	- 58 -
4.2.3. Ensayo Corte Directo CD: Diagrama de corte .....	- 60 -
4.2.4. Ensayo de Consolidación: Gráfica de consolidación .....	- 61 -
<b>Conclusiones y recomendaciones</b> .....	<b>- 63 -</b>
<b>Referencias</b> .....	<b>- 66 -</b>



<b>Anexo A.</b>	<b>Reporte del ensayo Triaxial UU.....</b>	<b>- 68 -</b>
<b>Anexo B.</b>	<b>Reporte del ensayo Triaxial CU.....</b>	<b>- 73 -</b>
<b>Anexo C.</b>	<b>Reporte del ensayo de corte directo CD.....</b>	<b>- 78 -</b>
<b>Anexo D.</b>	<b>Reporte del ensayo de consolidación .....</b>	<b>- 83 -</b>
<b>Anexo E.</b>	<b>Plataforma: Arquitectura del sistema de adquisición de datos ..</b>	<b>- 85 -</b>
<b>Anexo F.</b>	<b>Procedimiento ensayo Triaxial UU.....</b>	<b>- 89 -</b>
<b>Anexo G.</b>	<b>Procedimiento ensayo Triaxial CU.....</b>	<b>- 91 -</b>
<b>Anexo H.</b>	<b>Procedimiento ensayo corte directo CD.....</b>	<b>- 93 -</b>
<b>Anexo I.</b>	<b>Procedimiento ensayo de consolidación .....</b>	<b>- 96 -</b>
<b>Anexo J.</b>	<b>Transductor de carga: Celda de carga LC101.....</b>	<b>- 98 -</b>
<b>Anexo K.</b>	<b>Transductor de deformación LVDT: LD610-15.....</b>	<b>- 99 -</b>
<b>Anexo L.</b>	<b>Transductor de Presión: PXM209 .....</b>	<b>- 100 -</b>
<b>Anexo M.</b>	<b>Diagrama de conexiones del sistema DAQ .....</b>	<b>- 101 -</b>
<b>Anexo N.</b>	<b>Paper del proyecto de fin de titulación.....</b>	<b>- 104 -</b>

## Resumen

El sistema de adquisición de datos (DAQ) del laboratorio de mecánica de suelos es un sistema electrónico y asistido por computador, capaz de realizar mediciones de las diferentes magnitudes que intervienen en los ensayos para el análisis y la generación de reportes con los resultados de cada una de las prácticas, de forma automática.

En el desarrollo del presente proyecto, se ha ampliado y calibrado el sistema de adquisición y análisis de datos del laboratorio de mecánica de suelos para los ensayos Triaxial UU, Triaxial CU, Corte directo CD y Consolidación.

Los análisis de datos incluidos en el sistema, son los descritos en las normas ASTM D2850, D4767, D3080 y D2435. Las tareas de adquisición, metodologías de análisis de datos y generación de reportes se las desarrolló por medio del lenguaje de programación LabVIEW. Los resultados de los ensayos mencionados son los indicadores de resistencia del suelo analizado, y en el proceso de validación del sistema en su conjunto, se obtuvo una incertidumbre máxima del 1.007 %.

## Objetivos

El objetivo general en la realización del presente proyecto ha sido la ampliación del sistema ADQUISICIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS PARA ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA.

Para lo cual se ha establecido los siguientes objetivos específicos:

- Calibración de los sensores utilizados para la adquisición de datos de los ensayos, para lograr una mayor fiabilidad del sistema.
- Implementación de análisis de los datos adquiridos en los ensayos Triaxial UU, Triaxial CU, Corte directo CD y Consolidación, con el fin de obtener los valores de los resultados finales de los ensayos.
- Implementación de una etapa de generación de reportes que incluya los resultados obtenidos.

## Índice de figuras

Fig. 1.1 Etapas de un sistema de medición digital .....	- 3 -
Fig. 1.2 Representación de curvas de calibración. ....	- 5 -
Fig. 1.3 Calibración del cero y de la sensibilidad. ....	- 6 -
Fig. 1.4 Círculo de Mohr, ensayo triaxial UU .....	- 12 -
Fig. 1.5 Círculo de Mohr, ensayo triaxial CU .....	- 13 -
Fig. 1.6 Diagrama de corte, ensayo corte directo CD .....	- 14 -
Fig. 2.1 Etapas del sistema de adquisición de datos [9] .....	- 16 -
Fig. 2.2 Configuración física del sistema con la máquina triaxial .....	- 17 -
Fig. 2.3 Curva de relación esfuerzo vs deformación UU .....	- 19 -
Fig. 2.4 Círculo de Mohr .....	- 21 -
Fig. 2.5 $\sigma_1 - \sigma_3$ vs Deformación .....	- 21 -
Fig. 2.6 Esfuerzo efectivo cortante vs Esfuerzo efectivo normal .....	- 21 -
Fig. 2.7 Curva de relación esfuerzo vs deformación CD .....	- 23 -
Fig. 3.1 Calibración de la celda de carga .....	- 27 -
Fig. 3.2 Implementación de constantes de calibración .....	- 28 -
Fig. 3.3 Flujograma de la etapa de análisis de datos, ensayo triaxial UU .....	- 30 -
Fig. 3.4 Determinación de la recta tangente .....	- 32 -
Fig. 3.5 Análisis de datos de los ensayos triaxial .....	- 33 -
Fig. 3.6 Gráficas del ensayo triaxial UU .....	- 34 -
Fig. 3.7 Gráficas del ensayo triaxial CU .....	- 39 -
Fig. 3.8 Flujograma de la etapa de análisis de datos, ensayo Corte Directo .....	- 43 -
Fig. 3.9 Análisis de datos del ensayo de corte directo .....	- 44 -
Fig. 3.10 Gráficas del ensayo de corte directo CD .....	- 45 -
Fig. 3.11 Análisis de datos del ensayo de consolidación .....	- 49 -
Fig. 4.1 Análisis de calibración de la celda de carga antes (izq) y después (der) de la corrección .....	- 52 -
Fig. 4.2 Análisis de calibración antes (izq) y después (der) del LVDT .....	- 54 -
Fig. 4.3 Círculo de Mohr mediante hoja de cálculo, ensayo triaxial UU .....	- 57 -

Fig. 4.4 Círculo de Mohr mediante la aplicación daq, ensayo triaxial UU.....	- 57 -
Fig. 4.5 Círculo de Mohr mediante hoja de cálculo, ensayo triaxial CU .....	- 58 -
Fig. 4.6 Círculo de Mohr mediante la aplicación daq, ensayo triaxial CU.....	- 59 -
Fig. 4.7 Diagrama de corte mediante hoja de cálculo, ensayo corte directo .....	- 60 -
Fig. 4.8 Diagrama de corte mediante aplicación daq, ensayo corte directo .....	- 60 -
Fig. 4.9 Gráfica de consolidación mediante hoja de cálculo .....	- 61 -
Fig. 4.10 Gráfica de consolidación mediante aplicación daq .....	- 62 -
Fig. E.1 Diagrama del sistema de adquisición de datos .....	- 85 -
Fig. E.2 LabVIEW, entorno de programación .....	- 86 -
Fig. E.3 Módulo de interfaz de red FP-1000 (izq) y módulos E/S.....	- 87 -
Fig. F.1 Colocación de la membrana a la probeta .....	- 89 -
Fig. F.2 Camara triaxial llena con agua .....	- 90 -
Fig. H.1 Ensamble de la caja de corte.....	- 93 -
Fig. H.2 Configuración de los LVDT. ....	- 94 -
Fig. H.3 Corte de la muestra. ....	- 95 -
Fig. I.1 Ensamblado de la caja de consolidación.....	- 96 -
Fig. I.2 Colocación de carga de asentamiento.....	- 96 -
Fig. I.3 Colocación de cargas sobre el equipo de consolidación.....	- 97 -
Fig. I.4 Secado al horno de la muestra.....	- 97 -
Fig. J.1 Celda de carga LC101 .....	- 98 -
Fig. K.1 Transductor de deformación LD610 -15 .....	- 99 -
Fig. L.1 Transductor de presión PXM209 .....	- 100 -
Fig. M.1 Conexión de cables de la celda en conector DIN macho .....	- 101 -
Fig. M.2: Conexión de cables del LVDT en conector DIN macho .....	- 101 -
Fig. M.3 Conexión de cables del sensor de presión en conector DIN macho ...	- 102 -
Fig. M.4 Diagrama de conexiones del sistema DAQ.....	- 103 -

## Índice de tablas

Tabla 1.1 Valores T de Student para diferentes valores de confianza .....	- 7 -
Tabla 1.2 Factor multiplicador del número de medidas .....	- 8 -
Tabla 1.3 Estándares de los ensayos de mecánica de suelos.....	- 10 -
Tabla 1.4 Características de los instrumentos de medición para ensayo UU.....	- 10 -
Tabla 1.5 Características de los instrumentos de medición para ensayo CD.....	- 14 -
Tabla 1.6 Características de los instrumentos de medición para ensayo de consolidación .....	- 15 -
Tabla 2.1 Reporte inicial del ensayo triaxial UU .....	- 18 -
Tabla 2.2 Reporte inicial del ensayo triaxial CU .....	- 20 -
Tabla 2.3 Cuadro de falla del ensayo triaxial CU.....	- 21 -
Tabla 2.4 Reporte inicial del ensayo de Corte Directo CD .....	- 23 -
Tabla 2.5 Reporte inicial del ensayo de Consolidación.....	- 25 -
Tabla 3.1 Condiciones de influencia en la calibración. ....	- 26 -
Tabla 3.2 Datos de carga para la calibración.....	- 27 -
Tabla 3.3 Constantes de calibración .....	- 28 -
Tabla 3.4 Simbología del flujograma para los ensayos triaxial .....	- 31 -
Tabla 3.5 Reporte parcial triaxial UU –Datos medidos y calculados-.....	- 35 -
Tabla 3.6 Reporte parcial triaxial UU -Resultados de ensayo-.....	- 36 -
Tabla 3.7 Reporte parcial triaxial UU -Datos de probetas-.....	- 37 -
Tabla 3.8 Reporte parcial triaxial CU –Datos medidos y calculados-.....	- 40 -
Tabla 3.9 Reporte parcial triaxial CU -Resultados de ensayo-.....	- 41 -
Tabla 3.10 Reporte parcial triaxial CU -Datos de probetas-.....	- 42 -
Tabla 3.11 Simbología del flujograma para el ensayo Corte directo .....	- 44 -
Tabla 3.12 Reporte parcial corte directo CD –Datos medidos y calculados-.....	- 46 -
Tabla 3.13 Reporte parcial corte directo CD -Resultados de ensayo- .....	- 47 -
Tabla 3.14 Reporte parcial corte directo CD -Datos de probetas-.....	- 48 -
Tabla 3.15 Reporte consolidación – Datos medidos y gráficas-.....	- 50 -
Tabla 3.16 Reporte consolidación -Datos de la probeta- .....	- 51 -

Tabla 4.1 Constante de ajuste para la celda de carga.....	- 52 -
Tabla 4.2 Registro de mediciones, sensor de carga .....	- 53 -
Tabla 4.3 Cálculo de incertidumbre, sensor de carga .....	- 53 -
Tabla 4.4 Constante de ajuste para LVDT.....	- 54 -
Tabla 4.5 Registro de mediciones, sensor de deformación .....	- 55 -
Tabla 4.6 Cálculo de incertidumbre, sensor de deformación .....	- 55 -
Tabla 4.7 Análisis de resultados del ensayo triaxial UU .....	- 58 -
Tabla 4.8 Análisis de resultados del ensayo triaxial CU .....	- 59 -
Tabla 4.9 Análisis de resultados del ensayo Corte directo.....	- 61 -
Tabla 4.10 Análisis de resultados del ensayo consolidación .....	- 62 -
Tabla M.1 Configuración del conector DIN del sensor de carga .....	- 101 -
Tabla M.2 Configuración del conector DIN del sensor de deformación.....	- 101 -
Tabla M.3 Configuración del conector DIN del sensor de presión .....	- 102 -

## 1. Fundamentos

En el presente capítulo se detalla los aspectos teóricos que se debe tener en cuenta para la comprensión de las actividades desarrolladas en el tema propuesto como proyecto de fin de carrera. Así por ejemplo se detalla las metodologías utilizadas en la realización de las prácticas del laboratorio de suelos. En los anexos se incluye el procedimiento de las prácticas, reportes de los ensayos, así como la arquitectura del sistema.

### 1.1. Introducción

El desarrollo de la ciencia y la tecnología ha permitido al ente humano automatizar procesos en un sinnúmero de entornos y/o aplicaciones con el fin de incrementar la eficiencia de dichos procesos o sistemas. Entonces teniendo presente que la instrumentación nos ayudaría a mejorar las prestaciones del laboratorio de mecánica de suelos; se ha ampliado el sistema de adquisición y análisis de datos del laboratorio de mecánica de suelos de la UTPL mediante el uso de tecnologías como: sensores, módulos de adquisición de datos y plataformas de instrumentación virtual.

El sistema de adquisición y análisis de datos del laboratorio de mecánica de suelos del Departamento de geología y minas e ingeniería civil de la UTPL tiene como características de ser un sistema de medición escalable y flexible, debido a la creación de instrumentos virtuales, mediante el uso de módulos (Ej. Fielpoint) que se encargan del acondicionamiento de las señales entregadas por los sensores y a su vez mediante una interfaz (Ej. Serial: RS232) se envían los datos medidos hacia el computador para su procesamiento y análisis, y su posterior generación de reportes con los resultados del ensayo. El computador, en el cual se encuentra ejecutándose la aplicación desarrollada mediante el lenguaje gráfico LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) tendrá como función de interfaz entre el usuario (laboratorista) y las estaciones de prueba del laboratorio, así también permitirá la configuración de parámetros del ensayo y proporcionará la asistencia de las tareas de adquisición de datos para cada uno de los ensayos.



Los sistemas de adquisición de datos basados en el uso del computador se han convertido en una de las alternativas más prometedoras debido a su coste y versatilidad, y aprovechan la capacidad de cálculo, almacenamiento y visualización de un computador para la realización automática de medidas. [1]

## **1.2. Calibración de los equipos de medida**

La calibración de los instrumentos de medición a intervalos de tiempos definidos, se vuelve de carácter obligatorio debido a que la incertidumbre depende del tiempo de servicio, manipulación, entorno en el que se lo utiliza (polvo, químicos y más), tipo de instrumento, entre otros.

Con la calibración de los equipos se busca mantener a las mediciones con un rango de incertidumbre aceptable para los procesos en los que se ha de realizar mediciones; esto mediante la utilización de un determinado método de corrección de la deriva de su respuesta. (En la sección 1.2.2 se describe el método a utilizado en el presente proyecto). El proceso de calibración consiste en la comparación de las lecturas del instrumento a calibrar con los valores o lecturas de otro instrumento patrón con una precisión de al menos 4 veces la del instrumento a calibrarse.

Las normas formales que rigen los procedimientos de calibración del instrumento y el desempeño del sistema de medición, tales como la norma ISO 9000 y más recientemente la ISO/IEC 17025 [2], tienen en consideración que para asegurar que un sistema se administra bajo procedimientos de gestión de calidad, debe tener en cuenta algunos puntos relacionados con la calibración. Por lo que en el desarrollo del presente proyecto se tiene presente las exigencias establecidas en la norma ISO 9001 y 17025.

### **1.2.1. Metrología**

La metrología es la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones; que, incluye todos los aspectos teóricos y prácticos de las mediciones, cualquiera que sea su campo de aplicación [3]. Dada la importancia de las características que se deben tener en cuenta al calibrar un determinado instrumento o sistema de medida, se procede a describir brevemente algunos conceptos relacionados a la calibración y que se encuentran dentro de la metrología.



**Fig. 1.1 Etapas de un sistema de medición digital**

Un equipo de medida siempre tendrá un error relacionado con la incertidumbre que lo caracteriza; ahora, también debemos tomar en cuenta que la lectura de la medición incluirá algún tipo de error que será la combinación de la influencia del usuario (quien manipula el equipo); más, el método y/o entorno que utilice para tomar la lectura de la medida. Entonces se puede empezar definiendo lo que es la incertidumbre, es el parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando [3]; es decir será el nivel de error que, equivale a un intervalo dentro del cual se encuentra el valor verdadero de la medición/mensurando.

Entonces a este error lo podemos caracterizar como error absoluto y error relativo en cada medición. Se entiende por error absoluto a la diferencia entre el valor medido y el valor exacto, en valor absoluto.

$$\varepsilon_a = |v_m - v_v| \quad 1.1$$

Donde:  $\varepsilon_a$  = error absoluto  
 $V_m$  = valor medido  
 $V_v$  = valor verdadero

Mientras que el error relativo es el error absoluto dividido entre el valor verdadero.

$$\varepsilon_r[\%] = \frac{\varepsilon_a}{v_v} * 100 \quad 1.2$$

Según [4]; el principio básico de todo sistema de instrumentación electrónica es el de medir una magnitud con el menor error posible. Siempre existe un grado de incertidumbre puesto que es imposible realizar una medición sin modificar en mayor o menor grado aquello que se mide. Así, se definen entonces los siguientes términos para caracterizar la magnitud del error:

- **Veracidad (trueness):** es el grado de concordancia entre el valor medio obtenido de una gran serie de resultados y el valor verdadero o el aceptado como referencia. La veracidad se suele expresar en términos de sesgo o desviación (bias).
- **Precisión (precision):** es el grado de concordancia entre los resultados. La precisión no implica necesariamente la veracidad. Los resultados de muchas medidas pueden ser muy similares pero, sin embargo, pueden ser muy diferentes del valor verdadero.
- **Exactitud (accuracy):** este término se utiliza para referirse conjuntamente a la veracidad y a la precisión, es decir, a la correspondencia de los resultados entre sí y, además, al valor verdadero.

### 1.2.2. Calibración

Un instrumento representativo, se considera que está bien calibrado cuando en todos los puntos de su campo de medida, la diferencia entre el valor real de la variable y el valor indicado, registrado o transmitido, está comprendida entre los límites determinados por la precisión del instrumento. [5]

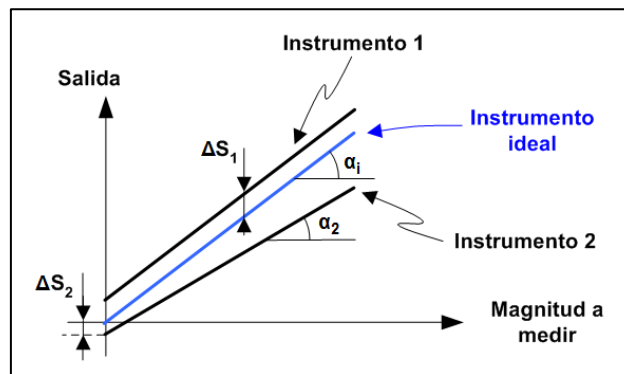
Según la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, BIPM [3], la calibración se define como la operación que bajo condiciones especificadas establece:

- En una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas, obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y,
- En una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación. Una calibración puede expresarse mediante: una declaración, una función, un diagrama, una curva o una tabla de calibración. En algunos casos, puede consistir en una corrección aditiva o multiplicativa de la indicación con su incertidumbre correspondiente.

En los sistemas con curvas de calibración lineales, las diferencias más notables se suelen centrar en dos aspectos: el nivel (offset) y la sensibilidad. Estas diferencias conducen a errores sistemáticos que pueden ser minimizados siempre que exista posibilidad de calibrar el equipo. Los métodos de calibración más sencillos son: la calibración a un punto, y, la calibración del cero y de la sensibilidad [4]:

**Calibración a un punto:** consiste en actuar sobre el sistema de medida de forma que para un punto concreto la salida sea lo más exacta posible. Por ejemplo, las básculas de baño analógicas incorporan un mando para ajustar el cero. Cuando el usuario observa que en ausencia de peso la indicación de la báscula es distinta de cero, actúa sobre el mando hasta que la medida sea correcta; o se ajusta de forma automática según el sistema que sea.

En la Fig. 1.2, se representa una curva de calibración ideal y la que corresponde a dos instrumentos reales. Se puede observar que el instrumento 1 proporciona una salida que siempre es un nivel  $\Delta S_1$ , mayor que el ideal. El instrumento 2, además de presentar un cierto nivel menor  $\Delta S_2$ , tiene una sensibilidad “ $\tan(\alpha_2)$ ” diferente a la ideal “ $\tan(\alpha_i)$ ”.



*Fig. 1.2 Representación de curvas de calibración.*

En muchos sistemas, la calibración a un punto suele efectuarse sobre el valor cero de la variable de entrada, porque suele ser uno de los puntos para los que más fácilmente suele ser conocido el valor verdadero, como en el caso del ejemplo de la báscula, los velocímetros, acelerómetros, sistemas para medir desplazamiento, etc.

**Calibración del cero y de la sensibilidad:** para ajustar perfectamente una curva de calibración lineal se necesitarían ajustar dos puntos o un punto y la pendiente. Muchos instrumentos de medida incorporan esta posibilidad de calibración aunque no siempre sea accesible por el usuario mediante mandos externos, aunque sí por el fabricante. El ajuste se realiza mediante dos mandos, uno permite modificar el nivel (offset) y el otro la sensibilidad o ganancia del sistema (gain). El procedimiento debe realizarse ajustando primero el cero (Fig. 1.3b) y, a continuación, la ganancia (Fig. 1.3c). Para este último ajuste, es necesario medir en otro punto y ajustar la ganancia de forma que en este segundo punto la salida sea la deseada.

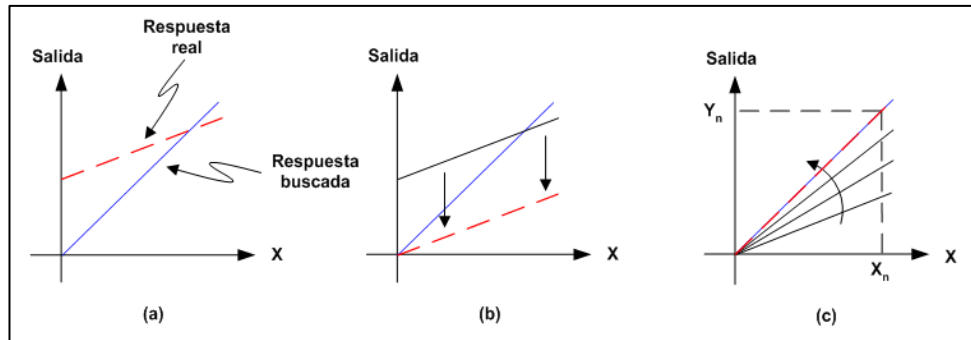


Fig. 1.3 Calibración del cero y de la sensibilidad.

### 1.2.3. Incertidumbre

Según [5], la incertidumbre es la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al verdadero valor de la magnitud medida. En el cálculo de la incertidumbre intervienen la distribución estadística de los resultados de series de mediciones, las características de los equipos, (deriva en función de la tensión de alimentación o en función de la temperatura, etc.), entre otros.

Hay dos incertidumbres A y B presentes en la medición. Las A se relacionan con fuentes de error aleatorios y pueden ser evaluadas a partir de distribuciones estadísticas (lecturas en el instrumento), mientras que las B están asociadas a errores de tipo sistemático y corresponden a la incertidumbre del calibrador, la resolución del instrumento y la influencia de otras magnitudes (temperatura, campos externos, humedad, posición, etc.) que surgen del control de las condiciones de contraste o de la experiencia previa del operador.

Una vez obtenidos los valores, de la incertidumbre A y la B, se procede a calcular la incertidumbre combinada:

$$u_c = \sqrt{(u_{\text{tipo A}})^2 + (u_{\text{tipo B}})^2} \quad 1.3$$

Y después la incertidumbre expandida:

$$u_{\text{expandida}} = K \cdot u_c \quad 1.4$$

Siendo K el Factor de cobertura o de seguridad que se determina de acuerdo con el nivel de confianza de la incertidumbre (factor T de Student).

N° de observaciones	Grados de libertad	Nivel de confianza					
		99%	98%	95,45%	90%	80%	68%
2	1	63,66	31,82	13,97	6,31	3,08	1,82
3	2	9,92	6,96	4,53	2,92	1,89	1,31
4	3	5,84	4,54	3,31	2,35	1,64	1,19
5	4	4,6	3,75	2,87	2,13	1,53	1,13
6	5	4,03	3,36	2,65	2,02	1,48	1,1
7	6	3,71	3,14	2,52	1,94	1,44	1,08
8	7	3,5	3	2,43	1,89	1,41	1,07
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
20	19	2,86	2,54	2,14	1,73	1,33	1,02
Infinito	Infinito	2,58	2,33	2	1,64	1,28	1

Tabla 1.1 Valores T de Student para diferentes valores de confianza

**Incertidumbre tipo A:** La evaluación de la incertidumbre estándar se efectúa por análisis estadístico de una serie de observaciones independientes de la magnitud de entrada, bajo las mismas condiciones de medida. Si no existen componentes evaluadas estadísticamente la evaluación de tipo A corresponde a la repetitividad del instrumento a calibrar.

En una serie de medidas repetitivas de la variable, el valor estimado  $x$  viene dado por la media aritmética o promedio de los valores observados:

$$x = \frac{1}{n} \sum (x_i) \text{ con } x_i (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad 1.5$$

La mejor estimación de la varianza de la media aritmética  $x$  es:

$$s^2(x) = \frac{1}{n(n-1)} \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad 1.6$$

Su raíz cuadrada positiva es la desviación típica experimental de la media aritmética que equivale a la incertidumbre típica:

$$U(\bar{x}) = s(\bar{x}) \quad 1.7$$

Teniendo, la incertidumbre típica máxima de las medidas:

$$u_{medidas}(max) = \sqrt{\frac{U(\bar{x})^2 * n}{\sum X_p}} * \lambda \quad 1.8$$

Donde  $X_p$  son los intervalos de medida del patrón. Cuando el número de medidas repetitivas es menor de 10, la desviación típica debe multiplicarse por un factor multiplicador.

N° de medidas (N)	Factor multiplicador ( $\lambda$ )	N° de medidas (N)	Factor multiplicador ( $\lambda$ )
2	7	5	1,4
3	2,3	6 y 7	1,3
4	1,7	8 y 9	1,2

Tabla 1.2 Factor multiplicador del número de medidas

**Incertidumbre tipo B:** la incertidumbre se determina en base a la información disponible procedente de varias fuentes, tales como:

- Datos de medidas anteriores y por datos suministrados por certificados.
- Experiencia y conocimiento de los instrumentos.
- Especificaciones del fabricante.
- Valores de incertidumbre de manuales técnicos.

El método exige un juicio basado en la experiencia y en conocimientos generales. Se asumen las distribuciones rectangular (para instrumentos digitales), triangular (para instrumentos analógicos) y normal según sea el criterio y la experiencia del personal.

Expresión de la distribución rectangular con un factor de cobertura de 1,65 ( $=0,95 \cdot \sqrt[3]{3}$ ) para proporcionar un nivel de confianza de aproximadamente el 95%:

$$u(x_i) = \sqrt{\frac{a^2(\text{diferencia entre valores máximos y mínimos, histéresis máxima, etc.})}{12}} \quad 1.9$$

Si se conocen los valores máximo y mínimo  $a_1$  y  $a_2$  se tiene:

$$u_B^2(x_i) = (a_1 - a_2)^2 / 12 \quad 1.10$$

Y si se trata de un sistema centrado,  $a_1 - a_2 = 2a$ , y entonces:

$$u_B^2(x_i) = a^2 / 3 \quad 1.11$$

Distribución triangular, propia de los instrumentos analógicos:

$$u(x_i) = \sqrt{\frac{a^2(\text{diferencia entre valores máximos y mínimos, histéresis máxima, etc.})}{24}} \quad 1.12$$

Y para la distribución normal:

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad 1.13$$

#### 1.2.4. Normas ISO 9000

La Organización Internacional de Normalización (ISO) colabora con sus socios en la normalización internacional, la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Las tres organizaciones, todas con sede en Ginebra, Suiza, han formado la Cooperación Mundial sobre Normas (WSC) para actuar como un enfoque estratégico para la colaboración y la promoción de la normalización internacional [6]. De allí su importancia en tener en cuenta las recomendaciones establecidas en estas normas, para la calibración de los sensores que se emplean en nuestro sistema.

Nuestro país, como miembro, ha adoptado estas normas de la organización con la denominación NTE INEN – ISO 9000, en lo que respecta a la gestión de calidad; donde NTE e INEN hacen referencia a “Norma Técnica Ecuatoriana” e “Instituto Ecuatoriano de Normalización”, respectivamente. La norma ISO 9001 es parte de la familia de normas ISO 9000, que detalla los requisitos necesarios para asegurar un proceso con gestión de calidad; donde la sección 7.6 de la norma hace referencia a los procesos de calibración, estableciendo algunas exigencias para un proceso de calibración [7]:

- **Calibrarse o verificarse**, o ambos, a intervalos especificados o antes de su utilización, comparando con patrones de medición internacionales o nacionales, cuando no existan tales patrones debe registrarse la base utilizada para la calibración o la verificación;
- **Ajustarse o reajustarse**, cuando sea necesario;
- **Estar identificado**, para poder determinar su estado de calibración;
- **Protegerse contra ajustes** que pudieran invalidar el resultado de la medición;
- **Protegerse contra los daños** y el deterioro durante la manipulación, el mantenimiento y el almacenamiento.

### 1.3. Ensayos: Metodologías y normas

En el presente proyecto se realiza el análisis de datos para los ensayos de compresión Triaxial UU y CU, así como del ensayo de corte directo CD, y el ensayo de consolidación. Para los procedimientos de los ensayos y las metodologías de



obtención de resultados, se ha seguido los pasos recomendados en las normas ASTM, las cuales se las cita en la Tabla 1.3.

Ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO
Triaxial UU y CU	D 2850 y D 4767	T 234
Corte Directo	D 3080	T 236
Consolidación	D 2435-90	T 216

**Tabla 1.3 Estándares de los ensayos de mecánica de suelos**

### 1.3.1. Ensayos Triaxial U-U y C-U

Los ensayos Triaxial UU y CU tienen como objetivo determinar la resistencia al corte de especímenes cilíndricos en suelos cohesivos en condiciones inalteradas, remoldeadas o compactadas, utilizando la aplicación de deformaciones controladas o esfuerzos controlados de la carga de compresión axial, donde el espécimen está sujeto a la presión de confinamiento de un fluido en una cámara Triaxial. Estos ensayos proporcionan datos para la determinación de las propiedades de resistencia y las relaciones esfuerzo-deformación de los suelos.

#### 1.3.1.1. Norma ASTM D2850 y D4767

A continuación se detallan brevemente las características que los instrumentos deben cumplir en la realización del ensayo Triaxial según la norma ASTM.

Instrumento	Característica	Observaciones
<b>Deformímetro</b>	Precisión de 0,0254 mm	Recorrido mínimo del 20% de la altura de la muestra.
<b>Carga</b>	Precisión de 0,0107 Kg/cm <sup>2</sup> (1KPa)	Para falla de menos de 1,07 Kg/cm <sup>2</sup> (100KPa)
	Precisión del 1% de la carga axial en la falla	Para falla de 1,07 Kg/cm <sup>2</sup> o más
<b>Presión</b>	± 0,0107 Kg/cm <sup>2</sup> (1 KPa)	Presiones de celda < 2,15 Kg/cm <sup>2</sup> (200KPa)
	Precisión de ± 1 % de la falla	Presiones de celda > 2,15 Kg/cm <sup>2</sup> (200KPa)

**Tabla 1.4 Características de los instrumentos de medición para ensayo UU**

#### 1.3.1.2. Resultados del ensayo Triaxial UU: Círculo de Mohr

Los esfuerzos principales menor y mayor deben ser determinados con el fin de trazar el diagrama de corte (círculo de Mohr), del cual los valores de los parámetros de resistencia al corte (parámetros de cohesión y ángulo de fricción

interna) se pueden obtener. Teniendo la tensión principal mayor en la falla o Valor máximo del esfuerzo vertical,  $\sigma_1$ :

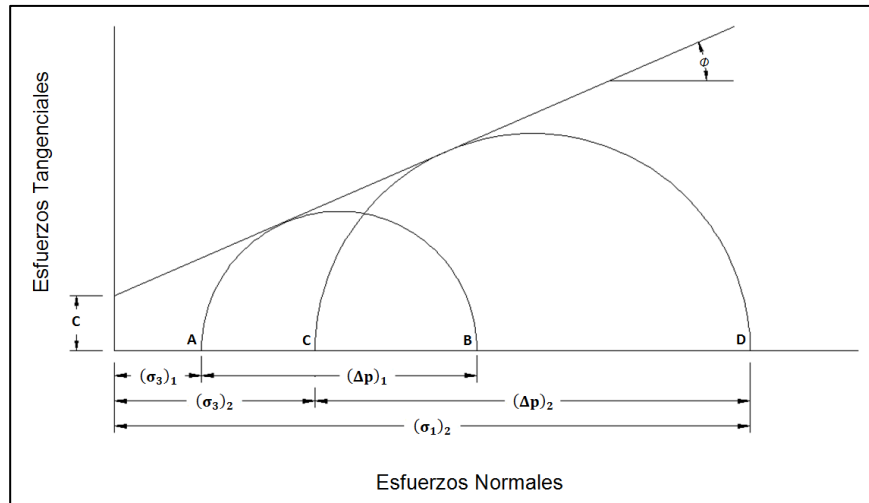
$$\sigma_1 = \Delta p + \sigma_3 \quad 1.14$$

Donde:  $\sigma_3$  = El esfuerzo principal menor, y es igual a la presión de la cámara (Presión lateral sobre la muestra).

$\Delta p$  = Carga unitaria axial en la falla. (También denominado Esfuerzo desviador máximo,  $\sigma$ )

Después de que las tensiones principales menores y mayores, y cargas unitarias axiales en la falla se han determinado para cada muestra analizada, el diagrama de fuerza cortante requerida se puede trazar, con esfuerzos cortantes trazados a lo largo de la ordenada y las tensiones normales en la abscisa. De los resultados de uno de los ensayos triaxiales, un punto está situado a lo largo de la abscisa a una distancia  $\sigma_3$  desde el origen. Este punto se denota por A en la Fig. 1.4 y está indicado a lo largo de la abscisa, a una distancia  $(\sigma_3)_1$  desde el origen. También es necesario localizar otro punto a lo largo de la abscisa a una distancia  $\sigma_1$  desde el origen, ya sea mediante la medición de la distancia  $\sigma_1$  desde el origen, o la distancia  $\Delta p$  desde el punto A (El punto situado a una distancia  $\sigma_3$  desde el origen). Este punto se denota por B en la Fig. 1.4 y se caracteriza por estar situada a lo largo del eje de las abscisas a una distancia  $(\Delta p)_1$  desde el punto A. Con AB como diámetro, se construye formando un semicírculo conocido como el círculo de Mohr.

Todo este procedimiento se repite utilizando datos obtenidos de la prueba Triaxial de otro espécimen de la misma muestra de suelo a una presión lateral diferente ( $\sigma_3$ ). De tal manera, el punto C se encuentra a lo largo del eje de abscisas a una distancia  $(\sigma_3)_2$  desde el origen y el punto D, a una distancia  $(\Delta p)_2$ , desde el punto C. Con CD como diámetro, otro semicírculo entonces se construye. El siguiente paso es dibujar una línea recta tangente a los dos semicírculos, como se muestra en la Fig. 1.4. El ángulo entre esta línea recta y una línea horizontal ( $\Phi$  en la figura) da el ángulo de fricción interna, y el valor de la tensión donde la línea recta interseca el eje de las ordenadas (distancia c en la figura) es la cohesión. La misma escala se debe utilizar a lo largo de la abscisa y la ordenada.



**Fig. 1.4 Círculo de Mohr, ensayo triaxial UU**

En la práctica, es mejor tener tres (o más) semicírculos tales que se puedan utilizar para trazar la mejor línea de resistencia. Es por eso que el procedimiento de prueba requiere tres o más pruebas por separado para llevar a cabo en tres o más ejemplares de la misma muestra de suelo [8].

**1.3.1.3. Resultados del ensayo Triaxial CU: Círculo de Mohr**

Los resultados de la prueba CU se presentan comúnmente con los círculos de Mohr representados en términos de tensiones efectivas  $\bar{\sigma}$ . Teniendo:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta_p \tag{1.15}$$

$$\bar{\sigma}_3 = \sigma_3 - \mu \tag{1.16}$$

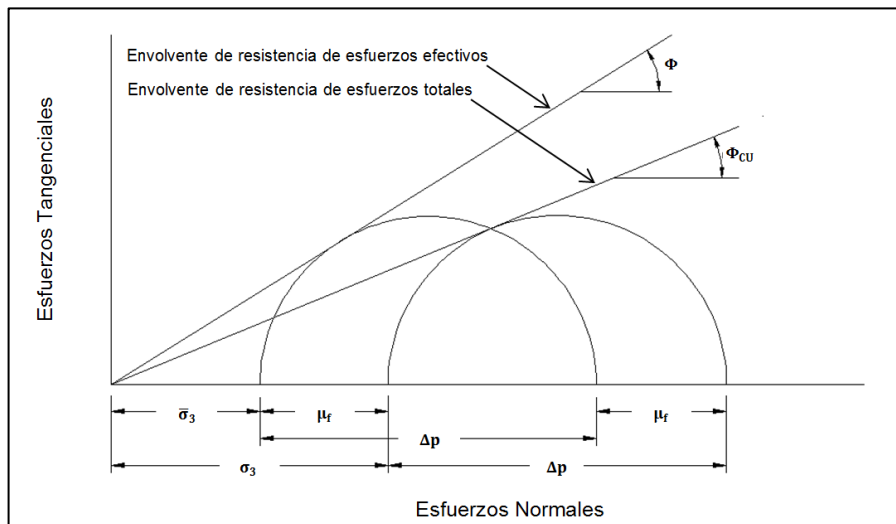
$$\bar{\sigma}_1 = \sigma_1 - \mu \tag{1.17}$$

- Donde:
- $\sigma_1$  = Esfuerzo principal mayor en la falla
  - $\sigma_3$  = Presión lateral, es igual a la presión de la cámara
  - $\Delta_p$  = Unidad de carga axial en la falla
  - $\bar{\sigma}_3$  = Presión lateral efectiva
  - $\bar{\sigma}_1$  = Esfuerzo efectivo principal
  - $\mu$  = Presión de poros correspondiente a la carga axial en la falla

La envolvente de resistencia en este caso se conoce como la envolvente de resistencia de esfuerzos efectivos. Los resultados de las pruebas CU también se presentan comúnmente con los círculos de Mohr dibujados en términos del esfuerzo total  $\bar{\sigma}$ . La envolvente de resistencia en este caso se conoce como la envolvente de resistencia de esfuerzos totales.

Tanto la envolvente de resistencia de esfuerzos efectivos y la envolvente de resistencia de esfuerzo total obtenido a partir de una prueba CU sobre una arcilla normalmente consolidada se muestra en la Fig. 1.5. Se observará que los diámetros del círculo de Mohr son iguales para esfuerzos totales y esfuerzos efectivos pero el círculo de Mohr para esfuerzos efectivos se desplaza hacia la izquierda por una cantidad igual a la presión de poros en la falla  $\mu_f$ .

Si varias pruebas CU se realizan en la misma arcilla normalmente consolidada, inicialmente consolidada bajo diferentes presiones laterales  $\sigma_3$ , la envolvente de resistencia de esfuerzo total es de aproximadamente una línea recta que pasa por el origen.



**Fig. 1.5** Círculo de Mohr, ensayo triaxial CU

### 1.3.2. Ensayo de corte Directo CD

Este tipo de ensayo tiene como objeto determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada. Este ensayo puede realizarse sobre todos los tipos de suelos, con muestras inalteradas y remodeladas.

#### 1.3.2.1. Norma ASTM D 3080

A continuación se detallan brevemente las características que los instrumentos deben cumplir en la realización del ensayo de corte directo según la norma.

Instrumento	Características	Observaciones
Deformímetros	Precisión 0,002 mm	Para cambios de espesor
	Precisión 0,02 mm	Para la deformación tangencial
Carga	Precisión 0,22 Kg	

Tabla 1.5 Características de los instrumentos de medición para ensayo CD

### 1.3.2.2. Resultados del ensayo de Corte directo CD: Diagrama de Corte

Con el fin de evaluar los parámetros de resistencia al corte (cohesión y el ángulo de fricción interna), es necesario trazar un gráfico de esfuerzo cortante máximo (ordenadas) versus la presión normal (abscisas) para cada muestra analizada (Fig. 1.6). La misma escala debe ser utilizada a lo largo de la abscisa y la ordenada. Una línea recta se dibuja a través de los puntos trazados y se extiende hasta intersectar a la ordenada. El ángulo ( $\phi$  en la figura) entre la línea recta y una línea horizontal da el ángulo de fricción interna, y el valor del esfuerzo cortante, en el punto donde la línea recta interseca el eje de ordenadas ( $c$  en la figura) da la cohesión.

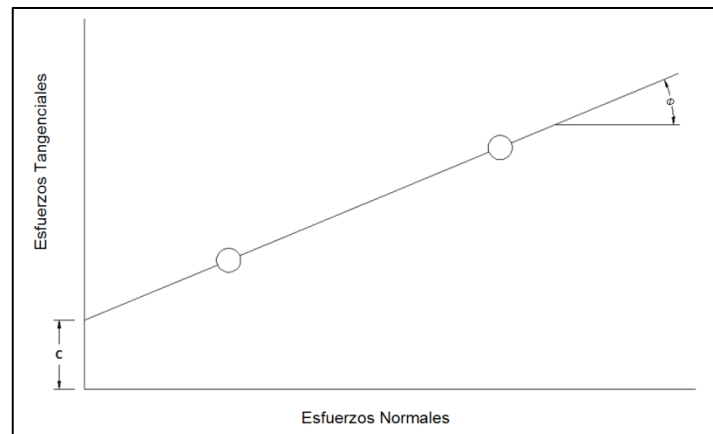


Fig. 1.6 Diagrama de corte, ensayo corte directo CD

En la práctica, es mejor tener tres (o más) de dichos puntos a través de los cuales, la mejor línea de resistencia puede ser trazada. Es por eso que el procedimiento de prueba requiere tres o más pruebas por separado que se realizarán a tres o más ejemplares de la misma muestra de suelo a diferentes presiones normales [8].

### 1.3.3. Ensayo de Consolidación

Este ensayo tiene como objetivo determinar el grado de asentamiento que experimenta una muestra de suelo al someterla a una serie de incrementos de presión o carga. En la Tabla 1.6 se indican las características mínimas que los instrumentos deben cumplir:

Instrumento	Característica	Observaciones
Deformímetro	Precisión de 0,01 mm	--
Balanza	Precisión 0,01 gr	Para medir el peso de la muestra

*Tabla 1.6 Características de los instrumentos de medición para ensayo de consolidación*

Los resultados de este ensayo se los lee de la gráfica Deformación vs tiempo, esta gráfica nos permite conocer el tiempo de ciertos grados de asentamiento de la muestra del suelo.

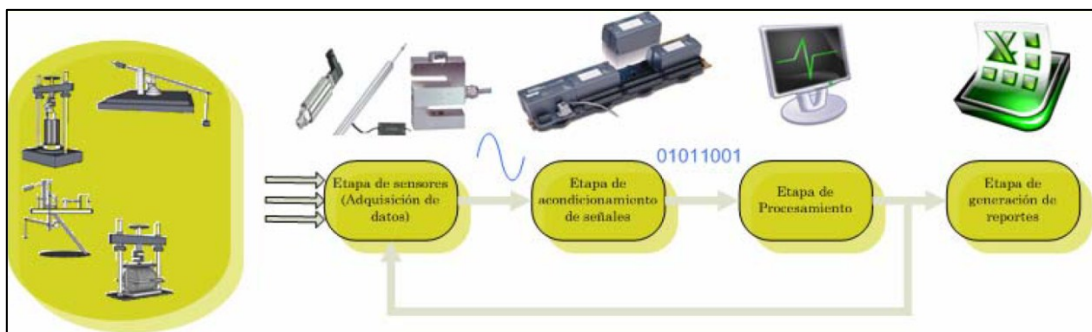
## 1.4. Plataforma de adquisición

Para las tareas de adquisición de datos, encontramos en el mercado, una amplia gama de plataformas (tecnologías software y hardware), con las que podemos desarrollar e integrar sistemas que satisfagan las necesidades de adquisición, registro y visualización de las variables dentro de un proceso determinado. Para la configuración del sistema se ha empleado la tecnología que dispone National Instruments (NI) y de la corporación Omega, los módulos de acondicionamiento de señales y de software son del fabricante NI, mientras que los sensores son del fabricante Omega. En el Anexo E se describe, a detalle, la configuración del sistema de adquisición de datos.

## 2. Estado actual del sistema de Adquisición y Análisis de datos para ensayos del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Técnica Particular de Loja.

El sistema está configurado con la utilización de tecnologías de National Instruments y de Omega. Para la adquisición de las variables, relacionadas con las magnitudes de los ensayos del laboratorio de suelos; se utiliza sensores de presión, deformación y carga, estos sensores son del fabricante omega; mientras que, para el acondicionamiento y digitalización de las señales eléctricas entregadas por los sensores se utiliza el módulo de entrada/salida Fieldpoint de la empresa National Instruments. Se debe recalcar que para la etapa de registro, análisis y visualización de los datos, entregados desde el módulo Fieldpoint hacia el computador mediante la interfaz serial RS232, se utiliza la plataforma NI LabVIEW 8.5.

Mediante la ayuda de la Fig. 2.1, podemos observar las etapas del sistema de adquisición de adquisición de datos.



**Fig. 2.1 Etapas del sistema de adquisición de datos [9]**

En la Fig. 2.2, se observa la configuración física del sistema, donde se puede apreciar la relación entre la máquina de compresión Triaxial con los sensores acoplados a ella; y a su vez se distingue la conectividad del computador mediante la comunicación serial RS232 con los módulos Fieldpoint, que se encargan del acondicionamiento y digitalización de las señales eléctricas.

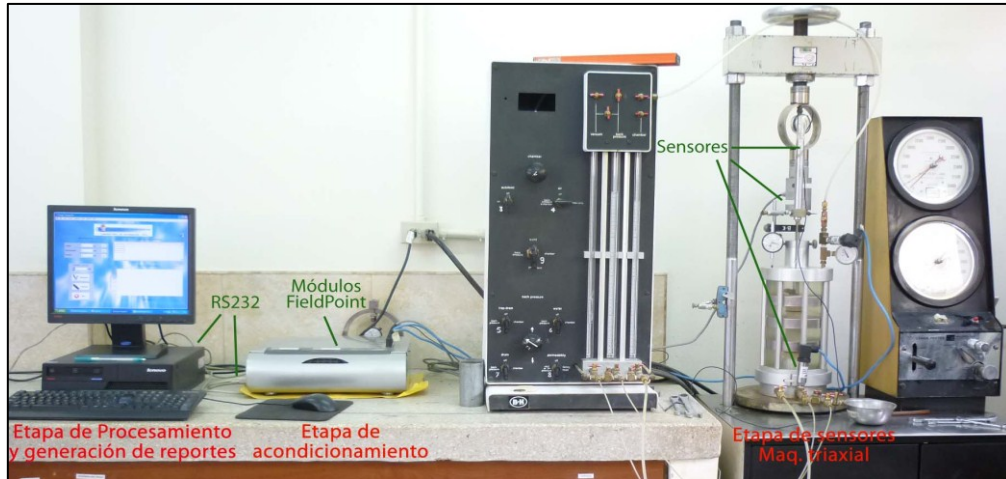


Fig. 2.2 Configuración física del sistema con la máquina triaxial

## 2.1. Adquisición y Análisis de datos del ensayo Triaxial UU

En la realización del ensayo Triaxial UU, para cada probeta (a diferente presión de confinamiento) inicialmente, se generaba un reporte con los siguientes datos:

- Datos de la probeta
- Contenido de agua de la probeta
- Densidad de la probeta
- Presión de confinamiento en la cámara Triaxial
- Variables de la probeta durante el ensayo
- Curva de esfuerzo vs deformación

El esquema del reporte se muestra en la Tabla 2.1:

Unidad de ingeniería Civil y Geominería		
Laboratorio UCG		
Ensayo Triaxial		
Datos de la Muestra		
Diámetro:	3,32	cm
Altura:	7,23	cm
Área corregida:	8,66	cm <sup>2</sup>
Volumen:	62,59	cm <sup>3</sup>
Peso:	124,60	gr



## Contenido de agua

Peso Hum:	142,76
Peso Seco:	134,78
Peso Cap:	66,20
W (%):	11,76

## Densidad

Natural:	1,99	gr/cm <sup>3</sup>
Seca:	1,78	gr/cm <sup>3</sup>

Presión de confinamiento: 7,42 psi

## Datos obtenidos en el ensayo

Tiempo	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria (%)	Área corregida (cm <sup>2</sup> )	Tensión desviante
10:24:18	0,000	0,000	0,000	8,657	0,000
10:24:28	1,158	0,110	0,152	8,67	0,134
10:24:39	3,474	0,291	0,402	8,692	0,400
10:24:48	5,159	0,446	0,617	8,711	0,592
10:24:58	7,159	0,625	0,864	8,732	0,820
10:25:08	9,265	0,809	1,119	8,755	1,058
10:25:19	11,16	1,022	1,413	8,781	1,271
10:25:28	12,739	1,219	1,686	8,805	1,447
10:25:38	14,213	1,426	1,972	8,831	1,609
10:25:48	15,581	1,633	2,259	8,857	1,759
10:25:58	16,423	1,85	2,558	8,884	1,849
10:26:08	16,95	2,064	2,855	8,911	1,902
10:26:18	17,476	2,281	3,154	8,939	1,955
10:26:29	18,108	2,527	3,496	8,971	2,019
10:26:38	18,529	2,752	3,806	8,999	2,059
10:26:48	18,74	2,974	4,113	9,028	2,076
10:26:58	19,161	3,194	4,418	9,057	2,116
10:27:08	19,371	3,416	4,725	9,086	2,132
10:27:18	19,792	3,646	5,043	9,117	2,171
10:27:28	19,898	3,876	5,361	9,147	2,175
10:27:38	20,003	4,111	5,686	9,179	2,179
10:27:48	20,213	4,375	6,051	9,215	2,194
10:27:58	20,213	4,605	6,369	9,246	2,186
10:28:07	20,003	4,802	6,642	9,273	2,157

Tabla 2.1 Reporte inicial del ensayo triaxial UU

En el reporte se incluye la gráfica correspondiente a la relación entre el esfuerzo vs deformación del ensayo.

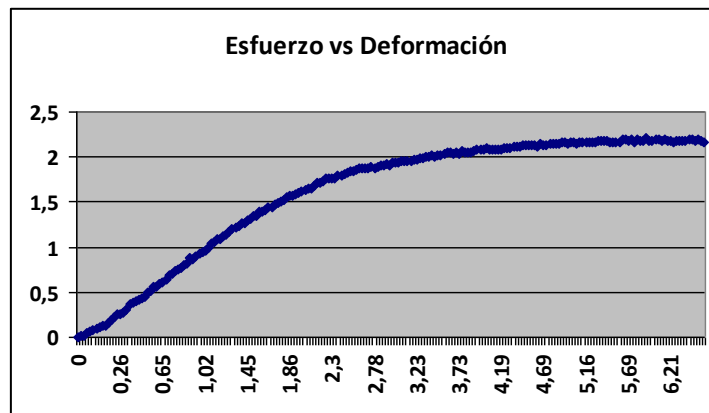


Fig. 2.3 Curva de relación esfuerzo vs deformación UU

## 2.2. Adquisición y Análisis de datos del ensayo Triaxial CU

En la realización del ensayo Triaxial CU, para cada probeta (a diferente presión de confinamiento) inicialmente, se generaba un reporte con los siguientes datos:

- Datos de la probeta
- Variables de la probeta durante el ensayo
- Análisis: Círculo de Mohr,  $\sigma_1$ - $\sigma_3$  vs deformación y curva de esfuerzo efectivo cortante vs esfuerzo efectivo normal.

El esquema del reporte se muestra en la Tabla 2.2:

Unidad de ingeniería Civil y Geominería				
Laboratorio UCG				
Ensayo Triaxial				
Datos de la Muestra				
Altura:	12,28	cm	4,83	plgd
Diámetro:	5,31	cm	2,09	plgd
Área:	22,15	cm <sup>2</sup>	3,43	plgd <sup>2</sup>
Volumen:	272	cm <sup>3</sup>	16,6	plgd <sup>3</sup>

Datos obtenidos en el ensayo

Carga (Kg)	Deform (mm)	Presión (psi)	Presión de poros (psi)	Deformación (%)	Área correg (cm2)	sig1-sig3	Pres Efect
0	0	115,819	24,834	0	3,430	0	90,984
6,135	0,815	115,916	24,943	0,663	3,453	3,917	90,973
9,815	1,891	115,99	25,023	1,532	3,483	6,212	90,967
17,527	6,185	115,927	24,92	5,031	3,612	10,699	91,007
24,012	7,569	115,887	24,857	6,170	3,656	14,481	91,03
23,661	9,162	115,876	24,84	7,474	3,707	14,071	91,036
27,167	15,851	115,779	24,8	12,919	3,939	15,205	90,979
34,528	17,512	115,75	24,754	14,265	4,001	19,027	90,996
52,055	20,843	115,682	24,714	16,998	4,132	27,771	90,967
56,086	22,744	115,63	24,726	18,530	4,210	29,369	90,905
62,045	24,39	115,59	24,737	19,876	4,281	31,953	90,853
69,231	25,712	115,539	24,691	20,952	4,339	35,174	90,847
98,676	32,43	114,471	24,6	26,439	4,663	46,655	89,871
105,336	34,109	113,866	24,589	27,805	4,751	48,878	89,278
110,068	35,808	113,272	24,566	29,193	4,844	50,093	88,707
125,842	39,437	111,942	24,583	32,153	5,056	54,877	87,359
132,853	41,141	111,394	24,572	33,540	5,161	56,750	86,823
141,441	42,857	110,8	24,56	34,928	5,271	59,157	86,24
157,391	46,334	109,459	24,526	37,764	5,511	62,959	84,933
159,669	48,286	108,859	24,486	39,358	5,656	62,234	84,373
172,99	51,762	107,558	24,475	42,195	5,934	64,272	83,083
192,62	56,959	105,794	24,412	46,418	6,401	66,337	81,382
204,187	60,645	104,561	24,372	49,441	6,784	66,353	80,189
212,25	64,103	103,447	24,349	52,257	7,184	65,132	79,098
217,508	69,346	101,62	24,275	56,522	7,889	60,783	77,346
215,93	71,112	101,049	24,263	57,971	8,161	58,331	76,786
209,621	72,866	100,513	24,258	59,400	8,448	54,702	76,255
201,558	80,13	98,195	24,183	65,321	9,891	44,927	74,012
194,372	82,28	97,036	24,155	67,060	10,413	41,152	72,881
192,269	83,483	96,071	24,115	68,054	10,737	39,479	71,956
187,537	84,796	94,867	24,115	69,110	11,104	37,234	70,752
181,928	85,407	94,353	24,098	69,607	11,285	35,540	70,255
179,474	86,013	93,868	24,086	70,104	11,473	34,487	69,781
172,814	87,228	92,806	24,046	71,097	11,867	32,104	68,759
167,732	87,838	92,28	24,024	71,594	12,075	30,624	68,257
163,7	88,445	91,772	24,006	72,091	12,290	29,365	67,766
159,143	89,139	91,23	24,006	72,650	12,541	27,976	67,224

Tabla 2.2 Reporte inicial del ensayo triaxial CU

Cuadro de falla

Falla: P. de Poros	Falla: sig1-sig3	Falla: P efectiva
24,749	0,724	91,076

Tabla 2.3 Cuadro de falla del ensayo triaxial CU

En el reporte se incluye las siguientes gráficas:

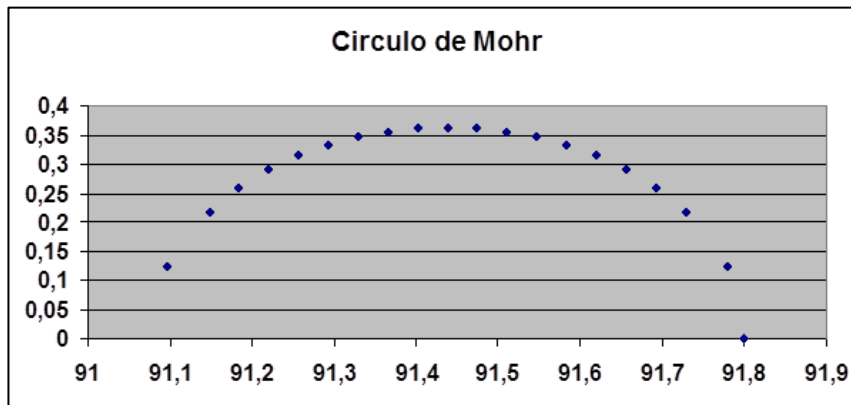


Fig. 2.4 Círculo de Mohr

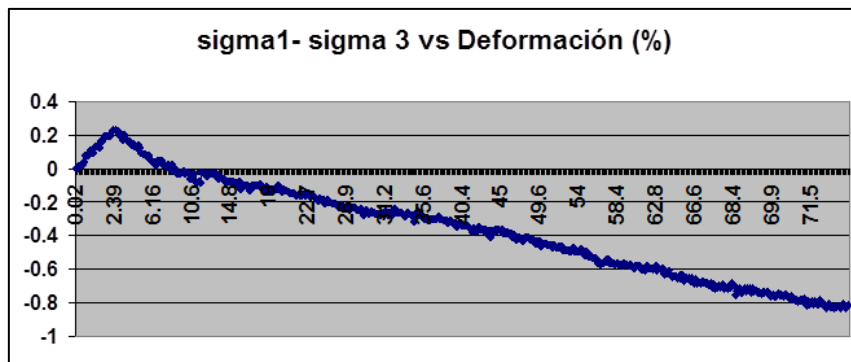


Fig. 2.5 Sigma1 – sigma3 vs Deformación

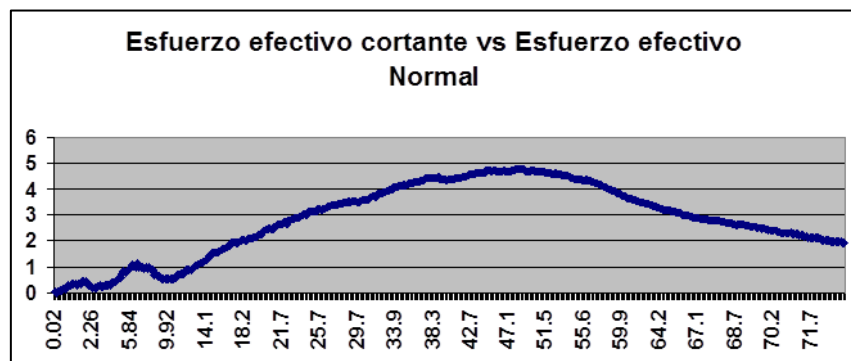


Fig. 2.6 Esfuerzo efectivo cortante vs Esfuerzo efectivo normal

### 2.3. Adquisición y Análisis de datos del ensayo de Corte Directo

En la realización del ensayo de corte directo CD, para cada probeta (a diferente presión normal) inicialmente, se generaba un reporte con los siguientes datos:

- Datos de la probeta
- Contenido de agua de la probeta
- Datos de la prueba
- Variables de la probeta durante el ensayo
- Análisis: Curva de la relación esfuerzo vs deformación

El esquema del reporte se muestra en la Tabla 2.4:

Unidad de ingeniería Civil y Geominería		
Laboratorio UCG		
Ensayo de Corte Directo		
Datos de la Muestra		
Diámetro:	6,31	cm
Altura:	3,01	cm
Área:	31,27	cm <sup>2</sup>
Volumen:	94,13	cm <sup>3</sup>
Peso:	193,20	gr
Densidad:	2,05	gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de agua		
Peso Hum	114,80	115,50
Peso Seco	112,30	113,30
Peso Cap	20,11	19,88
W(%):	2,71	2,35
W(%) Prom:	2,53	
Datos de la prueba		
Carga axial:	15,00	
Presión Normal:	0,48	

Datos obtenidos en el ensayo

Tiempo	Def horizontal (mm)	Def vertical (mm)	Carga (Kg)	Def. horizontal (%)	Def. vertical (%)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,09	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
2,19	0,000	0,001	3.681	0,000	0,003	0,118
3,28	0,000	0,001	7.186	0,002	0,004	0,230
4,37	0,000	0,002	7.712	0,000	0,006	0,247
5,47	0,000	0,002	8.413	0,000	0,006	0,269
6,55	0,015	0,002	8.588	0,023	0,006	0,275
7,64	0,061	0,003	8.413	0,096	0,009	0,269
8,75	0,061	0,003	9.640	0,096	0,010	0,308
9,84	0,072	0,003	10.867	0,113	0,011	0,348
10,94	0,073	0,004	11.568	0,116	0,012	0,370
12,03	0,073	0,004	13.671	0,116	0,014	0,437
13,12	0,071	0,005	17.527	0,113	0,015	0,560
14,22	0,071	0,005	19.279	0,113	0,016	0,617
15,30	0,071	0,005	19.805	0,113	0,016	0,633
16,39	0,072	0,006	19.630	0,114	0,019	0,628
17,48	0,092	0,006	11.042	0,146	0,019	0,353

Tabla 2.4 Reporte inicial del ensayo de Corte Directo CD

En el reporte se incluye la gráfica correspondiente a la relación entre el esfuerzo vs deformación del ensayo.

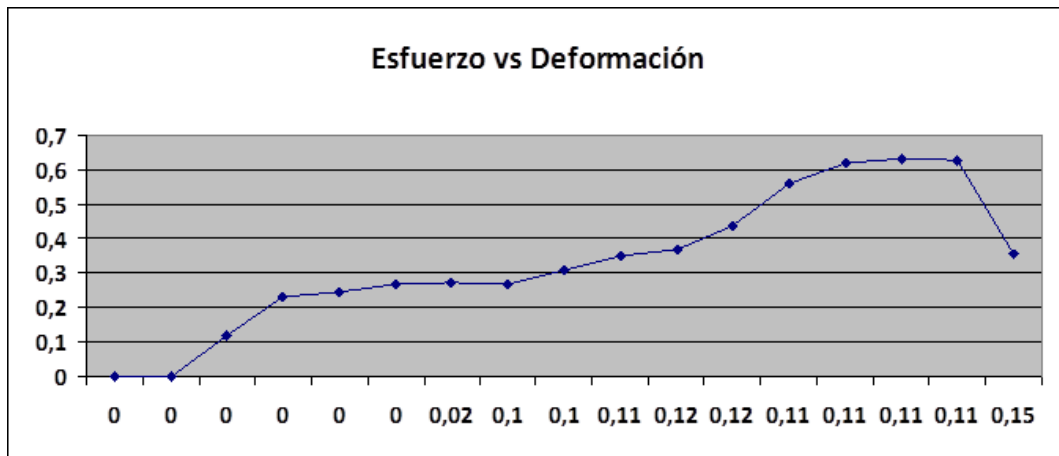


Fig. 2.7 Curva de relación esfuerzo vs deformación CD

## 2.4. Adquisición y Análisis de datos del ensayo de Consolidación

En la realización del ensayo de consolidación, se generaba un reporte con los siguientes datos:

- Datos de la probeta
- Contenido de humedad
- Variables de la probeta durante el ensayo

El esquema del reporte se muestra en la Tabla 2.5:

Unidad de ingeniería Civil y Geominería		
Laboratorio UCG		
<b>Ensayo de Corte Directo</b>		
<b>Datos de la Muestra</b>		
Diámetro del anillo:	6,3	cm
Altura del anillo:	2,54	cm
Área:	31,17	cm <sup>2</sup>
Volumen:	79,18	cm <sup>3</sup>
Altura del suelo:	2,54	cm
Peso del anillo + muestra:	668,1	gr
Peso del anillo:	505,05	gr
Peso muestra:	163,05	gr
<b>Contenido de humedad</b>		
Peso de lata + suelo hum:	142,76	
Peso de lata + suelo seco:	134,78	
Peso de lata:	66,2	
Peso del suelo seco:	68,58	
Peso del agua	7,98	
Contenido de humedad:	11,64	
<b>Carga: 4,0 Kg</b>		
<b>Datos obtenidos en el ensayo</b>		

<b>Hora</b>	<b>Deformación (mm)</b>	<b>Deformación (plg)</b>
18:47:57	0	0
18:48:03	0,905	0,036
18:48:18	0,92	0,036
18:48:48	0,93	0,037
18:49:48	0,937	0,037
18:51:48	0,944	0,037
18:55:48	0,953	0,038
19:03:48	0,958	0,038
19:18:48	0,964	0,038
19:48:48	0,969	0,038
20:48:48	0,972	0,038
22:48:48	0,974	0,038
2:48:48	0,979	0,039

**Tabla 2.5 Reporte inicial del ensayo de Consolidación**



### 3. Implementación de la propuesta

En este capítulo se detalla el procedimiento empleado para la calibración y la ampliación del sistema *Adquisición y análisis de datos para ensayos del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Técnica Particular de Loja*.

#### 3.1. Calibración

Para la calibración de los sensores de deformación y carga; se ha seguido el proceso descrito en la sección 1.2.2; y se ha tenido como referencia a los deformímetros analógicos de las máquinas en las que se realizan los ensayos. El medidor de carga patrón es de modelo LC-2 de la empresa SoilTest, con un valor de correlación de 0,9999790579 según la hoja de calibración del instrumento.

##### 3.1.1. Proceso de calibración

Para dar un ejemplo práctico del procedimiento de calibración, se utilizarán los datos tomados de la celda de carga. Primeramente, se realizó un ensayo para las siguientes condiciones:

<b>Constante de ajuste inicial</b>	$0,7257 * 2,2046 = 1,6$
<b>Presión de confinamiento</b>	1 Kg / cm <sup>2</sup>

**Tabla 3.1 Condiciones de influencia en la calibración.**

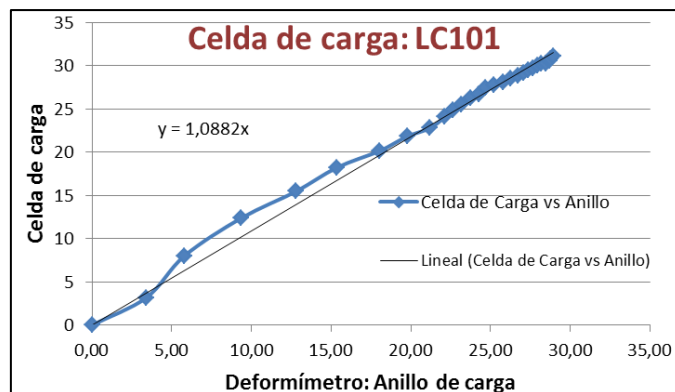
La constante de ajuste inicial, es la constante que en un comienzo se encontraba configurada en la aplicación como parte de la etapa de conversión del valor entregado por el módulo hacia un valor en unidades del sistema internacional de medidas, SI; específicamente a kg, es decir la constante 1,6 es la combinación de la constante de corrección (calibración) y el factor de conversión de libras a kg (2,2046). Con las condiciones de la Tabla 3.1 se ha obtenido los siguientes datos:

<b>Tiempo (hh:mm:ss)</b>	<b>Carga (Kg)</b>	<b>Anillo de carga (Kg)</b>	<b>Error relativo (%)</b>
15:57:24	0	0	0,00
15:57:35	3,177	4,00	20,58
15:57:50	7,997	6,80	17,60
15:58:04	12,378	11,00	12,53
15:58:16	15,445	15,00	2,97
15:58:29	18,184	18,00	1,02
15:58:41	20,156	21,20	4,92

15:58:52	21,799	23,20	6,04
15:59:03	22,785	24,90	8,49
15:59:14	24,099	26,00	7,31
15:59:25	24,866	26,60	6,52
15:59:36	25,523	27,20	6,17
15:59:47	26,29	27,90	5,77
15:59:58	26,728	28,50	6,22
16:00:08	27,386	29,00	5,57
16:00:18	27,714	29,60	6,37
16:00:29	28,043	30,30	7,45
16:00:39	28,481	30,80	7,53
16:00:49	28,81	31,40	8,25
16:00:59	29,138	31,80	8,37
16:01:09	29,467	32,10	8,20
16:01:19	29,686	32,50	8,66
16:01:29	30,015	32,80	8,49
16:01:40	30,234	33,10	8,66
16:01:50	30,234	33,40	9,48
16:02:00	30,562	33,70	9,31
16:02:11	30,781	33,80	8,93
16:02:20	31,11	34,00	8,50

**Tabla 3.2 Datos de carga para la calibración.**

Entonces, se procede a graficar los datos obtenidos (Fig. 3.1), teniendo los valores leídos mediante el anillo de carga, en el eje de las abscisas; mientras que los valores leídos por la aplicación que realiza el procesamiento de los datos del ensayo, se colocan en el eje de las ordenadas. Esto con el fin de obtener una constante de calibración que corresponderá a la pendiente de la línea de tendencia de los datos graficados y luego incluirla como factor de corrección a aplicarse a la lectura del transductor correspondiente.



**Fig. 3.1 Calibración de la celda de carga**

En este proceso, lo que se busca es que la pendiente de los datos, sea lo más cercana a uno, es decir que los valores de la celda de carga (eje y) correspondan a los valores leídos en el anillo (eje x).

Es importante señalar que la constante que se lee en la figura 3.1 ( $y=1,0882x$ ), solamente refleja la relación entre las variables analizadas para ese experimento en esas condiciones específicas, cabe recalcar que esta constante depende de las condiciones iniciales de la muestra; luego de realizar algunos ensayos con similares condiciones y de analizar el comportamiento de los parámetros incluidos para la calibración, se seleccionará una constante de mejor ajuste que finalmente demuestre el menor error en los valores sensados.

**3.1.2. Selección de constantes de corrección para los transductores**

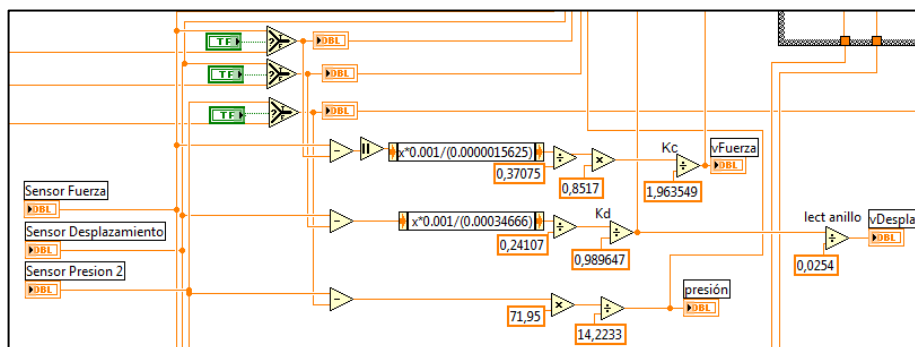
Luego de analizar detenidamente los resultados de los ensayos realizados con el fin de calibrar los sensores, se obtiene las siguientes constantes:

Transductor	Constante inicial	Constante final [K]
Carga	1,6	1,963549
Deformación	1	0,989647
Presión	1	1

*Tabla 3.3 Constantes de calibración*

**3.1.3. Implementación de constantes de calibración en la aplicación**

Para la calibración de los transductores, como se puede observar en la Fig. 3.2, se ha agregado en el dividendo de las funciones denominadas como “Kc” y “Kd” las constantes de corrección para los sensores de carga y de deformación respectivamente. Recalco la constante en la función “Kc” es la combinación de la constante de calibración y el factor de conversión de libras a Kg (2,2046).



*Fig. 3.2 Implementación de constantes de calibración*

### 3.2. Ensayo Triaxial UU

Para el ensayo Triaxial UU, se ha agregado lo siguiente:

Análisis de datos: Gráficas de “Esfuerzo vs Deformación unitaria” concatenada correspondiente a cada probeta.

Círculo de Mohr.

Emisión de reportes: Hoja con los datos medidos en la cámara de cada ensayo.

Hoja con las gráficas del ensayo y valores de cohesión [c] y ángulo de fricción [ $\Phi$ ].

Hoja con datos de las tres probetas.

Para la etapa de análisis de datos de los ensayos Triaxial, se automatizó el proceso descrito en la sección 1.3, que corresponde a la metodología mediante la cual se obtiene el círculo de Mohr.

**3.2.1. Análisis de datos**

El flujograma que describe el proceso de la etapa del análisis de datos para los ensayos Triaxial UU y CU se indica mediante la Fig. 3.3 y la simbología del mismo se describe en la Tabla 3.4.

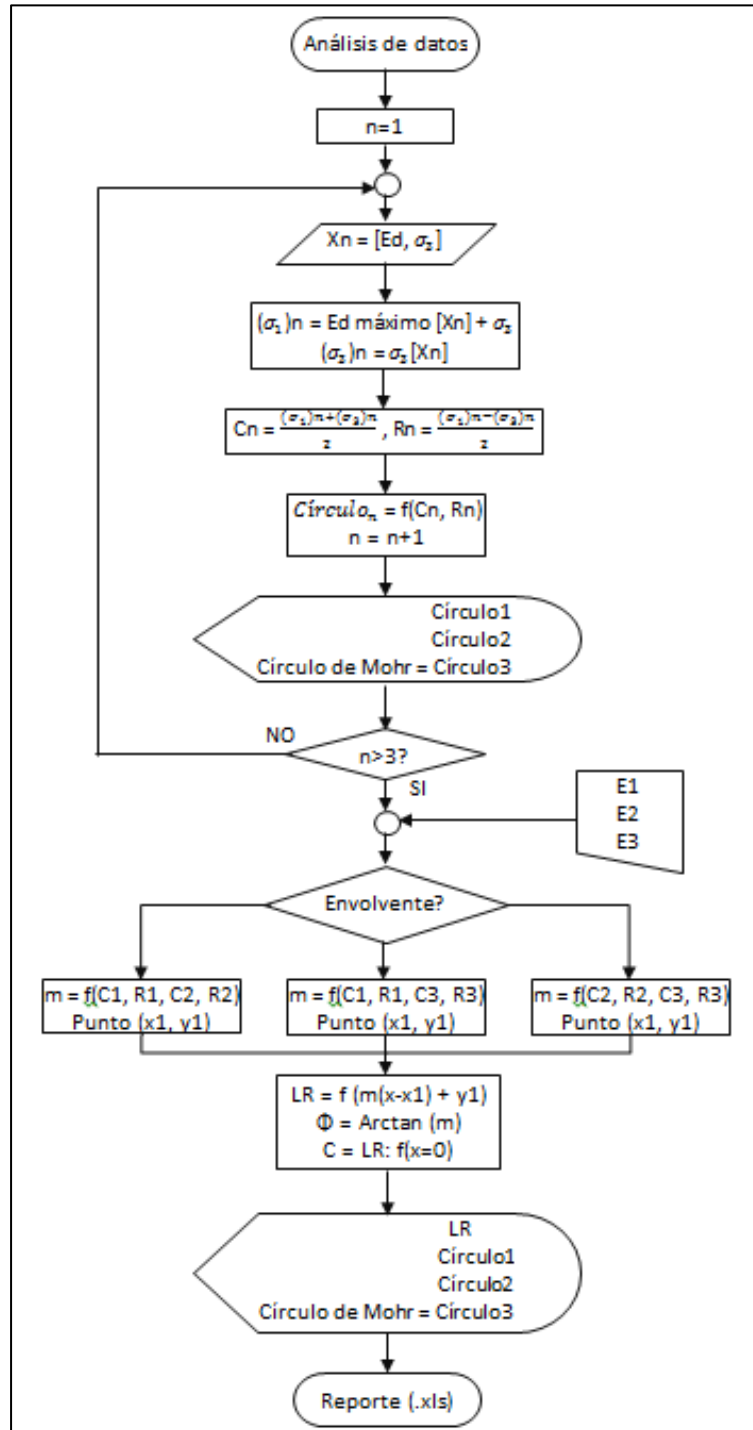


Fig. 3.3 Flujograma de la etapa de análisis de datos, ensayo triaxial UU

Para el análisis de datos, al culminar la obtención de los datos de ensayo de las tres probetas, es necesario calcular los parámetros como centro y radio para los círculos de Mohr, correspondientes a las tres probetas.

$$R = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad 3.1$$

$$C = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad 3.2$$

Teniendo el valor máximo del esfuerzo vertical (Ecuación 1.14),  $\sigma_1$ :

$$\sigma_1 = \Delta p + \sigma_3$$

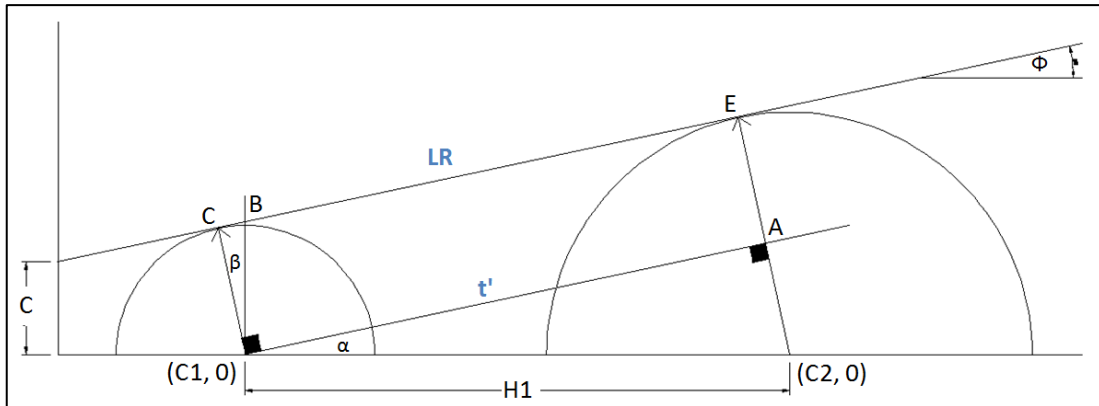
Donde: R = Radio  
 C = Centro  
 $\sigma_3$  = El esfuerzo principal menor, y es igual a la presión de la cámara.  
 $\Delta p$  = Carga unitaria axial en la falla. (También denominado Esfuerzo desviador máximo,  $\sigma$ )

Símbolo	Descripción
Xn	Datos del ensayo n
n	Número del ensayo
Ed	Registro del esfuerzo desviador
$\sigma_3$	Presión lateral
$\sigma_1$	Tensión principal mayor
Cn	Centro del círculo del ensayo n
Rn	Radio del círculo del ensayo n
En	Envolvente (n = 1, 2, 3)
m	Pendiente de la tangente
LR	Línea tangente
$\Phi$	Ángulo de fricción interna
C	Valor de cohesión

**Tabla 3.4 Simbología del flujograma para los ensayos triaxial**

Y a continuación mediante un control (“Envolvente” en la aplicación) se selecciona una opción para la recta tangente (envolvente de resistencia, LR en el flujograma) a dos círculos, que consecuentemente conduce a la determinación de la pendiente de la recta tangente, y mediante esta pendiente se calcula la ecuación que la describe matemáticamente y como resultado de esta etapa obtendremos el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) y el valor de cohesión (C), y las gráficas. El

procedimiento matemático [10] para el cálculo de la envolvente de resistencia se describe a continuación:



**Fig. 3.4 Determinación de la recta tangente**

Primera es necesaria la determinación de la pendiente de la recta tangente:

Teniendo:  $\overline{C_2 - E} = \text{Radio } 2 = R_2$   
 $\overline{A - E} = \overline{C_1 - C} = \text{Radio } 1 = R_1$   
 $LR \parallel t'$   
 $m_{LR} = m_{t'} = m$   
 $H_1 = \text{Hipotenusa del triángulo } C_1C_2A$   
 $H_2 = \text{Hipotenusa del triángulo } C_1BC$   
 $t' = m$

Entonces:  $\tan(\alpha) = m = \frac{R_2 - R_1}{t'}$  del triángulo  $C_1C_2A$

Teorema de Pitágoras en el triángulo  $C_1C_2A$ :  $H^2 = t'^2 + (R_2 - R_1)^2$

$$t' = \sqrt{H_1^2 - (R_2 - R_1)^2}$$

$$H_1 = C_2 - C_1$$

$$t' = \sqrt{(C_2 - C_1)^2 - (R_2 - R_1)^2}$$

$$m = \frac{R_2 - R_1}{\sqrt{(C_2 - C_1)^2 - (R_2 - R_1)^2}}$$

A continuación es necesaria la determinación de la ecuación de la recta tangente, LR:

Mediante:  $y = m(x - x_1) + y_1$

Se determina un punto en LR, Punto (x1, y1):

Teniendo:  $\overline{C1 - B} \perp \overline{C2 - C1}$ , y  
 $\overline{C1 - C} \perp \vec{r}$

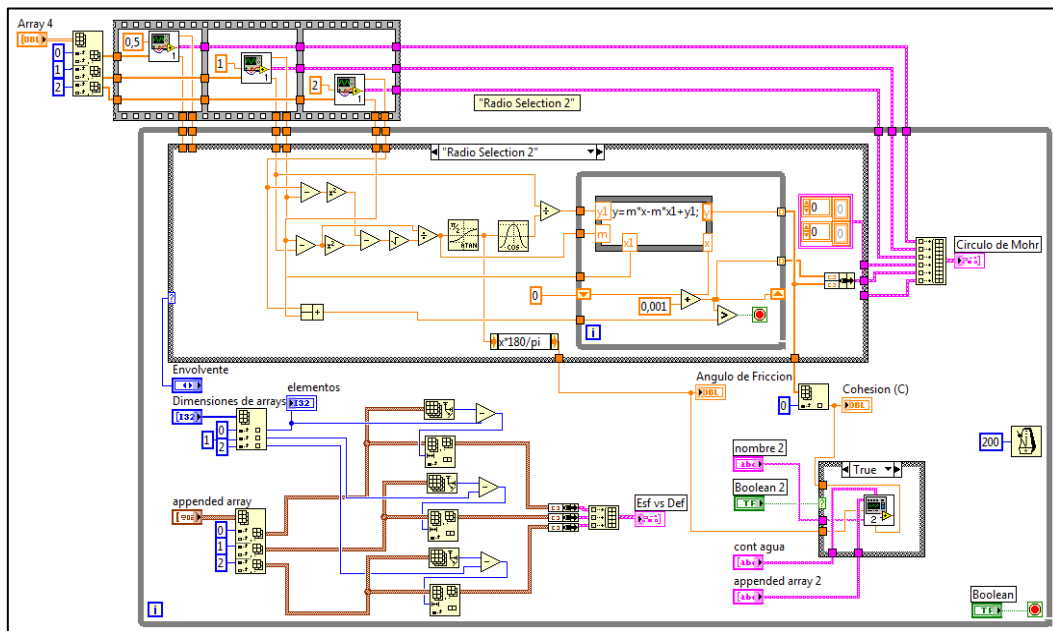
Entonces:  $\angle CC1B = \angle C2C1A$ ,  $\alpha = \beta$

$$R_1 = H_2 * \cos \beta$$

$$H_2 = \frac{R_1}{\cos \alpha}$$

Teniendo: Punto (x1, y1) = (C1, H2)

El código fuente (diagrama de bloques) y la interfaz de la aplicación encargada del análisis y la presentación de los resultados del ensayo se indica mediante la Fig. 3.5 y la Fig. 3.6 respectivamente.



**Fig. 3.5 Análisis de datos de los ensayos triaxial**

Luego de finalizar la realización del ensayo, en la aplicación DAQ, corresponde el análisis de los datos de las tres probetas sometidas a diferente presión que mediante una ventana emergente, se emite el último reporte con los resultados del ensayo, esto es: el ángulo de fricción interna ( $\Phi$ ) y el valor de cohesión (C) de suelo analizado con su respectivo diagrama del círculo de Mohr, además de la gráfica del *esfuerzo vs deformación de las tres probetas* y el *círculo de Mohr* (Fig. 3.6).



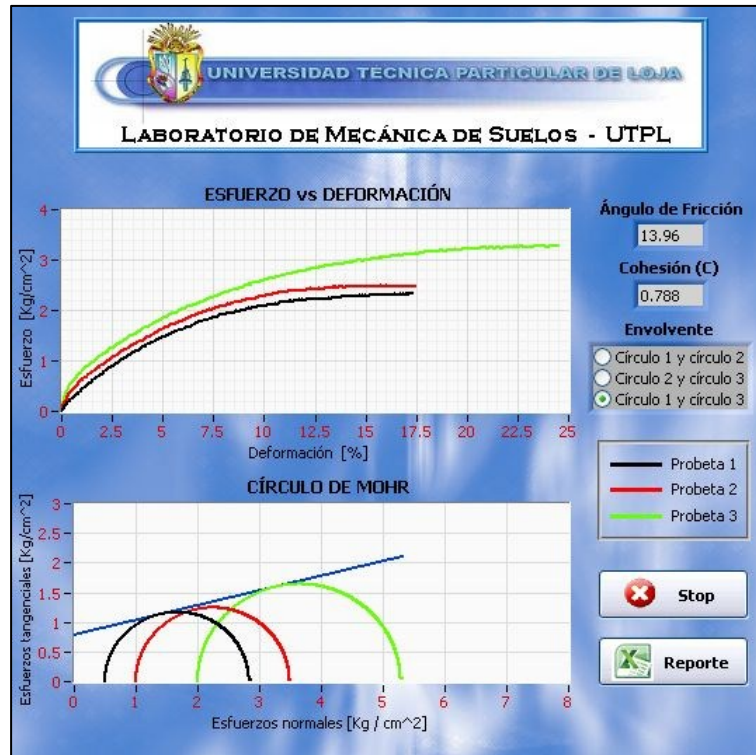


Fig. 3.6 Gráficas del ensayo triaxial UU

### 3.2.2. Emisión de reportes

El reporte total para este ensayo consta de dos tipos de reportes parciales; dando un total de 5 hojas con los datos de todo el ensayo.

Reporte parcial: Una hoja con los datos calculados y medidos en la cámara de cada ensayo (tres ensayos, total 3 hojas. Tabla 3.5).

Reporte parcial: Primera hoja con gráficas del ensayo, y valores de cohesión  $[c]$  y ángulo de fricción  $[\Phi]$  (Tabla 3.6).

Segunda hoja con datos de las tres probetas (Tabla 3.7).

A continuación se presenta el reporte parcial correspondiente a “datos medidos en la cámara de cada ensayo”; los datos en color azul serán los que el laboratorista debe llenar, al finalizar el ensayo. Este reporte se genera automáticamente al detener la adquisición de los datos (al pulsar el botón *stop* de la aplicación en el PC). Este reporte contiene:

- Datos generales del ensayo: Proyecto, obra, responsable del laboratorio, entre otros.
- Datos específicos como: presión de confinamiento, lectura de los sensores y cálculos.

- Resultados parciales: esfuerzo desviador [Kg/cm<sup>2</sup>] y esfuerzo principal [Kg/cm<sup>2</sup>].

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil					
Laboratorio de mecánica de suelos - UTPL					
ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU					
PROYECTO:	Estudio de mecánica de suelos			NORMA:	ASTM D 2850
OBRA:	Adecuación para laboratorios			ENSAYO:	U-U
LOCALIZACIÓN:	Predios de la UTPL			TIPO PROB.:	Inalter/Cilind
INSTITUCIÓN:	U T P L			CALICATA No:	P1
FISCALIZACIÓN:				PROFUND.:	0.8 a 1.0 [m]
SOLICITADO:	Unidad de construcciones			REALIZADO:	Diego Maza
FECHA:	9 julio/12			INFORME:	Lab-UTPL-013
<b>Hoja 3 de 5: REGISTRO DEL ENSAYO</b>					
PROBETA No.:			< - - - -	1	- - - - >
Presión de conf. (Kg/cm <sup>2</sup> ):				0,5	
Tiempo	Carga	Deform.	Deform.	Área	Tensión
[hh:mm:ss]	[Kg]	[mm]	Unit. [%]	Corregida [cm <sup>2</sup> ]	Desviante [Kg / cm <sup>2</sup> ]
10:21:16	0	0	0	18,221	0
10:21:25	2,115	0,014	0,011	18,224	0,116
10:21:41	5,383	0,086	0,072	18,235	0,295
10:21:50	7,113	0,139	0,116	18,243	0,39
10:22:07	9,228	0,288	0,24	18,265	0,505
10:22:15	11,439	0,394	0,328	18,282	0,626
10:22:32	15,957	0,64	0,534	18,319	0,871
10:22:40	18,36	0,75	0,625	18,336	1,001
10:22:57	26,915	1,022	0,852	18,378	1,465
10:23:05	29,511	1,143	0,954	18,397	1,604
10:23:22	35,951	1,404	1,171	18,437	1,95
10:23:30	38,643	1,521	1,269	18,456	2,094
10:23:47	43,642	1,811	1,51	18,501	2,359
10:23:55	46,333	1,962	1,636	18,525	2,501
10:24:13	51,236	2,289	1,909	18,576	2,758
10:24:22	53,158	2,461	2,053	18,603	2,857
10:24:39	53,927	2,821	2,353	18,661	2,89
10:24:48	54,792	3,007	2,508	18,69	2,932
10:25:05	57,195	3,413	2,846	18,755	3,05
10:25:14	58,445	3,604	3,006	18,786	3,111
10:25:32	59,31	4,002	3,338	18,851	3,146
10:25:40	60,848	4,204	3,506	18,884	3,222
10:25:58	61,137	4,652	3,88	18,957	3,225
10:26:07	63,059	4,869	4,061	18,993	3,32
10:26:24	66,904	5,314	4,432	19,066	3,509
10:26:31	71,903	5,474	4,566	19,093	3,766
RESULTADOS:		Esf. Desv. [Kg / cm <sup>2</sup> ] =			3,766
		Esf. Principal [Kg / cm <sup>2</sup> ] =			4,27
<b>OBSERVACIONES:</b>					
<hr/> <b>Ing. Angel Tapia Ch.</b> <b>RESPONSABLE DEL AREA DE LABORATORIO</b>					

**Tabla 3.5 Reporte parcial triaxial UU –Datos medidos y calculados-**

Luego de realizar el ensayo para las tres probetas se puede generar el segundo reporte parcial que consta de dos hojas:

Primera hoja con: Gráficas del ensayo.  
Valores de cohesión [c] y ángulo de fricción [Φ].

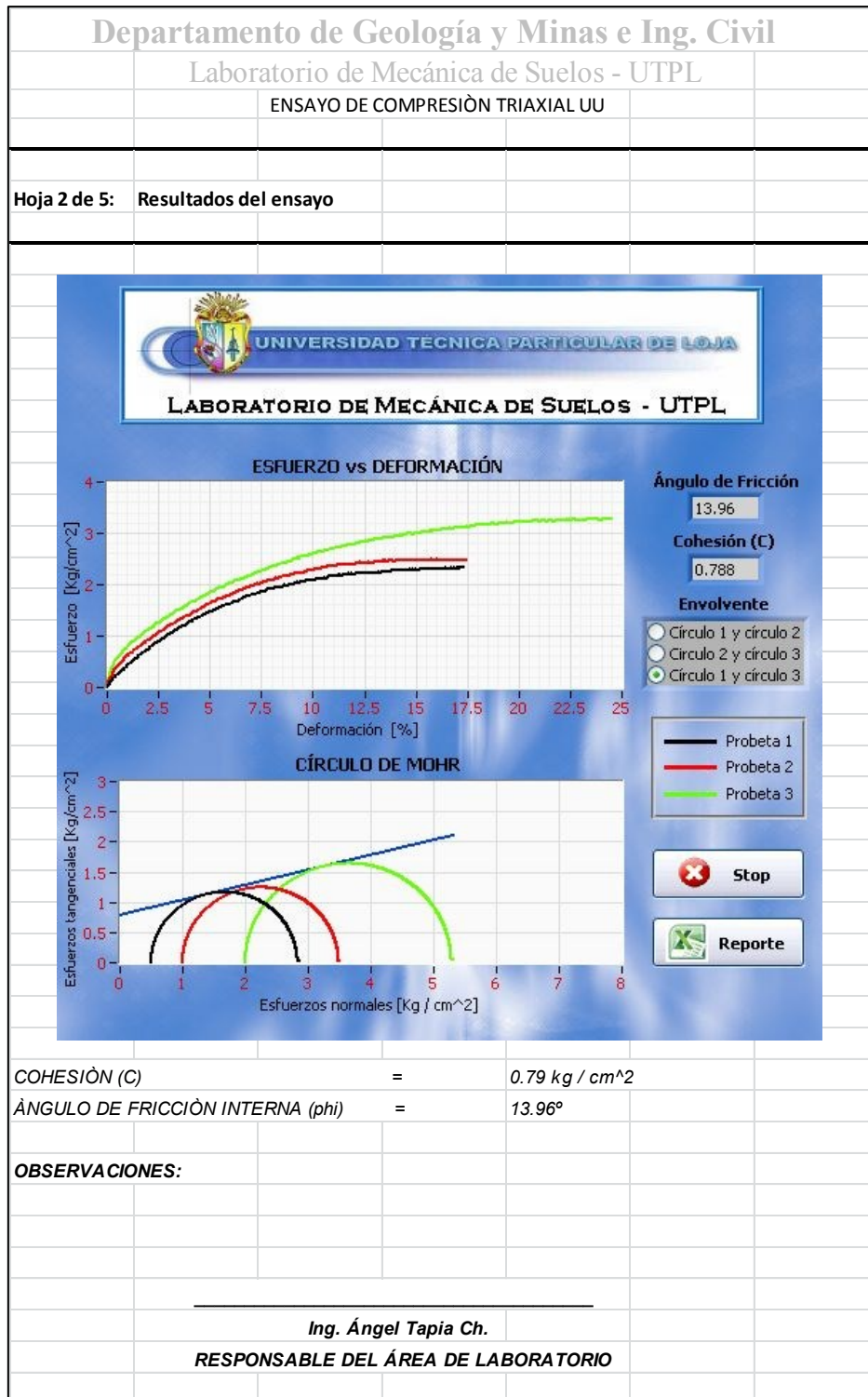


Tabla 3.6 Reporte parcial triaxial UU -Resultados de ensayo-

Segunda hoja con datos de las tres probetas. Los datos en color azul serán los que el laboratorista deba llenar.

<b>Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil</b>				
<b>Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL</b>				
<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU</b>				
<b>PROYECTO:</b>	<i>Estudio de mecánica de suelos para laboratorios</i>			
<b>OBRA:</b>	<i>Adecuación para laboratorios</i>		<b>NORMA:</b>	<i>ASTM D-2850</i>
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	<i>Predio de la UTPL</i>		<b>ENSAYO:</b>	<i>U-U</i>
<b>INSTITUCIÓN:</b>	<i>U T P L</i>		<b>CALICATA No:</b>	<i>P1</i>
<b>FISCALIZACIÓN:</b>			<b>PROFUND.:</b>	<i>0,8 a 1,0 [m]</i>
<b>SOLICITADO:</b>	<i>Unidad de construcciones</i>		<b>REALIZADO:</b>	<i>A. T.</i>
<b>FECHA:</b>	<i>15 marzo/12</i>		<b>INFORME:</b>	<i>Lab UTPL ---</i>
<b>Hoja 1 de 5: DATOS GENERALES DE LAS PROBETAS</b>				
<b>PROBETA No.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
<b>Diametro:</b> (cm)	3,53	3,52	3,52	
<b>Altura:</b> (cm)	8,02	8,11	7,78	
<b>Área corregida:</b> (cm <sup>2</sup> )	9,77	9,73	9,73	
<b>Volumen:</b> (cm <sup>3</sup> )	78,34	78,92	75,71	
<b>Peso:</b> (gr)	166,05	166,13	157,57	
<b>CONTENIDO DE AGUA</b>				
<b>Peso Seco:</b> (gr)	134,78	134,78	134,78	
<b>Peso Cap.:</b> (gr)	66,2	66,2	66,2	
<b>W(%):</b>	11,76	11,76	11,76	
<b>DENSIDADES</b>				
<b>Natural:</b> (gr/cm <sup>3</sup> )	2,12	2,11	2,08	
<b>Seca:</b> (gr/cm <sup>3</sup> )	1,9	1,88	1,86	
<b>OBSERVACIONES:</b>				
<hr/> <b>Ing. Ángel Tapia Ch.</b> <b>RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO</b>				

**Tabla 3.7 Reporte parcial triaxial UU -Datos de probetas-**

### 3.3. Ensayo Triaxial CU

Para el ensayo Triaxial CU, se ha agregado lo siguiente:

Análisis de datos: Gráficas de “Esfuerzo vs Deformación unitaria” concatenada correspondiente a cada probeta.

Círculo de Mohr mediante esfuerzos totales.

Círculo de Mohr mediante esfuerzos efectivos.

Emisión de reportes: Hoja con los datos medidos en la cámara de cada ensayo.

Hoja con las gráficas del ensayo y valores de cohesión [c] y ángulo de fricción [ $\Phi$ ] para esfuerzos totales y esfuerzos efectivos.

Hoja con datos de las tres probetas.

#### 3.3.1. Análisis de datos

Para el análisis de datos de este ensayo se utiliza el procedimiento mostrado en el flujograma de la Fig. 3.3; la diferencia en este ensayo, radica que como resultado se obtienen dos tipos de valores para los parámetros de Cohesión y fricción, estos parámetros se calculan para Esfuerzos totales (corresponde al procedimiento del ensayo Triaxial UU) y Esfuerzos efectivos (Mediante presiones efectivas). Para los resultados mediante esfuerzos efectivos, la obtención del ángulo de fricción interna CU y el valor de cohesión CU, la presión que se toma en cuenta en los cálculos es la diferencia de la presión lateral  $\sigma_3$  menos la presión de poros  $\mu_f$ . Obteniendo como resultado de esta diferencia a la presión lateral efectiva.

Al finalizar la realización del ensayo, corresponde el análisis de los datos de tres probetas sometidas a diferente presión, se emite el último reporte con los resultados del ensayo, esto es: las gráficas de “esfuerzo vs deformación de las tres probetas” y “círculo de Mohr” para esfuerzos totales y esfuerzos efectivos (Fig. 3.7). También se incluye en este reporte, como resultados los valores de cohesión [c] y ángulo de fricción [ $\Phi$ ] obtenidos a partir del círculo de Mohr.

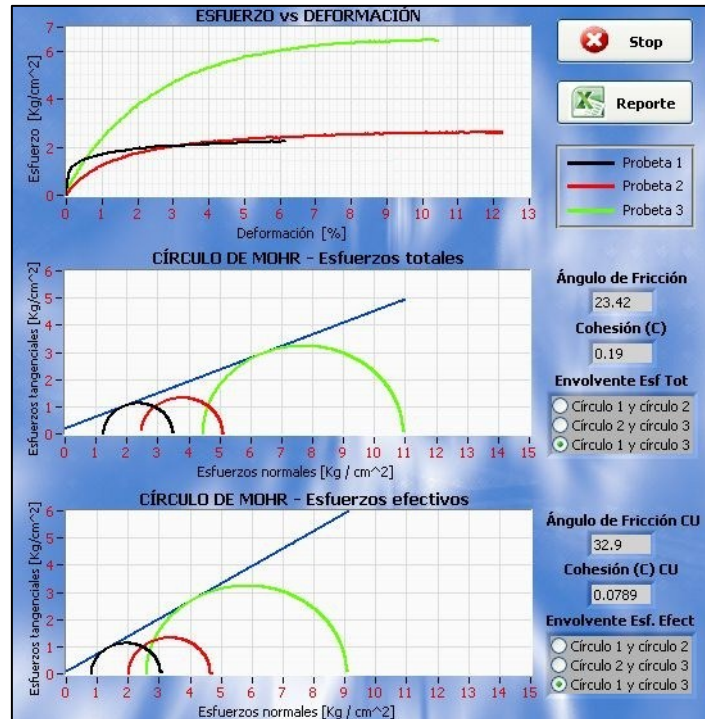


Fig. 3.7 Gráficas del ensayo triaxial CU

### 3.3.2. Emisión de reportes

El reporte total para este ensayo consta de dos tipos de reportes parciales; dando un total de 5 hojas con los datos de todo el ensayo:

Reporte parcial: Una hoja con los datos calculados y medidos en la cámara de cada ensayo (tres ensayos, total 3 hojas. Tabla 3.8).

Reporte parcial: Primera hoja con gráficas del ensayo y valores de cohesión [c] y ángulo de fricción [ $\Phi$ ] (Tabla 3.9).

Segunda hoja con datos de las tres probetas (Tabla 3.10).

A continuación se presenta el reporte parcial correspondiente a “datos medidos en la cámara de cada ensayo”; los datos en color azul serán los que el laboratorista debe llenar, al finalizar el ensayo. Este reporte se genera automáticamente al detener la adquisición de los datos (al pulsar el botón stop de la aplicación en el PC). Este reporte contiene:

- Datos generales del ensayo: Proyecto, obra, responsable del laboratorio, entre otros.
- Datos específicos como: presión de confinamiento, lectura de los sensores y cálculos,

- Resultados parciales: esfuerzo desviador en la falla [Kg/cm<sup>2</sup>], presión efectiva principal (menor) [Kg/cm<sup>2</sup>] y presión de poros en la falla.

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil								
Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CU								
PROYECTO:	Estudio de mecánica de suelos para laboratorios					NORMA:	ASTM D - -	
OBRA:	Adecuación para laboratorios					ENSAYO:	C-U	
LOCALIZACIÓN:	Predios de la UTPL					TIPO PROB.:	Remold/Cilind	
INSTITUCIÓN:	UTPL					CALICATA No.:	P1	
FISCALIZACIÓN:						PROFUND.:	0.8 a 1.0 [m]	
SOLICITADO:	Unidad de construcciones					REALIZADO:	Diego Maza	
FECHA:	24 julio/12					INFORME:	Lab-UTPL---	
<b>Hoja 5 de 5: REGISTRO DEL ENSAYO</b>								
PROBETA No.:						< - - - -	3	- - - - >
Presión de conf. [Kg/cm <sup>2</sup> ]:							4,464	
Tiempo	Carga	Deform.	Presión	Deform.	Área	sig1 - sig3	Presión	
hh:mm:ss	[Kg]	[mm]	de Poros	Unit.	Corregida	[Kg / cm <sup>2</sup> ]	Efectiva	
			[Kg / cm <sup>2</sup> ]	[%]	[cm <sup>2</sup> ]		[Kg / cm <sup>2</sup> ]	
18:33:46	0	0	0,545	0	8,718	0	3,919	
18:34:08	5,588	0,124	0,581	0,173	8,733	0,64	3,886	
18:34:21	9,509	0,254	0,621	0,357	8,749	1,087	3,849	
18:34:40	16,567	0,507	0,69	0,711	8,78	1,887	3,782	
18:34:56	22,057	0,773	0,753	1,084	8,813	2,503	3,722	
18:35:12	26,567	1,016	0,816	1,425	8,844	3,004	3,66	
18:35:28	30,88	1,28	0,877	1,795	8,877	3,479	3,604	
18:35:43	34,703	1,525	0,943	2,139	8,908	3,896	3,541	
18:35:58	37,841	1,778	0,997	2,493	8,941	4,232	3,49	
18:36:13	40,88	2,034	1,064	2,853	8,974	4,555	3,427	
18:36:27	43,526	2,302	1,12	3,228	9,009	4,832	3,372	
18:36:41	45,781	2,56	1,18	3,59	9,043	5,063	3,315	
18:36:53	47,84	2,798	1,231	3,924	9,074	5,272	3,266	
18:37:06	49,408	3,069	1,279	4,304	9,11	5,424	3,219	
18:37:20	51,173	3,319	1,333	4,656	9,144	5,597	3,167	
18:37:32	52,839	3,574	1,384	5,013	9,178	5,757	3,119	
18:37:44	53,82	3,828	1,431	5,37	9,213	5,842	3,074	
18:37:55	54,996	4,07	1,478	5,708	9,246	5,948	3,03	
18:38:07	55,977	4,337	1,516	6,083	9,283	6,03	2,994	
18:38:18	56,859	4,585	1,554	6,43	9,317	6,103	2,956	
18:38:30	57,741	4,832	1,596	6,777	9,352	6,174	2,917	
18:38:41	58,525	5,086	1,631	7,134	9,388	6,234	2,884	
18:38:52	59,212	5,343	1,665	7,493	9,424	6,283	2,852	
18:39:03	59,8	5,603	1,698	7,858	9,461	6,32	2,822	
18:39:13	60,29	5,861	1,73	8,22	9,499	6,347	2,791	
18:39:23	60,878	6,091	1,757	8,543	9,532	6,387	2,766	
18:39:34	61,074	6,359	1,786	8,918	9,572	6,381	2,739	
18:39:45	61,662	6,622	1,813	9,288	9,611	6,416	2,714	
18:39:55	61,858	6,858	1,836	9,619	9,646	6,413	2,694	
18:40:11	62,741	7,201	1,866	10,1	9,697	6,47	2,667	
18:40:17	62,643	7,377	1,88	10,346	9,724	6,442	2,653	
<b>RESULTADOS:</b>								
			<b>En la falla</b>					
			1,866		6,47	2,667		
<b>OBSERVACIONES:</b>								
_____ Ing. Angel Tapia Ch. RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO								

Tabla 3.8 Reporte parcial triaxial CU –Datos medidos y calculados-

Luego de realizar el ensayo para las tres probetas se puede generar el segundo reporte parcial que consta de dos hojas:

Primera hoja con: Gráficas del ensayo  
Valores de cohesión [c] y ángulo de fricción [Φ].

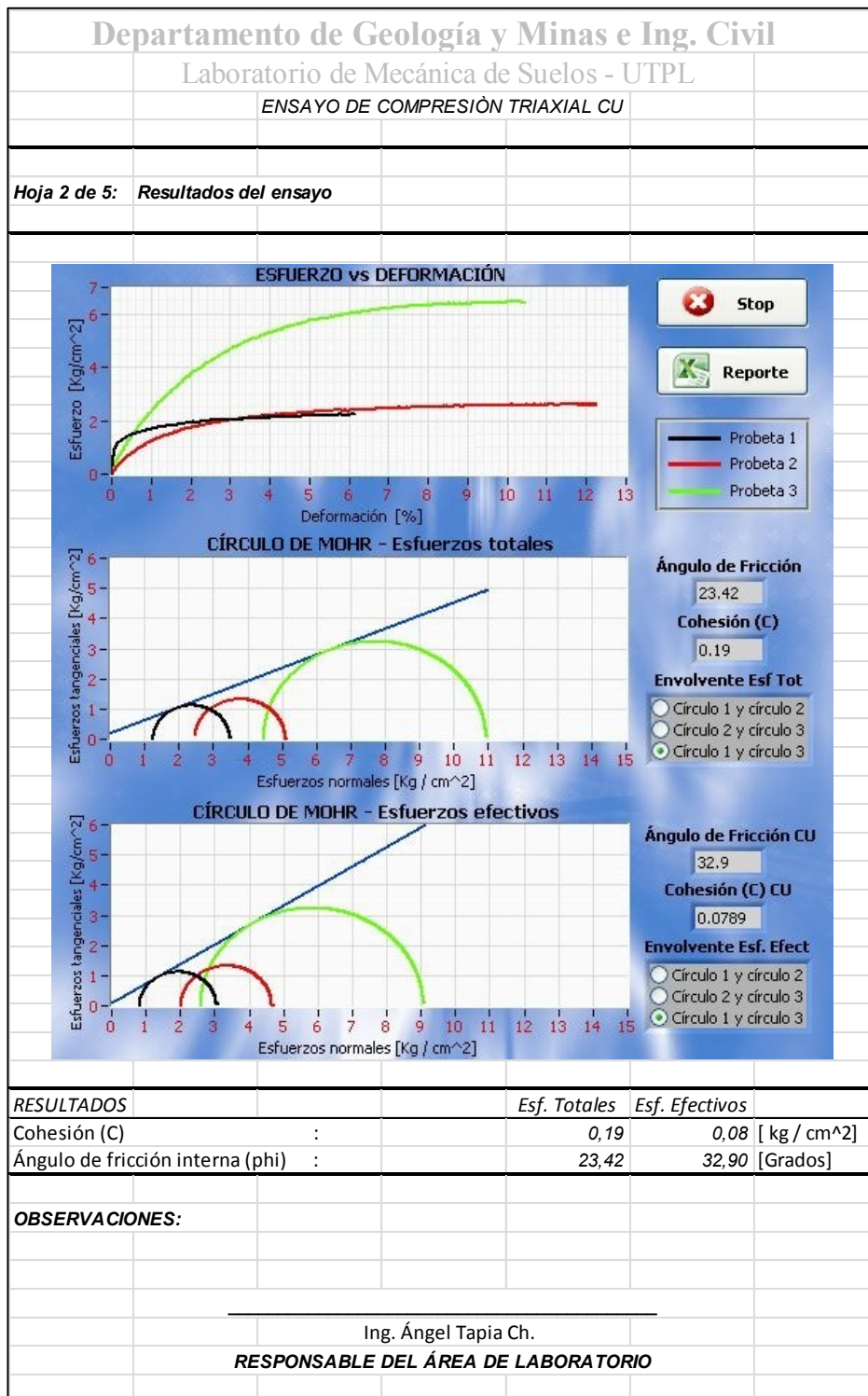


Tabla 3.9 Reporte parcial triaxial CU -Resultados de ensayo-





### 3.4. Ensayo de corte directo CD

Para el ensayo de corte directo CD, se ha agregado lo siguiente:

Análisis de datos: Gráficas de “Esfuerzo vs Deformación unitaria” concatenada correspondiente a cada probeta.

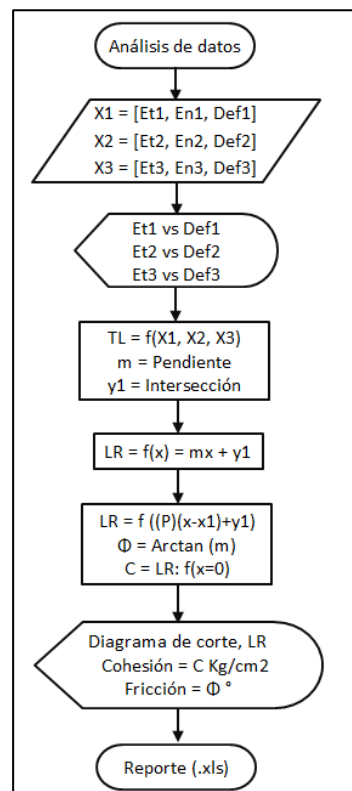
Diagrama de corte para esfuerzos máximos.

Emisión de reportes: Hoja con los datos medidos en la cámara de cada ensayo.

Hoja con las gráficas del ensayo y valores de cohesión [c] y ángulo de fricción [ $\Phi$ ].

Hoja con datos de las tres probetas.

#### 3.4.1. Análisis de datos



**Fig. 3.8** Flujograma de la etapa de análisis de datos, ensayo Corte Directo

Para la obtención de los parámetros de resistencia al corte en este ensayo, se necesitan los valores de las tres probetas analizadas para graficar la relación del esfuerzo vs deformación de cada probeta en un solo plano; y para realizar el diagrama de corte se necesitan los valores de la presión de carga (Esfuerzos normales) y el esfuerzo máximo cortante (Esfuerzo tangencial) a la que han sido

sometidas cada probeta. Con los tres puntos ubicados en el diagrama, se procede a calcular la línea que describe la tendencia lineal a través de los puntos.

En la aplicación desarrollada para este fin se hace uso de un subVI, denominado “Linear Fit VI”, el cual nos entrega los valores de la pendiente e intersección de la recta que describe la tendencia lineal de los puntos (Esfuerzos normales, Esfuerzo tangencial) de cada probeta. El flujograma que describe el proceso de la etapa del análisis de datos para el ensayo Corte Directo se indica mediante la Fig. 3.8.

Símbolo	Descripción
Xn	Datos del ensayo n
n	Número del ensayo
Etn	Esfuerzo tangencial máximo
Enn	Esfuerzo normal
TL	Tendencia lineal
m	Pendiente de la recta TL
Y1	Intersección de TL en el eje y
LR	Línea de resistencia
$\Phi$	Ángulo de fricción interna
C	Valor de cohesión

Tabla 3.11 Simbología del flujograma para el ensayo Corte directo

Obteniendo así el código fuente indicado mediante la Fig. 3.9, que es el encargado de presentar mediante la interfaz (Fig. 3.10) los resultados del ensayo.

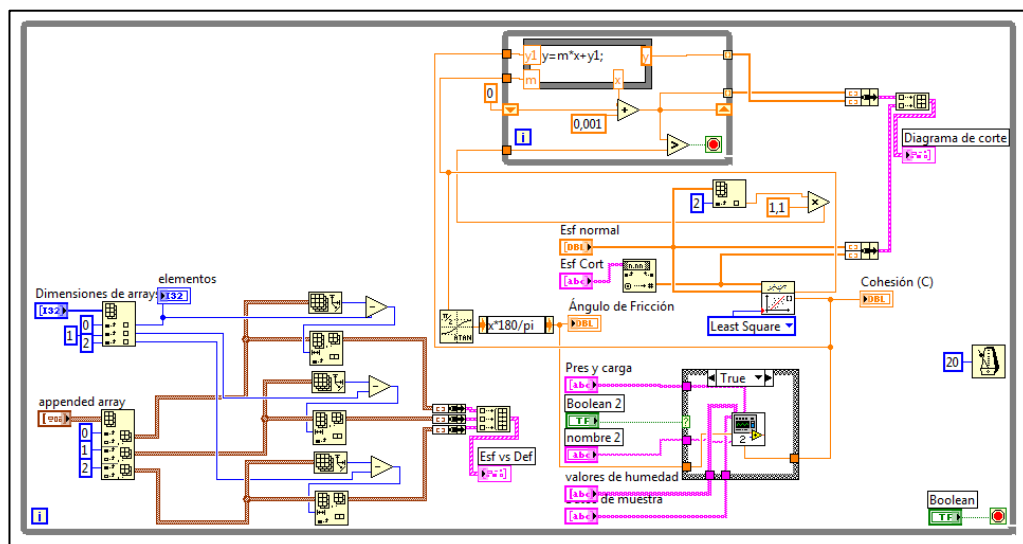


Fig. 3.9 Análisis de datos del ensayo de corte directo

Luego del análisis de los datos de las tres probetas sometidas a diferente presión, se emite mediante una ventana emergente, el último reporte con los

resultados del ensayo, esto es: las gráficas de “esfuerzo vs deformación de las tres probetas” y el “diagrama de corte” (Fig. 3.10). También se incluye en este reporte, como resultados, los valores de cohesión  $[c]$  y ángulo de fricción  $[\Phi]$ , obtenidos a partir del diagrama de corte.

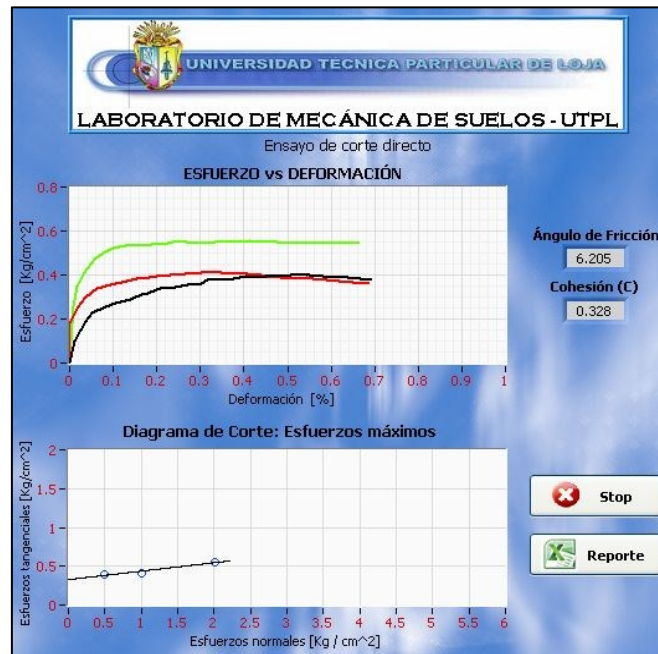


Fig. 3.10 Gráficas del ensayo de corte directo CD

### 3.4.2. Emisión de reportes

El reporte total para este ensayo consta de dos tipos de reportes parciales; dando un total de 5 hojas con los datos de todo el ensayo:

Reporte parcial: Una hoja con los datos calculados y medidos en la cámara de cada ensayo (tres ensayos, total 3 hojas. Tabla 3.12).

Reporte parcial: Primera hoja con gráficas del ensayo y valores de cohesión  $[c]$  y ángulo de fricción  $[\Phi]$  (Tabla 3.13).

Segunda hoja con datos de las tres probetas (Tabla 3.14).

A continuación se presenta el reporte parcial correspondiente a “datos medidos en la cámara de cada ensayo”; los datos en color azul serán los que el laboratorista debe llenar, al finalizar el ensayo. Este reporte se genera automáticamente al detener la adquisición de los datos (al pulsar el botón stop de la aplicación en el PC). Este reporte contiene:



Primera hoja con: Gráficas del ensayo  
Valores de cohesión [c] y ángulo de fricción [Φ].

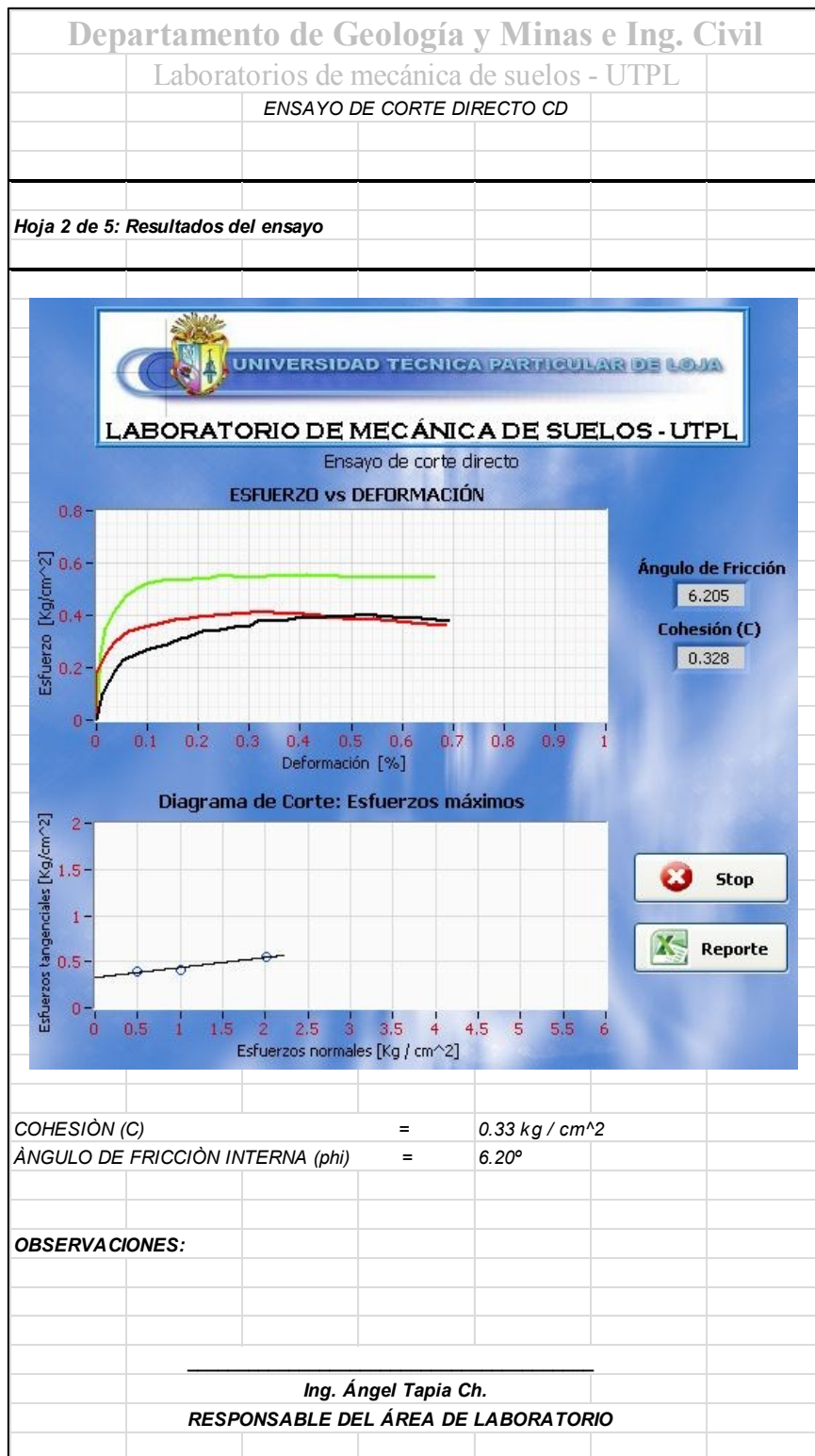


Tabla 3.13 Reporte parcial corte directo CD -Resultados de ensayo-



### 3.5. Ensayo de consolidación

Para el ensayo de consolidación, se ha agregado lo siguiente:

Análisis de datos: Gráfica de “Deformación vs Tiempo”.

Emisión de reportes: Hoja con el registro de la deformación y gráfica. (Tabla 3.15)

Hoja con datos de la probeta. (Tabla 3.16)

#### 3.5.1. Análisis de datos

En el análisis de datos de este ensayo, se necesitan los valores de la deformación y el tiempo para graficar la relación de la deformación vs tiempo. Para este fin se ha configurado en el eje de las ordenadas la variable de deformación en una escala lineal e invertida, mientras que el eje de las abscisas se ha configurado la variable de tiempo mediante una escala logarítmica, obteniendo así la gráfica presentada mediante la Fig. 3.11.



**Fig. 3.11 Análisis de datos del ensayo de consolidación**

#### 3.5.2. Emisión de reportes

El reporte total para este ensayo consta de dos hojas. Primera hoja con el registro de la deformación del ensayo, segunda hoja con los datos de la muestra.

A continuación se presenta la primera hoja, los datos en color azul serán los que el laboratorista debe llenar, al finalizar el ensayo. Este reporte se genera automáticamente luego de que ha transcurrido las 24 horas necesarias para este ensayo ó al pulsar el botón stop de la aplicación, y es el remplazo del anterior reporte de la versión inicial de la aplicación. Este reporte contiene:

- Datos generales del ensayo: Proyecto, obra, responsable del laboratorio, entre otros.



- Datos específicos como: carga, registro de la deformación.
- Resultado: Gráfica del ensayo “deformación vs tiempo”.

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil					
Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL					
ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN					
PROYECTO: Estudio de mecánica de suelos para laboratorios					
OBRA: Adecuación para laboratorios			NORMA: ASTM D-2435		
LOCALIZACION: Predios de la UTPL			PERFORACIÓN N°: 1		
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilloso			MUESTRA N°: P1		
CONSOLIDÓMETRO TIPO: Fijo			PROFUND: 1.00 [m]		
FECHA: 2 Agosto/2012			REALIZADO: Diego Maza		
RELACIÓN DE AMPLIFICACIÓN DEL SISTEMA DE CARGA: 10 - 1			INFORME: Lab-UTPL---		
REGISTRO DEL ENSAYO					
Carga: 0.0 - 1.0 Kg			Carga: 1.0 - 2.0 Kg		
Fecha de aplicación: 2 Agosto/2012			Fecha de aplicación: 2 Agosto/2012		
Aplicada por: Diego Maza H			Aplicada por: Diego Maza H		
Hora	Tiempo [min]	Def. [mm]	Hora	Tiempo [min]	Def. [mm]
9:53:59	0	0	16:26:36	0	0,5115
9:54:05	0,1	0,2085	16:26:42	0,1	0,5616
9:54:14	0,25	0,23	16:26:51	0,25	0,5694
9:54:29	0,5	0,2493	16:27:06	0,5	0,5777
9:54:59	1	0,2727	16:27:36	1	0,5887
9:55:59	2	0,2988	16:28:36	2	0,6033
9:57:59	4	0,3289	16:30:36	4	0,6219
10:01:59	8	0,3633	16:34:36	8	0,6548
10:08:59	15	0,397	16:41:36	15	0,6812
10:23:59	30	0,4343	16:56:36	30	0,7156
10:53:59	60	0,468	17:26:36	60	0,7517
11:53:59	120	0,4932	18:26:36	120	0,784
13:53:59	240	0,5115	20:26:36	240	0,8045
			0:26:36	480	0,8174
			3:26:36	660	0,8225

Tabla 3.15 Reporte consolidación – Datos medidos y gráficas-

Segunda hoja con datos de la probeta. Los datos en color azul serán los que el laboratorista debe llenar.

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil			
Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL			
ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN			
PROYECTO: Estudio de mecánica de suelos para laboratorios			
OBRA: Adecuación para laboratorios		NORMA:	ASTM D-2435
LOCALIZACIÓN: Predios de la UTPL		PERFORACIÓN N°:	1
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilloso		MUESTRA N°:	P1
CONSOLIDÓMETRO TIPO: Fijo		PROFUND:	1.00 [m]
FECHA: 2 Agosto/2012		REALIZADO:	Diego Maza
RELACIÓN DE AMPLIFICACIÓN DEL SISTEMA DE CARGA: 10 - 1		INFORME:	Lab-UTPL---
<b>&lt;&lt;&lt; DATOS GENERALES DE LA PROBETA &gt;&gt;&gt;</b>			
<b>Datos de la muestra</b>		<b>Contenido de humedad inicial</b>	
Diámetro del anillo:	6,34 cm	Peso de lata + suelo hum:	167,5
Altura del anillo:	2,54 cm	Peso de lata + suelo seco:	144,83
Área:	31,57 cm <sup>2</sup>	Peso de lata:	17,58
Volumen:	80,19 cm <sup>3</sup>	Peso del suelo seco:	127,25
Altura del suelo ini. Hi:	2,53 cm	Peso del agua	22,67
Peso del anillo + muestra:	658,5 gr	Contenido de humedad ini.:	17,82
Peso del anillo:	501 gr		
Peso muestra hum. Wt:	157,5 gr		
Peso del suelo seco Ws:	140,48 gr		
Altura de sólidos Hs:	1,572 cm		
Altura ini. de vacíos Hv:	0,838 cm		
Grado de caturac. ini. Si:	82,75 %		
Relación de vacíos ini. ei.:	0,5331		
<b>&lt;&lt;&lt; DATOS FINALES DEL ENSAYO (obtenidos al final del ensayo) &gt;&gt;&gt;</b>			
<b>Lectura inicial del deformímetro: 0,00</b>		<b>Contenido de humedad final</b>	
Lectura final del deformímetro:	0,8225 mm	Peso final del anillo + M humedad:	661,10
Cambio en altura de la muestra:	24,4775 mm	Peso final del anillo + Suelo seco:	641,80
Altura final de vacíos, Hvf:	0,6056 mm	Peso o volúmen de agua:	19,3
Relación de vacíos final, ef:	0,3852	Peso del suelo seco al horno, Ws:	140,48
		Contenido de humedad final, Wf:	13,74
		Grado de dauración final, Sf:	115,00
Ing. Ángel Tapia Ch. RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO			

Tabla 3.16 Reporte consolidación -Datos de la probeta-

## 4. Análisis de resultados

En este capítulo se realiza un análisis de los resultados obtenidos en la calibración de los sensores; así como la validación de los resultados obtenidos de los ensayos dentro del análisis de datos.

### 4.1. Calibración

En esta sección se realiza una comparación de la exactitud de los datos leídos por los transductores antes y después de la calibración, así como el cálculo de la incertidumbre del sistema de medición.

#### 4.1.1. Sensor de Carga

Inicialmente, los valores leídos de la celda de carga, estaban siendo corregidos por la constante de 1.6; el comportamiento de la misma la podemos observar mediante la Fig. 4.1 (izq), donde se puede determinar que los valores leídos tienen una tendencia del 1,0882 del valor real, es decir que el valor obtenido mediante la aplicación es, en promedio, el 108,82% de la magnitud que se ha tomado como referencia; de lo que se deduce que el error máximo del sistema de medición es del 8.82 %.

Constante de ajuste	Inicial	Final
		1,6
Presión de confinamiento	1 Kg / cm <sup>2</sup>	

Tabla 4.1 Constante de ajuste para la celda de carga

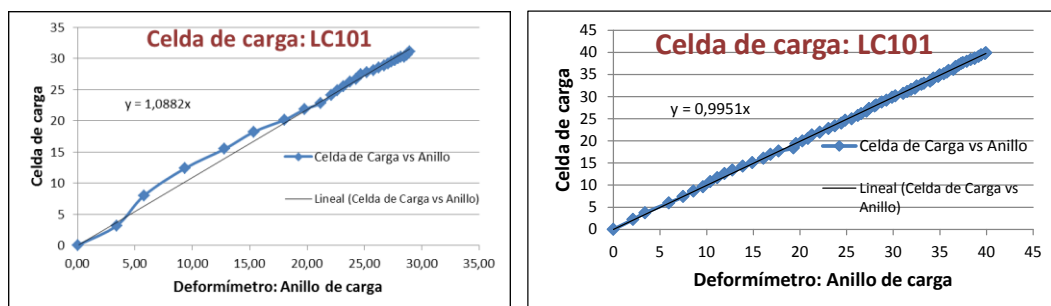


Fig. 4.1 Análisis de calibración de la celda de carga antes (izq) y después (der) de la corrección

Luego de realizar algunos ensayos, con el fin de alcanzar el mínimo error, se estableció finalmente una constante con el valor de 1,963549. El resultado se indica mediante la Fig. 4.1 (der).

Para el cálculo de la incertidumbre se realizó 5 experimentos, bajo condiciones equivalentes, los datos se los registró a intervalos fijos (10 unidades) con referencia al anillo de carga, dicho intervalo corresponde a 8,517 kg, se obtuvieron los datos mostrados en la Tabla 4.2.

Aplicación						Lectura en anillo de carga	
x1	x2	x3	x4	x5	MEDIA	Intervalos, XP	Anillo [KG], X
8,455	8,391	8,401	8,408	8,411	8,4132	10	8,517
17,172	16,424	17,11	17,01	17,02	16,9472	20	17,034
25,575	24,458	25,429	25,505	25,49	25,2914	30	25,551
33,431	33,473	33,502	33,702	33,501	33,5218	40	34,068
42,656	42,042	42,202	42,076	42,104	42,216	50	42,585
50,855	50,79	50,89	50,908	50,211	50,7308	60	51,102
59,533	59,894	59,803	60,089	59,322	59,7282	70	59,619
67,967	68,106	68,329	68,301	68,073	68,1552	80	68,136
76,822	76,765	76,507	76,664	76,792	76,71	90	76,653
84,956	85,066	85,07	85,014	84,933	85,0078	100	85,170
95,816	94,617	93,882	93,9	94,205	94,484	110	93,687
103,624	103,9	104,183	102,591	103,869	103,6334	120	102,204

Tabla 4.2 Registro de mediciones, sensor de carga

Teniendo la media (ecuación 1.5) de estas mediciones, procedemos a calcular la incertidumbre mediante el procedimiento descrito en la sección 1.2.3, para un factor de cobertura del 90% ( $k = 2,13$ ).

Incertidumbre Tipo A ( $u_{tipo A}$ )		Incertidumbre Tipo B ( $u_{tipo B}$ )	
Varianza		Dígito menos significativo	
Ec. 1.6	0,1689	$D_{ms}$	0,001
Incertidumbre Típica		Incertidumbre tipo B	
Ec. 1.7	0,4109	Ec. 1.11	0,0002887
Incertidumbre de medidas máxima		Incertidumbre combinada	
Ec. 1.8	0,0773	Ec. 1.3	0,03866
Incertidumbre de medidas media		Incertidumbre expandida	
Ec. 1.8 / 2	0,0386	Ec. 1.4	0,08236 Kg = 0,08%

Tabla 4.3 Cálculo de incertidumbre, sensor de carga

Tras analizar el comportamiento de la constante implementada para la corrección de los valores sensados, se procedió a determinar que la incertidumbre para el sensor de carga es:

$$\text{Valor instantáneo} \pm 0,08 \%$$

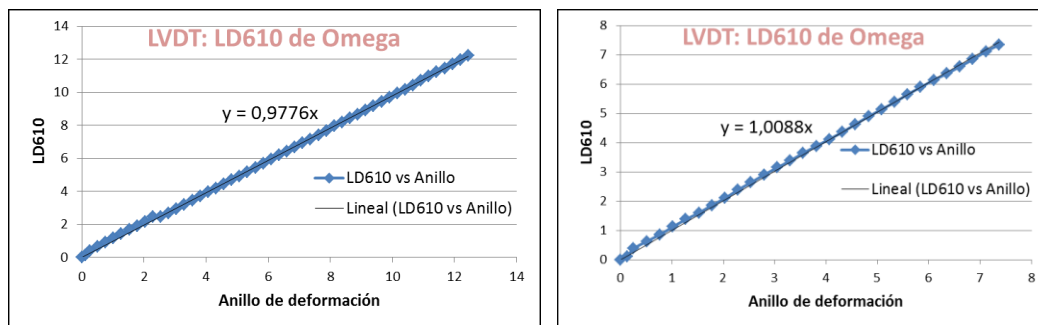
#### 4.1.2. Sensor de Deformación

A continuación se indica los resultados para el sensor de deformación tomado para el ensayo Triaxial UU, a una presión de confinamiento de 1 kg / cm<sup>2</sup>. Para la calibración del transductor LVDT LD610 se ha elegido la constante de 0,989647.

Constante de ajuste	Inicial	Final
	1	0,989647
Presión de confinamiento	1 Kg / cm <sup>2</sup>	

**Tabla 4.4 Constante de ajuste para LVDT.**

Mediante la Fig. 4.2, se puede observar el comportamiento de los valores en cuanto a deformación se refiere, en la figura de la izquierda se distingue la desviación de los valores sensados mediante el LVDT antes de la calibración, que en la mayoría son menores, en promedio, con un 0,9776 del valor real.



**Fig. 4.2 Análisis de calibración antes (izq) y después (der) del LVDT**

A la derecha de la Fig. 4.2, se tiene los valores después de realizar la calibración del transductor, en la cual se puede observar el comportamiento de las lecturas realizadas con el deformímetro LD610; en promedio, los valores son mayores en un 1,0088 del valor real, es decir, son un 0,88% mayores del valor tomado como referencia.

En el cálculo de la incertidumbre se tomó 5 medidas de cada intervalo (de 0,762 mm que corresponde a 30 unidades en el anillo de deformación), obteniendo el siguiente registro:

Aplicación						Lectura en anillo: deform	
x1	x2	x3	x4	x5	MEDIA	Intervalos Xp	[mm] (X)
0,264	0,387	0,259	0,403	0,382	0,339	10	0,254
1,027	0,993	0,974	1,203	1,123	1,064	40	1,016
1,802	1,795	1,774	2,006	1,864	1,8482	70	1,778
2,562	2,597	2,513	2,807	2,643	2,6244	100	2,54
3,284	3,325	3,241	3,334	3,384	3,3136	130	3,302
4,102	4,06	4,091	4,072	4,117	4,0884	160	4,064
4,807	4,831	4,835	4,821	4,893	4,8374	190	4,826
5,579	5,61	5,576	5,583	5,649	5,5994	220	5,588
6,294	6,363	6,295	6,308	6,355	6,323	250	6,35
7,11	7,114	7,103	7,073	7,115	7,103	280	7,112
7,868	7,867	7,86	7,837	7,851	7,8566	310	7,874

Tabla 4.5 Registro de mediciones, sensor de deformación

A continuación se procede a calcular la incertidumbre mediante el procedimiento descrito en la sección 1.2.3, para un factor de cobertura del 90% ( $k = 2,13$ ):

Incertidumbre Tipo A ( $u_{tipo A}$ )		Incertidumbre Tipo B ( $u_{tipo B}$ )	
Varianza		Dígito menos significativo	
Ec. 1.6	0,001184	$D_{ms}$	0,001
Incertidumbre Típica		Incertidumbre tipo B	
Ec. 1.7	0,034411	Ec. 1.11	0,0002887
Incertidumbre de medidas máxima		Incertidumbre combinada	
Ec. 1.8	0,023897	Ec. 1.3	0,011952
Incertidumbre de medidas media		Incertidumbre expandida	
Ec. 1.8 / 2	0,011948	Ec. 1.4	0,025458mm = 0,317%

Tabla 4.6 Cálculo de incertidumbre, sensor de deformación

Tras analizar el comportamiento de la constante implementada para la corrección de los valores sensados, se procedió a determinar que la incertidumbre para el sensor de deformación es:

$$\text{Valor instantáneo} \pm 0,317 \%$$

## 4.2. Resultados de ensayos: Análisis de datos

Como se puede constatar en el capítulo tres, en los reportes que emitía inicialmente la aplicación, no constaba el análisis de los datos de cada ensayo, es decir, al culminar la práctica, luego de someter tres probetas a diferente presión, no se realizaba el análisis de los datos de estas probetas en conjunto. A continuación se realiza un contraste entre el análisis que anteriormente se hacía manualmente o

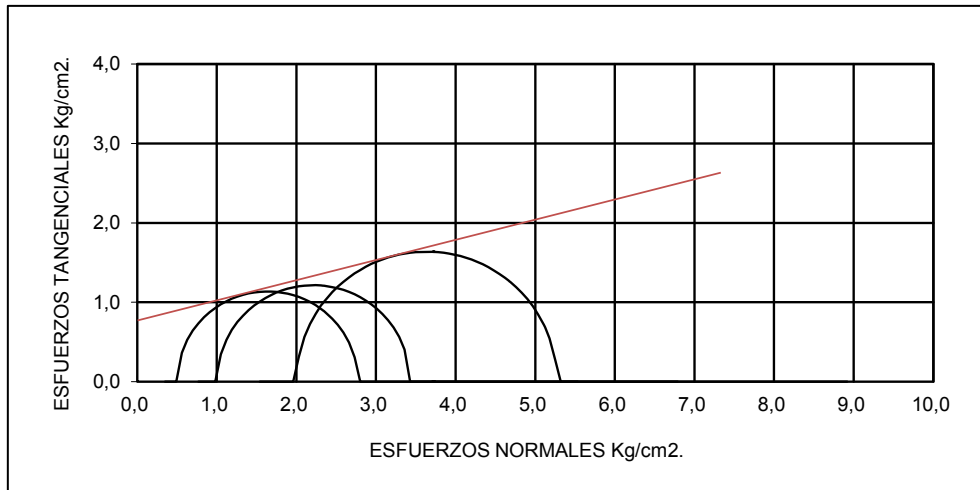
en una hoja de cálculo mediante Excel, o una combinación de los dos, con la presentación automatizada a cargo de la aplicación DAQ.

Los datos con los cuales se ha obtenido los resultados mediante la hoja de cálculo, han sido los datos obtenidos mediante lectura en los deformímetros mecánicos. Siendo los resultados de esta metodología, la referencia para la validación del proceso automatizado en su totalidad en los ensayos Triaxial y consolidación. Es decir, la validación es de todo el proceso en conjunto, desde la lectura de los valores de las diferentes variables (carga, deformación y presión) hasta culminar con la etapa de análisis de datos. Mientras que para el ensayo de corte directo, la validación corresponde a la etapa de análisis de datos solamente, debido a que no fue posible tomar las mediciones mediante la celda de carga y con el deformímetro mecánico de carga en conjunto en el proceso de realizar el ensayo, esto por la falta de espacio en el equipo de corte directo.

Los resultados que se leen en los reportes parciales (resultados de ensayos) se han obtenido matemáticamente y en forma automatizada, y no de la imagen que se indica en los mismos; aclaro este particular, ya que para una lectura correcta de estos valores, la gráfica debe estar con la misma escala en el eje de las ordenadas como en el eje de las abscisas.

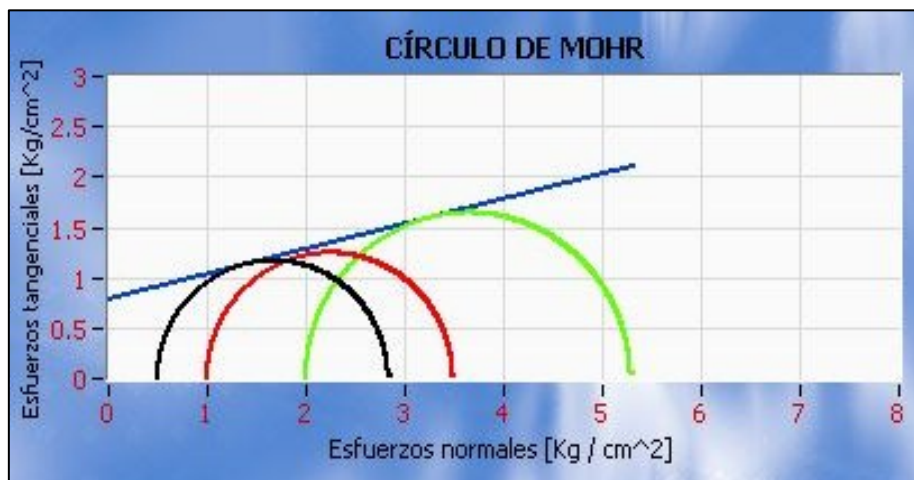
#### **4.2.1. Ensayo Triaxial UU: Círculo de Mohr**

En la sección 1.3 se describió los parámetros a tener en cuenta en el momento de graficar el círculo de Mohr, en esta sección se describe la fiabilidad de nuestra aplicación en cuanto a los resultados, es decir a los valores de cohesión y al ángulo de fricción interna; que son el objetivo principal de este ensayo. Para lo cual se presentan la gráfica de Mohr realizada mediante la hoja de cálculo, Fig. 4.3 y la desarrollada mediante la aplicación DAQ, Fig. 4.4.



**Fig. 4.3** *Círculo de Mohr mediante hoja de cálculo, ensayo triaxial UU*

La referencia para el análisis serán los valores leídos desde la gráfica obtenida mediante la hoja de cálculo, debo recalcar que la exactitud de estos resultados dependerá de la precisión con la que se ubique la línea tangente o envolvente (línea roja oscura en la Fig. 4.3) a los tres círculos indicados en la gráfica.



**Fig. 4.4** *Círculo de Mohr mediante la aplicación daq, ensayo triaxial UU*

Luego de realizar la lectura de los resultados en la hoja de cálculo y de tomar estos resultados en la aplicación DAQ, se procede a tabular los datos en la Tabla 4.7, con su correspondiente error relativo, es decir con el margen de separación del valor verdadero en los resultados a cargo de la aplicación desarrollada.

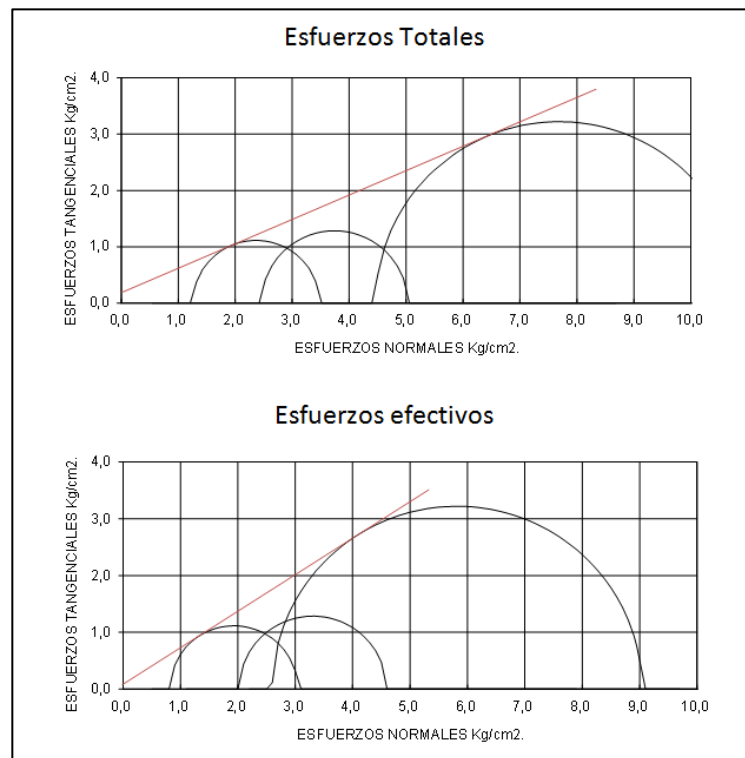


Resultados	Hoja de cálculo	Aplicación	Error relativo
Ángulo de fricción interna ( $\Phi$ ) [°C]	14,21	13,96	1,75 %
Cohesión (C) [Kg/cm <sup>2</sup> ]	0,77	0,78	2,08 %

**Tabla 4.7 Análisis de resultados del ensayo triaxial UU**

#### 4.2.2. Ensayo Triaxial CU: Círculo de Mohr

Para el ensayo CU se tiene dos tipos de resultados, mediante esfuerzos totales y mediante esfuerzos efectivos; en la sección 1.3 se encuentra detallado estos dos resultados. A continuación se presentan las gráficas de Mohr realizada mediante la hoja de cálculo, Fig. 4.5 y la desarrollada mediante la aplicación DAQ, Fig. 4.6.



**Fig. 4.5 Círculo de Mohr mediante hoja de cálculo, ensayo triaxial CU**

La referencia para este análisis serán los valores leídos desde la gráfica desarrollada mediante la hoja de cálculo, debo recalcar que la exactitud de estos resultados dependerá de la precisión con la que se ubique la línea tangente o envolvente (línea roja oscura en la Fig. 4.5) a los tres círculos indicados en la gráfica de la Fig. 4.5.

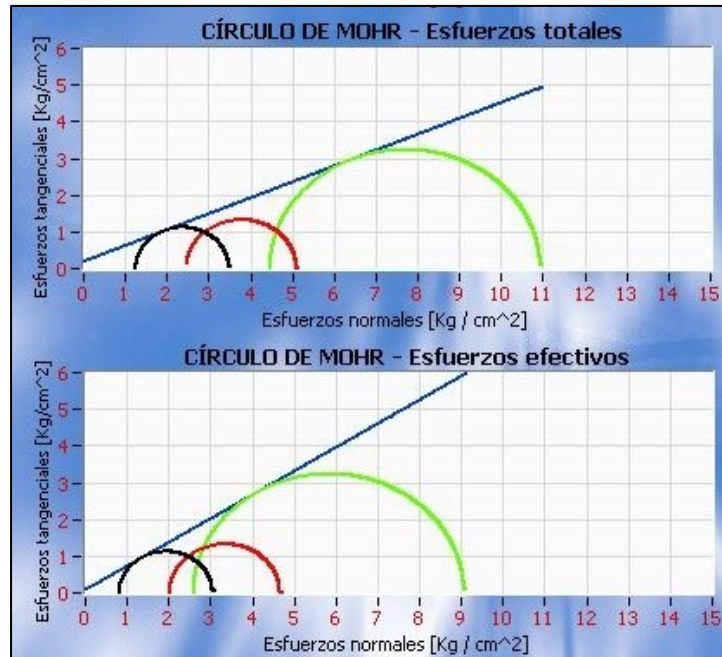


Fig. 4.6 Círculo de Mohr mediante la aplicación daq, ensayo triaxial CU

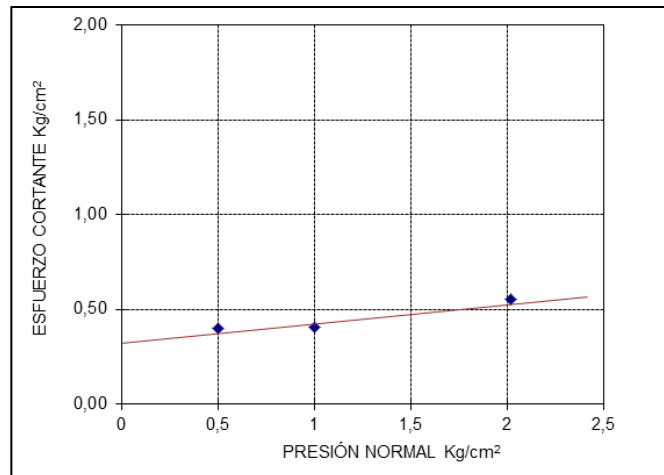
Luego de realizar la lectura de los resultados en la hoja de cálculo y de tomar estos resultados en la aplicación, se procede a tabular los datos en la Tabla 4.8, con su correspondiente error relativo, es decir con la magnitud de la desviación en los resultados a cargo de la aplicación desarrollada.

Resultados	Hoja de cálculo	Aplicación	Error relativo
<b>Esfuerzos totales</b>			
Ángulo de fricción interna ( $\Phi$ ) [°C]	23,36	23,42	0,25 %
Cohesión (C) [Kg/cm <sup>2</sup> ]	0,19	0,19	0,0 %
<b>Esfuerzos efectivos</b>			
Ángulo de fricción interna ( $\Phi_{CU}$ ) [°C]	32,65	32,90	0,76 %
Cohesión ( $C_{CU}$ ) [Kg/cm <sup>2</sup> ]	0,08	0,08	0,0 %

Tabla 4.8 Análisis de resultados del ensayo triaxial CU

### 4.2.3. Ensayo Corte Directo CD: Diagrama de corte

Al igual que en las secciones anteriores, para realizar la validación de los resultados en el ensayo de corte directo CD, se tiene como referencia el diagrama de corte obtenido mediante la hoja de cálculo (Fig. 4.7).



**Fig. 4.7 Diagrama de corte mediante hoja de cálculo, ensayo corte directo**

El diagrama de corte que se obtiene mediante la aplicación DAQ, se indica mediante la Fig. 4.8.



**Fig. 4.8 Diagrama de corte mediante aplicación daq, ensayo corte directo**

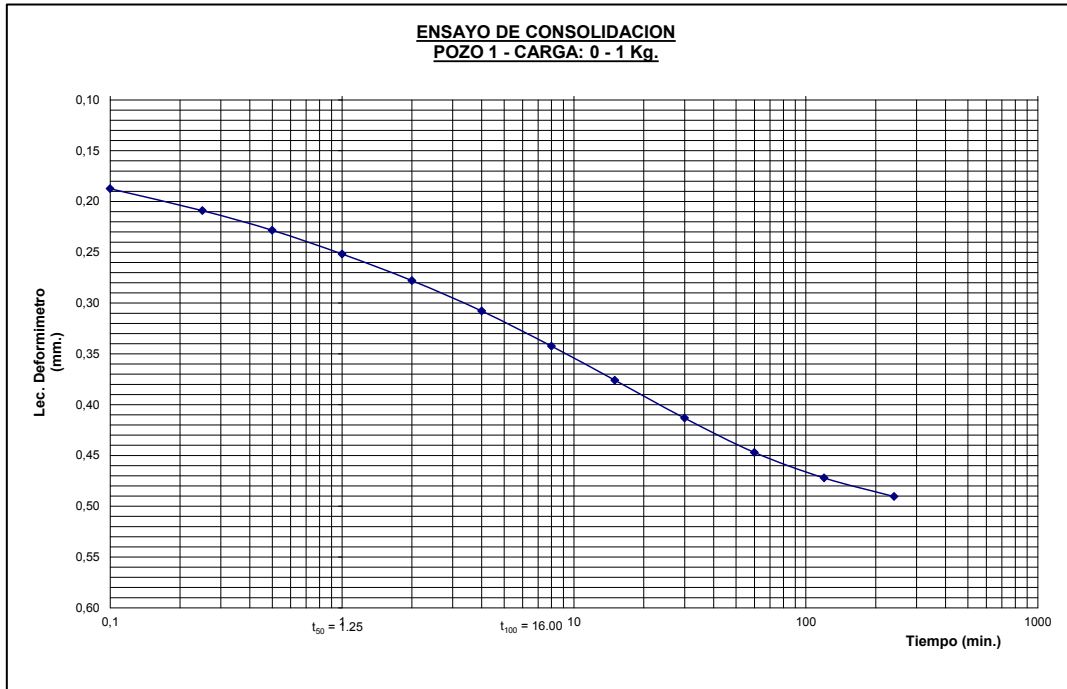
Una vez que se tiene los valores del ángulo y la cohesión, obtenidos por los dos métodos, se procede a analizar la fiabilidad de los mismos, teniendo como indicador al error relativo. En este ensayo los errores relativos de los resultados son aceptables, teniendo en cuenta que estos valores no exceden del 3 %.

Resultados	Hoja de cálculo	Aplicación	Error relativo
Ángulo de fricción interna ( $\Phi$ ) [ $^{\circ}\text{C}$ ]	5,68	5,8	2,11 %
Cohesión (C) [ $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ]	0,34	0,33	2,94 %

**Tabla 4.9 Análisis de resultados del ensayo Corte directo**

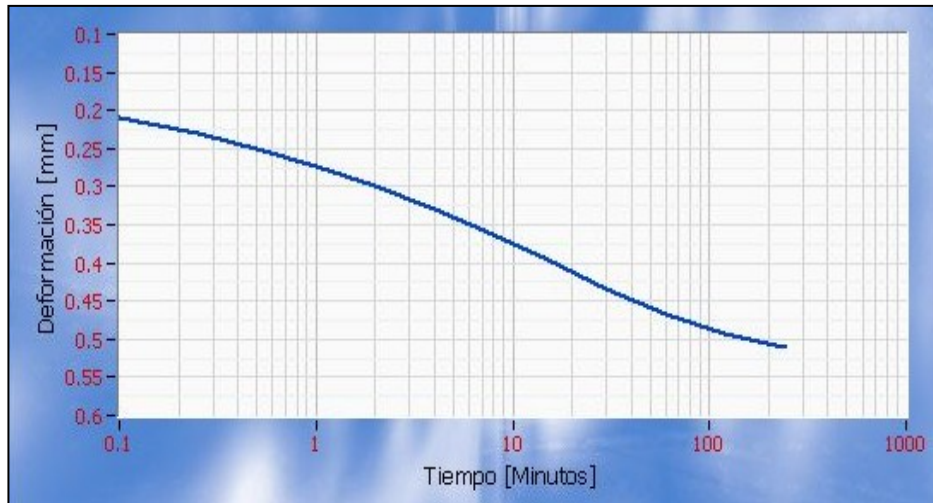
**4.2.4. Ensayo de Consolidación: Gráfica de consolidación**

Para realizar la validación de los resultados en el ensayo de consolidación se tiene como referencia la gráfica obtenida mediante la hoja de cálculo (Fig. 4.9).



**Fig. 4.9 Gráfica de consolidación mediante hoja de cálculo**

La gráfica de consolidación que se obtiene mediante la aplicación, se indica mediante la Fig. 4.10.



**Fig. 4.10 Gráfica de consolidación mediante aplicación daq**

Teniendo el registro de la deformación mediante los dos métodos, se procede a analizar la fiabilidad de las mediciones, teniendo como indicador al error relativo. En este ensayo el error relativo de los resultados no exceden del 3 %.

Hora	Tiempo [Min]	Deformación [mm]		Error relativo [%]
		Anillo	Aplicación	
9:53:59	0	0	0	0
9:54:05	0,1	0,19177	0,1875	2,23
9:54:14	0,25	0,208534	0,2090	0,22
9:54:29	0,5	0,228092	0,2283	0,09
9:54:59	1	0,249936	0,2517	0,71
9:55:59	2	0,276860	0,2778	0,34
9:57:59	4	0,304800	0,3079	1,02
10:01:59	8	0,335026	0,3423	2,17
10:08:59	15	0,366268	0,3760	2,66
10:23:59	30	0,408940	0,4133	1,07
10:53:59	60	0,437388	0,4470	2,20
11:53:59	120	0,461264	0,4722	2,37
13:53:59	240	0,485394	0,4905	1,05

**Tabla 4.10 Análisis de resultados del ensayo consolidación**

## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

- Como resultado del proceso de calibración se obtuvieron las constantes que tienen como fin ser un factor de corrección de la sensibilidad para los valores sensados, mas no fue necesaria la determinación del offset para cada sensor debido a que en la aplicación existe un “control” que realiza la función de encerrar los valores de cada transductor al empezar el ensayo.
- Mediante la implementación de constantes para la calibración de los valores sensados, se pudo establecer y corroborar una mayor exactitud de los valores leídos mediante los transductores, esto gracias a la realización del análisis del comportamiento de algunas constantes implementadas, teniendo finalmente un margen de error máximo de 0,49 % en los valores instantáneos de carga y de 0,88 % en deformación lineal, teniendo un error total de 1.007 %
- Para la validación de la etapa del análisis de datos del presente proyecto, fue necesaria la realización de varios ensayos de prueba para la verificación del correcto funcionamiento y prestaciones del mismo, que tiene que ver con la eficiencia y exactitud de las tareas programadas. Se compararon los resultados de la aplicación desarrollada con los resultados obtenidos mediante la hoja de cálculo, obteniendo de esta forma los resultados esperados.
- Todo sensor utilizado en procesos de medición, obligatoriamente debe ser sometido a un proceso de verificación de su correcto funcionamiento; y de ser necesario se debe someter al instrumento o al sistema de medida a una etapa de calibración dentro de intervalos en los que se ha establecido oportuna la revisión; esto debido al deterioro de las prestaciones de los instrumentos, que con el pasar del tiempo acarrea una deriva en la magnitud leída.
- En la realización del proceso de calibración de un instrumento o sistema de medida se debe tener especial cuidado de realizarlo en las mismas condiciones en las que se va a utilizar el mismo; esto debido a la influencia que pueden ejercer otras magnitudes como las características del entorno (clima, temperatura, entre otras) y otras variables propias del proceso, que en nuestro caso sería la presión a la que se somete la muestra en el ensayo.
- Al ser un sistema de adquisición de datos automatizado y computarizado tiene la ventaja de sacar el máximo provecho de la potencialidad en cálculo y

procesamiento de las variables sensadas, al mismo tiempo en que se está realizando el ensayo. Es necesario recalcar que el sistema tiene además la característica de permitir observar la gráfica de comportamiento de la muestra durante el desarrollo del ensayo.

- El sistema de adquisición que se ha ampliado, al ser un sistema de medición personalizado a las necesidades y condiciones de los ensayos que se realizan en el laboratorio de suelos, tiene la característica de ser un sistema escalable y flexible; es decir se puede adaptar a necesidades futuras con solo agregar hardware o software en pequeñas proporciones; o simplemente al modificar la aplicación desarrollada mediante la programación en lenguaje LabVIEW. Ya que en comparación con los sistemas digitales manufacturados por la industria tienen la limitación de no ser flexible, es decir no es factible la modificación o incrementos de las prestaciones que disponen estos sistemas.
- La automatización de procesos de medida es la mejor opción cuando se requiere una mayor precisión en las lecturas de las variables, y mas aun cuando en el proceso implica la medición de algunas variables en el mismo instante de tiempo; como es el caso del ensayo Triaxial CU que requiere que se tomen la lectura de los cuatro transductores cada 2, 5 ó 10 segundos.
- Mediante la instrumentación se puede llegar a mejorar el tiempo de entrega de productos (culminación de los procesos), es decir se puede reducir el tiempo en que se toma para la realización de una determinada actividad a más de mejorar la eficiencia y reducir costos; al cubrir o necesitar menos personal para controlar los procesos.

**Recomendaciones:**

- Para evitar inconvenientes con las magnitudes a leer, es necesario revisar la conexión de cada uno de los transductores en el chasis de los módulos; para este fin se puede recurrir al manual del sistema o en la ventana del programa de cada ensayo, mediante le botón denominado conexiones.
- Antes de empezar a adquirir los datos mediante la aplicación, es necesario comprobar que los transductores estén sensando las variables; esto con el fin de evitar inconvenientes con la mala ubicación o colocación física de los transductores en los equipos. Además los deformímetros LVDT deben estar deformados 20 mm con el objetivo de estar fuera de la zona muerta de la curva de sensibilidad del sensor.

- Para la lectura de los resultados en el diagrama de corte, así como en el círculo de Mohr; se debe tener en cuenta que las escalas del eje de las ordenadas, así como el de las abscisas sean iguales; de no ser así las lecturas que se tomen serán incorrectas, esto solo si queremos comprobar el resultado entregado, ya que en la aplicación los resultados son calculados de forma matemática y automáticamente, y no desde la imagen de las gráficas de resultado.
- Para mejorar la exactitud del ensayo de consolidación, es decir, para lograr que los valores sensados de la deformación sean iguales a la deformación real; es necesario la adquisición de un acoplador que preste las garantías necesarias para sostener al deformímetro sin ceder durante la realización del ensayo.



## Referencias

- [1] M. Granda Miguel y E. Mediavilla Bolado, Instrumentacion Electronica: Transductores y Acondicionadores de señal, Santander: PUpliCan - Ediciones de la Universidad de Cantabria, 2010.
- [2] A. S. Morris, Measurement & Instrumentation Principles, Tercera ed., Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.
- [3] BIPM: Oficina Internacional de Pesas y Medidas, «VIM: Vocabulario Internacional de Metrologia - Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados,» Ginebra, 2008.
- [4] M. A. Pérez García, J. C. Álvarez Antón, J. C. Campo Rodríguez, F. J. Ferrero Martín y G. J. Grillo Ortega, Instrumentación Electrónica, Segunda ed., Madrid: Thomson, 2008.
- [5] A. Creus Solé, Instrumentación Industrial, Octava ed., Santafé de Bogotá: Alfaomega Grupo Editor S.A., 2010.
- [6] ISO, «International Organization for Standardization,» [En línea]. Available: <http://www.iso.org/iso/home.htm>. [Último acceso: 28 Marzo 2012].
- [7] ISO 9000, «Normas para la gestión y aseguramiento de la calidad,» 2008.
- [8] C. Liu y J. B. Evett, Soil properties: testing, measurement, and evaluation, Cuarta ed., New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- [9] I. D. Carrión Granda, «Automatización de los procesos de adquisición y análisis de datos para ensayos de mecánica de suelos del laboratorio de la UCG de la Universidad Técnica Particular de Loja,» Loja, 2007.
- [10] J. Loste Ramos, «Descartes 2D: RECTAS, ÁNGULOS y CIRCUNFERENCIAS,» [En línea]. Available: [http://recursostic.educacion.es/descartes/web/materiales\\_didacticos/rectas\\_an](http://recursostic.educacion.es/descartes/web/materiales_didacticos/rectas_an)

- gulos\_circunferencia/UD1JLR.htm. [Último acceso: 09 08 2012].
- [11] National Instruments Corporation, «Labview: Getting Started with LabVIEW,» Austin, 2009.
- [12] National Instruments Corporation, «NI FP-1000,» [En línea]. Available: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/2180>. [Último acceso: 10 Abril 2012].
- [13] National Instruments Corporation, «FP-SG-140 and cFP-SG-140 Operating Instructions,» Octubre 2002. [En línea]. Available: <http://digital.ni.com/manuals.nsf/websearch/0002804C1EA5C3F186256C46006C3606>. [Último acceso: 11 Abril 2012].
- [14] National Instruments Corporation, «FP-AI-110 and cFP-AI-110 Operating Instructions,» Junio 2005. [En línea]. Available: <http://digital.ni.com/manuals.nsf/websearch/DE9C12E83CD51846862570830078E19A>. [Último acceso: 11 Abril 2012].
- [15] OMEGA ENGINEERING, INC, «S-Beam Load Cells: LC101 and LC111 Series,» [En línea]. Available: <http://www.omega.com/pptst/LC101.html>. [Último acceso: 11 Abril 2012].
- [16] OMEGA ENGINEERING, INC, «Displacement Sensors with In-Line Signal Conditioner,» [En línea]. Available: <http://www.omega.com/pptst/LD610.html>. [Último acceso: 11 Abril 2012].
- [17] OMEGA ENGINEERING, INC, «Rugged Solid State Pressure Transmitters,» [En línea]. Available: [http://www.omega.com/pptst/PXm209\\_PXm219.html](http://www.omega.com/pptst/PXm209_PXm219.html). [Último acceso: 12 Abril 2012].

## Anexos

### Anexo A. Reporte del ensayo Triaxial UU

#### Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

#### Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

#### ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

PROYECTO:	<i>Estudio de mecánica de suelos</i>	NORMA:	ASTM D-2850
OBRA:	<i>Adecuación para laboratorios</i>	ENSAYO:	U-U
LOCALIZACIÓN:	<i>Predio de la UTPL</i>	CALICATA No:	P1
INSTITUCIÓN:	UTPL	PROFUND.:	0,8 - 1,0 [m]
FISCALIZACIÓN:		REALIZADO:	Diego Maza
SOLICITADO:	<i>Unidad de construcciones</i>	INFORME:	Lab UTPL 013
FECHA:	9 julio/12		

#### Hoja 1 de 5: DATOS GENERALES DE LAS PROBETAS

PROBETA No.	1	2	3
Diametro: (cm)	4,81	4,82	4,8
Altura: (cm)	11,99	11,99	11,93
Área corregida: (cm <sup>2</sup> )	18,22	18,28	18,18
Volumen: (cm <sup>3</sup> )	218,48	219,23	216,93
Peso: (gr)	457,54	474,45	453,08

#### CONTENIDO DE AGUA

Peso Hum.: (gr)	365,82	365,82	365,82
Peso Seco: (gr)	324,47	324,47	324,47
Peso Cap.: (gr)	59,52	59,52	59,52
W(%):	15,47	15,47	15,47

#### DENSIDADES

Natural: (gr/cm <sup>3</sup> )	2,09	2,16	2,09
Seca: (gr/cm <sup>3</sup> )	1,81	1,87	1,81

#### OBSERVACIONES:

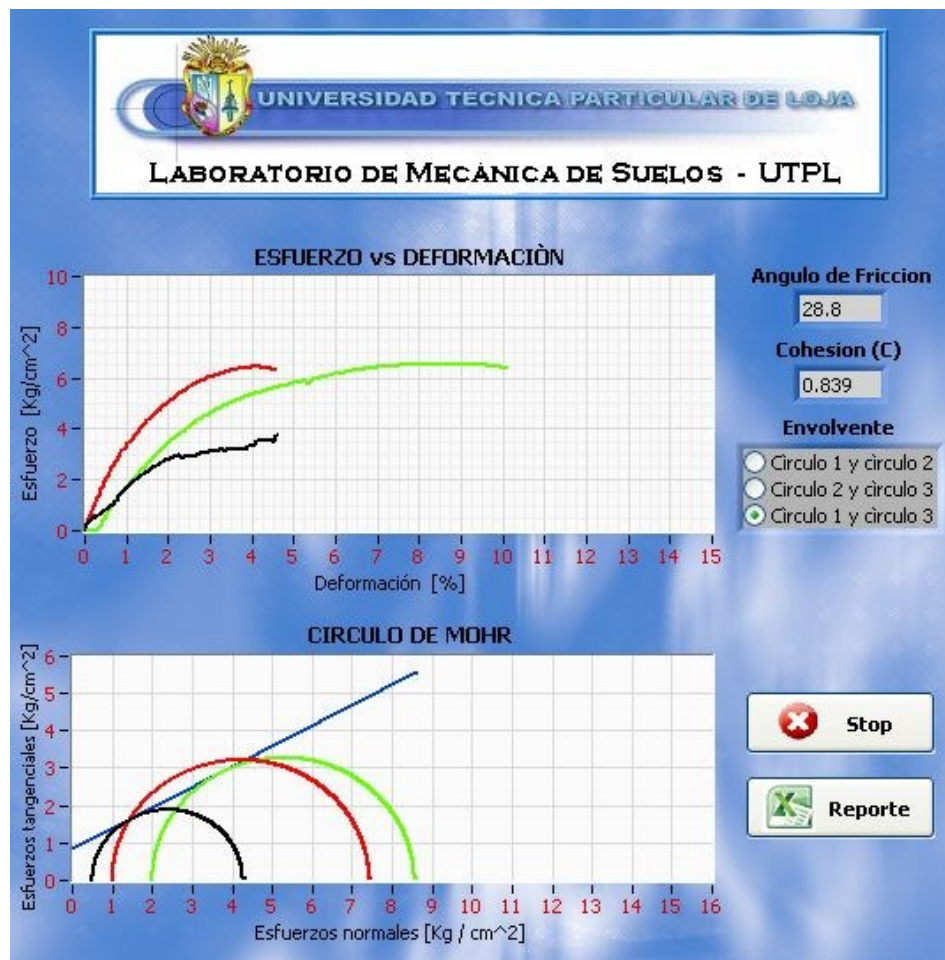
Ing. Ángel Tapia Ch.  
RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO

## Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

Hoja 2 de 5: Resultados del ensayo



COHESIÓN (C) = 0.84 kg / cm<sup>2</sup>

ÀNGULO DE FRICCIÓN INTERNA ( $\phi$ ) = 28.80°

**OBSERVACIONES:**

Ing. Ángel Tapia Ch.  
RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO

## Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

### Laboratorio de mecánica de suelos - UTPL

#### ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

PROYECTO:	<i>Estudio de mecánica de suelos para laboratorio</i>	NORMA:	<i>ASTM D 2850</i>
OBRA:	<i>Adecuación para laboratorios</i>	ENSAYO:	<i>U-U</i>
LOCALIZACIÓN:	<i>Predios de la UTPL</i>	TIPO PROB.:	<i>Remold/Cilind</i>
INSTITUCIÓN:	<i>UTPL</i>	CALICATA No.:	<i>P1</i>
FISCALIZACIÓN:		PROFUND.:	<i>0.8 a 1.0 [m]</i>
SOLICITADO:	<i>Unidad de construcciones</i>	REALIZADO:	<i>Diego Maza.</i>
FECHA:	<i>9 julio/12</i>	INFORME:	<i>Lab-UTPL-013</i>

#### Hoja 3 de 5: REGISTRO DEL ENSAYO

PROBETA No.:	<----	1	---->
Presión de conf. (Kg/cm <sup>2</sup> ):		0,5	

Tiempo	Carga	Deform.	Deform.	Área	Tensión
[hh:mm:ss]	[Kg]	[mm]	Unit. [%]	Corregida [cm <sup>2</sup> ]	Desviante
10:21:16	0	0	0	18,221	0
10:21:48	6,537	0,123	0,103	18,24	0,358
10:22:02	9,517	0,249	0,207	18,259	0,521
10:22:23	13,842	0,511	0,426	18,299	0,756
10:22:42	19,033	0,787	0,656	18,342	1,038
10:22:57	26,915	1,022	0,852	18,378	1,465
10:23:14	33,068	1,271	1,06	18,417	1,796
10:23:28	37,778	1,502	1,252	18,453	2,047
10:23:45	42,969	1,768	1,475	18,494	2,323
10:24:00	47,487	2,032	1,695	18,536	2,562
10:24:13	51,236	2,289	1,909	18,576	2,758
10:24:24	53,831	2,512	2,095	18,611	2,892
10:24:35	53,927	2,741	2,286	18,648	2,892
10:24:48	54,792	3,007	2,508	18,69	2,932
10:24:59	56,426	3,25	2,711	18,729	3,013
10:25:10	57,868	3,495	2,915	18,769	3,083
10:25:23	59,406	3,802	3,171	18,818	3,157
10:25:34	60,56	4,057	3,383	18,86	3,211
10:25:56	60,368	4,593	3,831	18,947	3,186
10:26:07	63,059	4,869	4,061	18,993	3,32
10:26:18	67	5,155	4,299	19,04	3,519
10:26:26	67	5,378	4,486	19,077	3,512
10:26:31	71,903	5,474	4,566	19,093	3,766

RESULTADOS:	Esf. Desv. [Kg / cm <sup>2</sup> ] =	3,766
	Esf. Principal [Kg / cm <sup>2</sup> ] =	4,27

#### OBSERVACIONES:

Ing. Ángel Tapia Ch.

RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO

## Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

### Laboratorio de mecánica de suelos - UTPL

#### ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

<b>PROYECTO:</b> <i>Estudio de mecánica de suelos para laboratorio</i> <b>OBRA:</b> <i>Adecuación para laboratorios</i> <b>LOCALIZACIÓN:</b> <i>Predios de la UTPL</i> <b>INSTITUCIÓN:</b> <i>UTPL</i> <b>FISCALIZACIÓN:</b> <b>SOLICITADO:</b> <i>Unidad de construcciones</i> <b>FECHA:</b> <i>9 julio/12</i>	<b>NORMA:</b> <i>ASTM D 2850</i> <b>ENSAYO:</b> <i>U-U</i> <b>TIPO PROB.:</b> <i>Remold/Cilind</i> <b>CALICATA No.:</b> <i>P1</i> <b>PROFUND.:</b> <i>0.8 a 1.0 [m]</i> <b>REALIZADO:</b> <i>Diego Maza.</i> <b>INFORME:</b> <i>Lab-UTPL-013</i>
---	--

#### Hoja 4 de 5: REGISTRO DEL ENSAYO

PROBETA No.:	< - - - -	2		- - - - >
Presión de conf. (Kg/cm <sup>2</sup> ):		1,1		

Tiempo [hh:mm:ss]	Carga [Kg]	Deform. [mm]	Deform. Unit. [%]	Área Corregida [cm <sup>2</sup> ]	Tensión Desviante
11:24:29	0	0	0	18,285	0
11:24:44	7,979	0,113	0,094	18,302	0,436
11:24:57	17,591	0,259	0,216	18,324	0,96
11:25:17	31,626	0,508	0,424	18,362	1,722
11:25:34	44,314	0,74	0,617	18,398	2,409
11:25:50	54,215	0,974	0,813	18,434	2,941
11:26:05	63,54	1,228	1,024	18,474	3,439
11:26:20	72,287	1,519	1,267	18,519	3,903
11:26:33	79,689	1,774	1,48	18,559	4,294
11:26:44	85,072	1,966	1,64	18,589	4,576
11:27:00	92,282	2,284	1,905	18,64	4,951
11:27:11	97,088	2,513	2,096	18,676	5,199
11:27:21	101,606	2,743	2,287	18,713	5,43
11:27:32	105,547	2,975	2,481	18,75	5,629
11:27:46	109,777	3,241	2,703	18,793	5,841
11:27:59	113,526	3,541	2,953	18,841	6,025
11:28:10	115,929	3,794	3,164	18,882	6,14
11:28:23	118,428	4,091	3,412	18,931	6,256
11:28:32	119,87	4,277	3,567	18,961	6,322
11:28:42	121,504	4,546	3,791	19,005	6,393
11:28:53	122,465	4,835	4,033	19,053	6,428
11:29:02	122,562	5,069	4,228	19,092	6,42

RESULTADOS:	Esf. Desv. [Kg / cm <sup>2</sup> ] =	6,432
	Esf. Principal [Kg / cm <sup>2</sup> ] =	7,53

#### OBSERVACIONES:

**Ing. Ángel Tapia Ch.**  
**RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO**

## Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

## Laboratorio de mecánica de suelos - UTPL

## ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

PROYECTO:	Estudio de mecánica de suelos para laboratorio	NORMA:	ASTM D 2850
OBRA:	Adecuación para laboratorios	ENSAYO:	U-U
LOCALIZACIÓN:	Predios de la UTPL	TIPO PROB.:	Remold/Cilind
INSTITUCIÓN:	UTPL	CALICATA No.:	P1
FISCALIZACIÓN:		PROFUND.:	0.8 a 1.0 [m]
SOLICITADO:	Unidad de construcciones	REALIZADO:	Diego Maza.
FECHA:	9 julio/12	INFORME:	Lab-UTPL-013

## Hoja 5 de 5: REGISTRO DEL ENSAYO

PROBETA No.:	< ----	3	---- >
Presión de conf. (Kg/cm <sup>2</sup> ):		2,1	

Tiempo	Carga	Deform.	Deform.	Área	Tensión
[hh:mm:ss]	[Kg]	[mm]	Unit. [%]	Corregida [cm <sup>2</sup> ]	Desviante
12:08:52	0	0	0	18,184	0
12:09:02	0,385	0,119	0,1	18,202	0,021
12:09:11	0,481	0,28	0,235	18,227	0,026
12:09:22	5,479	0,501	0,42	18,26	0,3
12:09:39	16,918	0,758	0,635	18,3	0,924
12:09:53	25,185	0,969	0,812	18,333	1,374
12:10:08	33,548	1,251	1,048	18,376	1,826
12:10:23	41,046	1,494	1,252	18,414	2,229
12:10:38	48,928	1,765	1,479	18,457	2,651
12:10:51	55,081	2,025	1,698	18,498	2,978
12:11:02	60,175	2,24	1,878	18,532	3,247
12:11:14	66,52	2,491	2,088	18,572	3,582
12:11:27	72,095	2,747	2,302	18,612	3,874
12:11:39	77,67	3,011	2,524	18,655	4,164
12:11:52	82,477	3,303	2,768	18,702	4,41
12:12:05	86,995	3,594	3,013	18,749	4,64
12:12:17	91,224	3,878	3,251	18,795	4,854
12:12:30	95,358	4,177	3,502	18,844	5,06
12:12:40	98,049	4,444	3,725	18,887	5,191
12:12:51	100,741	4,686	3,928	18,927	5,323
12:13:12	105,643	5,205	4,363	19,013	5,556
12:13:33	109,681	5,781	4,846	19,11	5,739
12:13:54	110,834	6,362	5,333	19,208	5,77
12:14:12	116,89	6,818	5,715	19,286	6,061
12:14:31	120,255	7,298	6,117	19,369	6,209
12:14:48	122,562	7,737	6,485	19,445	6,303
12:15:05	125,061	8,201	6,875	19,526	6,405
12:15:24	126,983	8,713	7,304	19,617	6,473
12:15:42	128,425	9,233	7,739	19,709	6,516
12:16:01	129,579	9,784	8,201	19,808	6,542
12:16:18	130,252	10,24	8,583	19,891	6,548
12:16:37	130,636	10,798	9,051	19,993	6,534

RESULTADOS:	Esf. Desv. [Kg / cm <sup>2</sup> ] =	6,555
	Esf. Principal [Kg / cm <sup>2</sup> ] =	8,65

## OBSERVACIONES:

Ing. Ángel Tapia Ch.  
RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO

## Anexo B. Reporte del ensayo Triaxial CU

### Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

#### Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

##### ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CU

PROYECTO:	<i>Estudio de mecánica de suelos para laboratorios</i>	NORMA:	<i>ASTM</i>
OBRA:	<i>Adecuación para laboratorios</i>	ENSAYO:	<i>C-U</i>
LOCALIZACIÓN:		CALICATA No:	<i>P1</i>
INSTITUCIÓN:	<i>UTPL</i>	PROFUND.:	<i>1.0[m]</i>
FISCALIZACIÓN:		REALIZADO:	<i>Diego Maza</i>
SOLICITADO:	<i>Unidad de construcciones</i>	INFORME:	<i>Lab-UTPL---</i>
FECHA:	<i>24 julio/12</i>		

#### Hoja 1 de 5: DATOS GENERALES DE LAS PROBETAS

PROBETA No.	1	2	3
Altura: (cm)	7,15	7,14	7,13
Diametro: (cm)	3,33	3,33	3,33
Área corregida: (cm <sup>2</sup> )	8,74	8,7	8,72
Volumen: (cm <sup>3</sup> )	62,52	62,12	62,16
Peso: (gr)	133,5	124,74	124,74

#### CONTENIDO DE AGUA

Peso Hum.: (gr)	122,76	130,76	135,76
Peso Seco: (gr)	114,78	120,78	125,78
Peso Cap.: (gr)	50,20	50,20	50,20
W(%):	12,5	14,29	13,33

#### DENSIDADES

Natural: (gr/cm <sup>3</sup> )	2,14	2,01	2,01
Seca: (gr/cm <sup>3</sup> )	1,9	1,76	1,77

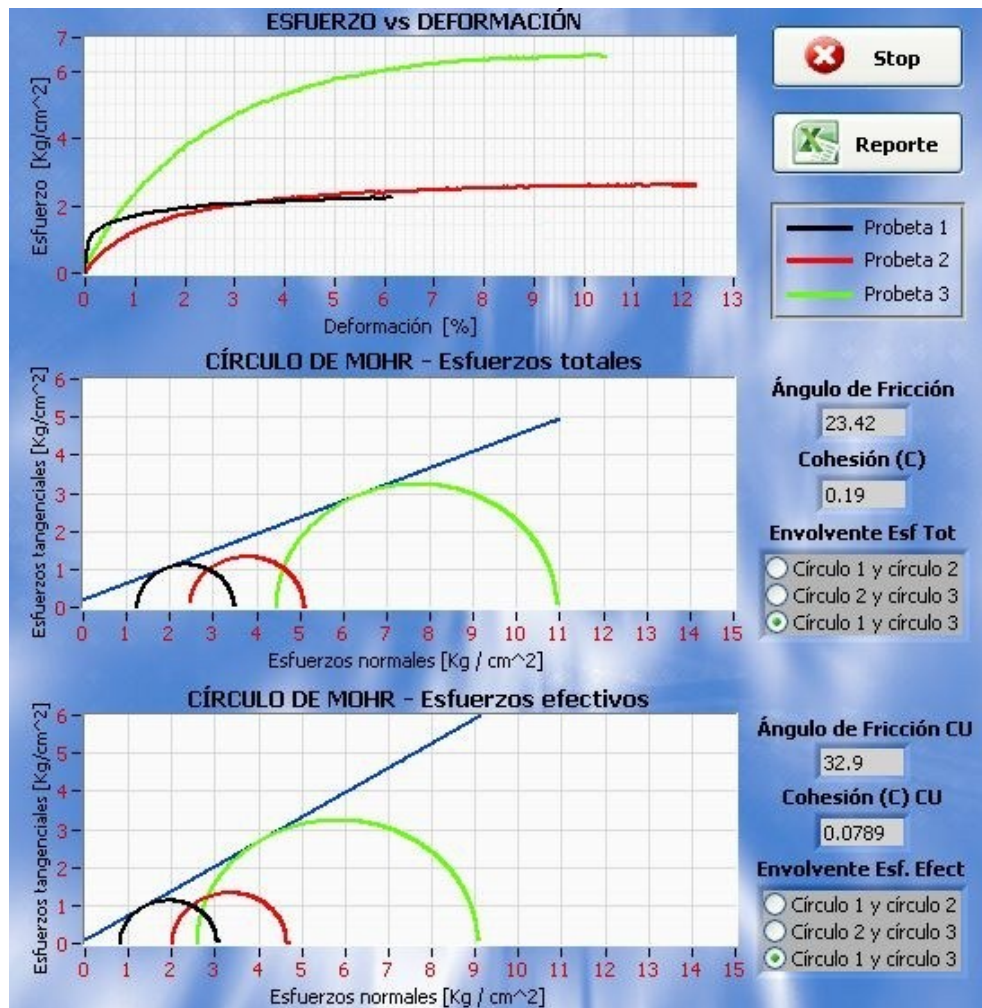
#### OBSERVACIONES:

Ing. Ángel Tapia Ch.  
 RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO



**Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil**  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL  
 ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CU

**Hoja 2 de 5: Resultados del ensayo**



RESULTADOS		Esf. Totales	Esf. Efectivos	
Cohesión (C)	:	0,19	0,08	[kg / cm <sup>2</sup> ]
Ángulo de fricción interna (phi)	:	23,42	32,90	[Grados]

**OBSERVACIONES:**

Ing. Ángel Tapia Ch.  
**RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO**

## Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CU

PROYECTO:	Estudio de mecánica de suelos para laboratorios	NORMA:	ASTM D - -
OBRA:	Adecuación para laboratorios	ENSAYO:	C-U
LOCALIZACIÓN:	Predios de la UTPL	TIPO PROB.:	Remold/Cilind
INSTITUCIÓN:	UTPL	CALICATA No.:	P1
FISCALIZACIÓN:		PROFUND.:	0.8 a 1.0 [m]
SOLICITADO:	Unidad de construcciones	REALIZADO:	Diego Maza
FECHA:	24 julio/12	INFORME:	Lab-UTPL---

## Hoja 3 de 5: REGISTRO DEL ENSAYO

PROBETA No.: <---- 1 ---->  
 Presión de conf. [Kg/cm<sup>2</sup>]: 1,254

Tiempo hh:mm:ss	Carga [Kg]	Deform. [mm]	Presión de Poros [Kg / cm <sup>2</sup> ]	Deform. Unit. [%]	Area Corregida [cm <sup>2</sup> ]	sig1 - sig3 [Kg / cm <sup>2</sup> ]	Presión Efectiva [Kg / cm <sup>2</sup> ]
16:04:27	0	0	0,495	0	8,744	0	0,759
16:05:52	10,882	0,149	0,459	0,209	8,762	1,242	0,799
16:06:11	12,744	0,337	0,458	0,472	8,786	1,451	0,8
16:06:23	13,921	0,507	0,459	0,709	8,807	1,581	0,799
16:06:40	15,195	0,769	0,46	1,076	8,839	1,719	0,799
16:06:56	16,077	1,031	0,458	1,442	8,872	1,812	0,801
16:07:10	16,764	1,276	0,456	1,785	8,903	1,883	0,803
16:07:25	17,45	1,505	0,454	2,105	8,932	1,954	0,804
16:07:39	17,94	1,761	0,45	2,463	8,965	2,001	0,808
16:07:54	18,234	2,025	0,448	2,832	8,999	2,026	0,809
16:08:10	18,528	2,309	0,447	3,229	9,036	2,05	0,813
16:08:20	18,822	2,506	0,446	3,505	9,062	2,077	0,813
16:08:34	19,214	2,729	0,444	3,817	9,091	2,114	0,814
16:08:46	19,606	2,954	0,443	4,132	9,121	2,15	0,814
16:09:01	19,803	3,253	0,441	4,55	9,161	2,162	0,816
16:09:15	19,999	3,509	0,44	4,908	9,195	2,175	0,818
16:09:29	20,195	3,79	0,439	5,3	9,234	2,187	0,818
16:09:41	20,391	4,026	0,438	5,631	9,266	2,201	0,821
16:09:57	20,783	4,31	0,437	6,028	9,305	2,234	0,822

## RESULTADOS:

En la falla				
0,437			2,234	0,822

## OBSERVACIONES:

Ing. Ángel Tapia Ch.  
 RESPONSABLE DEL AREA DE LABORATORIO

## Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

## Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

## ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CU

PROYECTO:	Estudio de mecánica de suelos para laboratorios	NORMA:	ASTM D - -
OBRA:	Adecuación para laboratorios	ENSAYO:	C-U
LOCALIZACIÓN:	Predios de la UTPL	TIPO PROB.:	Remold/Cilind
INSTITUCIÓN:	U T P L	CALICATA No.:	P1
FISCALIZACIÓN:		PROFUND.:	0.8 a 1.0 [m]
SOLICITADO:	Unidad de construcciones	REALIZADO:	Diego Maza
FECHA:	24 julio/12	INFORME:	Lab-UTPL---

## Hoja 4 de 5: REGISTRO DEL ENSAYO

PROBETA No.:	< - - - -		2		- - - - >		
Presión de conf. [Kg/cm2]:	2,459						
Tiempo	Carga	Deform.	Presión de Poros	Deform.	Área	sig1 - sig3	Presión Efectiva
hh:mm:ss	[Kg]	[mm]	[Kg / cm2]	Unit. [%]	Corregida [cm2]	[Kg / cm2]	[Kg / cm2]
17:27:47	0	0	0,354	0	8,7	0	2,105
17:27:58	2,843	0,111	0,381	0,155	8,714	0,326	2,078
17:28:06	5,098	0,229	0,405	0,32	8,728	0,584	2,055
17:28:20	8,039	0,439	0,454	0,615	8,754	0,918	2,005
17:28:36	10,784	0,714	0,501	1	8,788	1,227	1,959
17:28:50	12,842	0,953	0,541	1,335	8,818	1,456	1,918
17:29:04	14,411	1,219	0,578	1,707	8,852	1,628	1,882
17:29:17	15,685	1,475	0,606	2,066	8,884	1,766	1,854
17:29:30	16,764	1,713	0,633	2,399	8,914	1,881	1,826
17:29:43	17,646	1,977	0,658	2,769	8,948	1,972	1,801
17:29:55	18,234	2,215	0,678	3,102	8,979	2,031	1,782
17:30:07	19,018	2,432	0,7	3,407	9,007	2,111	1,76
17:30:19	19,508	2,67	0,718	3,74	9,039	2,158	1,741
17:30:33	20,097	2,934	0,738	4,109	9,073	2,215	1,721
17:30:45	20,489	3,172	0,752	4,443	9,105	2,25	1,708
17:30:58	21,077	3,41	0,767	4,776	9,137	2,307	1,694
17:31:10	21,371	3,648	0,782	5,109	9,169	2,331	1,679
17:31:23	21,763	3,91	0,792	5,476	9,205	2,364	1,668
17:31:35	21,959	4,153	0,805	5,817	9,238	2,377	1,655
17:31:47	22,253	4,373	0,817	6,124	9,268	2,401	1,643
17:31:59	22,449	4,614	0,828	6,462	9,302	2,414	1,633
17:32:10	22,744	4,83	0,838	6,765	9,332	2,437	1,623
17:32:24	23,234	5,123	0,851	7,175	9,373	2,479	1,61
17:32:35	23,332	5,354	0,861	7,498	9,406	2,481	1,601
17:32:47	23,724	5,575	0,87	7,808	9,437	2,514	1,591
17:32:59	23,822	5,816	0,877	8,146	9,472	2,515	1,583
17:33:13	24,116	6,113	0,887	8,562	9,515	2,534	1,574
17:33:24	24,214	6,337	0,894	8,875	9,548	2,536	1,567
17:33:35	24,704	6,563	0,9	9,192	9,581	2,578	1,562
17:33:47	24,802	6,812	0,904	9,541	9,618	2,579	1,556
17:34:00	24,9	7,035	0,91	9,854	9,652	2,58	1,551
17:34:12	24,998	7,29	0,916	10,21	9,69	2,58	1,545
17:34:24	25,194	7,548	0,922	10,572	9,729	2,59	1,539
17:34:36	25,39	7,806	0,927	10,933	9,769	2,599	1,535

## RESULTADOS:

En la falla			
0,942		2,64	1,519

## OBSERVACIONES:

Ing. Ángel Tapia Ch.  
RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO

## Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

## Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

## ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CU

**PROYECTO:** Estudio de mecánica de suelos para laboratorios  
**OBRA:** Adecuación para laboratorios  
**LOCALIZACIÓN:** Predios de la UTPL  
**INSTITUCIÓN:** U T P L  
**FISCALIZACIÓN:**  
**SOLICITADO:** Unidad de construcciones  
**FECHA:** 24 julio/12

**NORMA:** ASTM D --  
**ENSAYO:** C-U  
**TIPO PROB.:** Remold/Cilind  
**CALICATA No:** P1  
**PROFUND.:** 0.8 a 1.0 [m]  
**REALIZADO:** Diego Maza  
**INFORME:** Lab-UTPL---

## Hoja 5 de 5: REGISTRO DEL ENSAYO

PROBETA No.: <---- 3 ---->  
 Presión de conf. [Kg/cm2]: 4,464

Tiempo hh:mm:ss	Carga [Kg]	Deform. [mm]	Presión de Poros [Kg / cm2]	Deform. Unit. [%]	Area Corregida [cm2]	sig1 - sig3 [Kg / cm2]	Presión Efectiva [Kg / cm2]
18:33:46	0	0	0,545	0	8,718	0	3,919
18:34:08	5,588	0,124	0,581	0,173	8,733	0,64	3,886
18:34:21	9,509	0,254	0,621	0,357	8,749	1,087	3,849
18:34:40	16,567	0,507	0,69	0,711	8,78	1,887	3,782
18:34:56	22,057	0,773	0,753	1,084	8,813	2,503	3,722
18:35:12	26,567	1,016	0,816	1,425	8,844	3,004	3,66
18:35:28	30,88	1,28	0,877	1,795	8,877	3,479	3,604
18:35:43	34,703	1,525	0,943	2,139	8,908	3,896	3,541
18:35:58	37,841	1,778	0,997	2,493	8,941	4,232	3,49
18:36:13	40,88	2,034	1,064	2,853	8,974	4,555	3,427
18:36:27	43,526	2,302	1,12	3,228	9,009	4,832	3,372
18:36:41	45,781	2,56	1,18	3,59	9,043	5,063	3,315
18:36:53	47,84	2,798	1,231	3,924	9,074	5,272	3,266
18:37:06	49,408	3,069	1,279	4,304	9,11	5,424	3,219
18:37:20	51,173	3,319	1,333	4,656	9,144	5,597	3,167
18:37:32	52,839	3,574	1,384	5,013	9,178	5,757	3,119
18:37:44	53,82	3,828	1,431	5,37	9,213	5,842	3,074
18:37:55	54,996	4,07	1,478	5,708	9,246	5,948	3,03
18:38:07	55,977	4,337	1,516	6,083	9,283	6,03	2,994
18:38:18	56,859	4,585	1,554	6,43	9,317	6,103	2,956
18:38:30	57,741	4,832	1,596	6,777	9,352	6,174	2,917
18:38:41	58,525	5,086	1,631	7,134	9,388	6,234	2,884
18:38:52	59,212	5,343	1,665	7,493	9,424	6,283	2,852
18:39:03	59,8	5,603	1,698	7,858	9,461	6,32	2,822
18:39:13	60,29	5,861	1,73	8,22	9,499	6,347	2,791
18:39:23	60,878	6,091	1,757	8,543	9,532	6,387	2,766
18:39:34	61,074	6,359	1,786	8,918	9,572	6,381	2,739
18:39:45	61,662	6,622	1,813	9,288	9,611	6,416	2,714
18:39:55	61,858	6,858	1,836	9,619	9,646	6,413	2,694
18:40:11	62,741	7,201	1,866	10,1	9,697	6,47	2,667
18:40:17	62,643	7,377	1,88	10,346	9,724	6,442	2,653

## RESULTADOS:

En la falla			
1,866		6,47	2,667

## OBSERVACIONES:

Ing. Ángel Tapia Ch.  
 RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO

## Anexo C. Reporte del ensayo de corte directo CD

### Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorios de mecánica de suelos - UTPL

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CD

---

PROYECTO:		NORMA:	ASTM D 3080
OBRA:		ENSAYO:	CD
LOCALIZACION:	Prebos de la UTPL	CALICATA No:	
INSTITUCIÓN:	UTPL	PROFUND.:	1,0 - 1,5 [m]
FISCALIZACIÓN:		REALIZADO:	Diego Maza
SOLICITADO:	Unidad de construcciones	INFORME:	Lab-UCG
FECHA:	04 julio/12		

---

#### Hoja 1 de 5: DATOS GENERALES DE LAS PROBETAS

---

PROBETA No.		1	2	3
Diametro:	(cm)	6,38	6,37	6,37
Altura:	(cm)	2,59	2,6	2,6
Área corregida:	(cm <sup>2</sup> )	31,97	31,87	31,87
Volúmen:	(cm <sup>3</sup> )	82,8	82,86	82,86
Peso:	(gr)	164,83	165,85	163,96
Densidad:	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,99	2	1,98

---

#### CONTENIDO DE AGUA

---

Peso Hum(gr)	115	115,7	115,3	116	114,8	115,7
Peso Seco(gr)	112,4	113,2	112,9	113,8	112,4	113,5
Peso Cap (gr)	20,14	19,91	20,16	19,95	20,22	20,01
W (%)	2,82	2,68	2,59	2,34	2,6	2,35
W prom (%)	2,75		2,47		2,48	

---

#### DATOS DE LA PRUEBA

---

Carga axial:	(Kg)	16	32	64
Presión normal:	(Kg/cm <sup>2</sup> )	0,5	1	2,01

---

#### OBSERVACIONES:

---

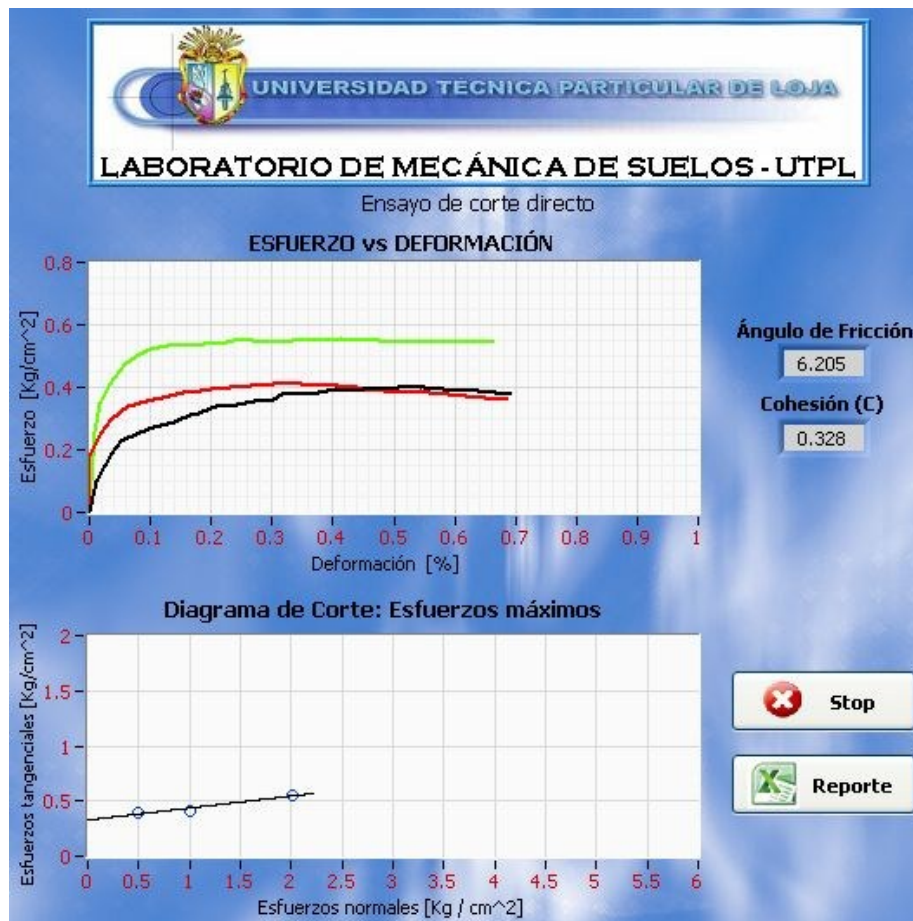
Ing. Ángel Tapia Ch.  
RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO

## Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

### Laboratorios de mecánica de suelos - UTPL

#### ENSAYO DE CORTE DIRECTO CD

Hoja 2 de 5: Resultados del ensayo



COHESIÓN (C) = 0.33 kg / cm<sup>2</sup>  
 ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA ( $\phi$ ) = 6.20°

**OBSERVACIONES:**

\_\_\_\_\_  
 Ing. Ángel Tapia Ch.  
 RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO

## Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de mecánica de suelos - UTPL

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CD

PROYECTO:	NORMA:	ASTM D 3080
OBRA:	ENSAYO:	CD
LOCALIZACIÓN: Predios de la UTPL	TIPO PROB.:	Cilindrica
INSTITUCIÓN: U T P L	CALICATA No:	P-
FISCALIZACIÓN:	PROFUND.:	1,0 - 1,5 [m]
SOLICITADO:	REALIZADO:	Diego Maza
FECHA: 04 julio/12	INFORME:	Lab-UCG

## Hoja 3 de 5: DATOS DE LA PRUEBA

PROBETA No.:	<-----	1	----->
Esfuerzo normal [Kg/cm2]:		0,5	

Tiempo [seg]	Deform. horizontal [mm]	Deform. vertical [mm]	Carga [Kg]	Deform. horizontal [%]	Deform. vertical [%]	Esfuerzo cortante [Kg / cm2]
0	0	0	0	0	0	0
2,2	0,008	0	3,172	0,013	0	0,099
4,41	0,023	0	6,056	0,037	0,001	0,189
6,62	0,032	0,001	7,305	0,051	0,003	0,229
8,83	0,049	0,001	8,074	0,077	0,003	0,253
11,03	0,067	0,002	8,651	0,105	0,007	0,271
13,25	0,088	0,002	9,324	0,138	0,009	0,292
15,45	0,105	0,003	9,901	0,165	0,012	0,31
17,66	0,115	0,003	10,189	0,18	0,012	0,319
19,87	0,133	0,004	10,766	0,209	0,017	0,337
22,08	0,154	0,017	11,054	0,242	0,066	0,346
24,28	0,172	0,017	11,343	0,27	0,067	0,355
26,5	0,192	0,018	11,631	0,301	0,07	0,364
28,7	0,201	0,018	12,016	0,315	0,071	0,376
30,91	0,22	0,019	12,112	0,344	0,073	0,379
33,12	0,24	0,029	12,208	0,376	0,11	0,382
35,33	0,259	0,029	12,592	0,405	0,112	0,394
37,53	0,277	0,029	12,4	0,434	0,112	0,388
39,75	0,287	0,029	12,592	0,449	0,113	0,394
41,95	0,304	0,03	12,688	0,476	0,117	0,397
44,17	0,324	0,03	12,785	0,508	0,117	0,4
46,37	0,344	0,049	12,785	0,539	0,188	0,4
48,58	0,351	0,049	12,785	0,55	0,188	0,4
50,8	0,37	0,049	12,688	0,581	0,189	0,397
53	0,388	0,049	12,496	0,607	0,189	0,391
55,2	0,407	0,049	12,4	0,637	0,188	0,388
57,42	0,426	0,055	12,304	0,667	0,214	0,385
59,62	0,439	0,055	12,112	0,688	0,214	0,379

RESULTADOS:	Esf. Normal. [Kg / cm2] =	0,5
	Esf. Max cortante [Kg / cm2] =	0,4

## OBSERVACIONES:

Ing. Ángel Tapia Ch.  
RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO

## Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de mecánica de suelos - UTPL

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CD

PROYECTO:	NORMA:	ASTM D 3080
OBRA:	ENSAYO:	CD
LOCALIZACIÓN: Predios de la UTPL	TIPO PROB.:	Cilindrica
INSTITUCIÓN: U T P L	CALICATA No:	P-
FISCALIZACIÓN:	PROFUND.:	1,0 - 1,5 [m]
SOLICITADO:	REALIZADO:	Diego Maza
FECHA: 04 julio/12	INFORME:	Lab-UCG

## Hoja 4 de 5: DATOS DE LA PRUEBA

Tiempo [seg]	Deform. horizontal [mm]	Deform. vertical [mm]	Carga [Kg]	Deform. horizontal [%]	Deform. vertical [%]	Esfuerzo cortante [Kg / cm <sup>2</sup> ]
0	0	0	0	0	0	0
2,2	0	0,001	5,671	0,001	0,004	0,178
4,42	0,012	0,001	8,074	0,019	0,006	0,253
6,63	0,023	0,002	9,612	0,036	0,008	0,302
8,83	0,04	0,003	10,766	0,062	0,011	0,338
11,05	0,06	0,004	11,343	0,095	0,014	0,356
13,25	0,077	0,004	11,727	0,12	0,015	0,368
15,45	0,098	0,005	12,304	0,154	0,018	0,386
17,67	0,107	0,005	12,208	0,168	0,019	0,383
19,88	0,128	0,003	12,592	0,2	0,012	0,395
22,08	0,147	0,004	12,785	0,231	0,016	0,401
24,3	0,17	0,004	12,977	0,266	0,016	0,407
26,5	0,192	0,003	13,073	0,302	0,01	0,41
28,7	0,201	0,003	13,073	0,316	0,012	0,41
30,92	0,221	0,004	13,073	0,348	0,015	0,41
33,13	0,241	0,003	12,881	0,378	0,012	0,404
35,34	0,259	0,003	12,881	0,407	0,012	0,404
37,55	0,279	0,003	12,785	0,438	0,01	0,401
39,75	0,287	0,004	12,496	0,451	0,014	0,392
41,97	0,309	0,003	12,4	0,485	0,012	0,389
44,17	0,327	0,004	12,304	0,513	0,014	0,386
46,38	0,347	0,004	12,4	0,545	0,015	0,389
48,59	0,365	0,004	12,112	0,573	0,014	0,38
50,8	0,376	0,004	12,016	0,59	0,016	0,377
53,02	0,394	0,004	11,919	0,618	0,017	0,374
55,22	0,414	0,004	11,631	0,65	0,017	0,365
57,42	0,435	0,005	11,535	0,683	0,019	0,362

RESULTADOS:	Esf. Normal. [Kg / cm <sup>2</sup> ] =	1
	Esf. Max cortante [Kg / cm <sup>2</sup> ] =	0,41

## OBSERVACIONES:

Ing. Ángel Tapia Ch.  
RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO



## Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de mecánica de suelos - UTPL

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CD

PROYECTO:	NORMA:	ASTM D 3080
OBRA:	ENSAYO:	CD
LOCALIZACIÓN: Predios de la UTPL	TIPO PROB.:	Cilindrica
INSTITUCIÓN: U T P L	CALICATA No:	P-
FISCALIZACIÓN:	PROFUND.:	1,0 - 1,5 [m]
SOLICITADO:	REALIZADO:	Diego Maza
FECHA: 04 julio/12	INFORME:	Lab-UCG

## Hoja 5 de 5: DATOS DE LA PRUEBA

PROBETA No.: <---- 2 ---->						
Esfuerzo normal [Kg/cm2]: 2,01						
Tiempo [seg]	Deform. horizontal [mm]	Deform. vertical [mm]	Carga [Kg]	Deform. horizontal [%]	Deform. vertical [%]	Esfuerzo cortante [Kg / cm2]
0	0	0	0	0	0	0
2,22	0,002	0	3,268	0,003	0,002	0,103
4,42	0,006	0,001	8,171	0,009	0,003	0,256
6,62	0,011	0,001	11,15	0,018	0,003	0,35
8,84	0,022	0,001	13,169	0,035	0,003	0,413
11,05	0,039	0,001	15,188	0,061	0,004	0,477
13,25	0,053	0,001	16,053	0,083	0,003	0,504
15,47	0,064	0,001	16,63	0,1	0,004	0,522
17,67	0,081	0,001	16,918	0,127	0,004	0,531
19,87	0,1	0,001	17,014	0,157	0,006	0,534
22,09	0,119	0,002	17,11	0,187	0,007	0,537
24,3	0,138	0,001	17,206	0,217	0,004	0,54
26,5	0,151	0,001	17,495	0,237	0,004	0,549
28,72	0,17	0	17,591	0,267	0,002	0,552
30,92	0,191	0	17,399	0,3	0	0,546
33,14	0,212	0	17,591	0,333	0,001	0,552
35,34	0,232	0	17,591	0,365	0	0,552
37,55	0,24	0	17,591	0,377	0	0,552
39,76	0,264	0	17,687	0,414	0,001	0,555
41,97	0,283	0,002	17,495	0,445	0,008	0,549
44,19	0,302	0,002	17,495	0,475	0,008	0,549
46,39	0,313	0,003	17,399	0,492	0,012	0,546
48,59	0,333	0,004	17,302	0,523	0,015	0,543
50,81	0,352	0,005	17,399	0,552	0,02	0,546
53,01	0,372	0,005	17,399	0,584	0,02	0,546
55,22	0,392	0,005	17,399	0,615	0,02	0,546
57,44	0,402	0,006	17,302	0,631	0,024	0,543
59,64	0,421	0,006	17,399	0,661	0,022	0,546

RESULTADOS:	Esf. Normal. [Kg / cm2] =	2,01
	Esf. Max cortante [Kg / cm2] =	0,555

## OBSERVACIONES:

Ing. Ángel Tapia Ch.  
RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO

## Anexo D. Reporte del ensayo de consolidación

### Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

#### Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

##### ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

PROYECTO: Estudio de mecánica de suelos para laboratorios

OBRA: Adecuación para laboratorios

LOCALIZACIÓN: Predios de la UTPL

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilloso

CONSOLIDÓMETRO TIPO: Fijo

FECHA: 2 Agosto/2012

RELACIÓN DE AMPLIFICACIÓN DEL SISTEMA DE CARGA: 10 - 1

NORMA: ASTM D-2435

PERFORACIÓN N°: 1

MUESTRA N°: P1

PROFUND: 1.00 [m]

REALIZADO: Diego Maza

INFORME: Lab-UTPL---

#### <<< DATOS GENERALES DE LA PROBETA >>>

<i>Datos de la muestra</i>		<i>Contenido de humedad inicial</i>	
Diámetro del anillo:	6,34 cm	Peso de lata + suelo hum:	167,5
Altura del anillo:	2,54 cm	Peso de lata + suelo seco:	144,83
Área:	31,57 cm <sup>2</sup>	Peso de lata:	17,58
Volumen:	80,19 cm <sup>3</sup>	Peso del suelo seco:	127,25
Altura del suelo ini. Hi:	2,53 cm	Peso del agua	22,67
Peso del anillo + muestra:	658,5 gr	Contenido de humedad ini.:	17,82
Peso del anillo:	501 gr		
Peso muestra hum. Wt:	157,5 gr		
Peso del suelo seco Ws:	140,48 gr		
Altura de sólidos Hs:	1,572 cm		
Altura ini. de vacíos Hv:	0,838 cm		
Grado de caturac. ini. Si:	82,75 %		
Relación de vacíos ini. ei.:	0,5331		

#### <<< DATOS FINALES DEL ENSAYO (obtenidos al final del ensayo) >>>

		<i>Contenido de humedad final</i>	
Lectura inicial del deformímetro:	0,00 mm	Peso final del anillo + M humedad:	661,10
Lectura final del deformímetro:	0,8225 mm	Peso final del anillo + Suelo seco:	641,80
Cambio en altura de la muestra:	24,4775 mm	Peso o volumen de agua:	19,3
Altura final de vacíos, Hvf:	0,6056 mm	Peso del suelo seco al horno, Ws:	140,48
Relación de vacíos final, ef:	0,3852	Contenido de humedad final, Wf:	13,74
		Grado de dauración final, Sf:	115,00

Ing. Ángel Tapia Ch.

RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIO

## Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

### Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

#### ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

PROYECTO: Estudio de mecánica de suelos para laboratorios

OBRA: Adecuación para laboratorios

LOCALIZACIÓN: Predios de la UTPL

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilloso

CONSOLIDÓMETRO TIPO: Fijo

FECHA: 2 Agosto/2012

RELACIÓN DE AMPLIFICACIÓN DEL SISTEMA DE CARGA: 10 - 1

NORMA: ASTM D-2435

PERFORACIÓN N°: 1

MUESTRA N°: P1

PROFUND: 1.00 [m]

REALIZADO: Diego Maza

INFORME: Lab-UTPL---

#### REGISTRO DEL ENSAYO

Carga: 0.0 - 1.0 Kg

Fecha de aplicación: 2 Agosto/2012

Aplicada por: Diego Maza H

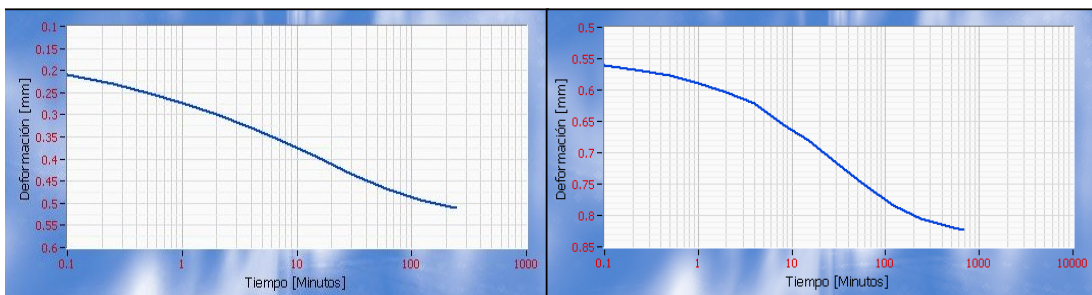
Carga: 1.0 - 2.0 Kg

Fecha de aplicación: 2 Agosto/2012

Aplicada por: Diego Maza H

Hora	Tiempo [min]	Def. [mm]
9:53:59	0	0
9:54:05	0,1	0,2085
9:54:14	0,25	0,23
9:54:29	0,5	0,2493
9:54:59	1	0,2727
9:55:59	2	0,2988
9:57:59	4	0,3289
10:01:59	8	0,3633
10:08:59	15	0,397
10:23:59	30	0,4343
10:53:59	60	0,468
11:53:59	120	0,4932
13:53:59	240	0,5115

Hora	Tiempo [min]	Def. [mm]
16:26:36	0	0,5115
16:26:42	0,1	0,5616
16:26:51	0,25	0,5694
16:27:06	0,5	0,5777
16:27:36	1	0,5887
16:28:36	2	0,6033
16:30:36	4	0,6219
16:34:36	8	0,6548
16:41:36	15	0,6812
16:56:36	30	0,7156
17:26:36	60	0,7517
18:26:36	120	0,784
20:26:36	240	0,8045
0:26:36	480	0,8174
3:26:36	660	0,8225



## Anexo E. Plataforma: Arquitectura del sistema de adquisición de datos

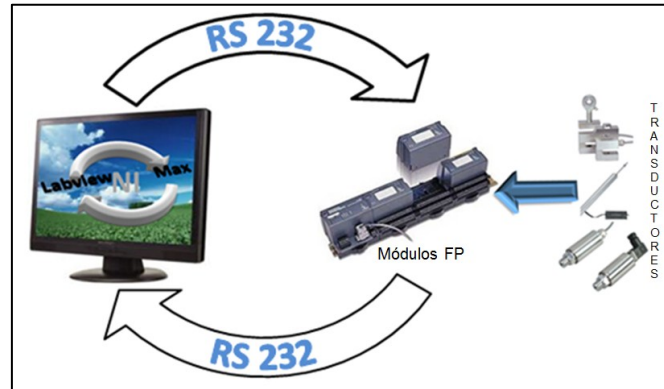
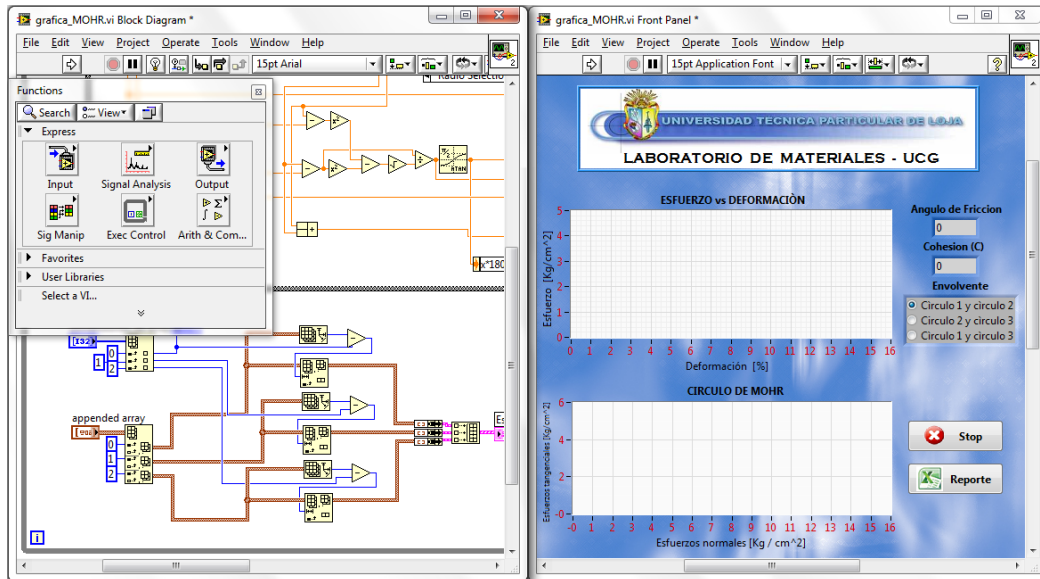


Fig. E.1 Diagrama del sistema de adquisición de datos

En la Fig. E.1 se puede distinguir la configuración, tanto en software como en hardware del sistema de adquisición de datos. National Instruments (NI) dispone de los módulos FP y los programas LabVIEW y MAX, que nos permite la programación gráfica y la configuración de los módulos respectivamente; y la plataforma de Omega, que dispone de una amplia variedad de transductores. En los anexos se encuentran las características de estos transductores.

### E.1. LabVIEW

Para el desarrollo de aplicaciones, LabVIEW dispone de un lenguaje de programación gráfico, mas la facilidad de utilizar sus dos ventanas, “Panel frontal” y “Diagrama de bloques” para el desarrollo de la interfaz de usuario y el código respectivamente (Fig. E.2). Una ventaja de utilizar labview en el mundo de la automatización, es la facilidad para crear la “interfaz gráfica de usuario” a la par con el desarrollo del código, que realizará la función de control y análisis en nuestra aplicación.



**Fig. E.2 LabVIEW, entorno de programación**

Los programas desarrollados mediante la plataforma LabVIEW, son llamados instrumentos virtuales (VIs), ya que su apariencia y funcionamiento imitan a los instrumentos físicos, tales como osciloscopios y multímetros. LabView contiene un conjunto completo de herramientas para adquirir, analizar, mostrar y almacenar datos, así como herramientas para ayudar en la solución de los errores en el código que se programa. Se puede utilizar LabVIEW para comunicarse con el hardware, tales como la adquisición de datos, la visión y los dispositivos de control de movimiento, así como GPIB, PXI, VXI, RS232, y los instrumentos RS485. [11]

## E.2. MAX

Measurement & Automation Explorer (MAX), proporciona acceso a los dispositivos y sistemas de National Instruments, en este caso se utiliza el MAX para la configuración de los parámetros de los módulos de E/S, así como del módulo de red. Con el MAX se puede:

- Configurar el hardware y software de National Instruments.
- Creación y edición de canales, tareas, interfaces, escalas e instrumentos virtuales.
- Ejecutar los diagnósticos del sistema.
- Ver dispositivos e instrumentos conectados a su sistema.
- Actualizar el software de National Instruments.

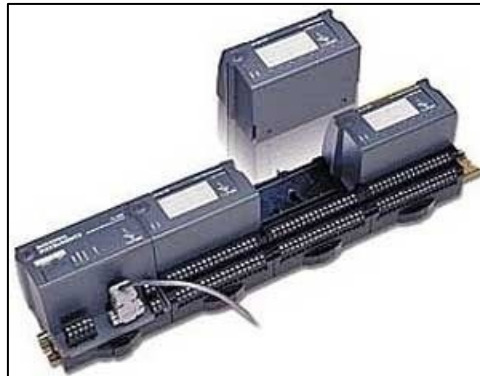
Además de las herramientas estándar, MAX puede exponer las herramientas específicas que se puede utilizar para configurar, diagnosticar o probar el sistema, en función de los productos NI que se instale.

### E.3. Módulos FieldPoint

Los módulos FP (FieldPoint) en su conjunto, cumplen la función de ser la interfaz entre: los sensores utilizados en los ensayos y la PC (en la cual se ejecuta la aplicación desarrollada para cada ensayo). Primeramente, se debe diferenciar los dos tipos de módulos utilizados:

- Módulo de interfaz de red: FP-1000
- Módulos E/S analógicos: FP- AI 110 y FP-SG-140

El modulo de interfaz de red es el encargado de intercambiar la información entre: los módulos E/S y el ordenador, a través de un bus local de alta velocidad (<115200 bauds).



*Fig. E.3 Módulo de interfaz de red FP-1000 (izq) y módulos E/S*

Según [12], El FP-1000 permite la escalabilidad en el tamaño de la red mediante la adición de más módulos E/S (hasta 9), ya sea de la misma familia o de la familia FP 1001, 2000 o de la nueva generación [c]FP (compact FP).

#### E.3.1. Módulo NI-FP-SG-140

En el módulo FP-SG-140, se encuentra conectado la celda de carga LC101; (SG en el nombre del modulo hace referencia a Strain Gauge). Este módulo es apto para sensores configurados a base de Strain Gauge (Galgas extensométricas). El modulo posee las siguientes características [13]:

- Soporte interno para configuraciones de puente completo y medio puente con terminación de puente programable.
- Excitación programable para cada canal: 2.5, 5, o 10 Volt.
- Cuatro rangos de entrada:  $\pm 3.5$ ,  $\pm 7.5$ ,  $\pm 30$ , y  $\pm 60$  mV/V con overranging.
- Tres ajustes de filtro: 15, 60, y 240 Hz
- Resolución de 16 bit.
- Protección de sobrevoltaje transitorio de 2300 Vrms entre el bus de comunicación del módulos de red y los canales de E/S.
- Operación entre -40 a 70 °C
- Autoconfiguración HotPNP (plug and play)

### E.3.2. Módulo NI-FP-AI-110

El NI FP-AI-110 es un módulo de entrada de 8 canales para medida directa de señales de milivoltios, bajo voltaje o miliamperios desde una variedad de sensores y transmisores. El módulo ofrece entradas analógicas filtradas de poco ruido con resolución de 16 bits, permite operación HotPnP (plug-and-play) arriba del rango y diagnósticos integrados para asegurar instalación y mantenimiento sin problemas. Al modulo FP-AI-110 (AI hace referencia a entradas analógicas), se conectan los sensores de deformación y de presión, posee las siguientes características [14]:

- Ocho canales de entrada de tensión o de corriente analógica.
- Ocho rangos de voltaje de entrada: 0–1 V, 0–5 V, 0–10 V,  $\pm 60$  mV,  $\pm 300$  mV,  $\pm 1$  V,  $\pm 5$  V, y  $\pm 10$  V
- Tres rangos de entrada de corriente: 0–20, 4–20, and  $\pm 20$  mA
- Resolución de 16 bits.
- Tres filtros ajustables: 50, 60, and 500 Hz.
- Operación desde -40 hasta 70 °C
- Autoconfiguración HotPNP (plug and play)

## Anexo F. Procedimiento ensayo Triaxial UU

Para llevar a cabo un ensayo de compresión Triaxial consolidada no drenada (UU), un espécimen de suelo cilíndrico está encerrado en una membrana de goma y se coloca en la cámara Triaxial, y una presión lateral (todo alrededor) específica (y constante) se aplica por medio de agua o de aire comprimido dentro de la cámara sin permitir al espécimen consolidar (drenar) bajo la presión lateral. Una carga vertical (axial) se aplica luego externamente y rápidamente sin permitir el drenaje de la muestra y se sigue aumentando hasta que la muestra falla. La carga axial aplicada externamente que causa que el espécimen falle y la presión lateral se registran.

El espécimen de suelo se retira entonces y se desecha, y otro espécimen de la misma muestra de suelo se coloca en la cámara Triaxial. El procedimiento se repite para la nueva muestra para una diferente (superior o inferior) presión lateral. La carga axial en el fracaso y la presión lateral se registran para la segunda prueba. Todo el procedimiento se suele repetir para dos o más otros especímenes del mismo suelo, cada uno con una presión lateral diferente [8].

- Humedezca las piedras porosas y el papel filtro.
- Lubrique el interior y exterior de la membrana.



*Fig. F.1 Colocación de la membrana a la probeta*

- Fije la membrana al dilatador de membrana.
- Coloque sobre la base de la muestra las piedras porosas, el papel filtro, la probeta y la tapa superior.



- Extienda la membrana sobre la tapa y base de la muestra y séllela con los anillos de caucho.
- Aplique un vacío de 5in Hg hasta que todo el aire sea expulsado.
- Ensamble la cámara Triaxial.
- Ponga en contacto el pistón con la tapa de la muestra para permitir el asentamiento y la alineación del pistón con la tapa.
- Llene con agua la cámara Triaxial.



*Fig. F.2 Cámara triaxial llenada con agua*

- Aplique una presión de confinamiento hasta que el regulador indique la presión deseada.
- Encere los deformímetros vertical y de carga.
- Aplique la carga axial a una velocidad de deformación de 0.127cm/min (lecturas constantes o hasta el 20% de la de formación axial).
- Registre las lecturas de deformación axial y de carga.
- Apague la máquina, suelte la presión del equipo y remueva la muestra.
- Realice un gráfico o tome una fotografía del tipo de falla.
- Siga el mismo procedimiento descrito anteriormente para realizar dos ensayos adicionales con diferente presión de confinamiento  $\sigma_3$ .

## Anexo G. Procedimiento ensayo Triaxial CU

El ensayo de compresión Triaxial consolidado no drenado (CU) se realiza colocando una muestra saturada en la cámara Triaxial, introduciendo una presión lateral (confinamiento), y permitiendo al espécimen consolidar bajo una presión lateral al dejar las líneas de drenaje abierto. Las líneas de drenaje se cierran, y la carga axial se aplica a una velocidad relativamente rápida, sin permitir el drenaje posterior. Sin drenaje durante la aplicación de la carga axial, una acumulación de exceso de presión de poro podría resultar. La presión de poros  $\mu$  durante la prueba se debe medir para obtener la presión efectiva necesaria para trazar el círculo de Mohr. (La presión efectiva  $\bar{\sigma}$  es igual a la presión total  $\sigma$  menos la presión de poro  $\mu$ , es decir:

$$\bar{\sigma} = \sigma - \mu \quad \text{G.1}$$

La presión de poros se puede determinar utilizando un dispositivo de medición de presión conectado a las líneas de drenado en cada extremo de la muestra [8]. Debido que, para los ensayos triaxiales UU y CU, se utiliza la misma maquina, en este apartado no incluiremos imágenes del procedimiento.

- Colóquese una piedra porosa sobre el pedestal y sobre ésta la muestra; adhiéranse tiras de papel de filtro a lo largo de los lados de la muestra.
- Empleando un dilatador de membranas, colocar sobre la muestra una membrana delgada e impermeable; colóquense anillos en “o” de presión alrededor de la membrana a la altura del pedestal para proporcionar un sello; colóquense tiras filtrantes adicionales, piedra porosa y el cabezote superior sobre el espécimen. Colóquense anillos en “O” de presión alrededor de la membrana en el cabezote superior.
- Colóquese la cámara de ensayo con la muestra en el dispositivo de carga, y llénese con fluido. Satúrese la línea de drenaje antes de comenzar el ensayo.
- Auméntese la contrapresión y la presión de la cámara paulatinamente, hasta cuando la lectura de presión de poros indique que se ha logrado equilibrio en toda la muestra.
- Manténgase la presión de la cámara aproximadamente  $0,35 \text{ kg/cm}^2$  mayor que la contrapresión para evitar flujo entre la muestra y la membrana.

Continúese aumentando la contrapresión y la presión de confinamiento hasta la que la respuesta de la presión de poros indique saturación.

- Auméntese la presión de la cámara hasta que la diferencia entre ésta y la contrapresión iguale la presión deseada de consolidación.
- Permítase que la presión de consolidación se mantenga durante la noche o hasta que la lectura de presión de poros indique que se ha completado la fase de consolidación. Compruébese el grado de saturación antes de aplicar la carga axial cerrando la válvula de drenaje y aumentando la presión de confinamiento en  $0,7 \text{ kg/cm}^2$  o más. Calcúlese la relación del cambio de presión de poros con respecto al cambio de la presión de confinamiento.
- Antes de aumentar la carga axial, ciérrase la válvula entre la cámara y la bureta, de manera que la muestra sea sometida a esfuerzo cortante en condición no drenada.
- Póngase en movimiento el aparato de carga y déjese funcionar unos pocos minutos a la velocidad de ensayo deseada, para compensar cualquier efecto separado o combinado por fricción del pistón o por empuje hacia arriba sobre el pistón, debido a la presión de la cámara.
- En el ensayo Triaxial, la razón de deformación deberá ser de tal magnitud que permita la igualación de la presión de poros en el espécimen. Anótense las lecturas de carga y deformación a intervalos suficientemente pequeños para definir exactamente la curva esfuerzo-deformación.
- El criterio de falla deberá ser el valor máximo del esfuerzo desviador en el supuesto de que ocurra un máximo. En el caso de que no se presente un máximo definido y que el esfuerzo desviador continúe en aumento con la deformación, deberá tomarse la falla como el esfuerzo desviador correspondiente al 20% de deformación.
- Después de la falla, quítense todas las presiones y drénese el fluido de confinamiento de la cámara de ensay. Desármese el conjunto, examínese el espécimen. Pésese la muestra y colóquese en un horno para secamiento con el fin de determinar la humedad y el peso unitario.

## Anexo H. Procedimiento ensayo corte directo CD

Para llevar a cabo un ensayo de corte directo, un espécimen de suelo se prepara y se coloca en una caja de corte directo, que puede ser redonda o cuadrada. Una carga normal (y constante) de magnitud específica se aplica. La caja está "dividida" en dos partes horizontales, y si la mitad mas baja se mantiene estacionaria mientras la mitad superior se empuja con fuerza creciente, el suelo en última instancia, experimentará la falla por cizallamiento a lo largo de la superficie horizontal. Este procedimiento se lleva a cabo en el equipo de corte directo, y la carga normal particular y el esfuerzo cortante que produce la falla por cizallamiento se registran.

El espécimen de suelo se retira entonces de la caja de cizalladura y se desecha, y otra muestra del mismo suelo se coloca en el cuadro de cizallamiento. Una carga normal ya sea mayor o menor que la utilizada en la primera prueba se aplica a la segunda muestra, y una fuerza de cizallamiento se aplica de nuevo con una magnitud suficiente para causar fallo cortante. La carga normal y el esfuerzo cortante que produce la falla por cizallamiento se registran para la segunda prueba. El procedimiento completo se puede repetir para otra muestra y otra carga normal diferente [8].

### Primera etapa: consolidación de la muestra

- Ensamble la caja de corte colocando las piedras porosas, el papel filtro.
- Asegure la caja de corte con los tornillos de alineación, centre la placa de transferencia de carga y coloque la caja en el dispositivo de corte.



*Fig. H.1 Ensamble de la caja de corte.*

- Conecte y ajuste el sistema de corte.

- Coloque los LVDT horizontal y vertical.



**Fig. H.2 Configuración de los LVDT.**

- Llene con agua la caja de corte.
- Calcule las cargas normales para obtener los esfuerzos normales deseados.
- Aplique la carga normal, agregando masa al brazo de palanca (0.5, 1, 2 Kg/ cm<sup>2</sup>).
- Registre las lecturas verticales en función del tiempo transcurrido.
- Grafique la curva deformación vertical versus log del tiempo o raíz cuadrada del tiempo en min.
- Quite los tornillos y levante el anillo móvil a 0.025 in (0.64 mm).
- Determine el tiempo total para que se produzca la falla ( $t_f$ ), mediante la siguiente ecuación:

$$t_f = 50t_{50} \quad H.1$$

Donde:  $t_f$  = Tiempo total estimado para alcanzar la falla, min. 10 min para arenas densas y limpias

$t_{50}$  = Tiempo requerido por la muestra para lograr el 50% de consolidación.

- Si  $t_{90}$  se calcula por método de la raíz cuadrada del tiempo,  $t_{50}$  se obtiene con la siguiente ecuación.

$$t_{50} = \frac{t_{90}}{4,28} \quad H.2$$

Donde:  $t_{90}$  = Tiempo requerido por la muestra para alcanzar el 90% de la consolidación primaria, min.

4.28 = Constante relativa

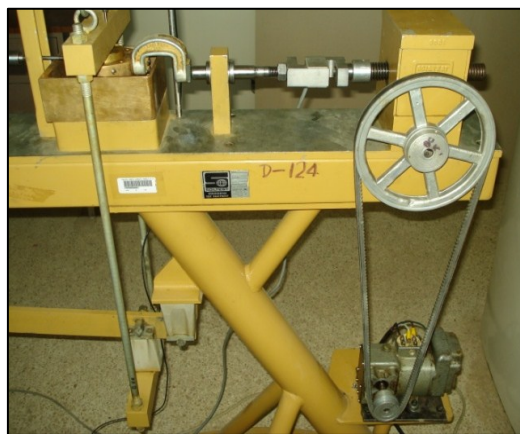
- Determine la velocidad de corte, la cual debe ser lo suficientemente lenta:

$$d_r = \frac{d_f}{t_f} \quad H.3$$

Donde:  $d_r$  = Velocidad de desplazamiento, en in/min ó mm/min.  
 $d_f$  = Desplazamiento horizontal estimado hasta la falla, in ó mm. 0.5 in si el material es de grano fino normal o sobreconsolidado y 0.2 in. Si el suelo es arenoso  
 $t_f$  = Tiempo estimado hasta la falla, min.

### Segunda etapa: Corte de la muestra

- Inicie el corte de la muestra aplicando la velocidad calculada.
- Registre las lecturas de deformación vertical, horizontal y de la celda de carga a intervalos de desplazamiento horizontal igual o menor que el 2% del diámetro de la muestra.



*Fig. H.3 Corte de la muestra.*

- Continúe cortando la muestra hasta cuando actúe la máxima resistencia al corte
- Luego de alcanzar la falla desarme el equipo quitando los LVDT, las pesas y luego la caja de corte.

Retire la muestra de la caja de corte, pese su masa y determine el contenido de humedad ASTM D 2216.

## Anexo I. Procedimiento ensayo de consolidación

- Humedezca las piedras porosas y el papel filtro si el suelo está parcialmente saturado o mantenga las secas si el suelo es expansivo.
- Ensamble la caja de consolidación colocando la muestra entre papel filtro y las piedras porosas.



*Fig. I.1 Ensamblado de la caja de consolidación*

- Coloque la caja de consolidación en el dispositivo de carga poniendo sobre la muestra el disco móvil de acero para uniformizar la carga.
- Coloque el deformímetro en el aparato de carga con su dispositivo para sujetarse.
- Aplique una carga de asentamiento de 5kPa (100lb/ft<sup>2</sup>) para suelos firmes y de 2 ó 3kPa (alrededor de 50lb/ft<sup>2</sup>) para suelos blandos, (para producir estas presiones se deben aplicar cargas de 160 y 80 gr respectivamente).



*Fig. I.2 Colocación de carga de asentamiento.*

- Aplicada la carga de asentamiento llene con agua la caja de consolidación y deje que la muestra se sature.
- Coloque cargas sobre el consolidómetro para obtener presiones sobre el suelo de aproximadamente 30.40, 61.80, 123.60, 248.20, 495.40, 991.80, etc. kPa, (para producir estas presiones se deben aplicar cargas de 1, 2, 4,

8, 16, 32Kg respectivamente). Antes de aplicar un incremento de presión, registre la altura de la muestra.

- La duración de cada incremento de carga debe ser de 24 horas. Inmediatamente aplicado cada incremento de carga, ponga en marcha el cronómetro y registre las lecturas de deformación de la muestra a intervalos de 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15 y 30 minutos y 1, 2, 4, 8, y 24 horas.



*Fig. I.3 Colocación de cargas sobre el equipo de consolidación.*

- Una vez tomada la última lectura con el último incremento de carga, descargue el suelo mediante reducciones de carga.
- Para disminuir la expansión durante la descarga, deberá descargarse la muestra hasta la carga establecida de 5kPa (100lb/ft<sup>2</sup>) para suelos firmes y de 2 ó 3kPa (alrededor de 50lb/ft<sup>2</sup>) para suelos blandos. Una vez que se ha concluido el ensayo, quite la carga final y desarme rápidamente la caja de consolidación.
- Pese la masa de la muestra extraída de la caja de consolidación (MTf) pesando el conjunto anillo más muestra y restando la masa del anillo, con una precisión de 0.01g.
- Seque la muestra en el horno hasta una masa constante a una temperatura de 1105 °C (2309F), pese su masa seca (MSf) y determine el contenido de humedad final, (Wf) de acuerdo con la norma ASTM D2216.



*Fig. I.4 Secado al horno de la muestra.*



## Anexo J. Transductor de carga: Celda de carga LC101

El transductor que se utiliza para la medición de la carga aplicada en los ensayos triaxiales y de corte directo, pertenece a la empresa Omega y tiene las siguientes características [15]:



*Fig. J.1 Celda de carga LC101*

- Alimentación: 10 Vdc, 15 Vdc max
- Salida: 3 mV/V  $\pm 0.0075$  mV/V
- Linealidad  $\pm 0.03\%$  FSO (0.1% 40 K)
- Histéresis:  $\pm 0.02\%$  FSO (0.1% 40 K)
- Repetitividad:  $\pm 0.01\%$  FSO (0.05% 40 K)
- Balance de cero:  $\pm 1\%$  FSO
- Rango de temperatura de funcionamiento: -40 a 93°C (-40 a 200°F)
- Protección a las sobrecargas: 150% de la capacidad
- Sobrecargas límite: 300% de la capacidad
- Resistencia de entrada:  $350 \pm 10 \Omega$
- Resistencia de salida:  $350 \pm 10 \Omega$
- Desvío de escala completa: 0.25 a 0.51 mm (0.010 a 0.020")
- Construcción: 17-4 PH acero inoxidable.

## Anexo K. Transductor de deformación LVDT: LD610-15

El transductor que sensa la deformación de las muestras en los ensayos, esta basado en el transformador diferencial de variación lineal (LVDT); en el sistema se utiliza el sensor LD610 que incluye un acondicionador de señal y posee las siguientes características [16]:



*Fig. K.1 Transductor de deformación LD610 -15*

- Voltaje de alimentación:  $\pm 15$  Vdc @ 18 mA max
- Output:  $\pm 10$  Vdc
- Linealidad: 0.3% FS
- Ancho de banda: 250 Hz
- Salida de corriente: 8 mA max
- Temperatura de operación:  $-55$  a  $150^{\circ}\text{C}$  ( $-67$  a  $302^{\circ}\text{F}$ )
- Coeficiente de temperatura cero: 0.025% FS/ $^{\circ}\text{C}$
- Coeficiente de temperatura Span: 0.03% FS/ $^{\circ}\text{C}$
- Materiales de Construcción: Cuerpo: acero inoxidable; Núcleo: aleación de níquel y hierro

## Anexo L. Transductor de Presión: PXM209

El transductor de presión PXM209, usa la configuración de puente completo con un diafragma micromecanizado de silicio, teniendo las siguientes características [17]:



*Fig. L.1 Transductor de presión PXM209*

Salida: 0 a 10 Vdc

- Alimentación: 24 Vdc @ 15 mA (12 a 35 Vdc)
- Output: 0 a 10 Vdc  $\pm 1.5\%$  (3 wire)
- Zero Balance: 0 Vdc  $\pm 2\%$  FSO

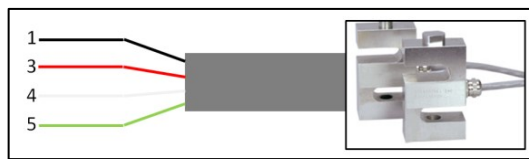
Salida: 4 a 20 mA

- Alimentación: 24 Vdc (7 a 35 Vdc)
- Inversión de polaridad protegida
- Output: 4 to 20 mA  $\pm 1\%$  FSO (2 wire)
- Zero Balance: 4 mA  $\pm 2\%$  FSO
- Precisión: 0.25% FS (including linearity, hysteresis and repeatability)
- Temperatura de operación: -54 a 121°C
- Efectos térmicos: 0.04% FS/%°C
- Presión de prueba: 150%
- Presión de daño: 300% rango max
- Tiempo de respuesta: 2 ms típico
- Sensibilidad a la vibración: A 20 g: vibración sinusoidal de máxima desde 10 Hz hasta 2000 Hz (12 mm D.A.), la salida no excederá 0.04% FS/g para un rango de 1 bar a 0.005% FS/g para un rango de 7 bar y superiores.
- Frecuencia natural: >35 kHz para el rango de 7 bar
- Tipo de galga: Strain gauges de silicio difundido

## Anexo M. Diagrama de conexiones del sistema DAQ

Para cuestiones de mantenimiento, se presenta mediante el diagrama de la Fig. M.4 la descripción de las conexiones entre los elementos que conforman el chasis del sistema DAQ.

La descripción de los pines para los conectores DIN machos, que son los que están en el extremo del cable de cada sensor, se describe en las siguientes tablas. Para el sensor de carga, el detalle de la conexión de los pines en el conector DIN macho se indica mediante la Tabla M.1.

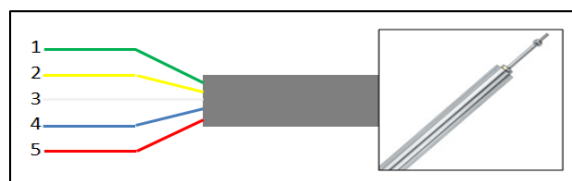


**Fig. M.1** Conexión de cables de la celda en conector DIN macho

Conector (N° de pin)	Conductor (Color)	Función
3	Rojo	Voltaje de excitación: Ánodo (+)
1	Negro	Voltaje de excitación: Referencia (GND)
5	Verde	Señal de medida: Ánodo (+)
4	Blanco	Señal de medida: Cátodo (-)

**Tabla M.1** Configuración del conector DIN del sensor de carga

Para el sensor LVDT de deformación lineal, el detalle de la conexión de los pines en el conector DIN macho se indica mediante la Tabla M.2.

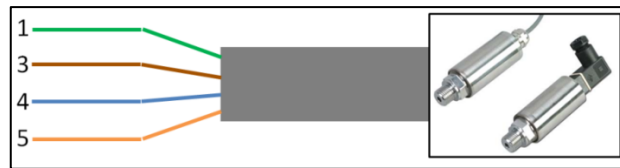


**Fig. M.2:** Conexión de cables del LVDT en conector DIN macho

Conector (N° de pin)	Conductor (Color)	Función
5	Rojo	Voltaje de excitación: Ánodo (+)
4	Azul	Voltaje de excitación: Cátodo (-)
1	Verde	Voltaje referencia (GND)
2	Amarillo	Señal de medida: $V_{out}$
3	Blanco	Voltaje referencia de la señal: 0 Volt

**Tabla M.2** Configuración del conector DIN del sensor de deformación

Para el sensor de presión, el detalle de la conexión de los pines en el conector DIN macho se indica mediante la Tabla M.3.



**Fig. M.3** Conexión de cables del sensor de presión en conector DIN macho

Conector (N° de pin)	Conductor (Color)	Función
3	Café	Voltaje de excitación: Ánodo (+)
1	Verde	Voltaje referencia (GND)
5	Naranja	Señal de medida: Ánodo (+)
4	Azul	Señal de medida: Cátodo (-)

**Tabla M.3** Configuración del conector DIN del sensor de presión

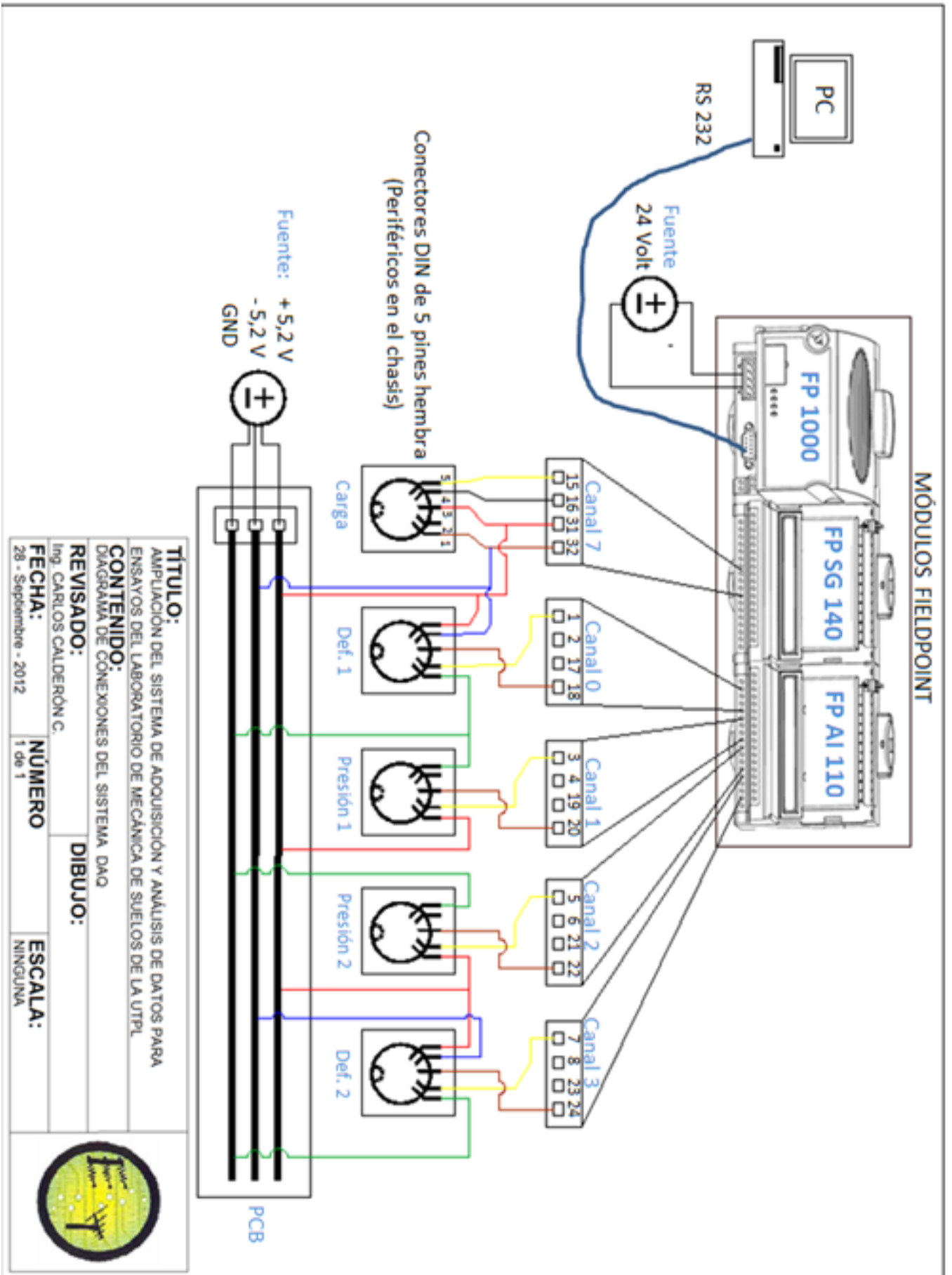


Fig. M.4 Diagrama de conexiones del sistema DAQ

**Anexo N. Paper del proyecto de fin de titulación****AMPLIACIÓN del SISTEMA DE ADQUISICIÓN y ANÁLISIS DE DATOS PARA ENSAYOS DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS de la UTPL**Diego Maza<sup>#1</sup>, Carlos Calderón<sup>#2</sup><sup>#1</sup>Profesional en formación, Universidad Técnica Particular de Loja<sup>#2</sup>Docente de EET, Universidad Técnica Particular de Loja

Loja, Ecuador 2012

<sup>1</sup>dfmaza@utpl.edu.ec, <sup>2</sup>cacalderon@utpl.edu.ec

**Resumen** – El sistema de adquisición de datos del laboratorio de mecánica de suelos es, un sistema electrónico y computarizado, capaz de realizar mediciones de las diferentes magnitudes que intervienen en los ensayos para su análisis y generación de reportes con los resultados de cada una de las prácticas de forma automática.

**Abstract** – The data acquisition system of soil mechanics laboratory is electronic and computerized systems, capable of performing measurements of different magnitudes involved in testing for analysis and reporting the results of each of the practices automatically.

**Keywords** – Adquisición de datos DAQ, automatización, calibración, instrumentación electrónica.

**I. INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de la ciencia y la tecnología ha permitido al ente humano automatizar procesos en un sinnúmero de entornos y/o aplicaciones con el fin de incrementar la eficiencia de dichos procesos o sistemas. Entonces teniendo presente que la instrumentación nos ayudaría a mejorar las prestaciones del laboratorio de mecánica de suelos; se ha ampliado el sistema de adquisición y análisis de datos del laboratorio de mecánica de suelos de la UTPL mediante el uso de tecnologías como: sensores, módulos de adquisición de datos y plataformas de instrumentación virtual.

El sistema de adquisición y análisis de datos del laboratorio de mecánica de suelos del Departamento de geología y minas e ingeniería civil de la UTPL tiene como características de ser un sistema de medición escalable y flexible, debido a la creación de instrumentos virtuales, mediante el uso de módulos (Ej. Fielpoint) que se encargan del acondicionamiento de las señales entregadas por los sensores y a su vez mediante una interfaz (Ej. Serial: RS232) se envían los datos medidos hacia el computador para su procesamiento y análisis, y su posterior generación de reportes con los resultados del ensayo. El computador, en el cual se encuentra ejecutándose la aplicación desarrollada mediante el lenguaje gráfico LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) tendrá como función de interfaz entre el usuario (laboratorista) y las estaciones de prueba del laboratorio, así también permitirá la configuración de parámetros del ensayo y proporcionará la asistencia de las tareas de adquisición de datos para cada uno de los ensayos.

Las tareas de adquisición, metodologías de análisis de datos y generación de reportes se las desarrolló por medio del lenguaje de programación LabVIEW.

**II. ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS**

El sistema está configurado con la utilización de tecnologías de National Instruments (NI) y de Omega. Para la adquisición de las variables, relacionadas con las magnitudes de los ensayos

del laboratorio de suelos; se utiliza sensores de presión, deformación y carga, del fabricante Omega; mientras que, para el acondicionamiento y digitalización de las señales eléctricas entregadas por los sensores se utiliza módulos de entrada/salida Fieldpoint de NI. Se debe recalcar que para la etapa de registro, análisis y visualización de los datos entregados desde el módulo Fieldpoint hacia el computador mediante la interfaz serial, se utiliza la plataforma NI LabVIEW 8.5.



Fig. 5 Configuración física de la aplicación DAQ con la máquina Triaxial

En la Fig. 5, se observa la configuración física del sistema, para los ensayos Triaxial, donde se puede apreciar la relación entre la máquina de compresión Triaxial con los sensores acoplados a ella; y a su vez se distingue la conectividad del computador mediante la comunicación serial RS232 con los módulos, que se encargan del acondicionamiento y digitalización de las señales eléctricas.

Según [1], los sistemas de adquisición de datos basados en el uso del computador se han convertido en una de las alternativas más prometedoras debido a su coste y versatilidad, y aprovechan la capacidad de cálculo, almacenamiento y visualización de un computador para la realización automática de medidas.

### III. CALIBRACIÓN

Uno de los objetivos propuestos para la realización del presente proyecto fue la calibración de los sensores para mejorar la exactitud de la aplicación DAQ. Y debido a que la calibración de los instrumentos de medición a intervalos de tiempos definidos, se vuelve de carácter obligatorio dado que la incertidumbre depende del tiempo de servicio, manipulación, entorno en el que se lo utiliza (polvo, químicos y más), tipo de instrumento, entre otros.

Según [2]; el principio básico de todo sistema de instrumentación electrónica es el de medir una magnitud con el menor error posible.

Con la calibración de los equipos se busca mantener a las mediciones con un rango de incertidumbre aceptable para los procesos en los que se ha de realizar mediciones; esto mediante la utilización de un determinado método de corrección de la deriva de su respuesta. La incertidumbre, es el parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando [3]; es decir será el nivel de error que, equivale a un intervalo dentro del cual se encuentra el valor verdadero de la medición/mensurando. Entonces un equipo de medida siempre tendrá un error relacionado con la incertidumbre que lo caracteriza; ahora, también debemos tomar en cuenta que la lectura de la medición incluirá algún tipo de error que será la combinación de la influencia del usuario (quien manipula el equipo); más, el método y/o entorno que utilice para tomar la lectura de la medida.

Las normas formales que rigen los procedimientos de calibración del instrumento y el desempeño del sistema de medición, como la norma ISO 9000 y más recientemente la ISO/IEC 17025 [4], tienen en consideración que para asegurar que un sistema se administra bajo procedimientos de gestión de calidad, debe tener en cuenta algunos puntos relacionados con la calibración. Por lo que en el desarrollo del presente proyecto se tiene presente las exigencias establecidas en la norma ISO 9001. La norma ISO 9001 es parte de la familia de normas ISO 9000, que detalla los requisitos necesarios para asegurar un proceso con gestión de calidad; donde la sección 7,6 de la 9001 [5] hace referencia al proceso de calibración, estableciendo algunas exigencias para dicho proceso:

**Calibrarse o verificarse**, o ambos, a intervalos especificados o antes de su utilización, comparando con patrones de medición internacionales o nacionales, cuando no existan tales patrones debe registrarse la base utilizada para la calibración o la verificación:

**Ajustarse o reajustarse**, cuando sea necesario;

**Estar identificado**, para poder determinar su estado de calibración;

**Protegerse contra ajustes** que pudieran invalidar el resultado de la medición;



**Protegerse contra los daños** y el deterioro durante la manipulación, el mantenimiento y el almacenamiento.

Un instrumento representativo, se considera que esta bien calibrado cuando en todos los puntos de su campo de medida, la diferencia entre el valor real de la variable y el valor indicado, registrado o transmitido, esta comprendida entre los límites determinados por la precisión del instrumento. [6]

*A. Proceso de calibración*

Para la calibración, de los sensores de deformación y carga se ha tenido como referencia a los deformímetros analógicos de las máquinas en las que se realizan los ensayos. El medidor de deformación patrón es del modelo LC-9 y el medidor de carga patrón es del modelo LC-2 de la empresa SoilTest, con un valor de correlación de 0,9999790579 según la hoja de calibración del instrumento. Para dar un ejemplo práctico del procedimiento de calibración, se utilizarán los datos tomados de la celda de carga. Primeramente, se realizó un ensayo para las siguientes condiciones:

Tabla IV  
CONDICIONES DE INFLUENCIA EN LA CALIBRACIÓN

Condiciones	Valor
Constante de ajuste inicial	$0,7257 * 2,2046 = 1,6$
Presión de confinamiento	1 Kg / cm <sup>2</sup>

La constante de ajuste inicial, es la constante que en un comienzo se encontraba configurada en la aplicación como parte de la etapa de conversión del valor entregado por el módulo hacia un valor en unidades del sistema internacional de medidas, SI; específicamente a kg, es decir la constante 1,6 es la combinación de la constante de corrección (calibración) y el factor de conversión de libras a kg (2,2046). Con las condiciones de la Tabla IV se ha obtenido los siguientes datos:

Tabla V  
DATOS DE CARGA PARA LA CALIBRACIÓN

Carga [Kg]	Anillo de carga [Kg]	Error relativo (%)
0	0	0,00
3,177	4,00	20,58
7,997	6,80	17,60
12,378	11,00	12,53
15,445	15,00	2,97
18,184	18,00	1,02
20,156	21,20	4,92
21,799	23,20	6,04

22,785	24,90	8,49
24,099	26,00	7,31
24,866	26,60	6,52
25,523	27,20	6,17
26,29	27,90	5,77
26,728	28,50	6,22
27,386	29,00	5,57
27,714	29,60	6,37
28,043	30,30	7,45
28,481	30,80	7,53
28,81	31,40	8,25
29,138	31,80	8,37
29,467	32,10	8,20
29,686	32,50	8,66
30,015	32,80	8,49
30,234	33,10	8,66
30,234	33,40	9,48
30,562	33,70	9,31
30,781	33,80	8,93
31,11	34,00	8,50

Entonces, se procede a graficar los datos obtenidos, teniendo los valores leídos mediante el anillo de carga, en el eje de las abscisas; mientras que los valores leídos por la aplicación que realiza el procesamiento de los datos del ensayo, se colocan en el eje de las ordenadas. Esto con el fin de obtener una constante de calibración que corresponderá a la pendiente de la línea de tendencia de los datos graficados y luego incluirla como factor de corrección a aplicarse a la lectura del transductor correspondiente.

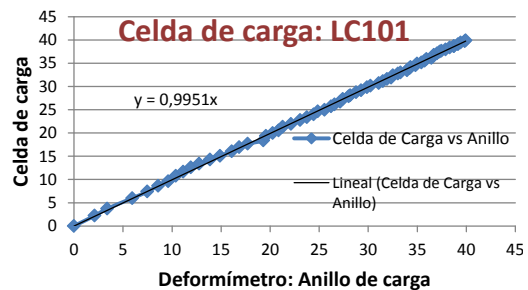


Fig. 6 Calibración de la celda de carga

En este proceso, luego de corroborar la mayor reducción del error, lo que se busca es que la pendiente de los datos, sea lo mas cercana a uno (Fig. 6), es decir que los valores de la celda de carga (eje y) correspondan a los valores leídos en el anillo (eje x).

Es importante señalar que la constante que se lee en la Fig. 6 ( $y=0,9951x$ ), refleja la relación de la variable analizada en las condiciones de influencia especificadas, luego del proceso de calibración.

*B. Selección de constantes de corrección*

Luego de analizar detenidamente los resultados de los ensayos realizados con el fin de calibrar los sensores, se obtiene las siguientes constantes:

Tabla VI  
CONSTANTES DE CALIBRACIÓN

Transductor	Constante inicial	Constante final (K)
Carga	1,6	1,963549
Deformación	1	0,989647
Presión	Ninguna	Ninguna

C. Implementación de las constantes en la aplicación

Para la calibración de los transductores, como se puede observar en la Fig. 7, se ha agregado en el dividendo de las funciones denominadas como “Kc” y “Kd” las constantes de corrección para los sensores de carga y de deformación respectivamente.

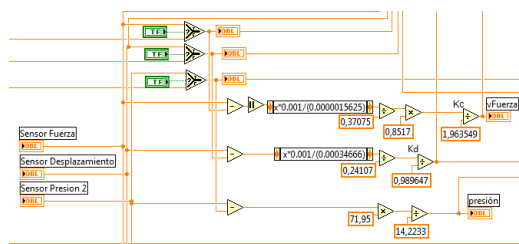


Fig. 7 Implementación de constantes de calibración

Recalco la constante en la función “Kc” es la combinación de la constante de calibración (0,8907) y el factor de conversión de libras a Kg (2,2046)

IV. ANÁLISIS DE DATOS

El segundo objetivo, es la implementación de una etapa de análisis de datos que nos entregue los resultados finales de cada ensayo, ya que inicialmente la aplicación no realizaba el análisis de datos del ensayo en su totalidad, es decir nos arrojaba unos resultados parciales. En esta sección introductoria describiremos brevemente la metodología incluida en la aplicación para el cálculo de los resultados del ensayo Triaxial UU. Los ensayos Triaxial proporcionan datos para la determinación de las propiedades de resistencia y las relaciones esfuerzo-deformación de los suelos. Y en la sección V, indicaremos los resultados de la etapa de análisis de datos para todos los ensayos. Para mayor detalle se puede recurrir a la memoria de la presente tesis.

Para el análisis de datos de los ensayos se ha seguido el procedimiento establecido en las normas ASTM, que describen como obtener los resultados para este tipo de ensayo de mecánica de suelos.

A continuación se indica de forma simplificada el análisis de datos para el ensayo Triaxial UU. El flujograma que describe el proceso de la etapa del análisis de datos para el ensayo Triaxial UU se indica mediante la Fig. 8, y la simbología del mismo se indica mediante la Tabla VII.

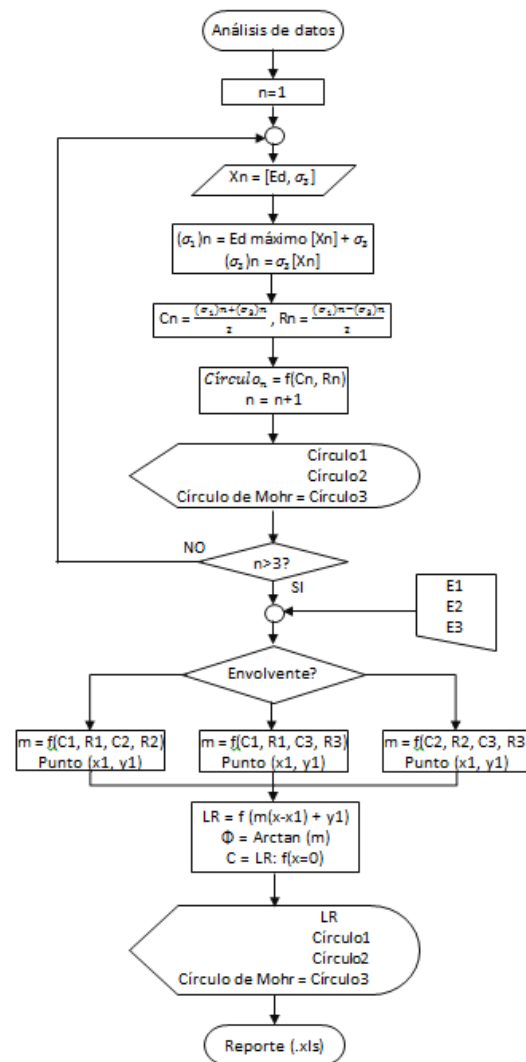


Fig. 8 Flujograma de la etapa de análisis de datos, ensayo Triaxial UU

Para el análisis de datos, al culminar la obtención de los datos de ensayo de las tres probetas, es necesario calcular los parámetros como centro y radio para los círculos de Mohr, correspondientes a las tres probetas. Y a continuación mediante un control (“Envolvente” en la aplicación) se selecciona la

recta tangente (envolvente de resistencia) a los tres círculos, y como resultado de esta etapa obtendremos el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) y el valor de cohesión ( $c$ ), y las gráficas.

Tabla VII  
SIMBOLOGÍA DEL FLUJOGRAMA DEL ANÁLISI DE DATOS DEL ENSAYO TRIAXIAL

Símbolo	Descripción
Xn	Datos del ensayo n
n	Número del ensayo
Ed	Registro del esfuerzo desviador
$\sigma_3$	Presión lateral
$\sigma_1$	Tensión principal mayor
Cn	Centro del círculo del ensayo n
Rn	Radio del círculo del ensayo n
En	Envolvente ( $n = 1, 2, 3$ )
m	Pendiente de la tangente
LR	Línea tangente
$\Phi$	Ángulo de fricción interna
C	Valor de cohesión

La gráfica de Mohr que se indica en el flujograma como resultado, es la gráfica del cual se extraen los valores de los resultados en cuanto a los parámetros de resistencia al corte, esto es, el ángulo entre la línea tangente a los círculos y una línea horizontal ( $\Phi$  en la Fig. 9) da el ángulo de fricción interna, y el valor de la tensión donde la línea tangente interseca el eje de las ordenadas ( $c$  en la Fig. 9) es el valor de cohesión.

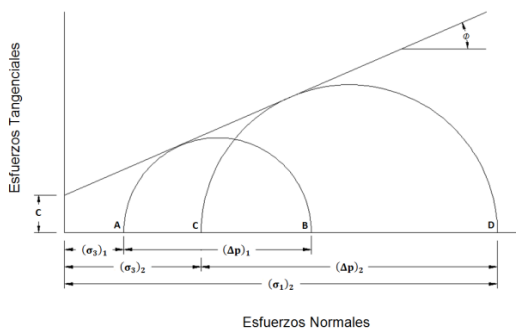


Fig. 9 Círculo de Mohr, ensayo Triaxial UU

En teoría, es suficiente tener sólo dos círculos de Mohr para definir la relación línea-resistencia (línea tangente) de la Fig. 9. En la práctica, sin embargo, es mejor tener tres (o más) semicírculos tales que se puedan utilizar para trazar la mejor línea de resistencia. Es por eso que el procedimiento de prueba requiere tres o más pruebas por separado para llevar a cabo en tres o más ejemplares de la misma muestra de suelo [7].

## V. AMPLIACIÓN DEL SISTEMA

### A. Etapa de análisis de datos

En los reportes que emitía inicialmente la aplicación, no constaba el análisis de los datos del ensayo en su totalidad, es decir, al culminar la práctica, luego de someter tres probetas a diferente presión en los ensayos Triaxial, y a diferente carga axial en el ensayo de corte directo, no se realizaba el análisis de los datos de estas tres probetas en conjunto. Mientras que en el ensayo de consolidación se ha configurado la gráfica “Deformación vs tiempo” de tal forma que se presente como resultado, es decir del cual se pueda obtener el grado de consolidación. A continuación se realiza la presentación automatizada de la etapa del análisis de datos a cargo de la aplicación DAQ, de cada ensayo.

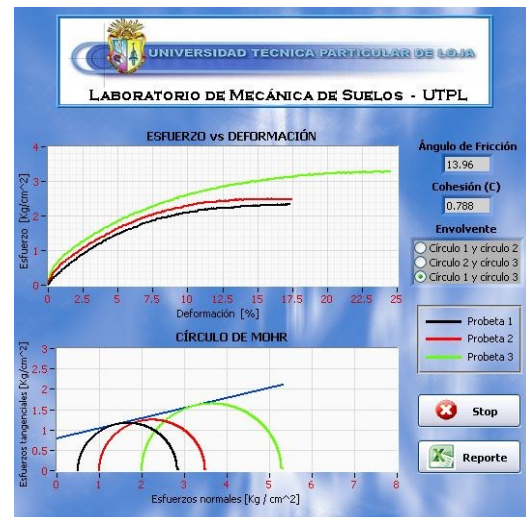


Fig. 10 Etapa de análisis de datos, ensayo Triaxial UU

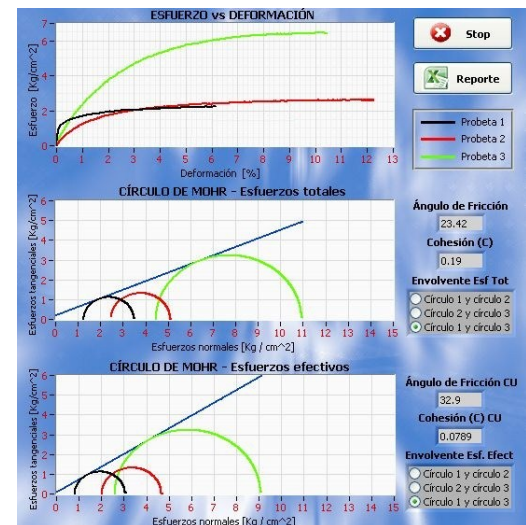


Fig. 11 Etapa de análisis de datos, ensayo Triaxial CU

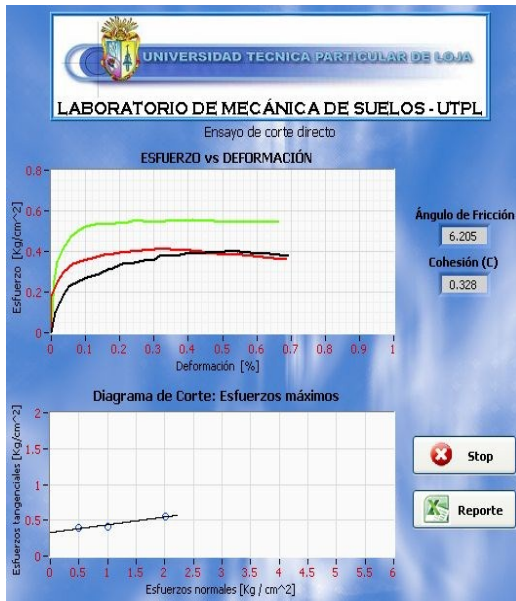


Fig. 12 Etapa de análisis de datos, ensayo Corte directo CD



Fig. 13 Etapa de análisis de datos, ensayo Consolidación

**B. Etapa de generación de reportes**

Por falta de espacio solamente se detallará brevemente el contenido de los reportes de cada ensayo. Para revisar el reporte en su totalidad de unos ensayos de prueba que se realizaron, se puede recurrir a la memoria de la presente tesis.

El reporte total para los ensayos Triaxial y corte directo consta de dos tipos de reportes parciales; dando un total de 5 hojas con los datos de todo el ensayo.

Tabla VIII  
ESTRUCTURA DE LOS REPORTES

Estructura de los reportes	
<b>1° Reporte parcial</b>	
3°, 4° y 5° Hoja	Datos calculados y medidos durante el ensayo
<b>2° Reporte parcial</b>	
1° Hoja	Datos de las tres probetas
2° Hoja	Gráficas del ensayo
	Resultados del ensayo:
	Valor de cohesión (C)
	Ángulo de fricción (Φ)

Mientras que para el ensayo de consolidación, el reporte total consta de dos hojas, las cuales contienen:

- Primera hoja: Registro de la deformación del ensayo.
- Segunda hoja: Datos de la muestra.

**VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

**A. Calibración**

Luego de realizar la calibración de los sensores se procedió a determinar la incertidumbre para un factor de cobertura del 90%, por lo que como resultado de la calibración, a demás de la exactitud se presentará el grado de la incertidumbre en las mediciones.

Mediante la Fig. 6 se puede constatar la exactitud de la celda de carga, y mediante la Fig. 14 se puede constatar la exactitud del deformímetro LVDT.

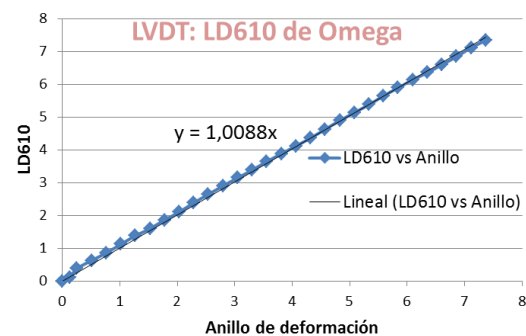


Fig. 14 Calibración del deformímetro LVDT

En la Fig. 6 se puede observar que los valores leídos de carga tienen una tendencia del 1,0037 del valor real, es decir que el valor obtenido mediante la aplicación es del 0,9951% de la magnitud que se ha tomado como referencia; de lo que se deduce que el error máximo del sistema de medición es del 0,49 % en la medición de la variable de carga; y aplicando el mismo análisis se tiene que el error máximo del sistema de medición es del 0,88 % en la medición de la variable de deformación según la Fig. 14.

Tras analizar el comportamiento de la constante implementada para la corrección de los valores sensados, se procedió a determinar que la incertidumbre para el sensor de carga es de Valor instantáneo [Kg] ± 0,08%, mientras

que para el sensor LVDT de deformación es de Valor instantáneo [mm]  $\pm 0,317\%$ .

### B. Análisis de datos

A continuación se realiza un contraste entre los resultados del análisis de datos que anteriormente se hacía manualmente o en una hoja de cálculo mediante Excel, o una combinación de los dos, con la presentación automatizada a cargo de la aplicación DAQ.

Los datos con los cuales se ha obtenido los resultados mediante la hoja de cálculo, han sido los datos obtenidos de la lectura en los deformímetros analógicos. Siendo los resultados de esta metodología, la referencia para la validación del proceso automatizado en su totalidad en los ensayos Triaxial y consolidación. Es decir, la validación es de todo el proceso en conjunto, desde la lectura de los valores de las diferentes variables (carga, deformación y presión) hasta culminar con la etapa de análisis de datos. Mientras que para el ensayo de corte directo, la validación corresponde a la etapa de análisis de datos solamente, debido a que no fue posible tomar las mediciones mediante la celda de carga y el deformímetro analógico de carga en paralelo en el proceso de realización del ensayo, esto por la falta de espacio en el equipo de corte directo. A continuación se tabula mediante la Tabla IX la exactitud de la aplicación DAQ, teniendo como indicador al error relativo de los resultados; los resultados son el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) y el valor de cohesión ( $c$ ).

Tabla IX  
EXACTITUD DE LOS RESULTADOS

Resultados	Hoja de cálculo	Aplicación DAQ	Error relativo
<b>Ensayo Triaxial UU</b>			
( $\Phi$ ) [°C]	14,21	13,96	1,75 %
(C) [Kg/cm <sup>2</sup> ]	0,77	0,78	2,08 %
<b>Ensayo Triaxial CU: Esfuerzos Totales</b>			
( $\Phi$ ) [°C]	23,36	23,42	0,25 %
(C) [Kg/cm <sup>2</sup> ]	0,19	0,19	0,0 %
<b>Ensayo Triaxial CU: Esfuerzos Efectivos</b>			
( $\Phi$ ) [°C]	32,65	32,90	0,76 %
(C) [Kg/cm <sup>2</sup> ]	0,08	0,08	0,0 %
<b>Ensayo Corte Directo CD</b>			
( $\Phi$ ) [°C]	5,68	5,8	2,11 %
(C) [Kg/cm <sup>2</sup> ]	0,34	0,33	2,94 %

Mientras que en el ensayo de consolidación, se tuvo un error máximo de 2,66 %, en las mediciones de deformación.

## VII. CONCLUSIONES

- Como resultado del proceso de calibración se obtuvieron las constantes que tienen como fin ser un factor de corrección de la sensibilidad para los valores sensados, mas no fue necesaria la determinación del offset para cada sensor debido a que en la aplicación existe un “control” que realiza la función de encerrar los valores de cada transductor al empezar el ensayo.
- Mediante la implementación de constantes para la calibración de los valores sensados, se pudo establecer y corroborar una mayor exactitud de los valores leídos mediante los transductores, esto gracias a la realización del análisis del comportamiento de algunas constantes implementadas, teniendo finalmente un margen de error máximo de 0,49 % en los valores instantáneos de carga y de 0,88 % en deformación lineal, teniendo un error total de 1.007 %
- Para la validación de la etapa del análisis de datos del presente proyecto, fue necesaria la realización de varios ensayos de prueba para la verificación del correcto funcionamiento y prestaciones del mismo, que tiene que ver con la eficiencia y exactitud de las tareas programadas. Se compararon los resultados de la aplicación desarrollada con los resultados obtenidos mediante la hoja de cálculo, obteniendo de esta forma los resultados esperados.
- Todo sensor utilizado en procesos de medición, obligatoriamente debe ser sometido a un proceso de verificación de su correcto funcionamiento; y de ser necesario se debe someter al instrumento o al sistema de medida a una etapa de calibración dentro de intervalos en los que se ha establecido oportuna la revisión; esto debido al deterioro de las prestaciones de los instrumentos, que con el pasar del tiempo acarrea una deriva en la magnitud leída.
- En la realización del proceso de calibración de un instrumento o sistema de medida se debe tener especial cuidado de realizarlo en las mismas condiciones en las que se va a utilizar el mismo; esto debido a la influencia que pueden ejercer otras magnitudes como las características del entorno (clima, temperatura, entre otras) y otras variables propias del proceso, que en nuestro caso sería la presión a la que se somete la muestra en el ensayo.

- Al ser un sistema de adquisición de datos automatizado y computarizado tiene la ventaja de sacar el máximo provecho de la potencialidad en cálculo y procesamiento de las variables sensadas, al mismo tiempo en que se está realizando el ensayo. Es necesario recalcar que el sistema tiene además la característica de permitir observar la gráfica de comportamiento de la muestra durante el desarrollo del ensayo.
- El sistema de adquisición que se ha ampliado, al ser un sistema de medición personalizado a las necesidades y condiciones de los ensayos que se realizan en el laboratorio de suelos, tiene la característica de ser un sistema escalable y flexible; es decir se puede adaptar a necesidades futuras con solo agregar hardware o software en pequeñas proporciones; o simplemente al modificar la aplicación desarrollada mediante la programación en lenguaje LabVIEW. Ya que en comparación con los sistemas digitales manufacturados por la industria tienen la limitación de no ser flexible, es decir no es factible la modificación o incrementos de las prestaciones que disponen estos sistemas.
- La automatización de procesos de medida es la mejor opción cuando se requiere una mayor precisión en las lecturas de las variables, y mas aun cuando en el proceso implica la medición de algunas variables en el mismo instante de tiempo; como es el caso del ensayo Triaxial CU que requiere que se tomen la lectura de los cuatro transductores cada 2, 5 ó 10 segundos.
- Mediante la instrumentación se puede llegar a mejorar el tiempo de entrega de productos (culminación de los procesos), es decir se puede reducir el tiempo en que se toma para la realización de una determinada actividad a más de mejorar la eficiencia y reducir costos; al cubrir o necesitar menos personal para controlar los procesos.

#### VIII. RECOMENDACIONES

- Para evitar inconvenientes con las magnitudes a leer, es necesario revisar la conexión de cada uno de los transductores en el chasis de los módulos; para este fin se puede recurrir al manual del sistema o en la

ventana del programa de cada ensayo, mediante le botón denominado conexiones.

- Antes de empezar a adquirir los datos mediante la aplicación, es necesario comprobar que los transductores estén sensando las variables; esto con el fin de evitar inconvenientes con la mala ubicación o colocación física de los transductores en los equipos. Además los deformímetros LVDT deben estar deformados 20 mm con el objetivo de estar fuera de la zona muerta de la curva de sensibilidad del sensor.
- Para la lectura de los resultados en el diagrama de corte, así como en el círculo de Mohr; se debe tener en cuenta que las escalas del eje de las ordenadas, así como el de las abscisas sean iguales; de no ser así las lecturas que se tomen serán incorrectas, esto solo si queremos comprobar el resultado entregado, ya que en la aplicación los resultados son calculados de forma matemática y automáticamente, y no desde la imagen de las gráficas de resultado.

#### IX. REFERENCIAS

- [1] M. Granda Miguel y E. Mediavilla Bolado, Instrumentacion Electronica: Transductores y Acondicionadores de señal, Santander: PUpliCan - Ediciones de la Universidad de Cantabria, 2010.
- [2] M. A. Pérez García, J. C. Álvarez Antón, J. C. Campo Rodríguez, F. J. Ferrero Martín y G. J. Grillo Ortega, Instrumentación Electrónica, Segunda ed., Madrid: Thomson, 2008.
- [3] BIPM: Oficina Internacional de Pesas y Medidas, «VIM: Vocabulario Internacional de Metrología - Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados,» Ginebra, 2008.
- [4] A. S. Morris, Measurement & Instrumentation Principles, Tercera ed., Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.
- [5] ISO 9000, «Normas para la gestión y aseguramiento de la calidad,» 2008.
- [6] A. Creus Solé, Instrumentación Industrial, Octava ed., Santafé de Bogotá: Alfaomega Grupo Editor S.A., 2010.
- [7] C. Liu y J. B. Evett, Soil properties: testing, measurement, and evaluation, Cuarta ed., New Jersey: Prentice Hall, 2000.