



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO FASE II**

**GUÍA DE USO PARA EL ANÁLISIS DE CONSOLIDACIÓN TRIAXIAL Y PERMEABILIDAD EN  
ARCILLAS CON EL EQUIPO TRIAXIAL HUMBOLDT EN UNITEC SAN PEDRO SULA, 2023**

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

**PRESENTADO POR:**

**21441150 JULIO DAVID FUENTEZ RAMIREZ**

**21411121 RANDOLFO ELÍAS PERDOMO PACHECO**

**ASESOR: ING. HÉCTOR PADILLA**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA**

**JULIO, 2023**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE CENTROAMÉRICA**  
**UNITEC**

**PRESIDENTE EJECUTIVA**  
**ROSALPINA RODRÍGUEZ GUEVARA**

**VICERRECTORA DE OPERACIONES**  
**DESIREÉ TEJADA**

**RECTOR ACADÉMICO**  
**ROSALPINA RODRÍGUEZ GUEVARA**

**SECRETARIO GENERAL**  
**ROGER MARTÍNEZ MIRALDA**

**DIRECTORA CAMPUS SAN PEDRO SULA**  
**MARÍA ROXANA ESPINAL**

**JEFE ACADÉMICO INGENIERÍA CIVIL**  
**HÉCTOR WILFREDO PADILLA**

**GUÍA DE USO PARA EL ANÁLISIS DE CONSOLIDACIÓN TRIAXIAL Y PERMEABILIDAD EN  
ARCILLAS CON EL EQUIPO TRIAXIAL HUMBOLDT EN UNITEC SAN PEDRO SULA, 2023**

**TRABAJO PRESENTADO EN  
CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS  
EXIGIDOS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**

**INGENIERO CIVIL**

**ASESOR METODOLÓGICO:**

**ING. HÉCTOR PADILLA**

**ASESOR TEMÁTICO:**

**ING. ÁNGEL FUNEZ**

## **DERECHOS DE AUTOR**

© Copyright 2021

RANDOLFO ELÍAS PERDOMO PACHECO

JULIO DAVID FUENTES RAMÍREZ

Todos los derechos son reservados

## AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN DEL AUTOR(ES) PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS DE GRADO.

Señores

CENTRO DE RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACION (CRAI)

San Pedro Sula

Estimados Señores:

La presentación del documento de tesis forma parte de los requerimientos y procesos establecidos de graduación para alumnos de pregrado de UNITEC.

Nosotros, Julio David Fuentes Ramirez y Randolpho Elías Perdomo Pacheco, de San Pedro Sula autores del trabajo de grado titulado: Guía de uso para el análisis de consolidación triaxial y permeabilidad en arcillas con el equipo triaxial Humboldt en UNITEC San Pedro Sula, 2023, presentado y aprobado en el año 2023, como requisito para optar al título de Profesional de Ingeniero Civil, autorizo a:

Las Bibliotecas de los Centros de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), para que, con fines académicos, pueda libremente registrar, copiar y usar la información contenida en él, con fines educativos, investigativos o sociales de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la sala de estudio de la biblioteca y la página Web de la universidad.

Permita la consulta y la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

De conformidad con lo establecido en el artículo 19 de la Ley de Derechos de Autor y de los Derechos Conexos; los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. Es entendido que cualquier copia o reproducción del presente documento con fines de lucro no está permitida sin previa autorización por escrito de parte de los principales autores.

En fe de lo cual, se suscribe la presente acta en la ciudad de San Pedro Sula a los 3 días del mes de agosto del dos mil veintitrés.



Julio David Fuentes Ramirez  
21441150



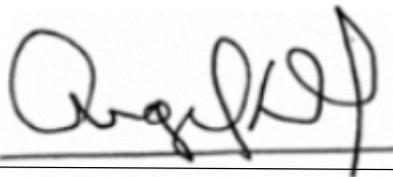
Randolfo P.  
Randolfo Elías Perdomo Pacheco  
21411121

## HOJA DE FIRMAS

Los abajo firmantes damos fe, en nuestra posición de miembro de Terna, Asesor y/o jefe Académico y en el marco de nuestras responsabilidades adquiridas, que el presente documento cumple con los lineamientos exigidos por la Facultad de Ingeniería y los requerimientos académicos que la Universidad dispone dentro de los procesos de graduación.

---

Ing. Héctor Padilla  
Asesor Metodológico UNITEC



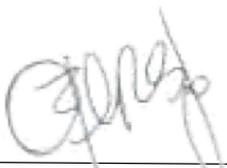
---

Ing. Ángel Funez  
Asesor temático



---

Ing. Sergio Francisco Paredes  
Coordinador de Terna



---

Ing. Otto Flores Janser  
Miembro de Terna



---

Ing. Oscar René Castro  
Miembro de Terna

---

Ing. Héctor Padilla  
Jefe Académico de Ingeniería Civil

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto primeramente a Dios por darme la sabiduría, fortaleza e inteligencia que he requerido para poder cursar la carrera, por siempre bendecirme y por permitirme vivir una experiencia que ha sido difícil, pero con su ayuda lo he logrado, a mis padres Lizeth Pacheco y Randolpho Perdomo por todo el apoyo que ellos me dieron a lo largo de mi vida, por enseñarme a no rendirme y sacar lo mejor de mí en cada momento por muy difícil que haya sido, por ayudarme a cumplir mis objetivos. También quiero dedicárselo a mis hermanas Alejandra Perdomo y Sarah Perdomo por ser mis fieles acompañantes en cada momento, por brindarme su apoyo y por ser incondicional en cada momento, de igual forma a mis amigos que conocí durante la carrera que luchamos juntos para lograr el objetivo de ser ingenieros, que nos motivamos en cada instancia a pesar de todo lo complicado que cruzamos a lo largo de este trayecto. Por último, e igual de importante a mi compañero Julio Fuentes que me ha ayudado en este momento difícil para lograr concluir con mi carrera, realizando juntos este proyecto para obtener nuestro título que tanto hemos deseado durante estos años.

***Randolfo Perdomo***

Este trabajo se lo dedico primeramente a Dios por permitirme culminar mi carrera como Ingeniero Civil, a mis padres, Nelson Fuentes y Thanira Ramirez que me apoyaron durante todo el proceso de mi carrera, mis abuelos Julio Ramirez, Miriam Rivera y Tila Perez que siempre me han dado mucho apoyo incondicional durante estos años, a mis hermanas, tíos, compañeros e ingenieros que fueron parte fundamental en este proceso de obtención de mi título.

***Julio Fuentes***

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos grandemente primero a Dios por darnos la sabiduría, por ser nuestra guía y habernos permitido finalizar la carrera de ingeniería Civil. A nuestros padres por el arduo sacrificio realizado por tenernos en la universidad, por el apoyo incondicional durante estos años de estudio. Un gran agradecimiento al Msc. Ing. Michael Job Pineda por toda la asesoría metodológica brindada durante este proyecto, al Msc. Ing. Ángel Funez por habernos brindado su conocimiento en el sector de suelos, por su tiempo y el apoyo para poder finalizar nuestro proyecto como nuestro asesor temático.



## RESUMEN EJECUTIVO

En el actual documento se entrega a la comunidad de ingenieros civiles y estudiantes próximos a serlo una guía de análisis consolidación triaxial de suelos arcillosos con el equipo Humboldt, en él se recolecta todo y cada uno de los criterios que se deben considerar para poder llevar a cabo dichos ensayos, a priori, se le dará a conocer al usuario la manera correcta de usar las herramientas para poder realizar las pruebas y obtener los resultados deseados, se explica puntualmente como se debe de calibrar cada uno de los instrumentos, y de qué manera se analiza cada uno de los resultados que se extraen, una vez con la obtención de los datos en el laboratorio a través del equipo triaxial Humboldt, se calculó los esfuerzos principales, por medio de estos se pudo realizar el círculo de Mohr para poder llegar a la gráfica y el cálculo a lo que se necesita que es el Angulo de Fricción Interna, que se obtiene a través del seno inverso del radio dividido por el centro del círculo que se tuvo mediante de los esfuerzos, y de esta manera se calculó el Angulo de la envolvente de falla. La guía del usuario puede servir como una herramienta para ingenieros y estudiantes de UNITEC para realizar pruebas precisas y confiables en un futuro haciendo uso del equipo Humboldt. La guía de usuario incluye instrucciones detalladas sobre la calibración del equipo, el procedimiento de prueba, la preparación de muestras y la interpretación de datos. También incluye pautas para el análisis de datos, la interpretación y el informe de resultados. El desarrollo de la guía del usuario requirió una comprensión profunda del proceso de la prueba, la mecánica del suelo y el equipo triaxial de Humboldt. La guía del usuario esta realizada con un lenguaje claro y conciso, e incluye ayudas visuales, como diagramas e imágenes, para ayudar a los usuarios a comprender el proceso de prueba lo que lleva a un desarrollo de infraestructura más seguro y efectivo.

**Palabras clave:** *Ensayo triaxial, permeabilidad de suelos, equipo Humboldt, arcillas.*

## **ABSTRACT**

In the present document is delivered to the community of civil engineers and students about to be a guide to triaxial consolidation analysis of clayey soils with the Humboldt equipment, in it is collected each and every one of the criteria that should be considered to carry out such tests, a priori, will be given to know the user the correct way to use the tools to perform the tests and obtain the desired results, it is explained promptly how to calibrate each of the instruments, and how to analyze each one of the results that are extracted, once the data was obtained in the laboratory through the Humboldt triaxial equipment, the main efforts were calculated, by means of these the Mohr's circle could be made to be able to reach the graph and the calculation of what is needed which is the Angle of Internal Friction, which is obtained through the inverse sine of the radius divided by the center of the circle that was had through the efforts, and in this way the Angle of the failure envelope was calculated. The user's guide can serve as a tool for UNITEC engineers and students to perform accurate and reliable tests in the future using the Humboldt equipment. The user guide includes detailed instructions on equipment calibration, test procedure, sample preparation and data interpretation. It also includes guidelines for data analysis, interpretation and reporting of results. The development of the user's guide required a thorough understanding of the testing process, soil mechanics and Humboldt triaxial equipment. The user's guide is written in clear and concise language, and includes visual aids, such as diagrams and images, to help users understand the testing process leading to safer and more effective infrastructure development.

**Keywords:** Triaxial test, permeability of soils, Humboldt equipment, clays.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1    Precedentes del problema .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2    Definición del problema.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1    Enunciado del problema.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.2 Formulación del problema.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3    Justificación.....</b>	<b>7</b>
<b>2.4    Preguntas de investigación.....</b>	<b>8</b>
<b>2.3    Objetivos.....</b>	<b>8</b>
<b>2.3.1 Objetivo general.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>9</b>
<b>III.MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1    Análisis de situación actual .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1.1    Análisis de Macroentorno.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1.1.1 Elaboración de un manual para el uso del equipo de ensayo triaxial .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1.1.2 Manual de parámetros de corte en suelos cohesivos saturados,.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1.1.3 Manual de procedimientos de ensayos de suelos.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2    Teoría de sustento.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.1 Tipos de pruebas triaxiales .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.2 Ensayo granulométrico.....</b>	<b>28</b>
<b>3.2.3 Compresión triaxial de suelos cohesivos Astm d4767 -20.....</b>	<b>28</b>
<b>3.2.4 Método de prueba para el análisis de tamaño de partícula ASTM-D422 .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.5 Terminología de suelo y los fluidos contenidos ASTM-D653 .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.6 Determinación de la gravedad específica del suelo ASTM-D854 .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.7 Método de ensayo para establecer la resistencia en suelo D2166/D2166M .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.9 Métodos de ensayo para las características de consolidación (ASTM-D2435)...</b>	<b>32</b>
<b>3.2.10 Método de prueba para el ensayo de compresión triaxial (ASTM-D4220).....</b>	<b>32</b>

3.2.11	Guía para evaluar uso en ensayos de suelo (ASTM-D4753) .....	33
3.3.	Marco conceptual.....	33
3.4	Marco legal .....	36
<b>IV.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>38</b>
4.1	Enfoque.....	38
4.2	Variables de investigación .....	39
4.2.1	Diagrama de variables de operacionalización .....	41
4.2.2	Tablas de operacionalización de variables.....	42
4.3	Técnicas e instrumentos aplicados.....	45
4.3.1	Instrumentos .....	45
4.3.2	Técnicas.....	47
4.4	Población y muestra .....	47
4.4.1	Población .....	47
4.4.2	Tamaño de la muestra.....	47
4.4.3	Parámetros muestrales.....	48
4.5	Tipo de diseño.....	48
4.6	Cronograma de actividades .....	50
<b>V.</b>	<b>ANÁLISIS Y RESULTADO .....</b>	<b>52</b>
5.1	Resultados.....	53
5.2	Entregable de guía de usuario Maquina Triaxial Humbolt.....	63
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>186</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>187</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>191</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>191</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 – Zonas sísmicas de Honduras debido a su tipo de suelo .....	3
Ilustración 2 - Mapa de tipos de suelos a 1.00 metros.....	6
Ilustración 3 – Cámara triaxial,.....	16
Ilustración 4 – Colocación de láminas de plástico en el molde.....	17
Ilustración 5 – Ensamblaje del molde.....	18
Ilustración 6 – Compactación del espécimen.....	18
Ilustración 7 – Extracción del espécimen del molde.....	19
Ilustración 8 - Montaje de la muestra en la caja de corte.....	22
Ilustración 9 - Ensamble de caja de en máquina de corte directo .....	23
Ilustración 10 - Aplicación de cargas normales.....	24
Ilustración 11 - Inundación de caja de corte .....	24
Ilustración 12 - Inundación de caja de corte .....	26
Ilustración 13 – Porciones retenidas .....	30
Ilustración 14 - Diagrama de las variables de operacionalización.....	41
Ilustración 15 – Diseño de investigación .....	49
Ilustración 16 - Cronograma de actividades 1.....	50
Ilustración 17 - Cronograma de actividades 2.....	51
Ilustración 18 – Sector de Ticamaya.....	52
Ilustración 19 – Sector de Pimienta.....	53
Ilustración 20 – Sector de San manuel.....	53
Ilustración 21 –Círculo de Mohr en ensayo 1.....	55
Ilustración 22 –Círculo de Mohr en ensayo 2.....	57

Ilustración 23 –Círculo de Mohr en ensayo 3.....	59
Ilustración 24 - Correlación de datos.....	173
Ilustración 25 - Índice de plasticidad en ensayo 1.....	174
Ilustración 26 - Índice de plasticidad en ensayo 2.....	175
Ilustración 27 - Índice de plasticidad en ensayo 3.....	175
Ilustración 28 - Comparación de índice de plasticidad en ensayos.....	175
Ilustración 29 – Correlación de datos de plasticidad con respecto a ángulo de fricción ensayo 1 .....	176
Ilustración 30 – Correlación de datos de plasticidad con respecto a ángulo de fricción ensayo 2 .....	176
Ilustración 31 – Correlación de datos de plasticidad con respecto a ángulo de fricción ensayo 3 .....	177
Ilustración 32 – Límite líquido en ensayo 1.....	178
Ilustración 33 – Límite líquido en ensayo 2.....	178
Ilustración 34 – Límite líquido en ensayo 3.....	179
Ilustración 35 – Comparación de límite líquido en ensayos.....	179
Ilustración 36 – Correlación entre límite líquido y el ángulo de fricción triaxial en ensayo 1 .....	180
Ilustración 37 – Correlación entre límite líquido y el ángulo de fricción triaxial en ensayo 2.....	180
Ilustración 38 – Correlación entre límite líquido y el ángulo de fricción triaxial en ensayo 3 .....	181
Ilustración 39 – Contenido de agua en ensayo 1.....	182
Ilustración 40 – Contenido de agua en ensayo 2.....	182
Ilustración 41 – Contenido de agua en ensayo 3.....	183
Ilustración 42 – Comparación de contenidos de agua en los ensayos.....	183
Ilustración 43 – Correlación entre humedad y el ángulo de fricción triaxial en ensayo 1 .....	184

Ilustración 44 – Correlación entre humedad y el ángulo de fricción triaxial en ensayo 2.....	184
Ilustración 45 – Correlación entre humedad y el ángulo de fricción triaxial en ensayo 3.....	185

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - American society for testing and materials (ASTM).....	5
Tabla 2 - Tabla de variables de Operacionalización.....	39
Tabla 3 - Tabla de Operacionalización de Variables.....	42
Tabla 4 – Criterios de consolidación .....	54
Tabla 5 – Primer ensayo de consolidación.....	54
Tabla 6 – Criterios de consolidación para ensayo 2.....	56
Tabla 7 – resultados ensayo 2 de consolidación triaxial.....	56
Tabla 8 – Criterios de consolidación para ensayo 3.....	57
Tabla 9 – resultados ensayo 3 de consolidación triaxial.....	58
Tabla 10 – Prueba 1 de ensayos.....	59
Tabla 11 – Prueba 1 de permeabilidad.....	60
Tabla 12 – Prueba 2 de permeabilidad.....	61
Tabla 13 – Prueba 3 de permeabilidad.....	62



## I. INTRODUCCIÓN

La resistencia máxima o última que un suelo puede soportar se ha descrito como su esfuerzo cortante. Se ha definido específicamente como la resistencia interna proporcionada por la masa de suelo por unidad de área para resistir la falla por deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de ella.

Para conocer las características de los suelos sobre los que se construirá una obra civil con el fin de mitigar futuros desastres en los que puedan verse comprometidas vidas humanas, el especialista debe realizar numerosas pruebas de laboratorio. La zona norte de San Pedro Sula está construida sobre un gran depósito de suelos arcillosos, los cuales presentan problemas para la ejecución de proyectos civiles por sus propiedades de resistencia mecánica.

El ensayo de cortante triaxial es fundamental porque establece la cohesión entre las partículas constituyentes del suelo, así como el ángulo de fricción interna, dos factores que son cruciales en los modelos de diseño de cimentaciones. Cabe señalar que el ensayo de corte directo también determina estos parámetros; sin embargo, el ensayo triaxial inclusive permite determinar la presión intersticial experimentada por el suelo durante el ensayo o incluso la permeabilidad de un material; por consiguiente, se cree que los resultados de la prueba triaxial son más precisos y representativos de las condiciones del mundo real.

Debido a la saturación de suelos arcillosos en la zona norte de San Pedro Sula, se debe de implementar otras metodologías para poder hacer uso del suelo de la zona, se prevé el uso de geo sintético como alternativa debido que no se cuenta con una guía para hacer uso de otras implementaciones, sin embargo, a continuación en el documento se presentará una guía para uso del equipo triaxial humboldt para la consolidación y permeabilidad de arcillas en San Pedro Sula, teniendo en cuenta cada una de las normativas para llevar a cabo un análisis de los resultados a obtener de los ensayos y entregar la guía para el uso de la comunidad de ingenieros civiles y estudiantes de ingeniería civil.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En base a los elementos encontrados en este apartado que corresponden al problema de investigación, se busca exteriorizar un panorama general de los diversos parámetros que serán analizados en la presente investigación. Los precedentes del problema, la definición, la justificación de la importancia del tema y la búsqueda de una solución se tratan en esta sección. A posteriori, también se exponen las preguntas de investigación y los resultados esperados.

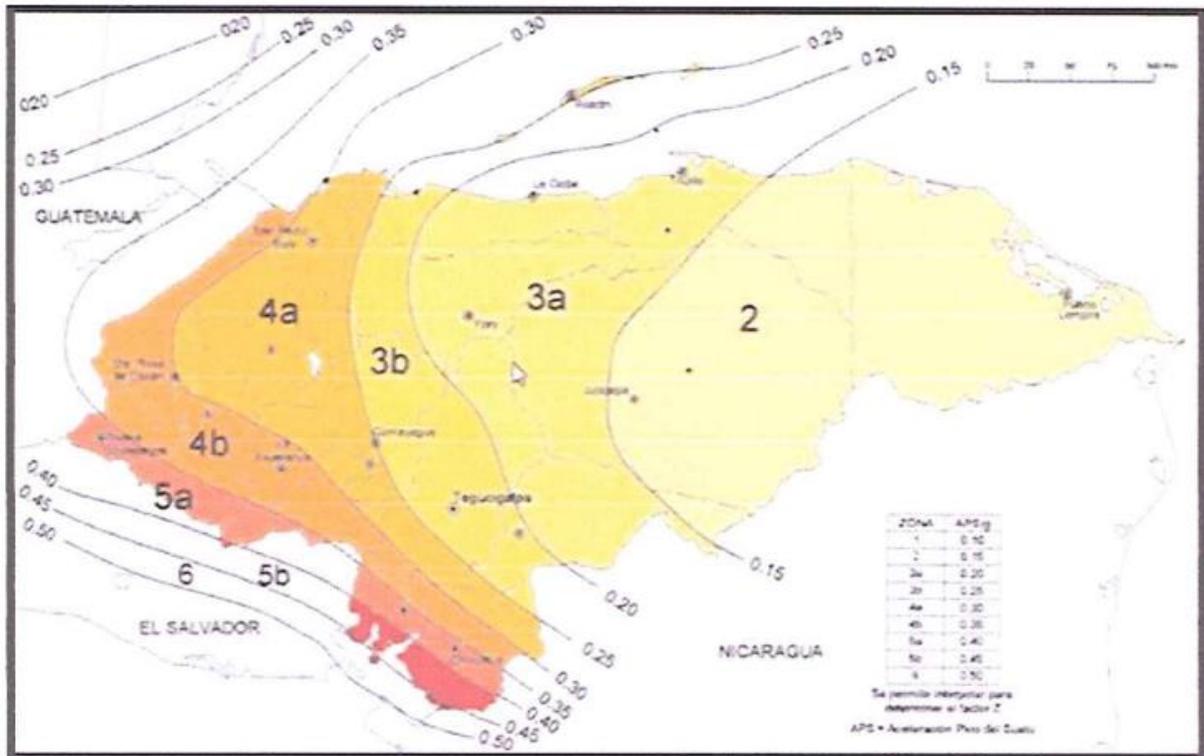
### **2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA**

De acuerdo con las metodologías que Garnica Anguas & Gómez López et al. (2001) en Honduras el diseño de los suelos se basa en metodologías empíricas, dejando de lado el concepto mecanicista, ya que en otros países se utilizan "modelos de desempeño de pavimentos basados en principios enfocados en la mecánica de los materiales". (pág. 46)

Según en el informe geotécnico de la investigación realizado por la ENEE (2019) para el estudio de suelos en sitios donde la empresa buscaba emplear sus subestaciones, hace mención que la ciudad de San Pedro Sula se encuentra en una zona sísmica esto en base al código hondureño de construcción; cuyo factor de zona sísmica es de alrededor 0.28 g determinado por la siguiente escala. (ver Ilustración 1)

De acuerdo con la inspección que se realizó en distintas zonas del país para la ampliación de la ENEE (2019), mencionan que se observó la presencia de suelos residuales en San Pedro Sula, el cual era generado por la meteorización química y física del sector. Este tipo de suelos eran de tipos arcillas, a priori, la ENEE (2019) afirma que "esto se debe a la descomposición de la roca original, siendo identificados en el ordenamiento geológico nacional como Pzm, ciertas partes de la ciudad es de roca de origen metamórfico, es decir que, por la aplicación de presión y calor, se han convertido en rocas ígneas o sedimentarias". Esto hace que los suelos del sitio presenten un grado de meteorización VI, por lo que, si no es tratada la calidad del suelo y su permeabilidad, el área es inadecuado para importantes cimentaciones o construcciones.

ZONA SÍSMICA	1	2	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6
Z	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50



**Ilustración 1 – Zonas sísmicas de Honduras debido a su tipo de suelo**

Fuente: Informe geotécnico de estudio de mecánica de suelos por (ENEE, 2019)

De la Fuente Martín et al. (1984) afirma que “la deformabilidad de los suelos arcillosos se estima, de forma habitual, a partir de ensayos edométricos y triaxiales en laboratorio, y, dependiendo de su naturaleza, también mediante ensayos de carga con placa. (pág. 6)

De acuerdo las condiciones en la que se encuentran ciertos sectores en la ciudad de San Pedro Sula, y con base en el informe geotécnico por parte de la ENEE denota que hay varias zonas de la ciudad que es arcilloso y debe de tratarse la permeabilidad del mismo para que se puedan llevar a cabo construcciones, del cual previo al proceso constructivo de la zona se deben de realizar ensayos de laboratorio del suelo para la permeabilización y de los ensayos triaxiales en laboratorio, y en la zona norte de San Pedro Sula no se cuenta con un registro de ensayos triaxiales

en suelos arcillosos, en las investigaciones llevadas a cabo presentan dos tipos de ensayos distintos. La ENEE (2019) menciona que para determinar las condiciones del suelo se realizan dos tipos de ensayos registrados en San Pedro Sula que ayudan determinar la calidad del subsuelo, los dos tipos de ensayos son:

### **1) Sondeos mediante el Método Dinámico**

El cual la ENEE (2019) menciona que estos ensayos se aplican en base a la norma de la American Society for Testing and Materials ASTM D1586-11, el cual para la ejecución de esta se hace uso de un martillo de seguridad, con un peso de 140 libras y una caída libre de 30 pulgadas (76.2 cm). Durante la ejecución de los ensayos esta muestra resultados de todos los elementos que forma el subsuelo, por los que les ayuda a determinar las propiedades y denotar los índices de granulometría, la humedad del suelo y peso unitario, facilitando la clasificación de materiales.

### **2) Método de exploración a cielo abierto**

ENEE (2019) afirma que "el ensayo de exploración a cielo abierto ayuda para la determinación de las propiedades del subsuelo, específicamente a los que denominamos capa superior. Con esta exploración se realiza una inspección directa de los suelos, tomando muestras para posteriormente efectuar los ensayos de laboratorio permitiendo entregar información confiable". (pág. 8)

De acuerdo con datos extraídos de investigaciones que se han realizado en la ciudad de San Pedro Sula, únicamente se encuentran ensayos de laboratorio de penetración estándar (SPT), que ayuda a determinar la granulometría, límite de consistencias, humedad en el suelo, peso unitario, Proctor estándar y cortante director, que son normalizado por la American Society for Testing and Materials (ASTM). (ver Tabla 1)

**Tabla 1 - American society for testing and materials (ASTM)**

<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>
Método de Ensayo Estándar para Análisis del Tamaño de las Partículas de los Suelos.	<b>ASTM D 422</b>
Método de Ensayo Estándar para Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad del Suelo.	<b>ASTM D 4318 - 10</b>
Método Estándar para la Determinación en Laboratorio del Contenido de Humedad del Suelo.	<b>ASTM D 2216 - 71</b>
Método de Ensayo Estándar para la Determinación en Laboratorio de la densidad (Peso Unitario) de los especímenes de suelo.	<b>ASTM D 7263 - 09</b>
Proctor Estandar	<b>ASTM D-1557</b>
Ensayo de Cortante Directo	<b>ASTM D 3080-90</b>

Fuente: Informe geotécnico de estudio de mecánica de suelos por (ENEE, 2019)

Según (Morales Fuentes, Gale Torres, & Fernández Hernández, 2017) afirman que, "en el norte de la ciudad de San Pedro Sula, y aquellos en los tipos de suelo son arenas y limos mal graduados (SP-SM), arenas y limos bien graduados (SW-SM), arenas limosas (SM), mal graduados. arena graduada (SP) y arena fina (SW). Siendo los más importantes y mal clasificados arena y limo (SP-SM) con un porcentaje de 56.52 %". (pág. 5)



**Ilustración 2 - Mapa de tipos de suelos a 1.00 metros**

Fuente: (Morales Fuentes, Gale Torres, & Fernández Hernández, 2017)

En la Ilustración 2, se muestra los tipos de suelos que actualmente incluyen arena limosa (SM), arena limosa con limo (SP-SM), arena mal graduada (SP), arena bien graduada (SW) y grava bien graduada (GW). Los tres tipos de arenas con limos que más se notan son las arenas limosas (SM), que tienen un porcentaje de 30 punto 43 por ciento, y las arenas con limos mal graduadas (SP-SM).

## **2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

De acuerdo con los precedentes que se han denotado en la investigación, en el siguiente apartado, se presenta la formulación del problema, el cual detalla todos aquellos argumentos válidos para enunciar el problema. Cada una de las preguntas de investigación se enumerará de acuerdo con la problemática que se mostrado a lo largo del capítulo 2.

### 2.2.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

A continuación, se presenta el enunciado del problema, el cual determina el propósito principal por el cual se desarrolla la investigación propuesta.

“Para el año 2023 en UNITEC, San Pedro Sula se carece de un documento que avale los procedimientos que deberán cumplirse para realizar un análisis de consolidación triaxial y permeabilidad en arcillas a través del uso del equipo triaxial Humboldt”.

### 2.2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A continuación, se define la formulación del problema de acuerdo a la problemática que se presenta en la actual investigación.

¿Qué contenido de importancia en función a la consideración de ingenieros civiles debe presentar una guía para el análisis de consolidación triaxial y permeabilidad de arcillas con el equipo triaxial Humboldt en San Pedro Sula, 2023?

## 2.3 JUSTIFICACIÓN

Arcillas son un tipo de suelo que se encuentran en todo el mundo, y son muy comunes en la tierra. Estas arcillas pueden ser usadas para construir edificios, pavimentos y otros objetos, las arcillas también se utilizan para la fabricación de productos industriales tales como ladrillos o bloques de hormigón.

El informe geotécnico de estudio de mecánica de suelos por (ENEE, 2019), menciona para la permeabilización de suelos en la ciudad de San Pedro Sula debido al sitio donde este se ubica cuenta con suelos arcillosos de baja compresibilidad, encontrándose como tal en condiciones saturadas, ya que se ha detectado en el sector presencia de nivel freático a una profundidad de 1.20 [m] de acuerdo a los ensayos realizados en el subsuelo, y para considerar una construcción en estas zonas arcillosas, por su condición saturada se generaría un asentamiento por consolidación, por lo que se considera que la capacidad de carga en este no es el adecuado y a la falta de una guía para la elaboración de ensayos de consolidación triaxial para solventar la

permeabilidad en los suelos, en la zona norte de la ciudad de San Pedro Sula de arcillas teniendo en consideración el mapeo de suelos de la ciudad como tal.

San Pedro Sula carece de información técnica, e inclusive informativa de la condición en la que se encuentra actualmente las condiciones de suelo, o los tipos de suelos que se encuentran en la ciudad.

A falta de una guía para poder llevar a cabo el análisis de suelos para su permeabilidad y la consolidación triaxial, en el documento se presentará una guía de usuario en el cual se presentará el uso correcto del equipo triaxial Humbolt dando los parámetros adecuados de la herramienta para obtener información de la resistencia a cortante y permeabilidad de arcillas en la zona norte de Honduras, haciendo el uso adecuado de las normativas que limitan el proceso de análisis de la misma.

## **2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

Para la presente investigación se denotaron las siguientes preguntas de investigación:

- 1) En base a los criterios de profesionales del rubro ¿Cuál es el contenido que deberá de comprender la guía para análisis de consolidación triaxial y permeabilidad de arcillas?
- 2) De acuerdo con opinión de ingenieros civiles ¿Cuáles son los criterios a considerar para el proceso de consolidación triaxial con el equipo triaxial Humbolt?
- 3) ¿Cuáles son las normativas para aplicar para llevar a cabo el análisis de consolidación triaxial y permeabilidad con el equipo triaxial Humbolt?
- 4) ¿Cuáles son los parámetros para contemplar para el uso correcto del equipo triaxial Humbolt para realizar la guía?
- 5) ¿Qué correlación presentarán los valores de consolidación triaxial y permeabilidad con el equipo triaxial Humbolt en San Pedro Sula para el año 2023?

## **2.3 OBJETIVOS**

A continuación, se muestran los objetivos definidos para la presente investigación.

### 2.3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una guía de uso para el análisis de consolidación triaxial mediante el uso correcto del equipo triaxial Humboldt y obteniendo así información de resistencia cortante y permeabilidad en arcillas en la zona norte de Honduras.

### 2.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como parte de los objetivos específicos se muestra:

- 1) Determinar el contenido que debe de comprender la guía para análisis de consolidación triaxial y permeabilidad de arcillas.
- 2) Identificar los criterios a considerar para el proceso de consolidación triaxial con el equipo triaxial Humbolt.
- 3) Recopilar las normativas a contemplar para aplicar el análisis de consolidación triaxial y permeabilidad con el equipo triaxial Humbolt.
- 4) Identificar los parámetros a considerar para el uso correcto del equipo triaxial Humbolt para realizar la guía.
- 5) Evaluar la posible correlación entre los valores de consolidación triaxial y permeabilidad con el equipo triaxial Humbolt en San Pedro Sula para el año 2023.

Una vez definido todas las consideraciones a tomar para la elaboración de los ensayos para estructurar la guía, se procede a presentar el capítulo 3, el cual ayudará a tener una mejor perspectiva de cada uno de los parámetros que se tomarán para la investigación.

### III. MARCO TEÓRICO

Se recopila información para apoyar la investigación una vez que se ha identificado el problema del proyecto y para el cual se brindarán soluciones. El análisis de las pruebas triaxiales se apoya luego en un marco teórico que se presenta a continuación. En cuanto al marco conceptual, ayuda a desarrollar una interpretación más precisa del tema y, en definitiva, el marco legal que, a través de normas, reglas y leyes.

#### 3.1 ANÁLISIS DE SITUACIÓN ACTUAL

Como resultado, se citará información dentro del documento para la elaboración de una guía de usuario para el análisis de consolidación triaxial y permeabilidad en arcillas UNITEC SPS, con el fin de hacer un aporte significativo a la sociedad y la comunidad de futuros ingenieros civiles que no son familiarizado con tal información. A continuación, se detalla el análisis de la situación actual del país hondureño, y en particular de la ciudad de San Pedro Sula, que es donde se aborda la investigación.

##### 3.1.1 ANÁLISIS DE MACROENTORNO

En esta sección del documento se detalla la información proveniente de proyectos llevados a cabo en diferentes países, con la finalidad de denotar los criterios a contemplar para poder realizar una guía o manual de ensayos de consolidación triaxial y permeabilidad de suelos, y por consiguiente, sustentar la investigación que se lleva a cabo en el actual documento.

##### *3.1.1.1 Elaboración de un manual para el uso del equipo de ensayo triaxial*

La investigación se llevó a cabo en la ciudad de Quito, sus autores Escobar Villagómez & Vásconez Freire (2023) en el presente año, entregaron un manual para hacer uso del equipo triaxial ELE.

Dentro de la información destacada Escobar Villagómez & Vásconez Freire (2023) menciona que, para evitar un rezago pedagógico por falta de conocimientos en el manejo de equipos, la elaboración del manual debe permitir que los estudiantes de la carrera de ingeniería civil tengan

el acceso necesario a los ejercicios de laboratorio de mecánica de suelos. De esta forma, el uso y la aplicación del equipo de prueba triaxial pueden entenderse completamente.

Escobar Villagómez & Vásconez Freire et al. (2023) definen los siguientes objetivos para su investigación:

### **Objetivo general**

“Elaborar un manual de uso para el equipo de “Ensayo Triaxial”, mediante la realización de ensayos en laboratorio en las distintas variantes: no consolidado no drenado (UU), consolidado no drenado (CU) y consolidado drenado (CD), utilizando las normas ASTM correspondientes”. (Escobar Villagómez & Vásconez Freire, 2023)

### **Objetivos específicos**

- Reconocer las partes del equipo de ensayo triaxial, mediante la inspección visual del equipo, para el detallamiento minucioso del manual. (pág. 4)
- Estudiar el funcionamiento del software y hardware del equipo, mediante la manipulación de éstos. (pág. 5)
- Ejecutar calicatas y obtener muestras inalteradas de suelo debidamente embaladas.
- Remoldear una muestra de suelos, aplicando la norma ASTM, para la realización del ensayo triaxial en su variante no consolidado no drenado (UU). (pág. 4)
- Realizar ensayos en muestras de suelos imperturbadas, aplicando la norma ASTM, para la realización del ensayo triaxial en sus variantes no consolidado no drenado (UU), consolidado no drenado (CU) y consolidado drenado (CD). (págs. 4 - 5)

Como parte de la metodología empleada en la investigación documento Escobar Villagómez & Vásconez Freire (2023) afirman que, Según Zurita y Narváez (2014), “el método experimental es una situación provocada por el investigador para introducir determinadas variables de estudio, manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de dichas variables y su efecto sobre las conductas observadas”. Se utilizará un enfoque experimental para obtener el manual de prueba triaxial. Se utilizará el mismo que nos permitirá establecer relaciones entre las tres

diferentes variantes de ensayos triaxiales: consolidado no drenado (CU), no consolidado no drenado (UU) y consolidado drenado (CD).

Por ello Escobar Villagómez & Vásconez Freire (2023) emplearon un enfoque analítico, que es aquel que reconoce los componentes de un todo antes de realizar un análisis ordenado de cada una de sus partes componentes. En este caso, se examinaron los tipos de prueba triaxial no consolidada sin drenaje (UU), consolidada sin drenaje (CU) y consolidada con drenaje (CD).

Como partes de las técnicas implementadas en la investigación, mencionan que, Según Zurita y Narváez (2014), "La observación como técnica de recolección de información tiene una relación directa con el proceso intelectual de observar, que consiste en utilizar todos los sentidos para determinar cada uno de los elementos que componen el objeto de estudio. varias muestras de suelo obtenidas por pozos de prueba de fricción y cohesivos, se analizará el comportamiento del aparato de prueba triaxial y sus resultados". (pág. 14)

Con base a ello se procedió a detallar los procesos técnicos que se incluirían en el manual, el cual se destacan los siguientes criterios:

### **Reconocimiento de las partes del equipo**

"Los componentes de software y hardware de la máquina de prueba triaxial "ELE" se identificaron mediante un examen cuidadoso de cada componente". (pág. 22)

### **Estudio del software del equipo de ensayo triaxial**

"Antes de utilizar el equipo de ensayo triaxial, se realizó una revisión del software del laboratorio de suelos de la Universidad Politécnica Salesiana. Para ello se utiliza la técnica de la observación y se separan los componentes del software mediante un método analítico". (pág. 22)

### **Instalación de los elementos del equipo de ensayo triaxial**

"Se ensamblaron todos los componentes que componen el aparato de prueba triaxial, y esto asegura que estén correctamente instalados, que no haya conexiones sueltas en las válvulas de saturación y que el aparato esté correctamente conectado a la computadora para que no se puedan obtener valores incorrectos y fallar toda la prueba". (pág. 22)

### **Tallado de muestras para la realización de ensayos para suelos cohesivos**

“El suelo que se utilizará en este paso debe estar inalterado. Cada ensayo se realiza con tres especímenes cilíndricos de la misma muestra de suelo, los cuales deben ser tallados después de haber sido obtenidos por pozos de prueba, también conocidos como bloques de suelo. Es importante evitar destruir la forma natural del suelo y evitar que pierda humedad. natural. Se debe retirar una porción de la muestra en el momento de la preparación de la muestra para determinar su contenido de humedad”. (pág. 23)

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

“Una muestra alterada o remodelada debe compactarse con una cantidad predeterminada de energía (el peso específico de campo debe coincidir con el peso específico del laboratorio), después de lo cual se deben seguir los mismos procedimientos que con una muestra no perturbada”. (pág. 23)

### **Realización de ensayos triaxiales en función de las Normas ASTM**

“Antes de ingresar a los laboratorios, se debe leer detalladamente el procedimiento a seguir para tener la información necesaria y evitar errores en las pruebas reales. Se deben conocer las reglas que especifica la norma ASTM para poder realizar los ensayos”. (pág. 24)

### **Toma de resultados de los ensayos realizados**

“Una vez codificadas estas, se construye una escala aritmética de tensión vs por cada tensión límite se construye un gráfico de deformación”. (pág. 24)

### **Informe de resultados obtenidos**

“Se crea un informe después de obtener los resultados, describiendo todas las respuestas proporcionadas por el programa. Luego se compararán las tres pruebas que se realizaron: la prueba triaxial no drenada no consolidada (UU), la prueba no drenada consolidada (CU) y la prueba drenada consolidada (CD)”. (pág. 24)

## **Elaboración del manual de uso del equipo de ensayo triaxial**

El manual detalla cada acción a realizar, se creará una vez obtenidos los resultados y elaborado el informe. Aquí se deben colocar imágenes que aseguren la elaboración del ensayo y que ayuden al lector a comprenderlo mejor. (pág. 24)

## **Elaboración de videos de los ensayos realizados**

“Una vez terminados todos los ensayos, pasamos a editar los videos que se grabaron. Este proceso se realizará secuencialmente durante cada proceso y ensayo a medida que avanza el proyecto”. (pág. 24)

Una vez realizado cada uno de esos pasos en el documento, Escobar Villagómez & Vásconez Freire (2023) destacan las siguientes conclusiones:

- “El programa DS7- ELE que se maneja juntamente con el equipo triaxial no es complejo ya que éste nos va indicando los pasos que se deben seguir para la realización de cada ensayo”. (pág. 152)
- “La calicata de muestra inalterada de suelo fue obtenida en la provincia de Pichincha, cantón Quito, sector sur (Guamaní), barrio la Victoria a una profundidad de 1 m desde la capa vegetal”. (pág. 152)
- “Para el ensayo de la muestra reconstituida se aplicó el método de compactación utilizando el cilindro de mediacaña, dando como resultado una muestra compactada en 6 capas con una densidad de  $1.32 \text{ [g/cm}^3\text{]}$ , altura de 144 [mm] y diámetro de 71.28 [mm]”. (pág. 152)
- “Mediante el presente manual se expone de forma detallada el procedimiento adecuado para realizar ensayos triaxiales en el equipo triaxial ELE, desde la obtención de un bloque cúbico de suelo inalterado, seguido de su tallado, hasta el montaje del espécimen y su respectivo ensayo”. (pág. 152)

### *3.1.1.2 Manual de parámetros de corte en suelos cohesivos saturados, mediante pruebas de compresión triaxial: consolidado no drenado y consolidado drenado*

La investigación se llevó a cabo en Guatemala por parte de Pierrri Palma et al. (2011) en el cual para poder llevar a cabo los ensayos de corte en suelos mediante ensayos de compresión triaxial destaca primeramente como información destacada de los parámetros, lo siguiente:

#### **Objetivo general**

“Obtener parámetros de suelos cohesivos mediante de las pruebas de compresión triaxial, que permitan realizar un manual de los procedimientos de resistencia al corte en diferentes condiciones extremas”. (pág. 11)

#### **Objetivos específicos**

- 1) “Analizar los tipos de ensayo consolidado no drenado y consolidado drenado, como un aporte adicional a los investigadores y demás interesados en el tópico”. (pág. 11)
- 2) “Mostrar las propiedades intrínsecas de los suelos cohesivos”. (pág. 11)
- 3) “Dar a conocer los procedimientos a seguir en los ensayos consolidados de compresión triaxial”. (pág. 11)
- 4) “Presentar el algoritmo que permita obtener resultados para una mejor toma de decisión”. (pág. 11)

Como parte de la metodología utilizada en la investigación, se menciona el equipo utilizado para poder obtener los resultados de los parámetros que querías establecer para poder llevar a cabo la guía que pretendían realizar.

El equipo utilizado por Pierrri Palma et al. (2011) fue con base a ASTM D 2850 – 03a: Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression on Cohesive Soils.

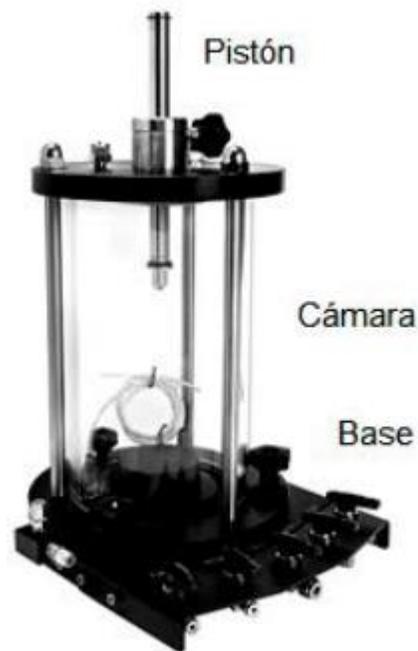
Del cual Pierrri Palma et al. (2011) afirma:

La presión de la cámara y los dispositivos de control de la contrapresión será capaz de aplicar y controlar las presiones a  $\pm 2$  kPa (0,25 lb/in<sup>2</sup>) para presiones de consolidación efectiva a menos

de 200 kPa (28 lb/in<sup>2</sup>) y una tolerancia de  $\pm 1\%$  para presiones de consolidación efectiva de más de 200 kPa. La válvula del control de vacíos deberá ser capaz de aplicar y controlar vacíos parciales a  $\pm 2$  kPa.

Los aparatos están compuestos de controladores de presión/volumen, la auto compensación de los dispositivos de mercurio, los reguladores de presión neumática, o cualquier otro dispositivo capaz de aplicar y controlar presiones o vacíos parciales a las tolerancias requeridas.

Estos ensayos pueden requerir una duración de varios días. Por lo tanto, una interfase aire/agua no es recomendable para la presión de la cámara o sistemas de presión, a menos que sea aislado de la muestra y la cámara (ver Ilustración 3).



**Ilustración 3 – Cámara triaxial,**

Fuente: Testing Equipment for Construction Materials (HUMBOLDT, 2023)

Una vez preparado el espécimen a analizar el cual Pierri Palma et al. (2011) menciona que un especialista en mecánica de suelos lo extrajo de un tajo abierto a la profundidad especificada. La muestra, que tiene un volumen de alrededor de un pie cúbico y tiene forma de cubo, necesita ser encerada para preservarla.

Y luego como parte del procedimiento las placas se llevaron al tallador para realizar los ensayos, se puso el prisma en el aparato para moldear la muestra, se fijó la barra a la medida del diámetro deseado y se cortó el material con la sierra de hilo hasta formar una probeta producido 2 puntos ocho pulgadas redondas de diámetro. (pág. 40)

Pierrri Palma et al. (2011) menciona que, la prueba se lleva a cabo para determinar la densidad del material después de obtener una muestra considerable del material. Posteriormente, utilizando el volumen conocido del molde, se determina el peso del material a ensayar.

Una vez obtenido las muestras que ellos iban a analizar como parte del procedimiento para evitar que el material cohesivo se pegue al molde y facilitar la extracción de la muestra, se engrasan las dos placas del molde y la base. Luego se coloca una lámina de plástico encima y se vuelve a engrasar, pero con menos vigor.



**Ilustración 4 – Colocación de láminas de plástico en el molde**

Fuente: Pierrri Palma et al. (2011)

Para facilitar el recubrimiento de plástico de cada placa, se realizaron dos cortes verticales desde el borde del molde hasta la lámina de plástico que sobresale en los extremos, después de unir las dos placas del molde, se coloca un anillo para asegurarlas. (pág. 42)



**Ilustración 5 – Ensamblaje del molde**

Fuente: Pierri Palma et al. (2011)

Pierri Palma et al. (2011) menciona que, el molde ensamblado se llena con un tercio del peso total. Para evitar derramar el material, se recomienda utilizar una cuchara pequeña. Luego se coloca el cilindro compactador y se golpea con un mazo de goma hasta que alcance la marca o indicador. Hasta llegar a la última capa se repite el proceso.



**Ilustración 6 – Compactación del espécimen**

Fuente: Pierri Palma et al. (2011)

Después de retirar con cuidado cada plato del molde uno a la vez, puede soltar el anillo. La base también quedará libre.



**Ilustración 7 – Extracción del espécimen del molde**

Fuente: Pierri Palma et al. (2011)

Conclusiones relevantes Pierri Palma et al. (2011) menciona lo siguiente:

- 1) "Para las obras civiles tales como: taludes, presas de tierra, fundiciones de estructuras, muros de contención y todas aquellas estructuras que se vayan a cimentar sobre suelos cohesivos se requiere la evaluación de la resistencia al corte del suelo". (pág. 85)
- 2) "El comportamiento drenado y no drenado depende del agua que puede entrar o salir del suelo, influyendo en la acomodación de las partículas que genera un cambio de volumen y por lo tanto en su densidad, pero no se dan cambios en la presión de poro. Por el contrario, si el cambio de volumen no es posible, la presión de poro cambia y entonces se producirá un cambio en el esfuerzo efectivo. En términos generales los suelos cohesivos tienden a fallar en condiciones no drenadas." (pág. 85)
- 3) "Haciendo una analogía entre los suelos cohesivos y un material dúctil como lo es el acero, se presenta un aumento de la resistencia con respecto a la deformación al corte, alcanzando el punto de fluencia donde el material se deforma, pero ya no resiste carga hasta llegar al punto de ruptura o de colapso." (pág. 85)

- 4) “En las pruebas de laboratorio se asume que el exceso de presión de poro que se desarrolla en el espécimen es el mismo que se da en el terreno. Por lo tanto, la curva de esfuerzo-deformación de una arcilla sobreconsolidada es similar a la de una arena densa, mientras que la de una arcilla normalmente consolidada es similar al de una arena suelta. Sin embargo, en el caso de existir exceso la presión de poro en un suelo normalmente consolidado aumenta hasta la falla y en un suelo preconsolidado disminuye el corte.” (pág. 85)

### 3.1.1.3 MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS

Siempre tomando en cuenta que la actual investigación dará a conocer el contenido a considerar para poder elaborar una guía de ensayos consolidados triaxiales y permeabilidad de suelos con el equipo Humboldt, en la ciudad de Bogotá se presentó un trabajo denominado manual de procedimientos de suelos, en el cual Botía Diaz W. Á et al. (2015) detallando cada uno de los criterios para poder llevar a cabo dichos ensayos.

En una información especial de investigación, Botía Diaz W. Á et al. (2015) afirmaron que la caracterización y clasificación de los suelos fue posible gracias a los procedimientos realizados sobre los mismos en ensayos de laboratorio. Con el fin de asegurar los resultados de los estudios de suelos y tener la menor variabilidad posible entre laboratorios, se han establecido normas que rigen los ensayos realizados en laboratorios, en cuyo caso se presentan investigaciones. Botía Diaz W. Á et al. (2015) afirmaron que el Instituto Nacional de Investigaciones Viales “INVIAS” propuso estos criterios. La precisión de los resultados de las pruebas de laboratorio depende no solo del estricto cumplimiento de los procedimientos recomendados por las normas aplicables, sino también de la calidad y buen estado de los equipos utilizados en el proceso.

Botía Diaz W. Á et al. (2015) afirma que, para clasificar los suelos caracterizándolos en el laboratorio se requieren muestras o partes de los mismos. Si el objetivo es genérico y no hay necesidad de conocer características específicas, se deben procesar muestras de prueba y solo se deben controlar volúmenes representativos. Por el contrario, cuando los datos públicos son específicos, los especímenes generalmente deben cumplir con condiciones como el tamaño, el procedimiento de recolección, el manejo durante el transporte y el entorno de almacenamiento.

Se pueden procesar tanto muestras meteorizadas como no meteorizadas, según las propiedades que desee conocer sobre el suelo que se está investigando.

Con todas las consideraciones previamente mencionadas por Botía Diaz W. Á et al. (2015) además menciona que las pruebas de laboratorio deben tener en cuenta las altas tasas de error si la masa de suelo que llega al laboratorio debe ser al menos suficiente para realizar pruebas adicionales. Es cierto, y de acuerdo con los estándares, el conocimiento y la experiencia del ingeniero responsable se consideran poco realista. Después de realizar cada prueba, es importante respetar los requisitos de prueba publicados y conservar las muestras de control durante un período de tiempo que se considere apropiado para el tipo de proyecto en el que se está realizando el trabajo.

Dentro de los ensayos de laboratorio que se llevaron a cabo en la investigación que se asemeja a lo que se presentará en el actual documento, se realizaron ensayos de corte directo.

Para los ensayos de corte directo Botía Diaz W. Á et al. (2015) menciona que el propósito de este método es obtener datos a partir de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes del suelo:

- Consolidación inicial y final
- Contenido de Humedad de la muestra
- Valor de Cohesión y ángulo de fricción
- Gráfico Esfuerzo Normal vs Esfuerzo de Corte

Para llevar a cabo dicho ensayo Botía Diaz W. Á et al. (2015) menciona que se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones de las muestras a evaluar:

**Temperatura:** “para mantener constante la humedad de la muestra, el cambio de temperatura en el lugar de la prueba no debe exceder los  $\pm 4$  °C y no se debe exponerse a la luz solar directa”. (pág. 120)

**Muestreo y Almacenamiento:** “El muestreo del suelo es un paso preparatorio para el análisis y la caracterización. Este es quizás el paso más importante para obtener datos analíticos que puedan considerarse confiables y poder formarse una opinión sólida sobre el suelo bajo análisis. Su

almacenamiento debe garantizar que la muestra conserve su contenido de humedad natural y que no haya cambios de volumen de la muestra. Evite golpear o romper la muestra". (pág. 120)

Botía Diaz W. Á et al. (2015) afirma que el procedimiento para llevar a cabo ensayo de corte directo son los siguientes pasos:

- "Debe asegurarse de que el equipo utilizado en la prueba tenga una calibración actual y conozca las unidades en las que el dispositivo proporciona datos de salida". (pág. 122)
- "Coloque la caja sobre una superficie plana y estable y ensamble". (pág. 122)
- "Después de que las dos partes de la carcasa giren juntas y las superficies de contacto se lubriquen con aceite, se aseguran con un tornillo de alineación en la parte superior". (pág. 123)
- "Coloque el anillo en el borde del orificio en la caja superior, coloque la muestra frente a la piedra porosa en el fondo de la caja y empuje hasta que la muestra salga del anillo y descansa sobre la piedra porosa. El método de empuje debe ser tal que la fuerza aplicada a la superficie superior sea la mayor posible". (pág. 123)
- "Esta operación se realizará antes del inicio del ensayo ajustando los tornillos de alineación o bloqueo para evitar fuerzas de cizallamiento debidas a la manipulación de la caja. A continuación, se coloca una piedra porosa, una placa divisoria y un pistón de carga sobre la muestra". (pág. 123)



**Ilustración 8 - Montaje de la muestra en la caja de corte**

Fuente: Botía Diaz W et. Al (2015)

Ensamble una caja de corte perfectamente centrada en la corredera para ajustar la celda de carga horizontal y verticalmente sin agregar o ahorrar fuerza.



**Ilustración 9 - Ensamble de caja de en máquina de corte directo**

Fuente: Botía Diaz W et. Al (2015)

**Para la aplicación de esfuerzos y falla de la muestra Botía Diaz W. Á et al. (2015) menciona lo siguiente:**

- “De lo contrario, la galga extensiométrica sirve para medir el producto de la fuerza de consolidación normal aplicada y el producto del desplazamiento lateral de cortante aplicado”. (pág. 124)
- “Anteriormente, la carga normal de la muestra tenía que calcularse según el peso unitario de la muestra y la profundidad a la que se tomaba la muestra. Las cargas sobre los dos especímenes también se determinan más adelante. Sin embargo, la prueba se ejecuta hacia arriba y hacia abajo o directamente hacia arriba. Esto depende directamente del tipo de proyecto a implementar y de los requisitos que el terreno estará sujeto a terreno natural después de la implementación del proyecto”. (págs. 124 - 125)
- “Es importante asegurarse de que la prueba de consolidación central se realizó primero siempre que sea posible para que se conozca el  $t_{50}$  de la muestra y el tiempo final de la prueba”. (pág. 125)

$$t_f = 50 * t_{50}$$

- “Una aplicación de carga típica se logra colocando un peso de acero en el brazo de carga”. (pág. 125)
- “Cuando se aplican cargas altas y la muestra se satura, la carga repentina puede dañar la muestra y hacer que salga despedida de la caja de corte. Esta situación es común con los materiales de unión blanda. En base a lo anterior, se debe correr la carga normal por un corto tiempo para que la estructura de la muestra no se vea afectada y no haya riesgo de tener que repetir la prueba”. (pág. 125)



**Ilustración 10 - Aplicación de cargas normales**

Fuente: Botía Diaz W et. Al (2015)

- “Llene el vehículo con desplazamiento después de aplicar la carga normal para que el nivel del agua sea más alto que la muestra y mantenga el nivel del agua durante la prueba. Esto permite procesos de drenaje y consolidación”. (pág. 125)



**Ilustración 11 - Inundación de caja de corte**

Fuente: Botía Diaz W et. Al (2015)

- “Si se desea un gráfico de consolidación, el punto de deformación debe registrarse cada vez que se incremente la carga después de que se complete la consolidación inicial. De lo contrario, solo se registra el primer valor fusionado, es decir, cero y el valor fusionado final”. (pág. 126)
- “Una vez que se complete la fusión, el patrón comenzará a cortarse. Afloje el tornillo de retención o el alineador y vuelva a colocar el tornillo espaciador de modo que la parte superior de la caja quede 0,25 mm más alta que la parte inferior. Se debe tener cuidado de no desgastar o agrietar la superficie de contacto entre el tornillo y la carcasa inferior. Esto se debe a que la fuerza de corte requerida se puede aumentar significativamente al cortar”. (pág. 126)
- “Los procedimientos descritos en este manual son para el método de control de tensión. La computadora se ajusta a la velocidad previamente determinada y comienza el proceso de corte”. (pág. 126)
- “La velocidad de corte depende del material probado. La norma INV 154-13 recomienda la siguiente fórmula para determinar la velocidad:” (pág. 126)

$$v_{corte} = \frac{\text{desplazamiento estimado para la falla [mm]}}{\text{tiempo calculado para la falla [segundos]}}$$

La literatura expone que el desplazamiento promedio para suelos normalmente consolidados es de 12 mm y de 5 mm para suelos sobre consolidados.

- “Por lo tanto, la fuerza de corte se aplica a una velocidad constante y la carga y el tiempo aplicados se registran en intervalos de deformación definidos. Cuando la carga registrada por la celda se vuelve constante, o cae precipitadamente si no se logra, la prueba finaliza y es seguro que se ha producido un error. Si esta condición no ocurre, se considera que ha ocurrido falla cuando la deformación excede el 10% del diámetro del espécimen”. (págs. 126 - 127)



**Ilustración 12 - Inundación de caja de corte**

Fuente: Botía Diaz W et. Al (2015)

- “Se ordeno la computadora el cual se retiró el peso del brazo de carga y almacene la celda de carga de corte. Coloque la muestra en un recipiente y realice una prueba de humedad natural”. (pág. 127)

### **3.2 TEORÍA DE SUSTENTO**

Luego se presenta la teoría de apoyo, junto con la literatura pertinente que ayudará con el desarrollo y la producción de la evidencia. En consecuencia, incluye técnicas de codificación, técnicas analíticas, etc. Mejorar la velocidad con la que se recopilan datos precisos, se analizan los resultados y se realiza la recomendación final o entregable. El objetivo que la teoría adjunta busca lograr consta de dos partes, junto con un resumen de la información pertinente que estos materiales producen para la investigación.

#### 3.2.1 TIPOS DE PRUEBAS TRIAXIALES

##### **Prueba lenta - Prueba con consolidación y con drenaje (CD)**

La eficacia de las tensiones aplicadas a la muestra es la característica distintiva clave de la prueba. Para consolidar completamente el suelo bajo la presión actuante, primero se debe aplicar presión hidrostática completa al suelo mientras se mantiene una válvula de comunicación abierta con la bureta. Cuando se haya restablecido el equilibrio estático interno, todas las fuerzas externas estarán actuando sobre la fase sólida del suelo, produciendo esfuerzos efectivos, mientras que los

esfuerzos neutrales en el agua corresponden a la condición hidrostática. A continuación, se obliga a la muestra a fallar aumentando gradualmente la carga axial, manteniéndola cada vez durante el tiempo necesario para que la presión del agua caiga por debajo de la presión hidrostática. (Salas, 2011)

Las pruebas consolidadas drenadas se usan principalmente en suelos granulares (arenas), pero también se pueden usar en suelos finos, pero las pruebas toman mucho tiempo, del orden de semanas.

### **Prueba rápida – Prueba con consolidación y sin drenaje (CU)**

En este tipo de ensayo, primero se somete la probeta a presión hidrostática, lo que hace que el esfuerzo sea eficaz para actuar sobre la fase sólida del suelo. Luego, la muestra se sobrecarga rápidamente con fuerza axial hasta que falla, sin espacio para el cambio de volumen. El requisito principal de este tipo de ensayo es que no se permita una consolidación adicional durante el período de falla, que es cuando se aplica la carga axial. Al cerrar la válvula de salida de las piedras porosas a la bureta, esto se logra simplemente en una cámara de compresión triaxial. (Salas, 2011)

Podría haberse asumido que todo el esfuerzo de desviación en la segunda etapa de una prueba de consolidación rápida sería absorbido por el agua en los vacíos del suelo como presión neutra, pero este no es el caso. Se sabe que parte de esa presión axial es absorbida por la solidez de la fase del suelo, aunque la distribución de esfuerzos y los factores que influyen en ella aún no se han aclarado por completo. De hecho, si la muestra estuviera constreñida lateralmente, como en el caso de una prueba de consolidación, no hay razón en principio por la que la tensión del desviador deba ser absorbida completamente por el agua en forma de presión neutra. (Salas, 2011)

### **Prueba rápida - Prueba sin consolidación y sin drenaje (UU)**

Salas et. al (2011) menciona que no se permite la consolidación de la muestra en ningún momento durante este tipo de prueba. El drenaje no es posible porque la válvula de comunicación entre la bureta y la muestra siempre está cerrada. El suelo falla inmediatamente cuando se aplica una

carga axial rápidamente después de que el espécimen haya sido sometido por primera vez a la presión hidrostática. Se desconoce cuáles serán las tensiones reales de la prueba.

Además, Salas et. al (2011) que "el ensayo UU es usualmente llevado a cabo sobre especímenes de arcilla, enmarcando la realización del ensayo dentro del concepto de resistencia para suelos cohesivos saturados, en donde se expresan los resultados en términos de esfuerzos totales. La envolvente de falla para los criterios de Mohr del esfuerzo total se convierte en una línea horizontal, con una condición de  $\varphi = 0^\circ$  (ángulo de fricción) y  $\tau_f = C_u$ , siendo  $C_u$  la resistencia al cortante no drenada, la cual es igual al radio de los círculos de Mohr". (pág. 16)

### 3.2.2 ENSAYO GRANULOMÉTRICO

La verificación del tamaño de las partículas se entiende como un proceso manual en el que las partículas que componen una muestra de suelo se separan mediante un método de tamizado y estas partículas se clasifican en diferentes tamaños para que se pueda conocer la masa del suelo. cada grupo. Muestras de suelo, "En la práctica, el peso en cada dimensión se expresa como un porcentaje de la muestra total retenida en cada malla. Partículas como arena o partículas finas como lodo o arcilla. Cañas et al. (1996)

### 3.2.3 COMPRESIÓN TRIAXIAL DE SUELOS COHESIVOS ASTM D4767-20

Este ensayo permite establecer la relación entre resistencia y tensión-deformación en suelos cohesivos saturados intactos reconstituidos o reformados en probetas cilíndricas. La muestra se consolida isotrópicamente, se corta durante la compresión y se evita que drene a una velocidad constante de deformación axial (deformación controlada). (Geotechnical, 2020)

Este ensayo, además, permite el cálculo de tensiones efectivas y totales, medición de la carga axial mediante compresión axial, la deformación axial y la cantidad de presión de poro-agua presente. (Geotechnical, 2020) hace mención que el cálculo de la envolvente de resistencia y el desarrollo de relaciones que ayudarán en la evaluación e interpretación de los resultados obtenidos después

de la prueba no se pueden realizar con esta prueba y deben ser realizados por un profesional experimentado y calificado.

Los formularios utilizados para definir cómo se recopilan, calculan y registran los datos en estas reglas se consideran estándares de la industria. Además, hemos hecho representativas las cifras relevantes, que normalmente deberían mantenerse. Los medios utilizados no tienen en cuenta la variabilidad de los materiales como son adquisición de datos, investigación para fines específicos o limitaciones de uso final. Los indicadores relevantes utilizados en los métodos de análisis de diseño de ingeniería están más allá del alcance de este ensayo. (Geotechnical, 2020)

#### 3.2.4 MÉTODO DE PRUEBA PARA EL ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULA DE SUELOS ASTM-D422

Sejias et al. (2007) afirma que la distribución del tamaño de partículas en el suelo. La distribución del tamaño de partículas de partículas mayores de 75  $\mu\text{m}$  (mantenidas en malla 200) se determina mediante tamizado, mientras que la distribución del tamaño de partículas de partículas menores de 75  $\mu\text{m}$  se determina sedimentando con un hidrómetro para obtener los datos requeridos.

Para las muestras de suelo para el análisis de tamaño de partículas y para la determinación de las constantes de suelo, se menciona que una velocidad no menor de 10000 rpm sin carga. El eje está equipado con un agitador de metal, plástico o goma. El eje debe ser suficientemente largo para que el agitador no opere a menos de 19 [mm]. Ni más de 38.1 mm del fondo de la copa de dispersión. Se debe disponer de una copa especial que contenga la muestra mientras está siendo dispersada, puede usar cualquiera de los dos tipos de copa de dispersión. (Sejias, 2007)

Sejias et al. (2007) menciona que para llevar a cabo la muestra de la prueba para el análisis mecánico conforme a la práctica D 421. Durante el procedimiento de preparación la muestra se divide en dos porciones. Una porción contiene solamente partículas retenidas en la malla N°10, mientras que la otra porción contiene solamente las partículas que pasan la malla N° 10. La masa de suelo secado al aire seleccionada para propósito de pruebas, como se indica en la práctica D 421, será suficiente para rendir las cantidades para el análisis mecánico como sigue:

El tamaño de la porción que retenida en la malla N° 10 dependerá del tamaño máximo de la partícula, según la siguiente tabla:

Diámetro nominal de las Partículas más grandes, Pulg. (mm)	Masa aproximada mínima de la porción, g
3/8" (9,5)	500
3/4" (19,0)	1000
1" (25,4)	2000
1 1/2" (38,1)	3000
2" (50,8)	4000
3" (76,2)	5000

**Ilustración 13 – Porciones retenidas**

Fuente: (Sejias, 2007)

### 3.2.5 TERMINOLOGÍA DE SUELO Y LOS FLUIDOS CONTENIDOS ASTM-D653

ASTM 653 (2001) determina que esta terminología está bajo la jurisdicción del Comité D18 de ASTM sobre el suelo y Rock, y es responsabilidad directa del Subcomité D18.93 sobre Terminología para suelo, roca y fluidos contenidos. Edición actual aprobada el 10 de agosto de 2001. Publicado en diciembre de 2001. Originalmente publicado como D 653 - 42 T.

Última edición anterior D 653 - 97 (2000). Esta extensa lista de definiciones representa los esfuerzos conjuntos del Subcomité D18.93 sobre Terminología para suelos, rocas y fluidos contenidos del Comité ASTM D-18 sobre Suelos y rocas, y el Comité de definiciones y estándares del División de Ingeniería Geotécnica de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles.

Estos dos grupos están colaborando como una Comisión Conjunta sobre la Nomenclatura de Mecánica de Rocas y Suelos ASCE/ASTM. Esta lista incluye ciertos términos de las definiciones en ASTM D 1707. Fueron discontinuados en 1967. Abrasivos: Rocas, minerales u otras sustancias por su dureza, tenacidad, consistencia u otras propiedades superiores. Esmerilar, cortar, pulir, restregar o usos similares.

### 3.2.6 DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO ASTM-D854

Este método de ensayo cubre la determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo que pasan la malla de 4.75 [mm] (tamiz 4), por medio picnómetro con agua. Cuando el suelo

contiene partículas de tamaño mayor a la malla de 4.75 [mm], se utilizará el método de ensayo ASTM C-127 para los sólidos de suelos retenidos en la malla de 4.75 [mm] y estos métodos de la prueba serán utilizados para los sólidos del suelo que pasan la malla de 4.75 [mm]. (LanammeUCR, 2020)

### 3.2.7 MÉTODO DE ENSAYO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA EN SUELO COHESIVO, DE LA COMPRESIÓN NO CONFINADA D2166/D2166M

(D2166-06, 2006) menciona que esta norma se publica bajo la designación fija D 2166; el número inmediatamente después de la designación indica el año original de adopción, en caso de revisión, el año de la última revisión. Un número en paréntesis indica el año de reprobación. Una ípsilon (O indica un cambio editorial desde la última revisión o reprobación.

El propósito principal de las pruebas de compresión libre es determinar la resistencia a la compresión de suelos con suficiente fuerza cohesiva para permitir que las pruebas en estado libre se realicen lo más rápido posible.

Estructuras planas fracturadas o fracturadas, como ciertos suelos de grano fino, arcillas muy blandas, suelos secos quebradizos y materiales en capas, o muestras que contienen cantidades significativas de limo y/o arena (todas con propiedades adhesivas) Las muestras de suelo con alto cizallamiento generalmente muestran un alto cizallamiento Los suelos no saturados muestran diferentes resistencias al corte usando el Método D 2850. Método experimental D 2850. (pág. 2)

A su vez (D2166-06, 2006) menciona que, si se realizan ensayos de una muestra intacta y uno remoldeado a una misma muestra, la sensibilidad del material puede ser determinada. Este método para determinar la sensibilidad es apropiado solo para suelos que puedan retener una forma estable en un estado remoldeado.

### 3.2.8 MÉTODOS DE PRUEBA PARA EL CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE HUMEDAD DEL SUELO EN LABORATORIO (ASTM-D2216)

(D2216, 1998) indica que esta norma se publica bajo la designación permanente D 2216. El número que sigue inmediatamente indica el año de adopción inicial o, si se han realizado cambios,

el año de la última revisión. El número entre paréntesis indica el año de la última aprobación. Superíndice epsilon ( $\epsilon$ ) indica cambios editoriales desde la última revisión o aprobación.

Se utiliza agua desionizada o destilada para todos los fines. El agua se calentará a la temperatura requerida durante la prueba del hidrómetro. Por ejemplo, colocar un cilindro de sedimentación en un baño de agua calienta el agua destilada o desionizada a la temperatura establecida del baño de agua. Además, si el cilindro de sedimentación se usa en un espacio con temperatura controlada, el agua de prueba puede estar a temperatura ambiente. 68°F (20°C) es la temperatura mínima requerida para la prueba del hidrómetro. Los pequeños cambios de temperatura no suelen suponer una gran diferencia en la práctica, ni se pueden aplicar las correcciones diferenciales establecidas. (D2216, 1998)

### 3.2.9 MÉTODOS DE ENSAYO PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL EN LOS SUELOS (ASTM-D2435)

Este método comprende un procedimiento para determinar la velocidad y la magnitud de la consolidación del suelo cuando éste está confinado lateralmente y además está cargado y drenado axialmente.

En este método, el elemento de suelo debe ser restringido lateralmente y cargado axialmente progresivamente bajo un esfuerzo constante hasta que todo el exceso de presión intersticial se disipe en cada incremento. Durante la compresión se mide la reducción de la altura de la probeta, estos datos se utilizan para calcular los parámetros que determinan la relación entre la tensión efectiva y la porosidad o deformación, y se calcula la velocidad. (Suelos-FIC-UNI, 2011)

### 3.2.10 MÉTODO DE PRUEBA PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL EN SUELOS COHESIVOS (ASTM-D4220)

Prueba de laboratorio en la que una muestra de suelo es sometida simultáneamente a un esfuerzo de confinamiento, o esfuerzo principal menor,  $\sigma_3$ , y a un esfuerzo de compresión, o esfuerzo principal mayor  $\sigma_1$ , hasta hacer que la muestra de suelo se rompa o se deforme más allá de un límite preestablecido. A partir de los resultados de este ensayo puede obtenerse los parámetros

de resistencia al corte, cohesión y ángulo de fricción interna del suelo (Normas ASTM D2850 y D4767). (Geotecnical, 2020)

### 3.2.11 GUÍA PARA EVALUAR USO EN ENSAYOS DE SUELO (ASTM-D4753)

Esta norma describe el procedimiento para determinar en laboratorio el contenido de humedad de muestras de suelos Competencias Técnicas de Laboratorista en Vialidad Grado I.

Para la muestra de selecciona una muestra de suelo representativa de suelo. La masa mínima de la muestra es la que se indica en la tabla siguiente: Tamaño máximo de la partícula Masa mínima de muestra (gr)

0.425 mm (N° 40) Tamiz 10	4.75 mm (N° 4) Tamiz 100	12.5 mm (1/2")	300	25.0 mm (1")	500	50 mm (2")	1000
---------------------------	--------------------------	----------------	-----	--------------	-----	------------	------

Competencias Técnicas de Laboratorista en Vialidad Grado I. (Esparza Villalba, 2009)

### 3.3. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se presenta un listado de terminologías, con su respectivo significado las cuales serán utilizadas a lo largo de la investigación, así lograr entender de mejor manera el concepto de cada una de estas.

#### ***Suelos cohesivos***

Según Pierri Palma et al. (2011):

Los suelos cohesivos son parte de la corteza terrestre, formada por materiales que pueden ser disgregados en partículas individuales, mediante la acción del agua, en donde la proporción en el peso del contenido de finos que tengan plasticidad es igual o superior al 35%. (pág. 5)

#### ***Resistencia al corte***

Pierri Palma et al. (2011) menciona que por supuesto, el esfuerzo cortante solo es soportado por estructuras de grano sólido. Por otra parte, la tensión normal en cualquier plano es generalmente la suma de dos componentes: la presión que soportan las partículas sólidas y la presión de los líquidos en el vacío.

#### ***Pruebas de laboratorio***

Según Botía Diaz et al. (2015) afirma que:

La caracterización y clasificación de los suelos es posible gracias a procedimientos efectuados a los mismos en las pruebas de laboratorio. (pág. 18)

### ***Suelo saturado***

Según Botía Diaz et al. (2015) afirma que:

Se dice que un suelo es saturado cuando el total de sus vacíos están ocupados por agua, de tal forma que se presente solamente fase líquida y fase sólida. Los suelos que se encuentran bajo el nivel freático normalmente presentan esta condición. (pág. 20)

### ***Prueba Triaxial***

Salas et al. (2011) menciona que el ensayo triaxial es uno de los métodos más fiables para determinar los parámetros de resistencia al corte.

Además, Salas et al. (2011) afirma lo siguiente:

En un ensayo triaxial, un espécimen cilíndrico de suelo es revestido con una membrana de látex dentro de una cámara a presión. La parte superior e inferior de la muestra tiene discos porosos, los cuales se conectan al sistema de drenaje para saturar o drenar el espécimen. (pág. 15)

### ***Prueba rápida – Prueba con consolidación y sin drenaje (CU)***

Salas et al. (2011) denota que:

El hecho esencial de este tipo de prueba es el no permitir ninguna consolidación adicional durante el periodo de falla, de aplicación de la carga axial. Esto se logra fácilmente en una cámara de compresión triaxial cerrando la válvula de salida de las piedras porosas a la bureta. (pág. 16)

### ***Suelo***

Salas et al. (2011) menciona que el sistema de tres fases formado por partículas sólidas, agua y gases o sedimentos no consolidados, que provienen de la alteración mecánica y/o física y/o química de las rocas.

### ***Distribución granulométrica***

Clasificación de partículas gruesas de suelo por análisis de tamiz de malla. (Botía Diaz W. Á., 2015, pág. 18)

### ***Muestras alteradas***

Se denominan muestras de suelo a las que pierden su estado original después de la recolección y no son 100% puras al momento del estudio. (Botía Diaz W. Á., 2015, pág. 18)

### ***Muestras inalteradas***

Son muestras de suelo obtenidas de forma que conservan su estado y estructura originales, de las que depende la fiabilidad del ensayo. (Botía Diaz W. Á., 2015, pág. 18)

### ***Arcilla***

Las partículas del suelo pasan a través del tamiz estándar número 200 según la clasificación del tamaño de las partículas y aparecen como material plástico cuando se mezclan con agua. (Botía Diaz W. Á., 2015, pág. 25)

### ***Cohesión***

Se refiere a la unión o atracción de las partículas del suelo por la carga que exhiben las partículas. (Salas, 2011, pág. 16)

### ***Envolvente de falla***

Esta es la curva representada por el círculo de Mohr y representa la resistencia al corte del suelo en un gráfico de 3 ejes. (Salas, 2011, pág. 16)

### ***Esfuerzo efectivo***

Se refiere a la composición vertical de fuerza por unidad de área de sección transversal y la diferencia causada por la presión intersticial de los poros en el suelo. (Salas, 2011, pág. 17)

### ***Ensayos de corte directo***

Cuando la muestra se compacta y la carga aplicada hace que la muestra fluya. (Salas, 2011, pág. 2)

### ***Consolidación***

Es una solución producida durante un período de tiempo, medido por un aumento gradual en el esfuerzo efectivo. (Cometa Trujillo & Mendez Bohorquez, 2016, pág. 22)

### ***Contrapresión***

Esta es la presión entre el fondo y la parte superior de la cámara, lo que aumenta la presión intersticial en la conexión de la base. (Cometa Trujillo & Mendez Bohorquez, 2016, pág. 22)

### ***Cámara triaxial***

Para realizar una inspección de 3 ejes, necesita un dispositivo llamado cámara de 3 ejes. Es un mecanismo totalmente desmontable, para probar, empezar a construir o ensamblar desde la base. (Cometa Trujillo & Mendez Bohorquez, 2016, pág. 22)

## **3.4 MARCO LEGAL**

Para la comunidad de ingenieros civiles investigadores, el CICH determina la siguiente normativa:

### **SECCIÓN II**

#### **CONSEJO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE LA FACULTAD**

**Artículo 17.** El Consejo de Investigación Científica de la Facultad es un órgano consultivo, de asesoramiento, coordinación y apoyo de todas las actividades de Investigación científica y tecnológica que se desarrollan en la facultad.

**Artículo 18.** Cada Facultad conformará su Consejo de Investigación Científica por: a) El Decano(a) de la Facultad, quien la presidirá; b) Tres (3) representantes de los jefes de las diferentes escuelas o departamentos, electos entre ellos; c) El Coordinador General de Posgrados de la Facultad; d)

Tres (3) Representantes de los jefes de las Unidades de Gestión de la Investigación Científica, electos entre ellos, si los hubiera. Un representante desempeñará las funciones de Secretario Ejecutivo, quien será designado por el presidente; c) Un (1) representante de los directores de Institutos de Investigación Científica, si los hubiera; f) Un (1) representante de los grupos de Investigación científica, alternando su participación entre docentes y estudiantes, si los hubiera; g) Un (1) representante de Observatorios Universitarios, si lo hubiere; h) Un (1) representante de Centros Experimentales y/o de innovación, si lo hubiere. El secretario ejecutivo será designado por el Decano(a) de la Facultad. Los integrantes del Consejo de Investigación Científica de la Facultad se desempeñarán adhonorem y durarán en su cargo de acuerdo a su categoría: a) Los representantes de los institutos de investigación, unidades de gestión, grupos de investigación, observatorios universitarios y centros experimentales durarán dos (2) años y podrán ser nombrados una vez más; b) Los demás integrantes, mientras se desempeñen en sus cargos.

**Artículo 19.** El Consejo de Investigación Científica de la Facultad sesionará ordinariamente tres (3) veces al año, al inicio de cada período académico, y extraordinariamente las veces que sea necesario, por convocatoria hecha por el secretario, a iniciativa del Decano o de seis (6) de sus miembros.

## **SECCIÓN II**

### **CONSEJO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DEL CENTRO REGIONAL UNIVERSITARIO**

**Artículo 21.** El Consejo de Investigación Científica del Centro Regional Universitario es un órgano consultivo, de asesoramiento, coordinación y apoyo de todas las actividades de investigación científica y tecnológica que se desarrollen en coordinación con la Dirección de Investigación Científica.

## **IV. METODOLOGÍA**

En este capítulo se muestra la metodología de investigación que se utilizará. Considera la metodología, las variables de investigación, la hipótesis, así como las herramientas y actividades necesarias para desarrollar la misma.

### **4.1 ENFOQUE**

El enfoque de investigación es de tipo cuantitativo, en el que se comprenden una serie de procesos para poder obtener los resultados entre ellos el análisis numérico y estadístico de recolección de datos de la muestra para comprobar las hipótesis planteadas (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

En la investigación se pretende responder a las preguntas previamente planteadas y conocer como es el comportamiento de las variables. El alcance de esta investigación está basado en que los estudios correlacionales asocian variables y buscan conocer el grado de relación existente entre ellas (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014). La relación de las variables puede variar en cada escenario de la investigación pues se realizarán manipulaciones de las variables independientes en cada uno de estos para comprobar que efecto tienen en la variable dependiente y es la razón de que el diseño de la investigación sea de tipo experimental.

Hernández Sampieri, (2010) afirma:

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos "brincar o eludir" pasos, el orden es riguroso, aunque, desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se desarrolla un plan para probarlas(diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas y se establece una serie de conclusiones respecto a la hipótesis. (p. 20)

## 4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Luego de analizar el proceso de investigación, se procede a la observación de sus variables que se derivan de la construcción del problema. A continuación, la Tabla 2 que hace referencia a las variables de operacionalización, que se descomponen en las variables independientes de la investigación y su variable dependiente

**Tabla 2 - Tabla de variables de Operacionalización**

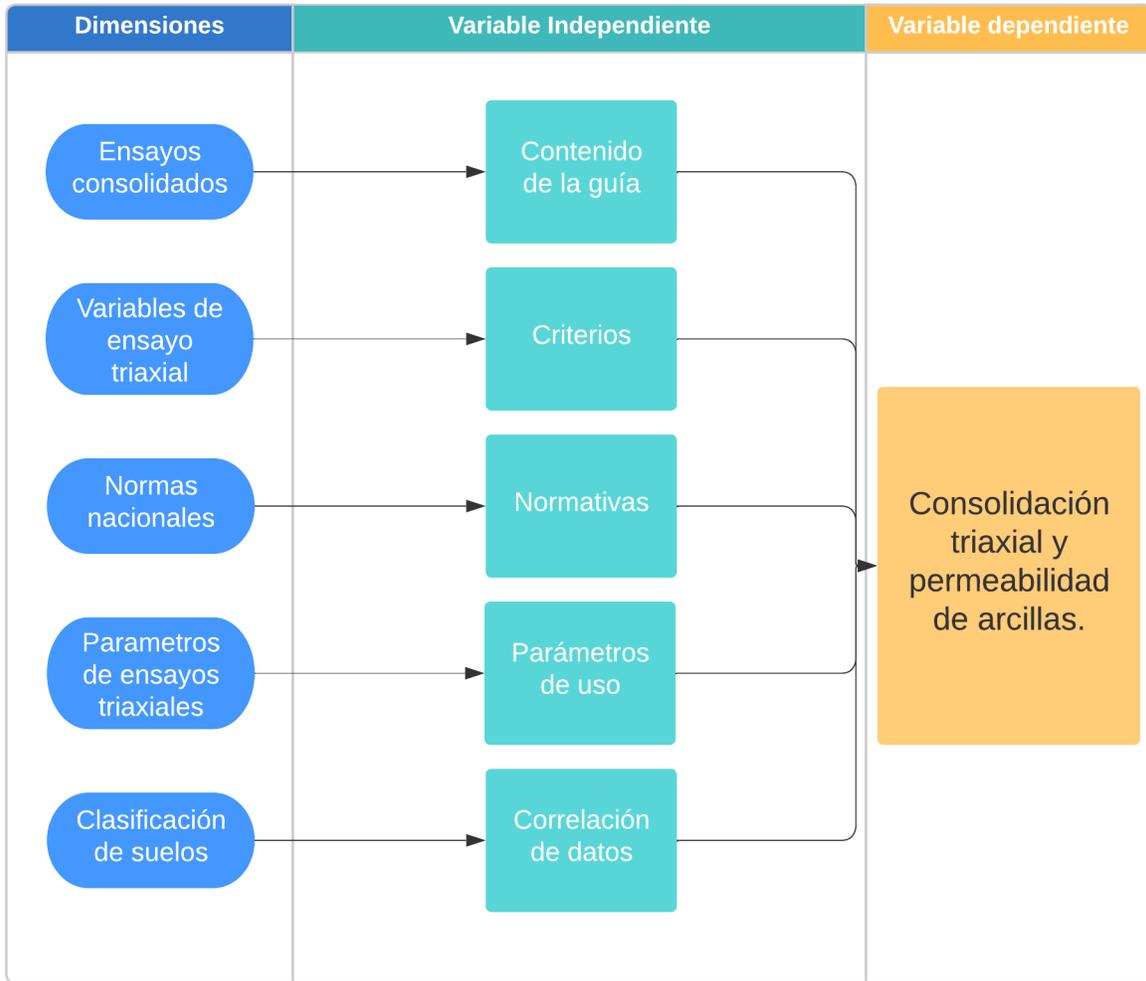
<b>GUÍA DE USO PARA EL ANÁLISIS DE CONSOLIDACIÓN TRIAXIAL Y PERMEABILIDAD EN ARCILLAS CON EL EQUIPO TRIAXIAL HUMBOLDT EN UNITEC SAN PEDRO SULA, 2023</b>				
<b>Objetivo General</b>	<b>Preguntas de Investigación</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Variabes Independientes</b>	<b>Variabes Dependientes</b>
Desarrollar una guía de uso para el análisis de consolidación triaxial mediante el uso correcto del equipo triaxial Humboldt y obteniendo así información de resistencia cortante y permeabilidad en arcillas en la zona norte de Honduras.	1) En base a los criterios de profesionales del rubro ¿Cuál es el contenido que debe de comprender la guía para análisis de consolidación triaxial y permeabilidad de arcillas?	1) Determinar el contenido que debe de comprender la guía para análisis de consolidación triaxial y permeabilidad de arcillas.	Contenido de guía de consolidación triaxial	Consolidación triaxial y permeabilidad de arcillas.
	2) De acuerdo a opinión de ingenieros civiles ¿Cuáles son los criterios a considerar para el proceso de consolidación triaxial con el equipo triaxial Humboldt?	2) Identificar los criterios a considerar para el proceso de consolidación triaxial con el equipo triaxial Humboldt.	Criterios	
	3) ¿Cuáles son las normativas en San Pedro Sula a considerar para poder llevar a cabo el análisis de consolidación triaxial y permeabilidad con el equipo triaxial Humboldt?	3) Recopilar son las normativas en San Pedro Sula a considerar para poder llevar a cabo el análisis de consolidación triaxial y permeabilidad con el equipo triaxial Humboldt.	Normativas	

Continuación de Tabla 2					
		4) ¿Cuáles son los parámetros a considerar para el uso correcto del equipo triaxial Humbolt para realizar la guía?	4) Identificar los parámetros a considerar para el uso correcto del equipo triaxial Humbolt para realizar la guía.	Parametros de uso	
		5) ¿Qué correlación presentarán los valores de consolidación triaxial y permeabilidad con el equipo triaxial Humbolt en San Pedro Sula para el año 2023?	5) Evaluar una correlación entre los valores de consolidación triaxial y permeabilidad con el equipo triaxial Humbolt en San Pedro Sula para el año 2023.	Correlación	

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1 DIAGRAMA DE VARIABLES DE OPERACIONALIZACIÓN

El diagrama de actividad corresponde a la ilustración 14, que trata de la relación entre la variable dependiente y las variables independientes que la afectan y las dimensiones que componen estas variables.



**Ilustración 14 - Diagrama de las variables de operacionalización.**

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2 TABLAS DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La tabla de actividad de variables, correspondiente a la Tabla 4, permite especificar las respuestas a buscar para cada variable de búsqueda, dando forma así a la herramienta que se utilizará.

**Tabla 3 - Tabla de Operacionalización de Variables**

Variable Independiente	Definición		Dimensiones	Indicadores	Ítems	Unidades	Escala
	Conceptual	Operacional					
Contenido de guía de consolidación triaxial	Consolidación es la prueba que permite que la muestra pueda alcanzar el equilibrio en un estado de drenaje en los esfuerzos de consolidación efectivos para los cuales se requiere una determinación de fuerza.	Durante la consolidación, los datos se obtienen para determinar si esta está completa y para el cálculo de la velocidad de carga en la fase de corte.	Contenido de la guía	Ensayo Consolidado	¿Qué información debe de incluir la guía de ensayos consolidados drenados o no drenados?		
				Procedimiento de la guía	¿Cuál es el procedimiento que más se utiliza para poder llevar a cabo los ensayos consolidados drenados y no drenados?		
					Según criterio de ingenieros civiles ¿Cómo se debe de presentar el contenido de la guía?		
					Uso del equipo	¿Qué procedimiento debe de mostrar la guía para la calibración del equipo para realizar los ensayos?	

Fuente: Elaboración propia

**Continuación de tabla 3**

Ensayos triaxiales	El ensayo triaxial es elemental ya que determina la cohesión existente entre las partículas que conforman el suelo, así como su ángulo de fricción interno, parámetros esenciales en los modelos de diseño de cimentaciones.	Con el ensayo triaxial es posible determinar la presión de poros que sufre el suelo durante el ensayo, por lo que se considera que los resultados obtenidos en el ensayo triaxial son más cercanos a los reales.	Criterios de ingenieros civiles para ensayos triaxiales	Ángulo de fricción	¿Cuál es el ángulo de fricción y la cohesión máxima en la envolvente de falla?		
				Corte en el ensayo no drenado	¿Cuáles son las presiones de poros al corte en el ensayo no drenado?		
				Corte en el ensayo drenado	¿Cuál es el cambio de volumen al corte en el ensayo drenado?		
				Carga axial	¿Qué mediciones de carga axial y deformación axial se deben de considerar?		
				Presiones de confinamiento	¿Qué presiones de confinamiento logran alcanzar la permeabilidad?		
Normativas	Cada proceso de construcción o de ensayos de laboratorios están limitadas por normativas a seguir.	Estas representan de alguna manera los mandatos que se utilizarán para determinar los procedimientos a seguir para llevar a cabo ensayos de consolidación triaxial y permeabilidad de suelos arcillosos.	Normas globales de ensayos triaxiales	Normas nacionales para ensayos triaxiales	¿Qué normativas se deben de considerar para realizar ensayos de consolidación triaxial?		

Fuente: Elaboración propia

Continuación de tabla 3							
Parámetros de uso	El ensayo de triaxial puede utilizarse para establecer los parámetros de resistencia al corte en el suelo, además también para hallar datos con los cuales se pueda predecir el exceso de la presión intersticial inicial que se origina en una muestra de suelo cuando ocurre un cambio en las condiciones de esfuerzos totales.	Los ensayos de corte triaxial se llevan a cabo en dos etapas; en la primera etapa los esfuerzos normales son los que trabajan sobre la muestra por medio de la presión que se realiza en toda la muestra ya que el esfuerzo actúa en todas las direcciones	Parámetros de ensayos triaxiales	Contenido de humedad	¿Cuál es el contenido de humedad en los resultados del ensayo triaxial?		
				Corte directo	¿Qué procedimiento se debe de llevar a cabo para el ensayo de corte directo?		
				Compresión triaxial	¿Qué esfuerzos de confinamientos se deben de aplicar para lograr los cálculos esperados?		
				Fase de saturación	¿Cómo se logra la saturación?		
				Fase de consolidación	¿Qué prueba permite que la muestra alcance el equilibrio en estado de drenaje en los esfuerzos de consolidación?		
Correlación de datos	Es el sistema de tres fases formado por partículas sólidas, agua y gases o sedimentos no consolidados, que provienen de la alteración mecánica y/o física y/o química de las rocas	Los suelos tienden a comportarse como materiales elásticos, es por ello, que muchas veces registran deformaciones mayores de las normales.	Correlación de datos	Consolidación triaxial	¿Qué cantidad de partículas de suelo contiene cada uno de los tamices?		
				Permeabilidad	¿Qué cantidad de agua se concentra por masa de suelo?		

Fuente: Elaboración propia

### 4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Esta sección analiza las herramientas que ayudaron a crear el trabajo de investigación y las técnicas utilizadas para recopilar información de él.

#### 4.3.1 INSTRUMENTOS

##### Formato de cuestionario

El propósito de los formatos de cuestionario es crear preguntas que se aplicarán para obtener la información correspondiente de la muestra analizada. Luego, los datos se utilizarán para generar una forma y un concepto para un producto final, como una guía para solicitar un permiso de construcción para viviendas unifamiliares en San Pedro Sula, Honduras, 2022.

#### **Encuesta del proyecto de investigación**

- 1) ¿Cuál de las siguientes es su profesión?
  - a) Ingeniero civil
  - b) Ingeniero recién egresado
  - c) Otra ingeniería
- 2) ¿Conoce el procedimiento para el uso del equipo triaxial Humboldt?
  - a) Sí
  - b) No
- 3) ¿Ha realizado ensayos de consolidación triaxial en algún laboratorio en San Pedro Sula?
  - a) Sí
  - b) No
- 4) ¿Considera usted que es de importancia el contar con una guía de uso para el equipo Humboldt?
  - a. Sí
  - b. No
- 5) ¿Qué ensayos de triaxiales considera usted que se debería tener una guía para la comunidad de ingenieros civiles?
  - a) Ensayos triaxiales drenados
  - b) Ensayos triaxiales no drenados

- 6) ¿Cómo le gustaría que se presentara el contenido de la guía?
- a) Textual
  - b) Visual
- 7) ¿Conoce usted las normativas que limitan los ensayos triaxiales en los laboratorios en San Pedro Sula?
- a) Sí
  - b) No
- 8) ¿Le gustaría que existiera una guía con todos los procedimientos para poder llevar a cabo un ensayo consolidación triaxial con el equipo Humboldt?
- a) Sí
  - b) No
- 9) ¿Tiene conocimiento de la existencia de una guía de análisis de ensayos consolidados triaxiales para permeabilidad de suelos?
- a) Sí
  - b) No

Una vez creado el cuestionario que se utilizará para recopilar información, a continuación, se describen las herramientas utilizadas para formar y presentar el estudio y sus productos finales.

### **Microsoft 365**

Microsoft 365 es una herramienta de gestión documental, un paquete proporcionado por Microsoft con un servicio en la nube.

**Microsoft Word** es una herramienta útil para la creación de documentos, en los que se desarrollan trabajos de investigación, permitiendo organizar y ordenar el documento según sea necesario.

**Google Forms** es una de las herramientas de la familia Google, que permite la creación de cuestionarios y encuestas. Además de crear una recopilación de información numérica y más rápida, Google Forms también genera automáticamente gráficos y estadísticas a partir del cuestionario aplicado. En él se desarrolló una herramienta auxiliar de búsqueda al recolectar toda la información necesaria. Google Meet es una aplicación de videoconferencia en línea, utilizada específicamente para la comunicación de los estudiantes en la etapa de desarrollo de la investigación.

#### 4.3.2 TÉCNICAS

##### **Entrevistas a profesionales**

Las entrevistas se aplican a ingenieros civiles y también alumnos que optan por el título de ingeniero civil y personas naturales que tengan acceso a laboratorios de ensayos triaxiales en la zona

En esta técnica, se utilizan herramientas de formularios de cuestionarios para averiguar qué información se recopilará durante este proceso, Microsoft Word para formular preguntas a responder, Google Forms para la aplicación de tablas, Preguntas, Outlook para la distribución.

##### **Simulaciones**

Las simulaciones son en base a los ensayos de consolidación triaxial a realizar durante la investigación, con cada una de las simulaciones se denotará los criterios a tomar en cuenta para estructurar la guía.

##### **Revisión bibliográfica**

Se extrajo información para la redacción del marco teórico de la investigación, en diversos medios, entre ellos se incluyen libros, revistas científicas, buscadores académicos en internet, y datos de repositorios que contenían información afín al tema de investigación.

#### **4.4 POBLACIÓN Y MUESTRA**

A continuación, se presenta un apartado sobre la población y muestra obtenida a través de la investigación adyuvante, incluyendo su composición, tamaño, criterios y nivel de confianza.

##### 4.4.1 POBLACIÓN

La comunidad seleccionada para este estudio cuenta con expertos en el campo de la construcción como ingenieros civiles, arquitectos y personas involucradas en el control de gestión. Además de los dedicados a la protección del medio ambiente, como ingenieros y proveedores de servicios.

##### 4.4.2 TAMAÑO DE LA MUESTRA

El tamaño de la muestra se determinó como “no probabilística” ya que el muestreo donde los elementos son elegidos no se conoce la probabilidad con la que se puede seleccionar a cada individuo. La cual se calculó a través de la siguiente ecuación, que se presenta a continuación:

$$n = \frac{z^2 pq}{e^2}$$
$$n = \frac{(1.645)^2 (0.5)(0.5)}{(0.10)^2} = 68 \text{ encuestas}$$

Donde:

z= confiabilidad que presenta este número de individuos (1.645)

e= error, lo cual es el valor restante de la confiabilidad (0.1)

p= probabilidad de ocurrencia (0.5)

q= probabilidad de no ocurrencia (0.5)

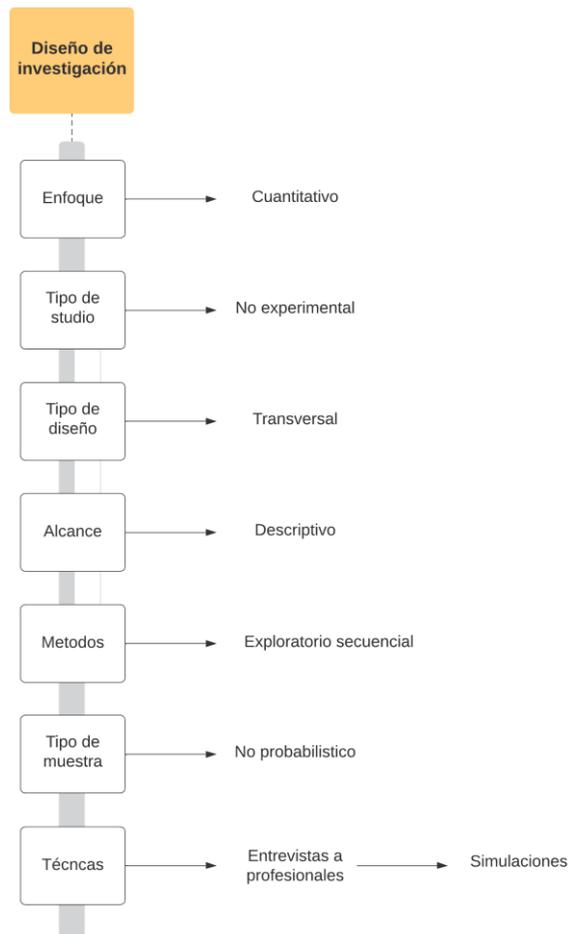
#### 4.4.3 PARÁMETROS MUESTRALES

De la muestra generan valor aquellos profesionales que en primera instancia residan y laboren en la ciudad de San Pedro Sula, que a la vez se hayan desarrollado ensayos de consolidación triaxial

#### 4.5 TIPO DE DISEÑO

A continuación, se presenta la Ilustración 16, la cual consiste en el diagrama que resume el diseño

de la investigación antes explicada.



**Ilustración 15 – Diseño de investigación**

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Ilustración 18, el diagrama resume: el enfoque, tipo de estudio, tipo de diseño, alcance, métodos, tipo de muestra y técnicas. Como ya se indicó con anterioridad el enfoque es mixto como Hernández Sampieri et al. (2014) afirma “implica un conjunto de procesos de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio o una serie de investigaciones para responder a un planteamiento del problema” (p. 532).

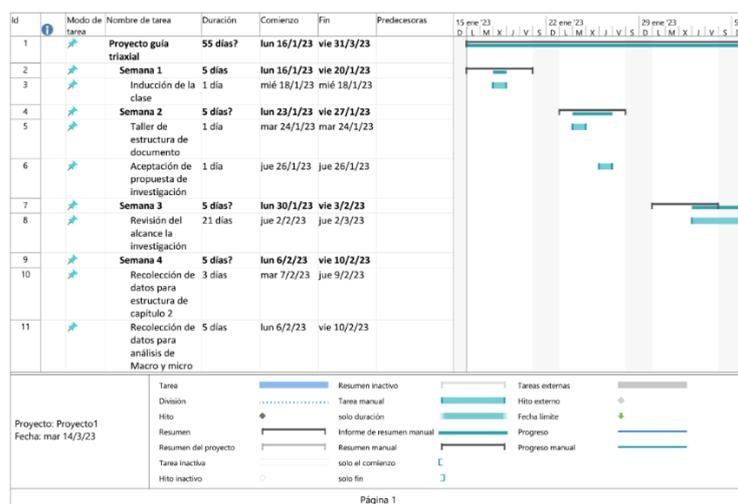
El tipo de estudio se define como no experimental, ya que no se genera ninguna situación que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación, de igual manera las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir en ellas. (Hernández Sampieri et al, 2014)

El tipo de diseño es transversal ya que recopilan en un tiempo específico, la información solicitada, además Hernández Sampieri et al. (2014) afirma: “En estos casos el diseño apropiado (con un enfoque no experimental) es el transversal o transeccional. Ya sea que su alcance inicial o final sea exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo” (p. 154)

El alcance de la investigación es descriptivo ya que como Hernández Sampieri et al. (2014) afirma: “Los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis” (p. 92)

#### 4.6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

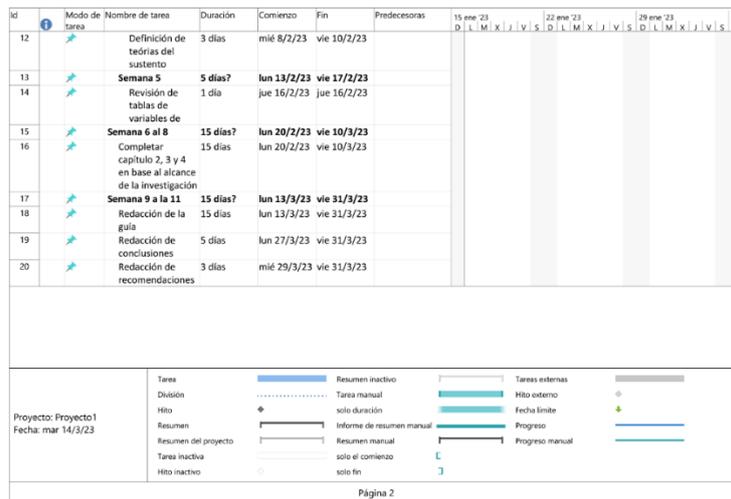
A continuación, se presenta un cronograma de actividades que corresponden a la fase de aprendizaje, incluyendo la preparación del proyecto de investigación, incluyendo un desglose de fechas y horarios para cada actividad. El cronograma de actividades muestra un diagrama de Gantt, detallando cada actividad a realizar, recibiendo instrucciones y parámetros para elaborar un trabajo de investigación, y procediendo a la recolección de material a la semana siguiente. literatura, y luego recopiló toda la información necesaria para poder realizar experimentos de consolidación triaxial sobre la permeabilidad del suelo utilizando el instrumento de Humboldt.



**Ilustración 16 - Cronograma de actividades 1**

Fuente: Propia

Dentro de las actividades que mayor volumen de tareas presento fue al momento de estructuras la guía como tal, puesto que dicha estructura iba en función de los resultados que se obtenían en los ensayos, en la ilustración 17, muestra las actividades de las últimas semanas, en la cual se estimaron las consideraciones que se tomaron para poder llevar a cabo la guía de análisis de consolidación triaxial para arcillas.



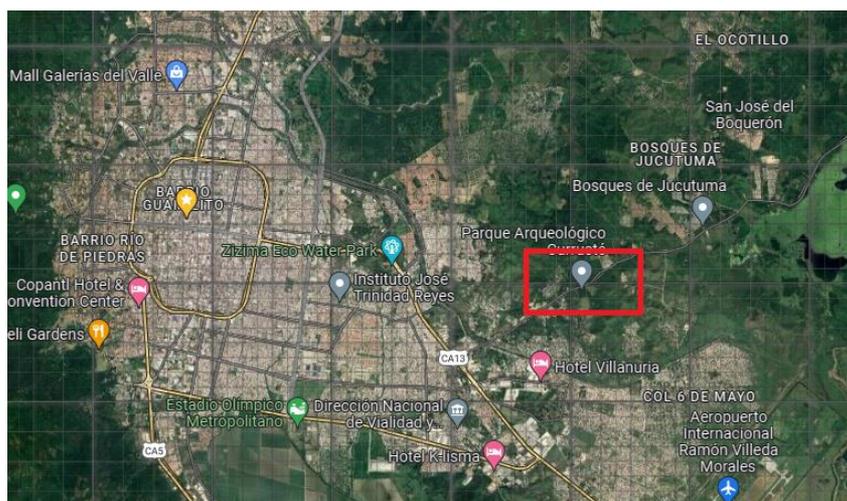
**Ilustración 17 - Cronograma de actividades 2**

Fuente: Propia

## V. ANÁLISIS Y RESULTADO

En este apartado del documento se encuentra la información recopilada para mostrar la guía de análisis de consolidación triaxial en arcillas, de acuerdo con la necesidad que refleje los encuestados, se tomará en consideración para llevar a cabo la estructuración del entregable a presentar.

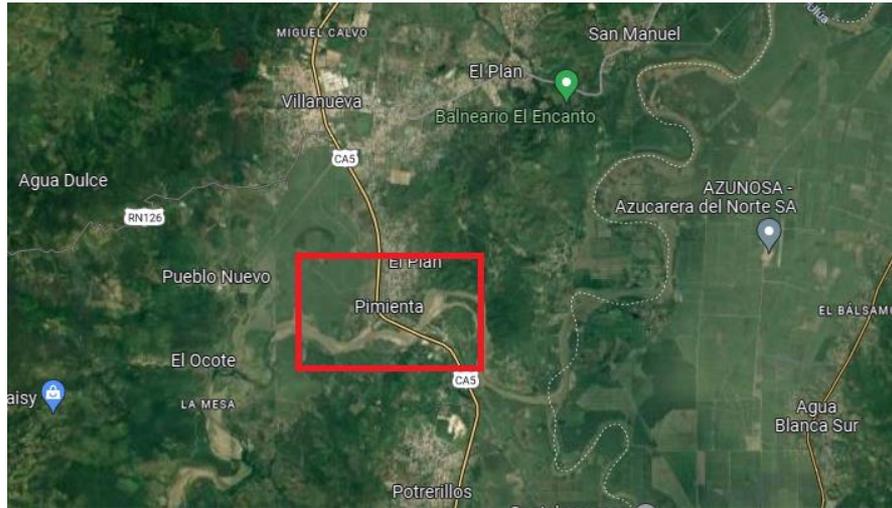
Las pruebas representativas, en este caso fueron obtenidas de tres distintas ubicaciones de la zona norte. Las muestras de arcilla que fueron utilizadas en el proyecto se seleccionaron según el sector donde se encontrara este tipo de suelo, y para ello se les realizó el ensayo triaxial a cada prueba respectivamente. La primera prueba representativa fue ubicada en el sector de San Pedro Sula en Ticamaya. Que a continuación en el apartado de resultados encontramos como prueba #1 que es correspondiente a este sector.



**Ilustración 18 – Sector de Ticamaya**

Fuente: Elaboración propia

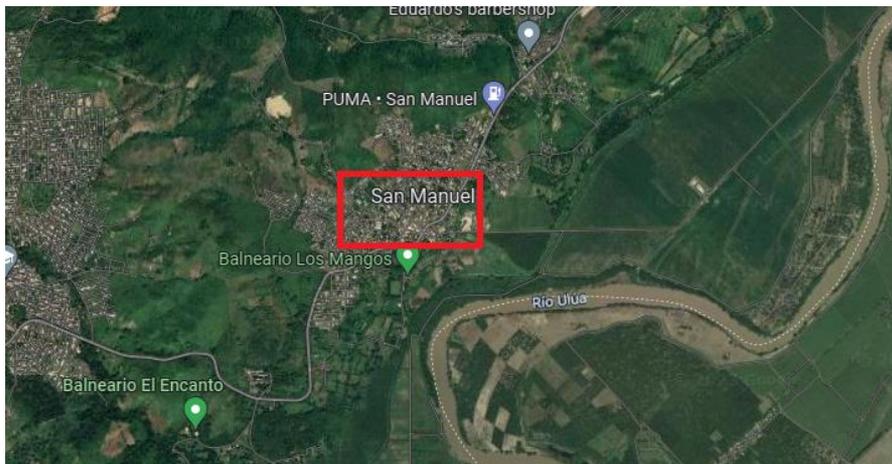
Para la siguiente prueba la zona donde se extrajo fue en Pimienta en el sector de Villanueva, esta muestra se representa en los resultados como prueba #2.



**Ilustración 19 – Sector de Pimienta**

Fuente: Elaboración propia

Y para la realización de la tercer ensayo, la muestra representativa de arcilla fue extraida de Santiago San Manuel. Que con respecto a los resultados esta muestra represta lo que es la Prueba #3.



**Ilustración 20 – Sector de San manuel**

Fuente: Elaboración propia

## **5.1 RESULTADOS**

Parra cada uno de los ensayos que se realizaron dentro de la investigación se realizaron bajo las siguientes consideraciones y los resultados entregados por parte del laboratorio Geotec, donde se realizaron ensayos de consolidación triaxial para tener como referencia a los resultados a obtener

**Tabla 4 – Criterios de consolidación**

$\sigma_1$	275.79
$\sigma_3$	137.89
radio	68.95
centro	206.84

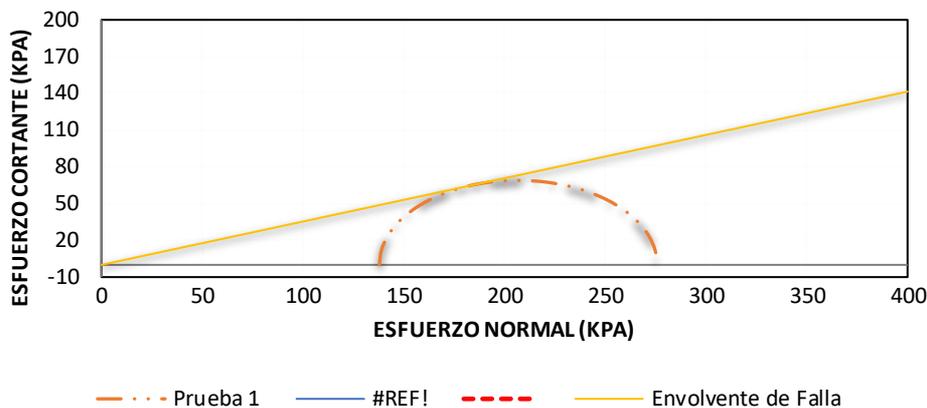
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5 – Primer ensayo de consolidación**

Grados	Radianes	Esfuerzo N	Esfuerzo C
0	0.00	137.89	0.00
10	0.17	138.94	11.97
20	0.35	142.05	23.58
30	0.52	147.13	34.48
40	0.70	154.02	44.32
50	0.87	162.52	52.82
60	1.05	172.37	59.71
70	1.22	183.26	64.79
80	1.40	194.87	67.90
90	1.57	206.84	68.95
100	1.75	218.81	67.90
110	1.92	230.42	64.79
120	2.09	241.32	59.71
130	2.27	251.16	52.82
140	2.44	259.66	44.32
150	2.62	266.55	34.48
160	2.79	271.63	23.58
170	2.97	274.74	11.97
180	3.14	275.79	0.00

Fuente: Elaboración propia

### Circulo de Mohr y Envolvente De Falla



**Ilustración 21 –Circulo de Mohr en ensayo 1**

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 21, se muestra el circulo de Mohr que se obtuvo a partir del primer ensayo que se llevó a cabo, en la ilustración se denota los resultados obtenidos con un esfuerzo principal menor de 137.89 MPa y un esfuerzo mayor de 275.79 MPa.

La ilustración 27, representa la resistencia al cortante del suelo, donde se denota el fallo al cortante.

$\phi$	19.47	: sin-1	68.95
c	0		206.84

Envolvente de Falla

0	0
400	141.411769

El segundo ensayo de consolidación triaxial elaborado con el equipo Humboldt fue elaborado bajo las fuerzas principales que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 6 – Criterios de consolidación para ensayo 2**

$\sigma_1$	227.52
$\sigma_3$	124.1
radio	51.71
centro	175.81

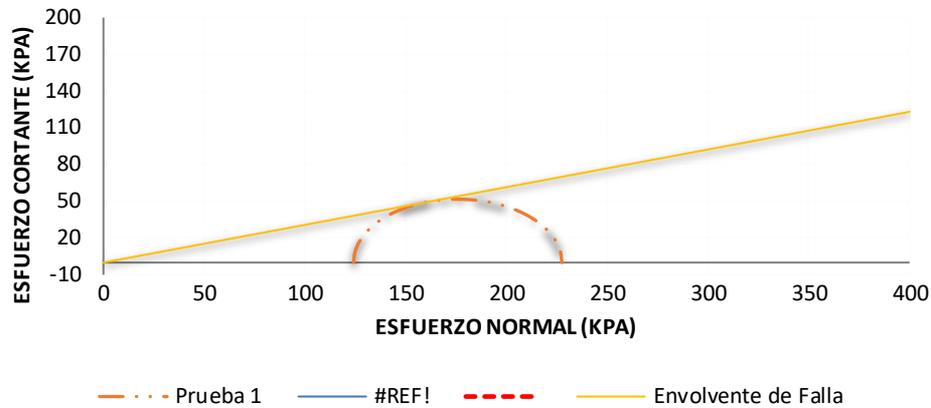
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 7 – resultados ensayo 2 de consolidación triaxial**

Grados	Radianes	Esfuerzo N	Esfuerzo C
0	0.00	124.10	0.00
10	0.17	124.89	8.98
20	0.35	127.22	17.69
30	0.52	131.03	25.86
40	0.70	136.20	33.24
50	0.87	142.57	39.61
60	1.05	149.96	44.78
70	1.22	158.12	48.59
80	1.40	166.83	50.92
90	1.57	175.81	51.71
100	1.75	184.79	50.92
110	1.92	193.50	48.59
120	2.09	201.67	44.78
130	2.27	209.05	39.61
140	2.44	215.42	33.24
150	2.62	220.59	25.86
160	2.79	224.40	17.69
170	2.97	226.73	8.98
180	3.14	227.52	0.00

Fuente: Elaboración propia

## Circulo de Mohr y Envolvente De Falla



**Ilustración 22 –Circulo de Mohr en ensayo 2**

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8 – Criterios de consolidación para ensayo 3**

$\sigma_1$	303.36
$\sigma_3$	172.36
radio	65.5
centro	237.86

Fuente: Elaboración propia

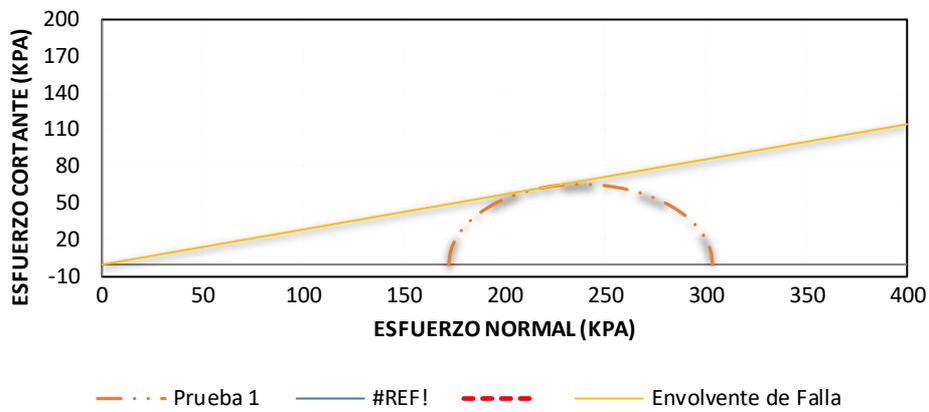
Por medio de la obtención de los datos en el laboratorio a través del equipo triaxial Humboldt, se calculó los esfuerzos principales. Que por medio de estos se pudo realizar el círculo de Mohr para poder llegar a la gráfica y el cálculo a lo que se necesita que es el Angulo de Fricción Interna, que se obtiene a través del seno inverso del radio dividido por el centro del círculo que se tuvo mediante de los esfuerzos, y de esta manera se calculó el Angulo de la envolvente de falla. Que por medio de este se representa el parámetro más importante en la evaluación de la resistencia al corte, lo cual permite evaluar sus capacidades portantes última y admisible.

**Tabla 9 – resultados ensayo 3 de consolidación triaxial**

Grados	Radianes	Esfuerzo N	Esfuerzo C
0	0.00	172.36	0.00
10	0.17	173.36	11.37
20	0.35	176.31	22.40
30	0.52	181.14	32.75
40	0.70	187.68	42.10
50	0.87	195.76	50.18
60	1.05	205.11	56.72
70	1.22	215.46	61.55
80	1.40	226.49	64.50
90	1.57	237.86	65.50
100	1.75	249.23	64.50
110	1.92	260.26	61.55
120	2.09	270.61	56.72
130	2.27	279.96	50.18
140	2.44	288.04	42.10
150	2.62	294.58	32.75
160	2.79	299.41	22.40
170	2.97	302.36	11.37
180	3.14	303.36	0.00

Fuente: Elaboración propia

## Circulo de Mohr y Envolvente De Falla



**Ilustración 23 –Circulo de Mohr en ensayo 3**

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10 – Prueba 1 de ensayos**

Prueba #1

<b>Datos:</b>	<b>PSI</b>
<b>Presión</b>	20
<b>Lectura 1</b>	28.6
<b>Lectura 2</b>	29

$$B = \frac{\Delta\mu}{\Delta\sigma}$$

<b>0.96</b>
-------------

≤ 0.95 se considera la muestra saturada

<b>Datos:</b>	<b>PSI</b>
<b>Presión</b>	30
<b>Lectura 1</b>	20.5
<b>Lectura 2</b>	20

$$B = \frac{\Delta\mu}{\Delta\sigma}$$

<b>0.95</b>
-------------

≤ 0.95 se considera la muestra saturada

Prueba #3

<b>Datos:</b>	<b>PSI</b>
<b>Presión</b>	25
<b>Lectura 1</b>	21
<b>Lectura 2</b>	20

$$B = \frac{\Delta\mu}{\Delta z}$$

<b>0.80</b>	≤ 0.95 se considera la muestra saturada
-------------	---

**Tabla 11 – Prueba 1 de permeabilidad**

PRUEBA #1

Permeabilidad

Datos Muestra		
H	7.63	CM
A	3.81	CM

Datos De la Celda		
H	35	CM
D	22.2	CM

Datos de La Manguera		
D	2	CM
Largo	80	CM

Formulas

$$Q = KA \left( \frac{\Delta H}{L} \right)$$

AREA

$$A = \pi(D/2)^2 \quad 386.8794 \text{ cm}^2$$

$$K = (Q * L) / (A * \Delta h)$$

$$Q = A(\Delta h / T) \quad 21.4933 \text{ CM}^3/S$$

$$K=(Q*L)/(A*\Delta h) \quad 13.734 \text{ CM/S}$$

**Tabla 12 – Prueba 2 de permeabilidad**

**PRUEBA #2**

**Permeabilidad**

Datos Muestra		
H	7.63	CM
A	3.81	CM

Datos De la Celda		
H	35	CM
D	22.2	CM

Datos de La Manguera		
D	2	CM
Largo	80	CM

Formulas

$$Q=KA \left(\frac{\Delta H}{L}\right)$$

AREA

$$A=\pi(D/2)^2 \quad 386.8794 \text{ cm}^2$$

$$K= (Q*L) / (A*\Delta h)$$

$$Q=A(\Delta h/T) \quad 24.9599613 \text{ CM}^3/S$$

$$K=(Q*L)/(A*\Delta h) \quad 11.8265 \text{ CM/S}$$

Por medio el uso del equipo triaxial Humboldt se obtuvieron los datos de presión de poros según los estudios realizados, se obtuvieron resultados tanto como una arcilla saturada y otras que había que aplicarles más presión para poder ser saturadas. Obteniendo a través del cálculo el valor de "B" que indica que si el valor es mayor o igual a 0.95 la arcilla está saturada y si es menor lo estaría. A través de la presión de poros se nos indica que el agua genera una carga extra al suelo que por lo tanto disminuye la resistencia de la arcilla, haciendo que estos suelos

tengan menos soporte a la fricción. Las arcillas son materiales muy finos, plásticos y tienen una gran capacidad de retención al contacto con el agua. Al estar muy saturado es un elemento que es favorecedor a la inestabilidad.

**Tabla 13 – Prueba 3 de permeabilidad**

**PRUEBA #3**

**Permeabilidad**

Datos Muestra		
H	7.63	CM
A	3.81	CM

Datos De la Celda		
H	35	CM
D	22.2	CM

Datos de La Manguera		
D	2	CM
Largo	80	CM

Formulas

$$Q=KA \left(\frac{\Delta H}{L}\right)$$

AREA

$$A=\pi(D/2)^2 \quad 386.8794 \text{ cm}^2$$

$$K=(Q*L)/(A*\Delta h)$$

$$Q=A(\Delta h/T) \quad 20.0455648 \text{ CM}^3/S$$

$$K=(Q*L)/(A*\Delta h) \quad 14.7259 \text{ CM/S}$$

Realizando el estudio Triaxial mediante el equipo de Humboldt se pudo determinar por medio de los valores obtenidos del tiempo en el que el agua baja cierta cantidad, y los datos de la celda y la muestra. Se determina la capacidad que la arcilla permite que el agua atraviese sin alterar la estructura interna. La velocidad con que el agua atraviesa el material depende de la presión que está siendo sometida por medio del equipo. Para poder determinar que un material es permeable debe de ser poroso, queriendo decir que debe de contener vacíos que le permitan absorber fluido. A lo que por medio de los resultados se obtuvo que la arcilla estudiada es semipermeable.

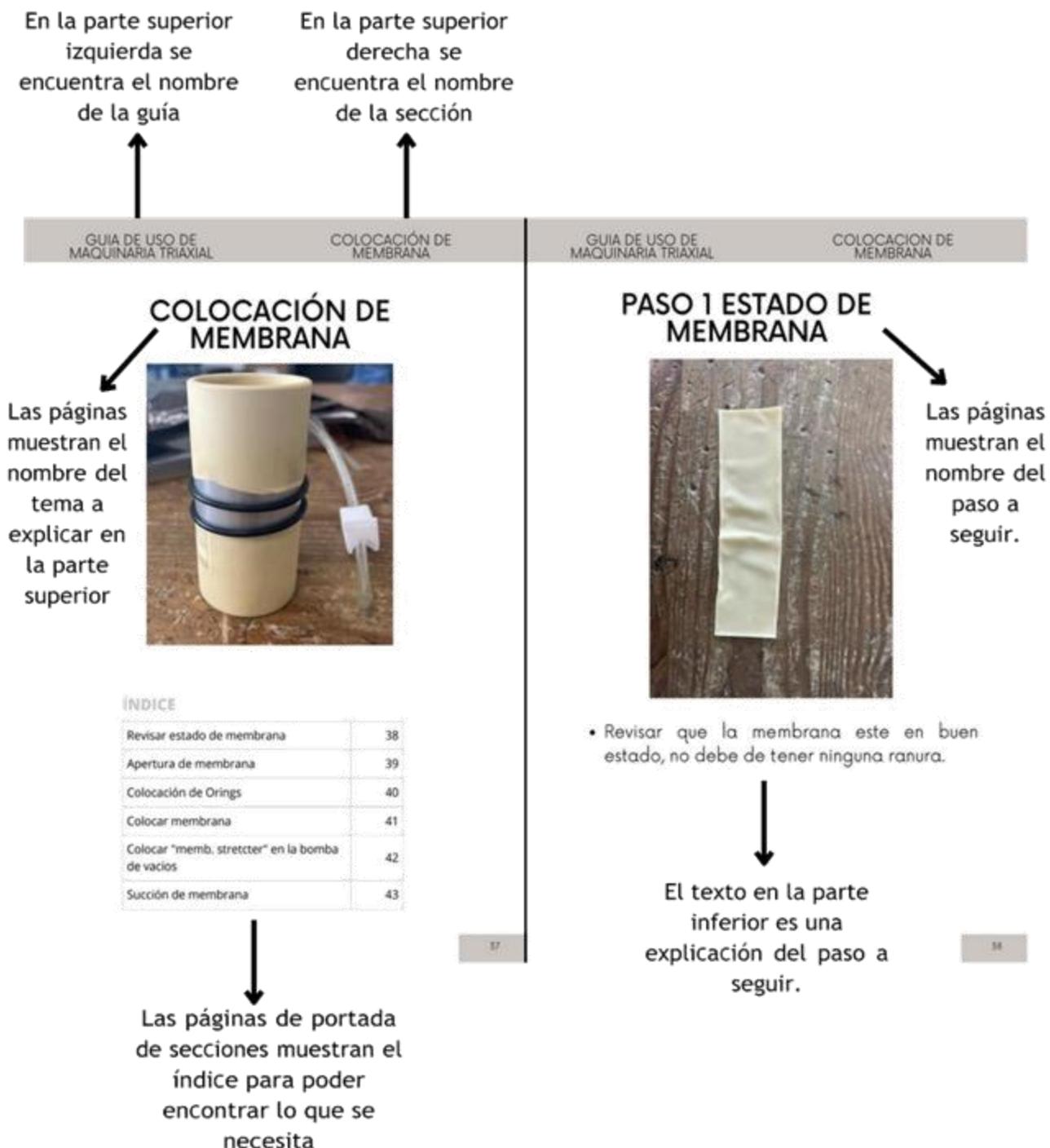
## **5.2 ENTREGABLE DE GUÍA DE USUARIO MAQUINA TRIAXIAL HUMBOLT**

A continuación, se presenta el entregable de la guía donde se explica cada uno de los pasos a seguir para el uso del equipo Humboldt y realizar los ensayos de laboratorio correspondiente para poder obtener un análisis de permeabilidad en arcillas.

La guía que se entrega a los usuarios permite comprender cada uno de los conceptos que se deben de considerar para poder llevar a cabo cada uno de los componentes.

Como guía para facilitar la comprensión de la guía de consolidación triaxial y permeabilidad en arcillas en Unitec San Pedro Sula, Honduras, al lector se debe conocer la estructuración del mismo, qué partes lo componen y qué significa cada una de ellas. El manual consta de doce secciones, los cuales se componen de distintos temas que a su vez pueden llegar a tener sub-temas. A continuación, se ilustra la forma correcta con la que se debe de leer el presente manual.

## ¿Cómo se lee este manual?



### PASO 5 LIBERAR VACIOS DEL "DEAIRED WATER TANK"



Encendido de "Deaired Water Tank"

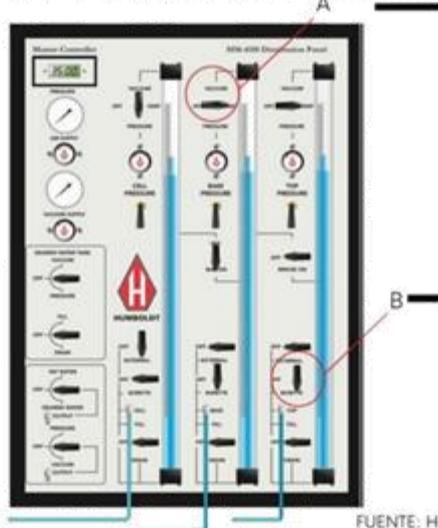
Las notas son descripciones de acciones puntuales en los equipos

El texto en rojo son observaciones o recomendaciones.

- Conectar bomba de vacios a "vaccum".
- "Vaccum" es una manguera que esta conectada detras del panel\*.
- Encender el "Deaired Water Tank".
- Encender la bomba de vacios.
- Encender la llave de "Vaccum"
- Sacar el aire del "Deaired Water Tank" durante 30-45 minutos.
- Luego deshacer los pasos hasta dejar en "OFF" el "Deaired Water Tank"

En la parte inferior se encontrará el número de cada página

### PASO 5 BURETAS A CELDA



Las indicaciones señaladas son acciones que se deben hacer en los equipos

En la parte inferior se encuentran las fuentes de donde fue recopilada la información

- A. Encienda la válvula de "Base Pressure" en la posición de "Vent".
- B. Encienda la válvula de "Burette" en "Base Pressure" y "Top Pressure".

FUENTE: HUMBOLDT

# GUÍA DE USO PARA ANÁLISIS DE CONSOLIDACIÓN TRIAXIAL Y PERMEABILIDAD EN ARCILLAS CON EL EQUIPO HUMBOLDT EN UNITEC SAN PEDRO SULA 2023



Abril 2023

# INTRODUCCIÓN

Bienvenidos a la Guía de uso para el análisis de consolidación Triaxial y Permeabilidad en arcillas con el equipo triaxial Humboldt en UNITEC San Pedro Sula 2023.

Este equipo de análisis es una herramienta fundamental para estudiar el comportamiento de las arcillas ante diferentes cargas y condiciones de permeabilidad, lo que permite obtener datos precisos y confiables acerca de la consolidación y la permeabilidad de los suelos.

En esta guía encontrarás información detallada acerca de cómo usar el equipo triaxial Humboldt para llevar a cabo análisis de consolidación triaxial y permeabilidad en arcillas, incluyendo los pasos necesarios para preparar las muestras, configurar el equipo, realizar las pruebas y analizar los resultados.

Es importante destacar que el uso adecuado de este equipo requiere conocimientos previos en geotecnia y mecánica de suelos, por lo que se recomienda que las pruebas sean realizadas por personal capacitado y experimentado en la materia.

Con esta guía, esperamos proporcionar una herramienta útil y completa para aquellos que deseen realizar análisis de consolidación triaxial y permeabilidad en arcillas con el equipo triaxial Humboldt en UNITEC San Pedro Sula en 2023.

# ÍNDICE

Equipo	1
Funciones del panel	11
Calibración	19
Colocación de membrana	37
Montado del espécimen	43
Preparación de celda	51
Llenado de celda	60
Regular presiones	66
Preparación saturación	70
Preparación consolidación	87
Preparación permeabilidad	97
Conclusiones y Recomendaciones	103

# EQUIPO

## 1. FLEX PANEL "HM4150"



Este sistema de presión extremadamente versátil controla la presión, el agua, el tanque de desaireación y el vacío desde un solo panel.

## 2. PANEL DE CARGA "HM 5020"



Una prensa de carga triaxial específico y de tamaño pequeño que proporciona la versatilidad, precisión y durabilidad que caracterizan a los marcos de carga.

### 3. CELDA TRIAXIAL ESTANDARD "HM-4199B"



La celda ha sido diseñada y tratada para minimizar corrosión. Se ha prestado atención particular a la calidad del acabado entre el pistón y la cabeza.

## 4. Pantalla Indicadora de Poros "HM-4175"



Para monitoreo y medición de presión de poros en agua y contrapresión.

## 5. BOMBA DE AIRE



H-1763A

Diseñado para extraer gases o líquidos del interior de recipientes o sistemas, mediante el trasiego de los gases/fluidos que contienen.

## 6. TANQUE DE AGUA DEAIREADO "HM-4187A.3F"



La combinación del agitador mecánico y la evacuación por vacío eliminan los gases a una razón mucho mayor que los métodos convencionales por ebullición.

## 7. COMPRESOR DE AIRE



El compresor lo utilizamos a la hora de llevar presión de aire a nuestro "flex panel".

## 8. ACCESORIOS PARA PREPARACIÓN DE ESPECIMEN



### Filtro de Papel:

Uso para prevenir la penetración de suelos en piedras porosas o paneles.



### Piedra Porosa:

Usadas en los ensayos triaxiales y de permeabilidad para permitir la distribución pareja del agua a través de la muestra.



### Anillos de Goma "O-rings":

Para sellar las membranas entre el líquido de confinamiento y la muestra.

## 9. ACCESORIOS PARA PREPARACIÓN DE MEMBRANA



### Enanchador de Membrana "HM-4181.28":

Método simple y eficaz de forrar la muestra con la membrana de látex sin arrugar o dañar la membrana.



### Probador de Membrana "HM-4185.28"

Probador fácil de usar para una detección visual rápida de posibles defectos en las membranas.



### Cilindro para Muestra "HM-3827"

Para uso con suelos no cohesivos y con muestras perturbadas.

## 9. MEMBRANA DE LÁTEX



Membranas de foma latex no porosas para introducir la muestra.

# FUNCIONES DEL PANEL

## Funciones de Controladores

La función de controladores mostrado en la figura 1. Las diferentes secciones de los controladores están numeradas para hacer referencia de la imagen y la forma de operar de cada una de ellas explicadas a continuación.



2. Estos son los reguladores y manómetros para ajustar el aire y el vacío. presiones de suministro al FlexPanel. El regulador de suministro de aire está se utiliza para colocar las presiones de aire entrantes de un compresor de aire. Se puede configurar de 2 a 150 psi (14 a 1000 kpa), y se muestra la presión de aire resultante en el manómetro sobre el regulador. El ajuste del regulador debe establecerse al menos 5 psi (35 kpa) por debajo de la presión más baja proveniente el compresor de aire. El regulador inferior controla la presión de vacío suministrada al FlexPanel, así como a la Sección 4 del panel de control. un externo Se requiere una bomba de vacío para suministrar vacío al panel de control. El indicador sobre el regulador muestra el vacío regulado.



1. Pantalla Digital: Le permite leer la celda actual, presiones base o superior de hasta 5 celdas diferentes, dependiendo de su configuración particular. Para leer una presión, levante la válvula de palanca, ubicada debajo del regulador para el que desea comprobar la presión (indicado por el segundo rojo flecha) y la presión se mostrará en la pantalla digital. Solo se puede leer una línea a la vez.



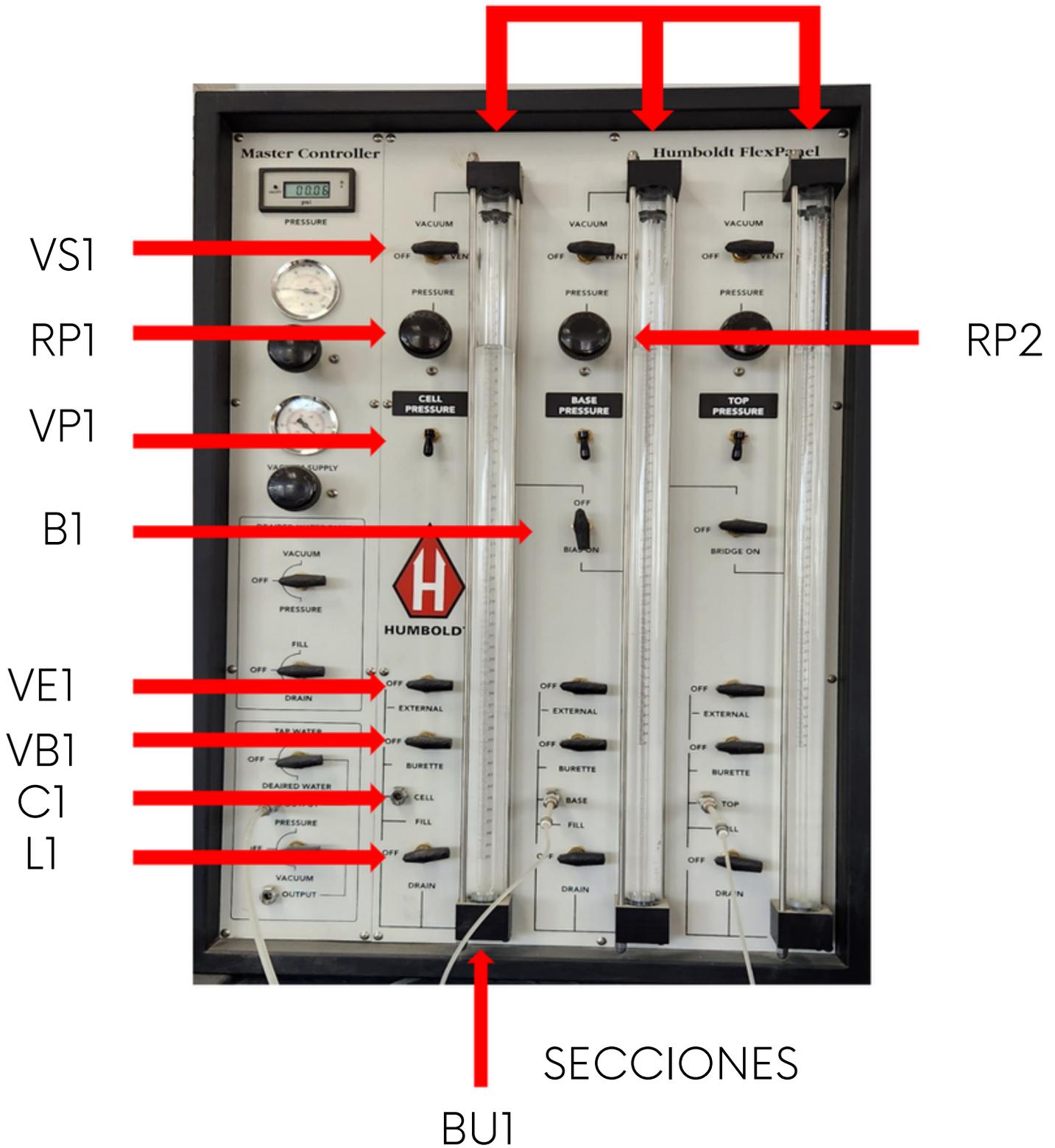
3. Esta sección controla el tanque de agua desaireada. La válvula superior tiene dos líneas de entrada. Uno está conectado a una bomba de vacío y el otro a un bajo regulador de presión, (menos de 5 psi), que ha sido preestablecido en la fábrica. La salida va a la parte superior del tanque de agua desaireada. La válvula inferior También tiene dos líneas de entrada. Uno que va a un desagüe o a un recipiente para recoger líquido residual y el otro está conectado a un suministro de agua (agua del grifo o permeado especial). La salida está conectada al lado inferior del Depósito de agua desaireada.



4. Esta sección controla las fuentes de agua, aire comprimido y vacío. La válvula superior se puede configurar para suministrar agua del grifo o agua desairada a la conexión rápida ubicada debajo de él. La válvula inferior suministra una presión de aire o vacío regulado a la conexión rápida debajo de él. La presión de aire es suministrada por el mismo regulador que suministra aire al tanque de agua desaireada y el vacío es regulado por el vacío regulador.



# CONTROL FLEXPANEL GRUPOS DE BURETRAS



# SECCIÓN 1

- Válvula de Selección (VS1): En la parte superior de la sección se selecciona el tipo de entrada de presión para la parte superior del conjunto de bureta. Puede seleccionar VACUUM (Regulado), VENT (a la atmósfera), OFF (cerrado) o PRESIÓN (controlada por el Regulador debajo de ella).
- Regulador de Presión (RP1): suministra una presión regulada para la bureta montaje en esta sección. El regulador en la sección 1 es diferente al regulador en las secciones 2 y 3. Tiene una función de polarización, que cuando se gira a la configuración Bias On (B1), agrega la presión establecida en la Sección 2 a la Sección 1. Cuando la polarización está activada, ajustando las presiones con el regulador de la sección 2 (RP2), mantendrá las diferencias de presión entre la Sección 1 y 2 en directo proporción a la configuración de la sección original. Cuando use la perilla para ajustar la presión no girará tan fácilmente como el regulador de tipo estándar.
- Válvula De Palanca (VP1): Para monitorear la presión que se establece en el regulador, hay una válvula de palanca (VP1) directamente debajo del regulador, que se utiliza para conectar el regulador a una lectura de presión. Para verificar la presión mientras se ajusta la elevación del regulador la palanca y lea la presión en la pantalla digital ubicada en la parte superior del Controlador Maestro. Solo se puede monitorear una presión a la vez. La válvula de palanca (VP1) debe cerrarse después de verificar la presión.

- Bureta (BU1): Tiene un puerto en la parte superior, que está conectado al lado externo e interno de la bureta. El fondo de la bureta tiene dos salidas, una conectada al lado externo y uno conectado al lado interno. El montaje en la Sección 1 viene con una bureta de 50 cc con lectura de 0,1 cc.
- CELDA (C1): La Válvula Externa (VE1) está conectada al Puerto Externo y al Celda (C1) Conexión rápida. Cuando la válvula se gira a Externa, el agua puede fluir desde el lado externo de la bureta a la celda (C1) Conexión rápida.
- Válvula (VB1): Está conectada a la bureta y a la celda (C1). Cuando la válvula se gira hacia la bureta, el agua puede fluir desde la bureta a la celda (C1). El externo y la bureta Las válvulas se pueden abrir al mismo tiempo y los niveles de agua en ambos Los lados de la bureta deben estar aproximadamente al mismo nivel.

# CALIBRACIÓN DE EQUIPO



## ÍNDICE

Vaciar "Deaired tank" y el panel.	20
Llenado de compresor	22
Presurizar equipo	23
Llenado de "deaired water tank"	25
Liberar vacíos del "deaired water tank"	27
Llenado de buretas	28
Deairear tuberías desde celda	30
Deairear "Base Pressure"	31
Deairear "Top Pressure"	33
Deairear "Cell Pressure"	35

# VACIAR "DEAIRED TANK" Y EL PANEL.



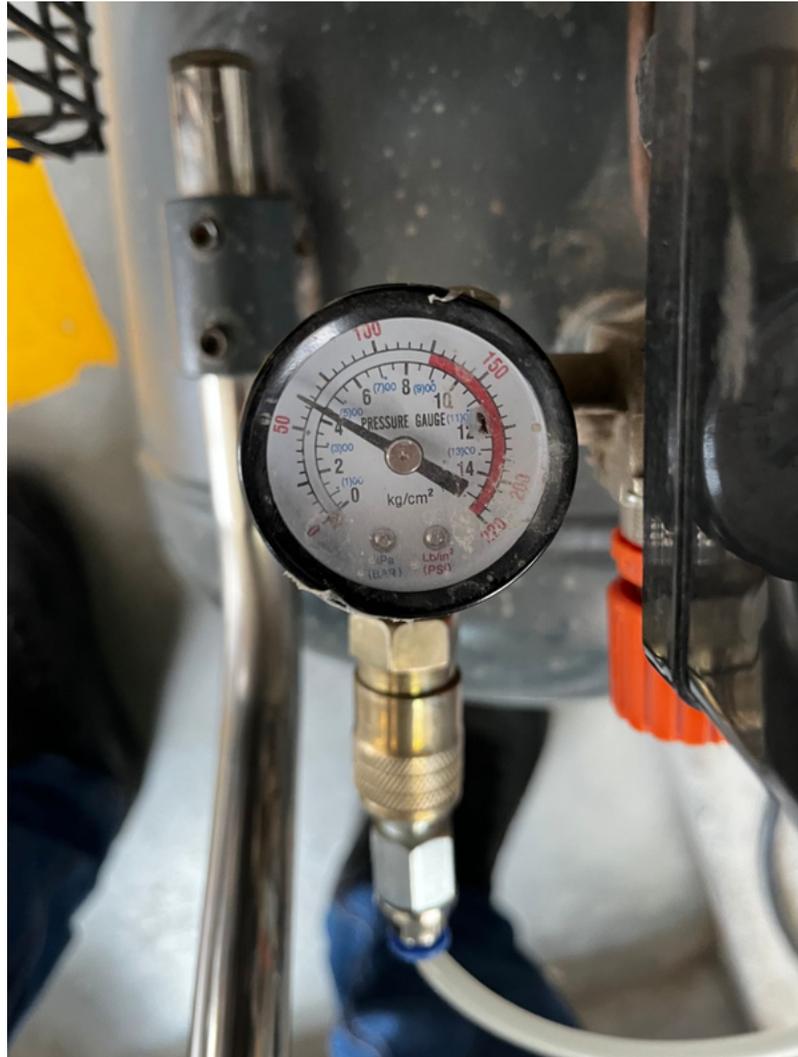
- En este paso debemos vaciar el tanque de agua y aire.
- Con estos mismos pasos también vaciaremos el panel de agua y aire de ensayos pasados esto lo vamos a realizar todas las veces que haremos un ensayo.

# PASO 1



- En la parte "Deaired tank" del panel
- Activar  
"Pressure" + "Drain" + "Burette" + "External"

## PASO 2 LLENADO DE COMPRESOR



- Presión 60 Psi

## PASO 3 PRESURIZAR EQUIPO



- Regular "Air Supply" parte frontal panel
- Colocar a 40 PSI

# CONTINUACION PASO 3 PRESURIZAR EQUIPO

USAR ESTA  
PERILLA



- Para regular la presión de "Air Supply" usar perilla.

# PASO 4 LLENADO DE "DEAIRED WATER TANK"



- En la parte de "Deaired Water Tank" del panel activar la llave Fill.
- Activar la llave Tap Water.

## OBSERVACIONES EN PASO 4



- Llenar a  $3/4$  el "Deaired Water Tank". (El tanque en el laboratorio tiene una línea roja que puede verificar que ya está a  $3/4$ )
- Mover la llave de "Fill" de nuevo a "OFF".
- Si se pasa de  $3/4$ , colocar "Drain" y sacar el exceso de agua.

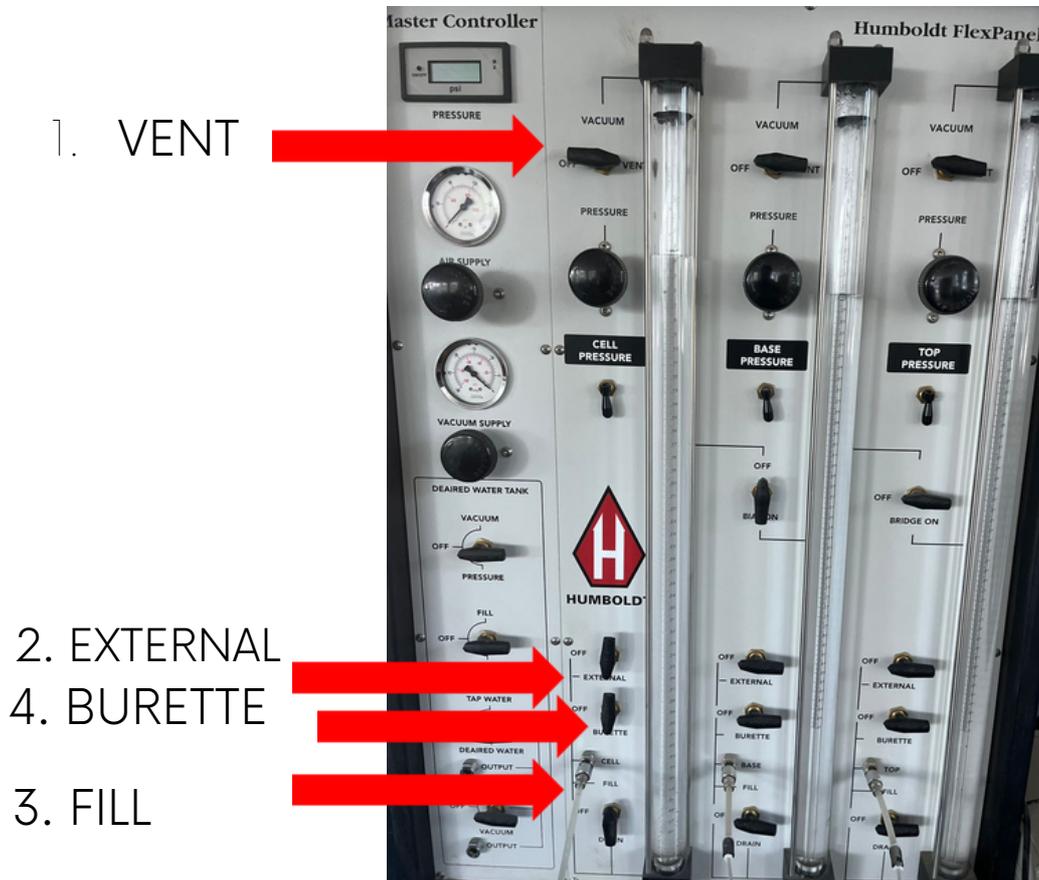
# PASO 5 LIBERAR VACIOS DEL "DEAIRED WATER TANK"



Encendido  
de "Deaired  
Water Tank"

- Conectar bomba de vacios a "vaccum".
- "Vaccum" es una manguera que esta conectada detras del panel".
- Encender el "Deaired Water Tank".
- Encender la bomba de vacios.
- Encender la llave de "Vaccum"
- Sacar el aire del "Deaired Water Tank" durante 30-45 minutos.
- Luego deshacer los pasos hasta dejar en "OFF" el "Deaired Water Tank"

# PASO 6 LLENADO DE BURETAS



1. VENT

2. EXTERNAL

4. BURETTE

3. FILL

- Llenado de buretas. ( Las buretas tienen una marca hasta donde tienen que ser llenadas).
- Activar la llave "Vent".
- Activar la llave "External". (Bureta exterior).
- Activar la llave "Fill".
- Cuando la bureta exterior llegue al punto marcado poner la llaver "External" en OFF.
- Activar la llave "Burette". (Bureta interior).
- Cuando la bureta interior llegue al punto marcado poner la llaver "Burette" en OFF.

# CONTINUACIÓN DE PASO 6

Usar "drain" si  
las buretas  
suben mas de  
la marca.



- Cuando las buretas interior y exterior ya estan llenas hasta la marca señalada, pasar "Vent" a OFF.
- Si las buretas se pasan de la marca hacerle "Drain".
- Observación si en las buretas hay aire desairear llenando toda la buretas, las buretas solo debe de tener agua nada de burbujas de aire.
- Al finalizar el proceso volverlo a repetir con las otras buretas, las 3 exteriores y las 3 interiores.
- Recomendación llenar una por una las buretas.

## PASO 7 DEAIREAR TUBERIAS DESDE CELDA



- Deairear Tuberias desde celda (5 Llaves)
- En la celda veremos 5 llaves.
- "Top/Base" izquierda es para medir "Pore Pressure".
- "Cell", es el centro para llenar la celda.
- "Top/Base" derecha para sacar el aire de la tuberia.

## PASO 8 DE AIREAR "BASE PRESSURE"



VENT

BASE PRESSURE

FILL

- Colocar "Base Pressure" en "Vent".
- Levantar la perilla de "Base Pressure".
- Mover llave a "Fill".

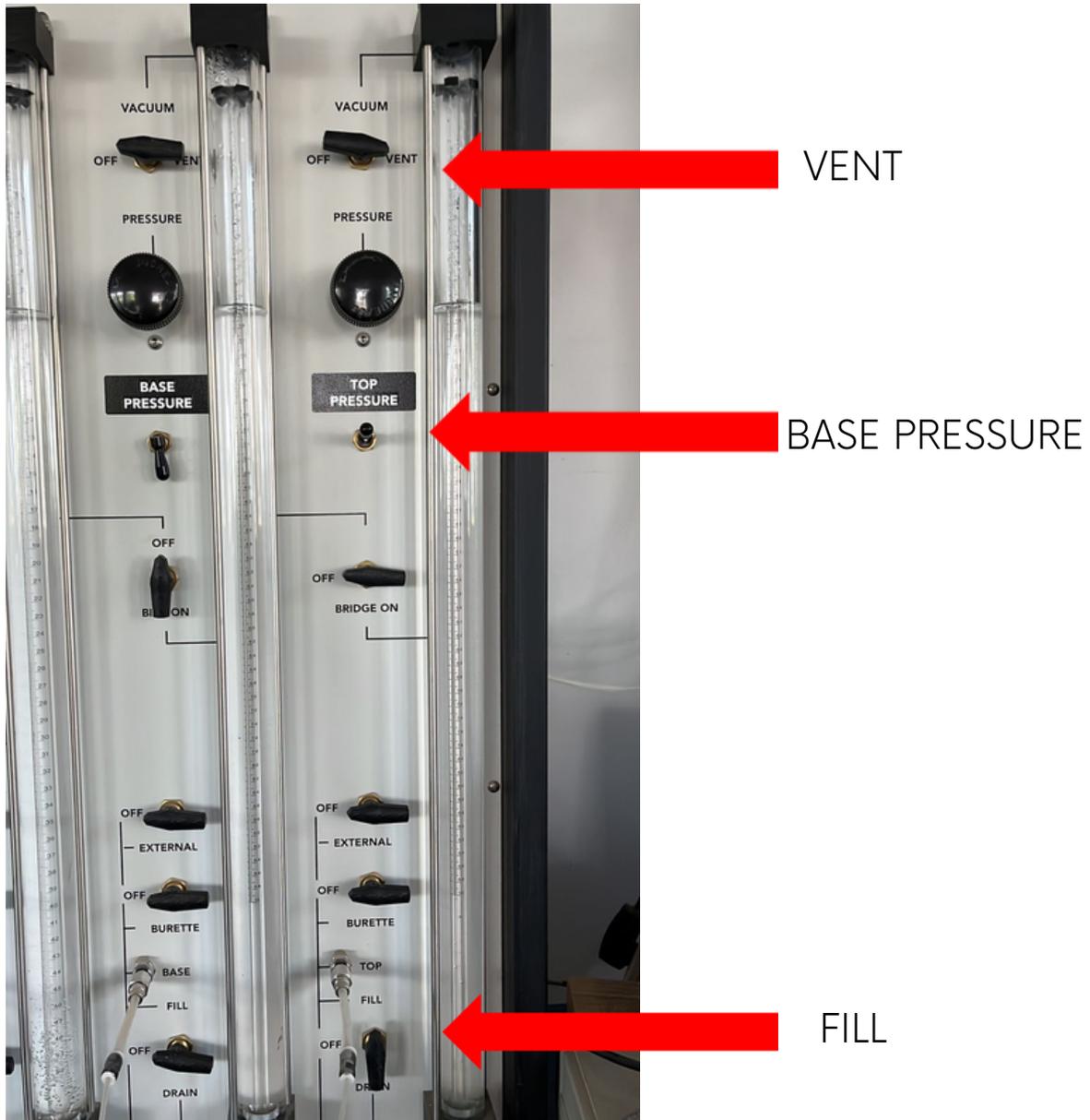
## CONTINUACIÓN PASO 8



Base Cap

- Abrir "Base" en la celda. (Es la llave de "base" derecha).
- Verificar que salga agua + aire por la "Base Cap".
- Al finalizar Pasar de nuevo todo a OFF, "base en la celda", "Vent"+"Base pressure"+"Fill" a off tambien en el panel.

# PASO 9 DE AIREAR "TOP PRESSURE"



- Colocar "Top Pressure" en "Vent".
- Levantar la perilla de "Top Pressure".
- Mover llave a "Fill".

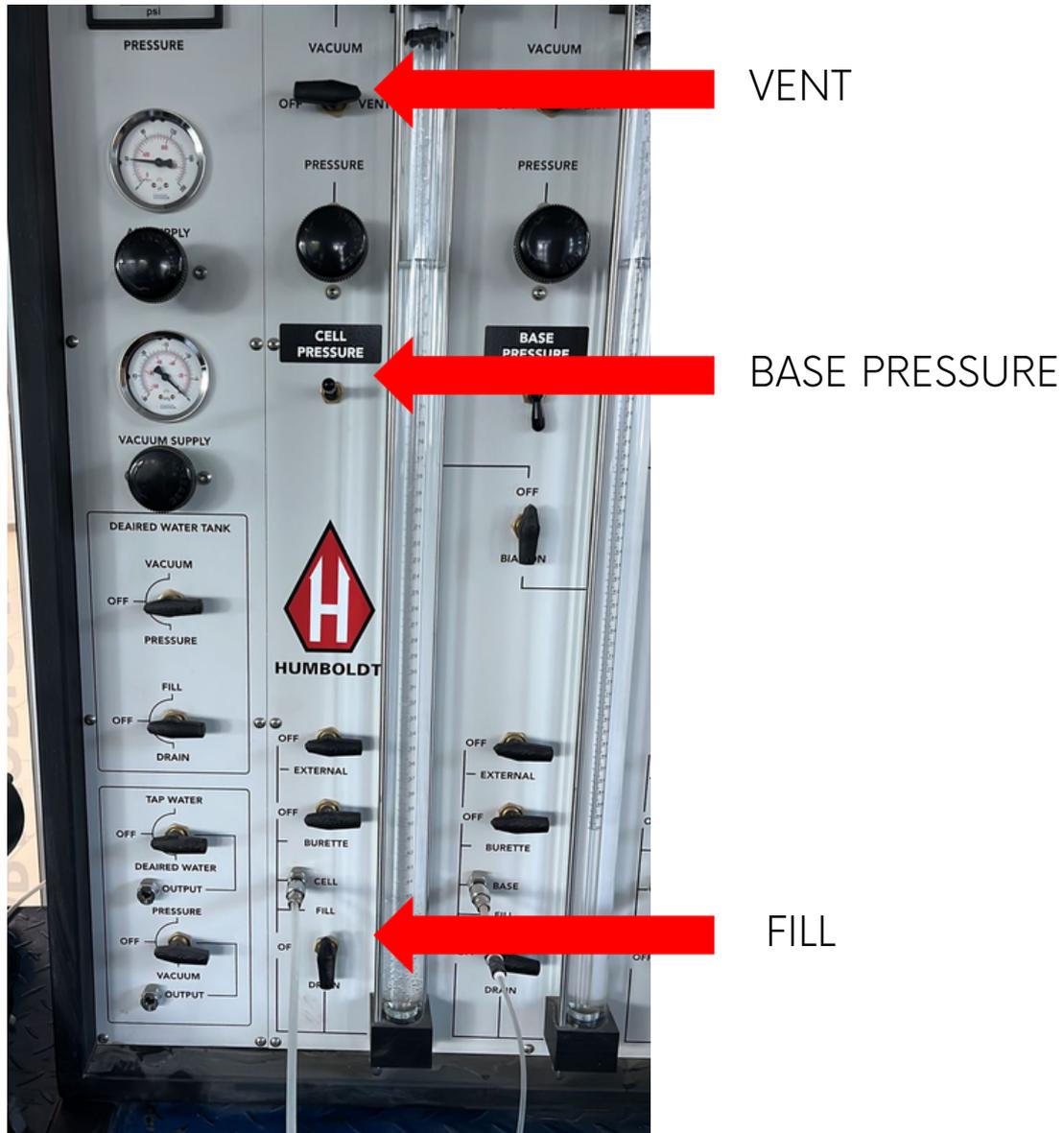
## CONTINUACIÓN PASO 9

TOP CAP



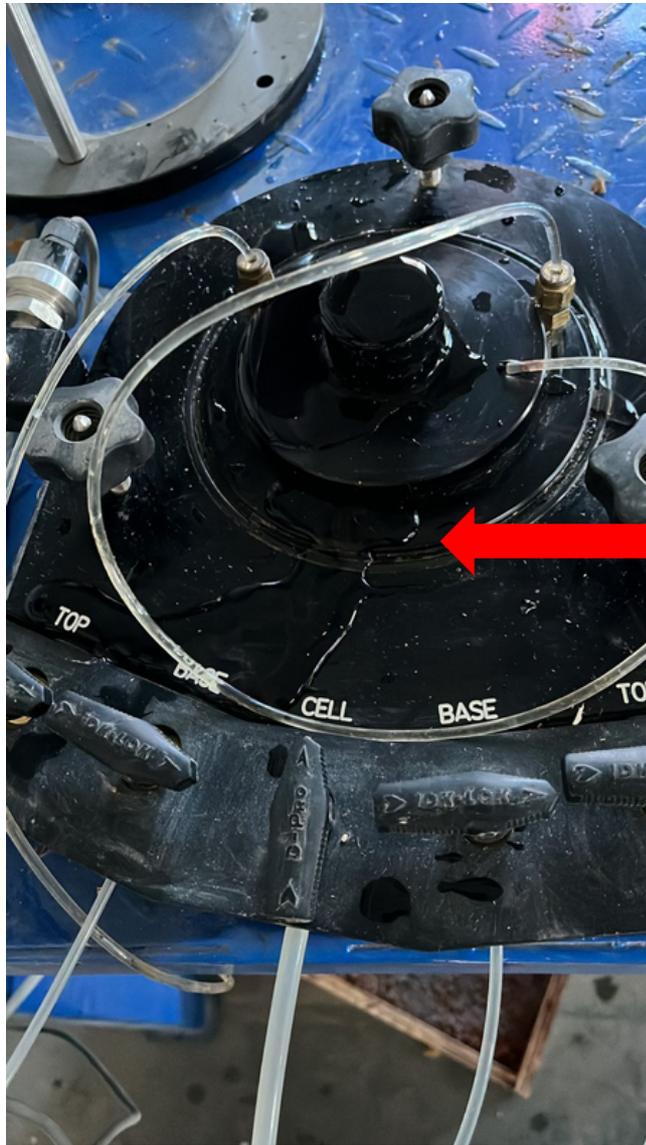
- Abrir "Top" en la celda. (Es la llave de "Top" derecha).
- Verificar que salga agua + aire por la "Base Cap".
- Al finalizar Pasar de nuevo todo a OFF, "Top" en la celda, "Vent" + "Top pressure" + "Fill" a off tambien en el panel.

# PASO 10 DESAIREAR "CELL PRESSURE"



- Colocar "Cell Pressure" en "Vent".
- Levantar la perilla de "Cell Pressure".
- Mover llave a "Fill".

## CONTINUACIÓN PASO 10



CELL CAP

- Abrir "Top" en la celda. (Es la llave de "Cell").
- Verificar que salga agua + aire por la "Cell Cap".
- Al finalizar Pasar de nuevo todo a OFF, "Cell" en la celda, "Vent"+"Cell pressure"+"Fill" a off tambien en el panel.

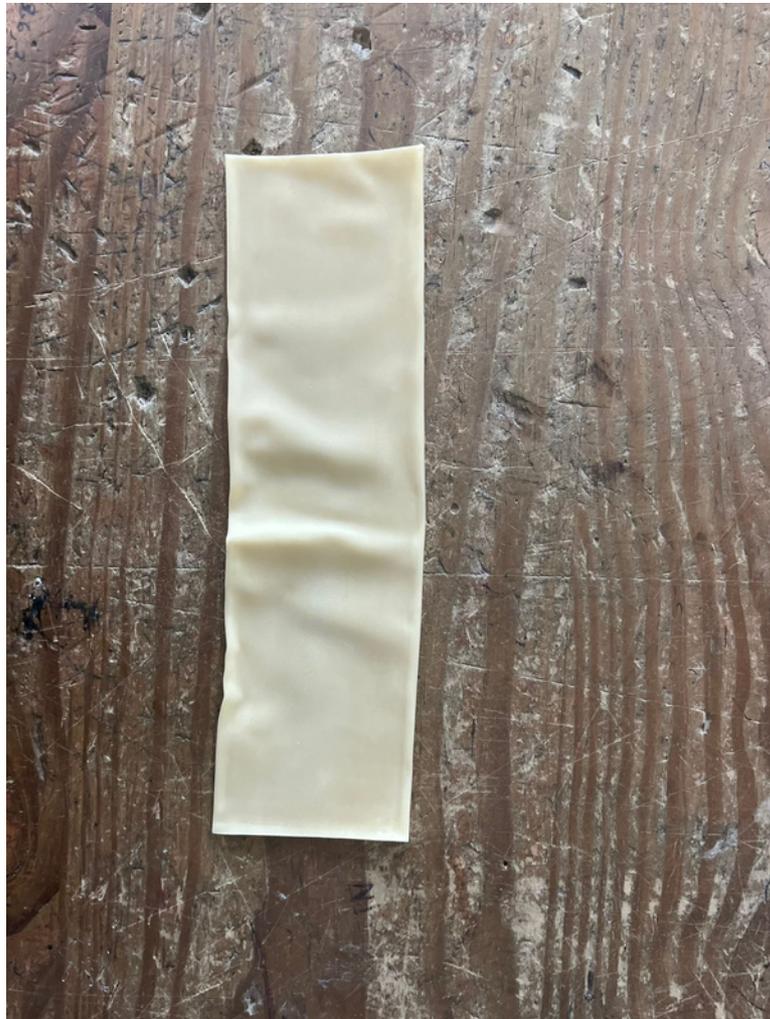
# COLOCACIÓN DE MEMBRANA



## ÍNDICE

Revisar estado de membrana	38
Apertura de membrana	39
Colocación de Orings	40
Colocar membrana	41
Colocar "memb. stretcter" en la bomba de vacíos	42
Succión de membrana	43

# PASO 1 ESTADO DE MEMBRANA



- Revisar que la membrana este en buen estado, no debe de tener ninguna ranura.

## PASO 2 APERTURA DE MEMBRANA



- Abrir de forma cuidadosa los dos extremos de la membrana.

## PASO 3 COLOCACIÓN DE ORINGS



- Colocar los Orings en el "Memb. Stretcher" antes de colocar la membrana.

## PASO 4 COLOCAR MEMBRANA



- Colocar la membrana en el "Memb. Stretcher", cuidadosamente ya que se puede dañar, si esto sucede cambiar de membrana en buen estado.

# PASO 5 COLOCAR "MEMB. STRETCTER" EN LA BOMBA DE VACIOS



Clip de  
"Memb.  
Stretcher"

- Conectar el "Memb. Stretcher" en la bomba de vacios.
- Encender la bomba de vacios.
- El clip del "Memb.Stretcher" debe de estar liberado.
- Manipular la membrana para que nos de la forma correcta en el "Memb. Stretcher".

## PASO 6 SUCCIÓN DE MEMBRANA



- Una vez ya succionada la membrana en el "Memb. Stetcher" se debe de ajustar el clip del "Memb. Stretcher" para que no libere aire y se deforme la membrana.

# MONTADO DE ESPÉCIMEN



## ÍNDICE

Tamizar	44
Humedecer	46
Preparación de espécimen	47
Apisonamiento	48
Retirar el espécimen	49

## PASO 1 TAMIZAR



- Pasar la muestra por el tamiz NO.4

## PASO 2 TAMIZAR



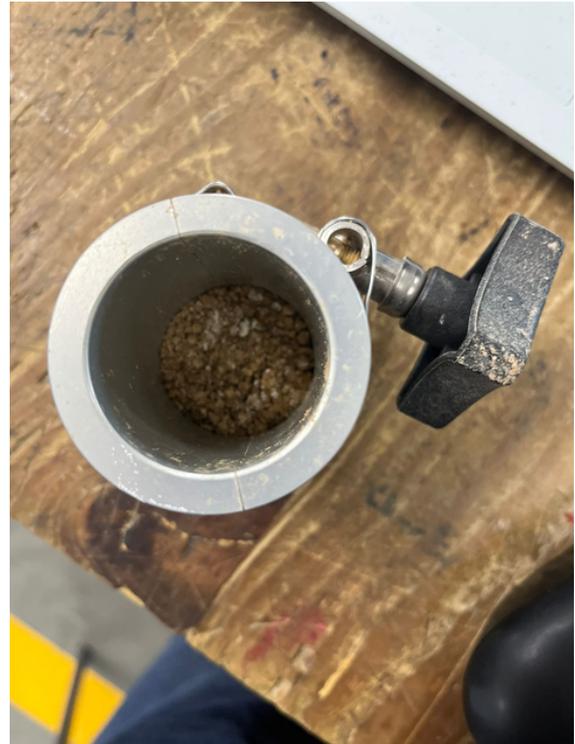
- Tener una buena cantidad de muestra.

## PASO 3 HUMEDECER



- Humedecer la muestra, para poder hacer una buena manejabilidad de la muestra.

## PASO 4 PREPARACIÓN DE ESPÉCIMEN



- Preparar muestra de espécimen que debe de contener:
  - Diametro de 1.5".
  - Altura de 3"-3.75".
  - Usar el "Split miter box" o cilindro para muestra, para introducir la muestra, en pequeñas porciones.

## PASO 5 APISONAMIENTO



- Por cada porción de muestra que se introduce se debe apisonar suavemente, apisonar nada mas en el "Split miter box".

## PASO 6 RETIRAR EL ESPÉCIMEN



- Retirar el espécimen del "Split miter box", aflojar perilla del "Split miter box", empujar lentamente y suavemente la muestra para poder retirarla del cilindro.

# CONTINUACIÓN PASO 6



- Referencia como debe de verse la muestra retirada.

# PREPARACIÓN DE CELDA



## ÍNDICE

Conectarse al panel	52
Limpieza de celda	53
Colocación de filtros	54
Colocación de espécimen	55
Colocación de membrana	56
Conectar el cap	58
Colocación de celda	59

# PASO 1 CONECTARSE AL PANEL



- Pasar la manguera de "cell" panel a "output" panel.

## PASO 2 LIMPIEZA DE CELDA



- Limpiar la base y la parte inferior de la celda.
- Colocar grasa en el sello de la celda. (Poca).
- Secar la base.

## PASO 3 COLOCACIÓN DE FILTROS



- Humedecer piedra porosa
- Colocar piedra porosa inferior.
- Colocar filtro inferior humedecido.

# PASO 4 COLOCACIÓN DE ESPECIMEN



- Colocar espécimen dentro del "Memb. Stretcher".

# PASO 5 COLOCACIÓN DE MEMBRANA



- Colocar el "Memb. Stretcher" en el "base cap".
- Bajar lentamente la membrana y el oring en el "base cap".

# CONTINUACIÓN DE PASO 5 COLADO DE MEMBRANA



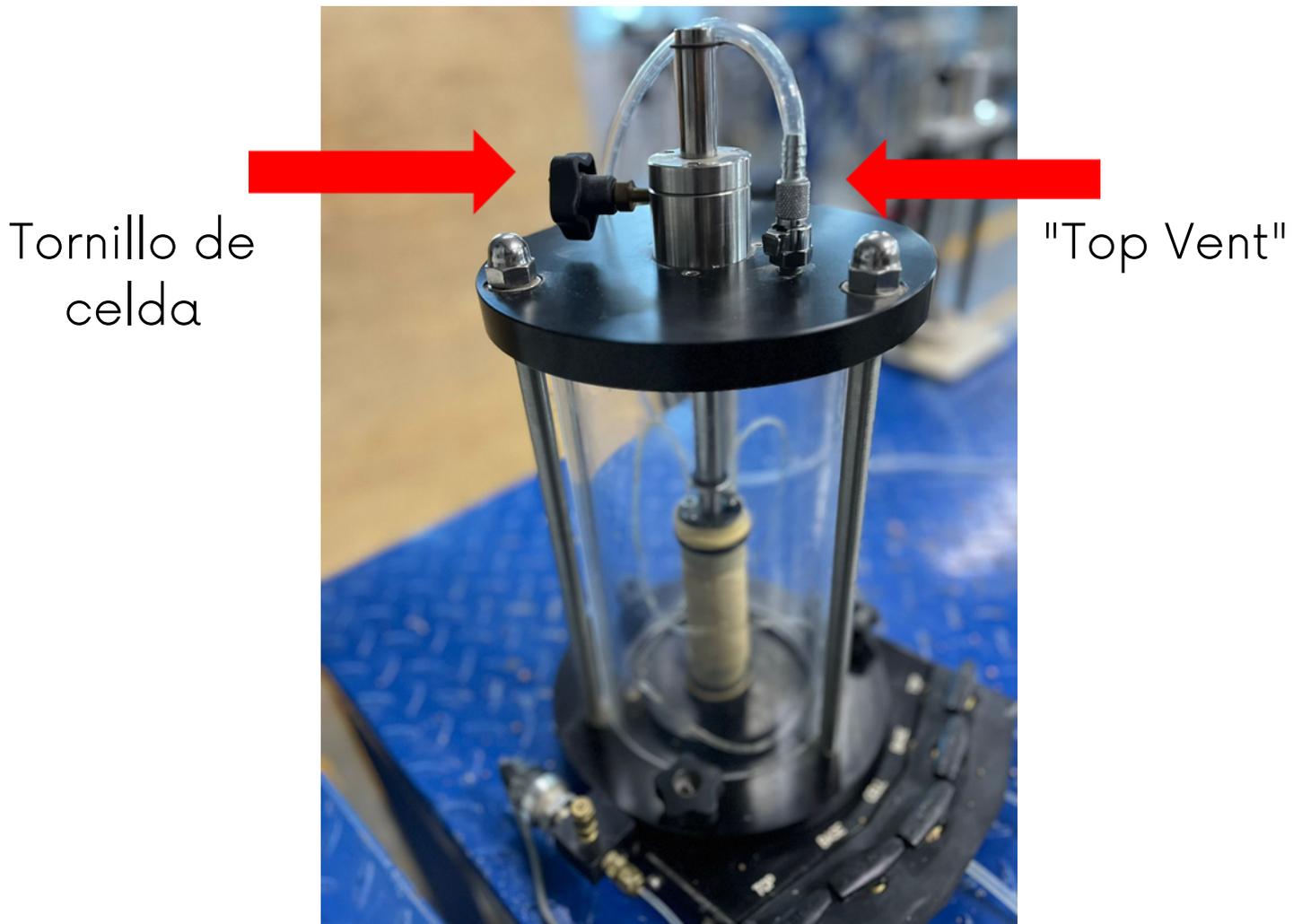
- Subir lentamente la membrana y el oring en el "Cap".

## PASO 7 CONECTAR EL CAP



- Conectar mangueras de base izq y base derecha al cap.

## PASO 8 COLOCACIÓN DE CELDA



- Colocar celda.
- Aflojar tornillo.
- Colocar "Top Vent" o respiradero.
- Socar suavemente tornillo de celda.

# LLENADO DE CELDA



## ÍNDICE

Llenado de tap water	61
Llenado de celda	62

# PASO 1 LLENADO DE TAP WATER



- Abrir Tap Water

## PASO 2 LLENADO DE CELDA



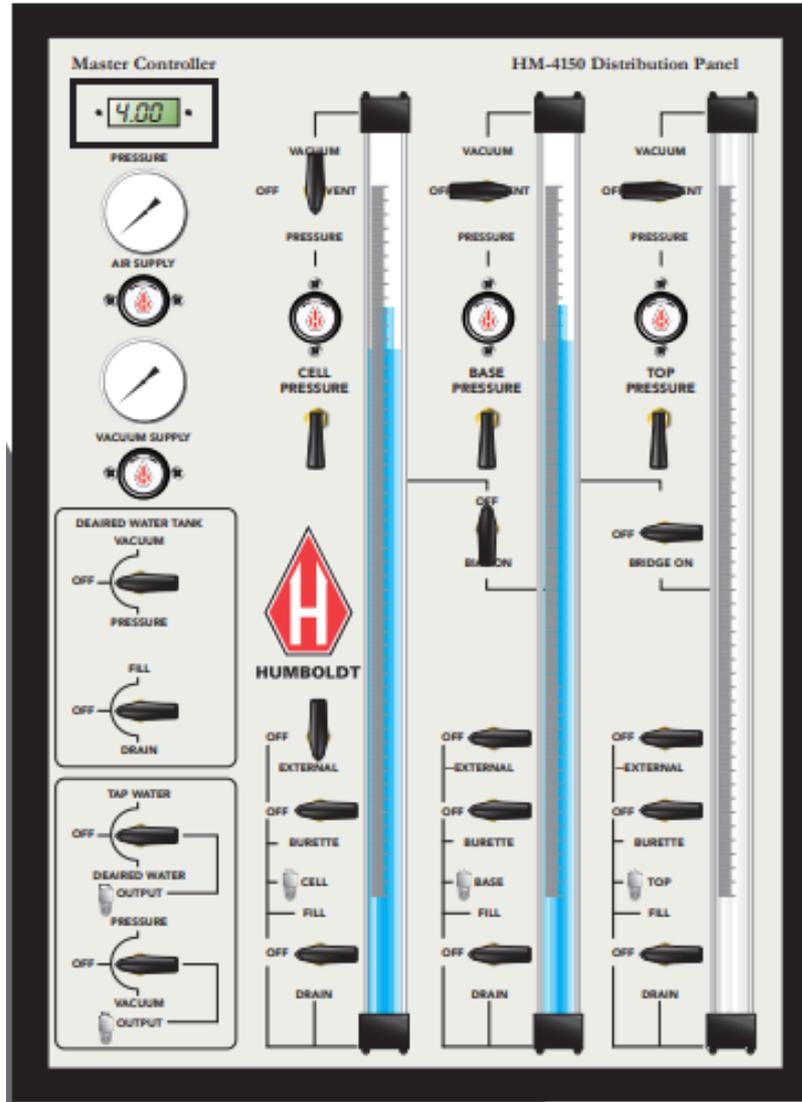
- Abrir "Cell" en base de la celda.
- Ya una vez llenada, quitar silmutaneamente "Top Vent."
- Cerrar valvula "Cell" de la base.
- Cerrar "Tap Water" en el panel.

# CONTINUACIÓN DE PASO 2 LLENADO DE CELDA



- Como debe verse la celda llena.

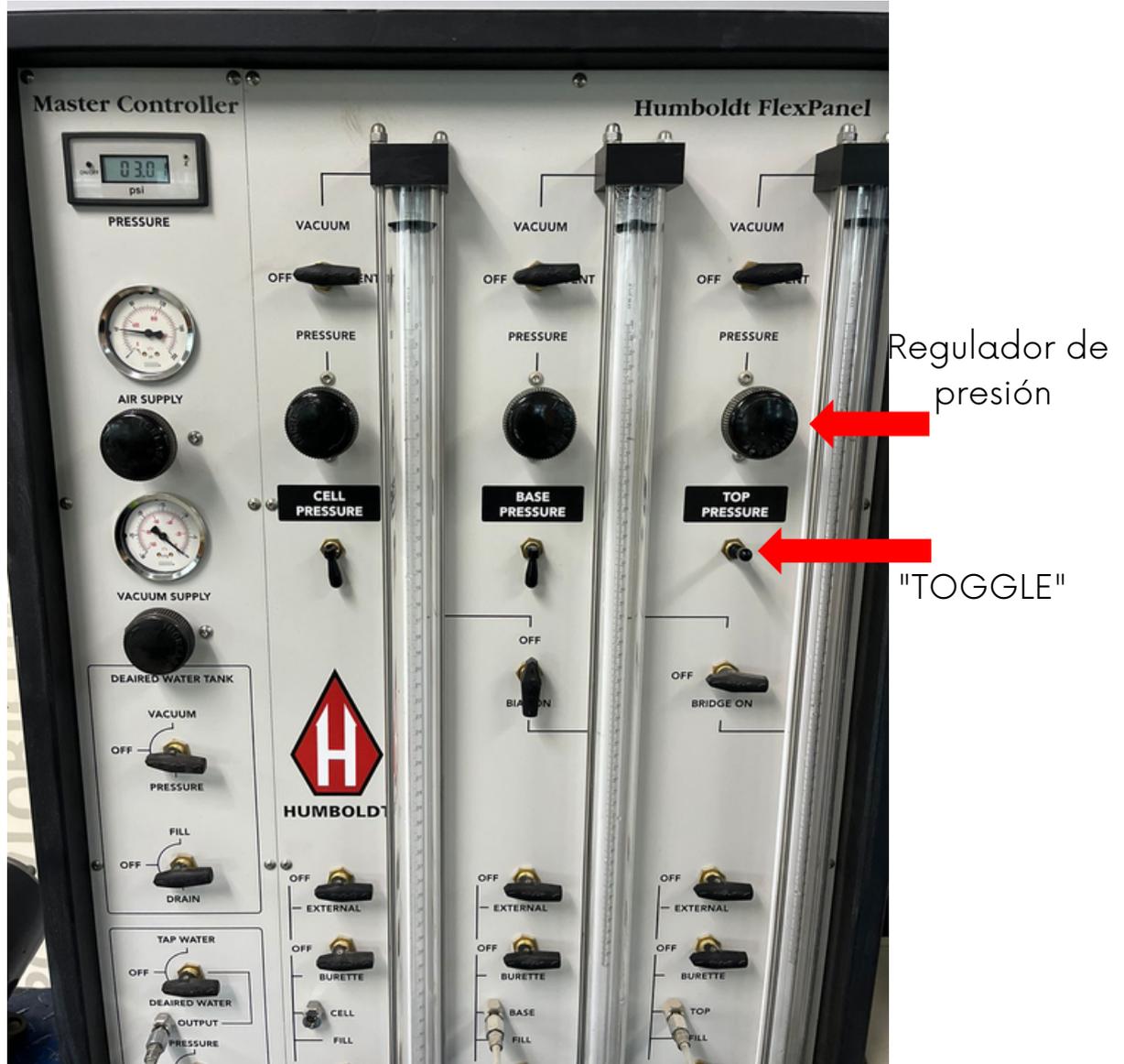
# REGULAR PRESIONES



## ÍNDICE

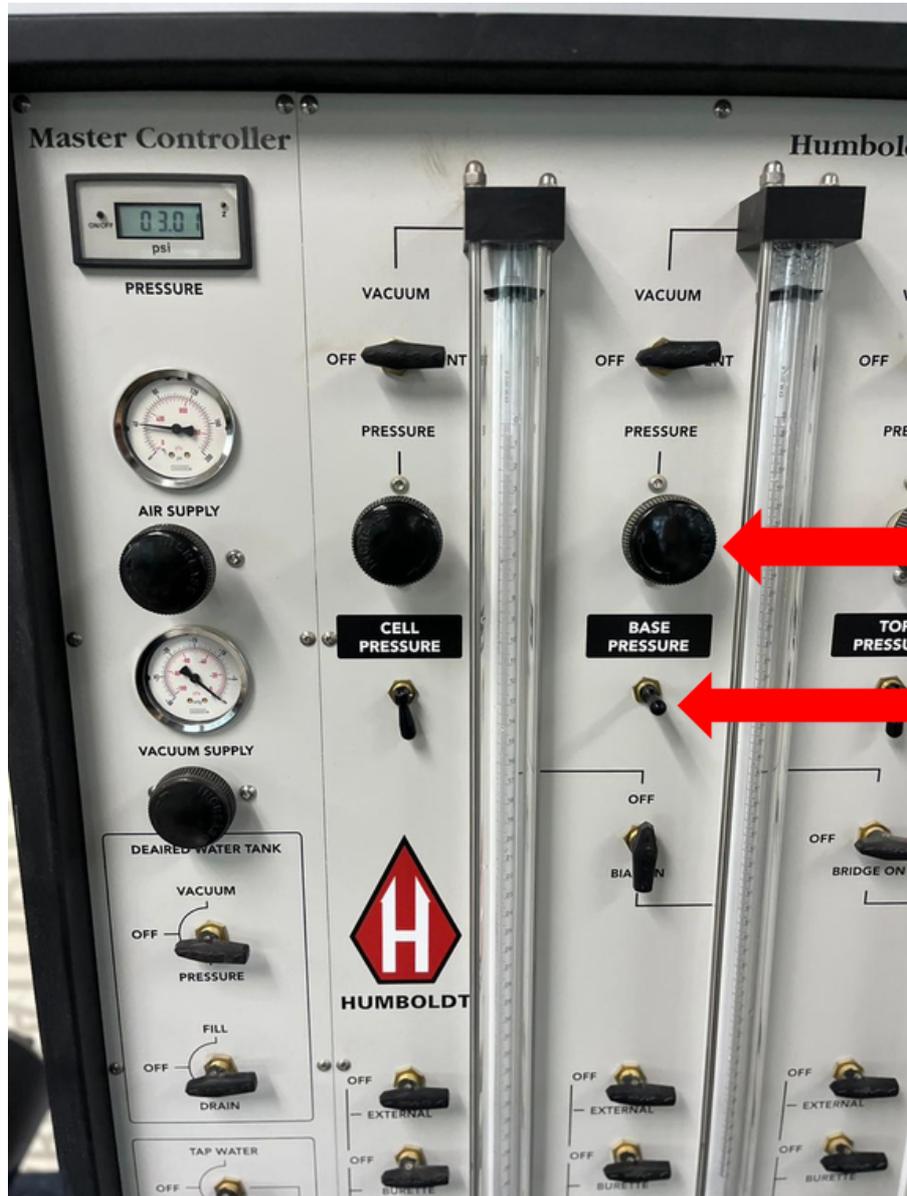
Top Pressure	67
Base Pressure	68
Cell Pressure	69

# PASO 1 "TOP PRESSURE"



- Levantar "Toggle" (Switch) de "Top Pressure".
- Regular presión aproximadamente a 3 PSI en el lector.

## PASO 2 "BASE PRESSURE"



Regulador de  
presión

"TOGGLE"

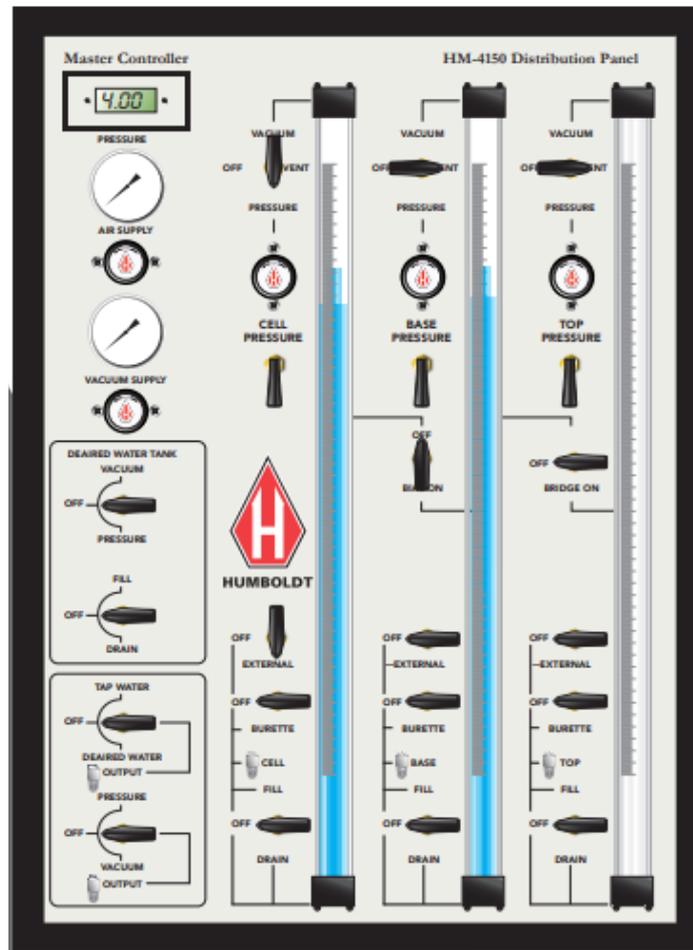
- Levantar "Toggle" (Switch) de "Base Pressure".
- Regular presión aproximadamente a 3 PSI en el lector.

## PASO 3 "CELL PRESSURE"



- Levantar "Toggle" (Switch) de "Cell Pressure".
- Regular presion aproximadamente a 5 PSI en el lector.

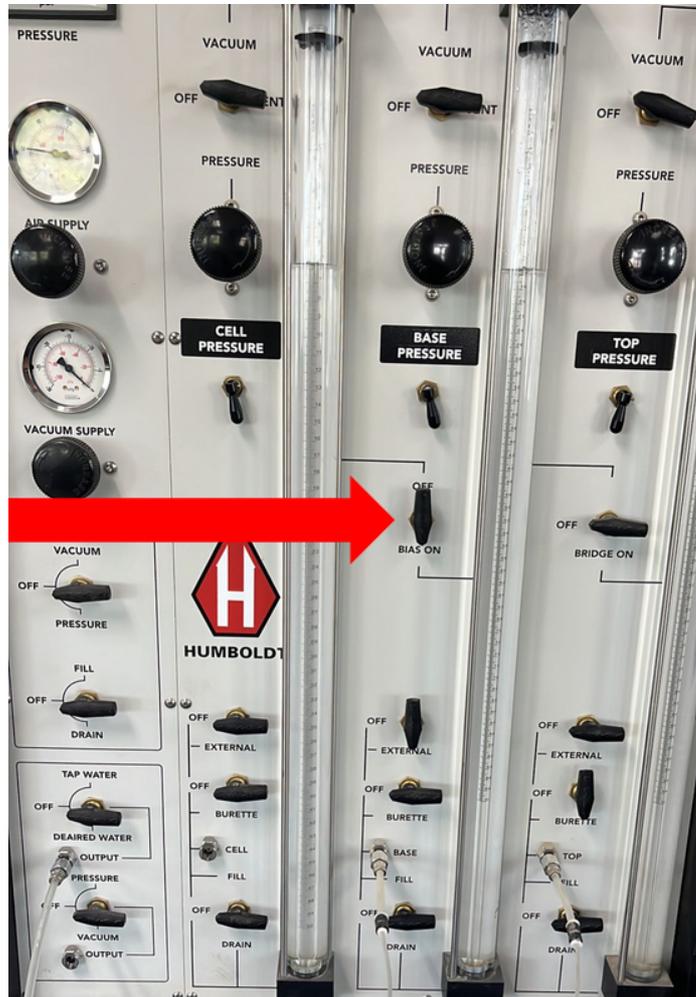
# PREPARACIÓN DE SATURACIÓN



## ÍNDICE

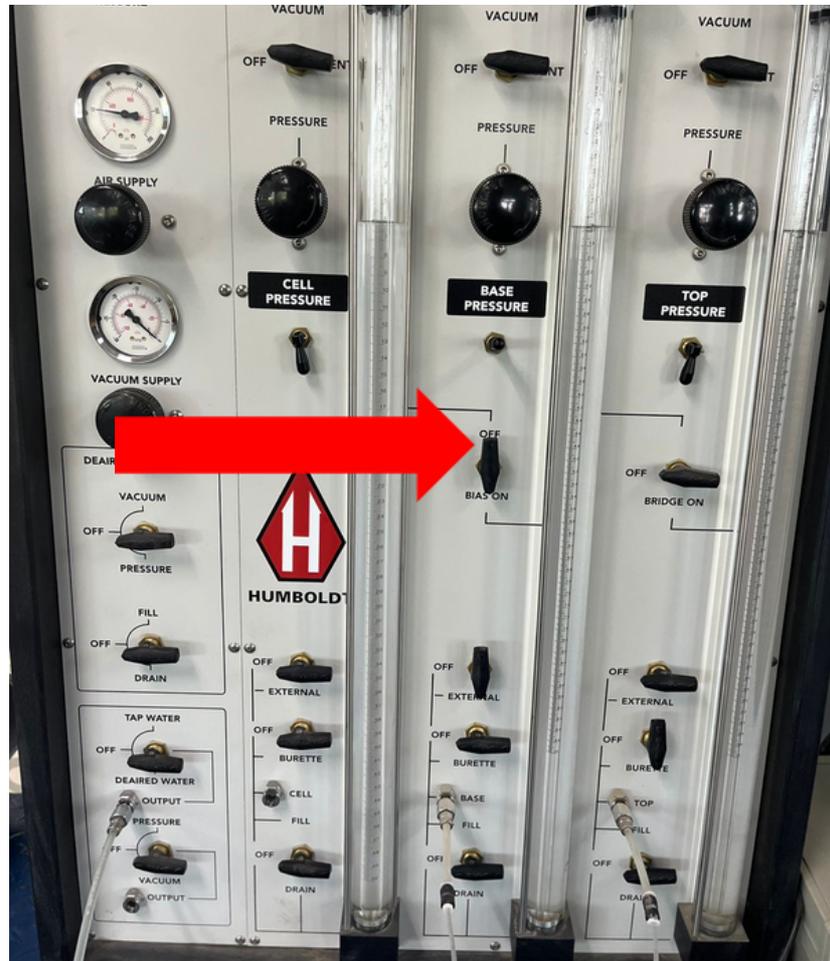
Activar Bias ON	71
Presión de base pressure	72
Verificar la presión de la celda	74
Saturación desde el panel	75
Saturación en la celda	76
Liberar vacíos de la saturación	77
Lectura de poros	78
Formula de presión de poros	86

# PASO 1 ACTIVAR BIAS ON



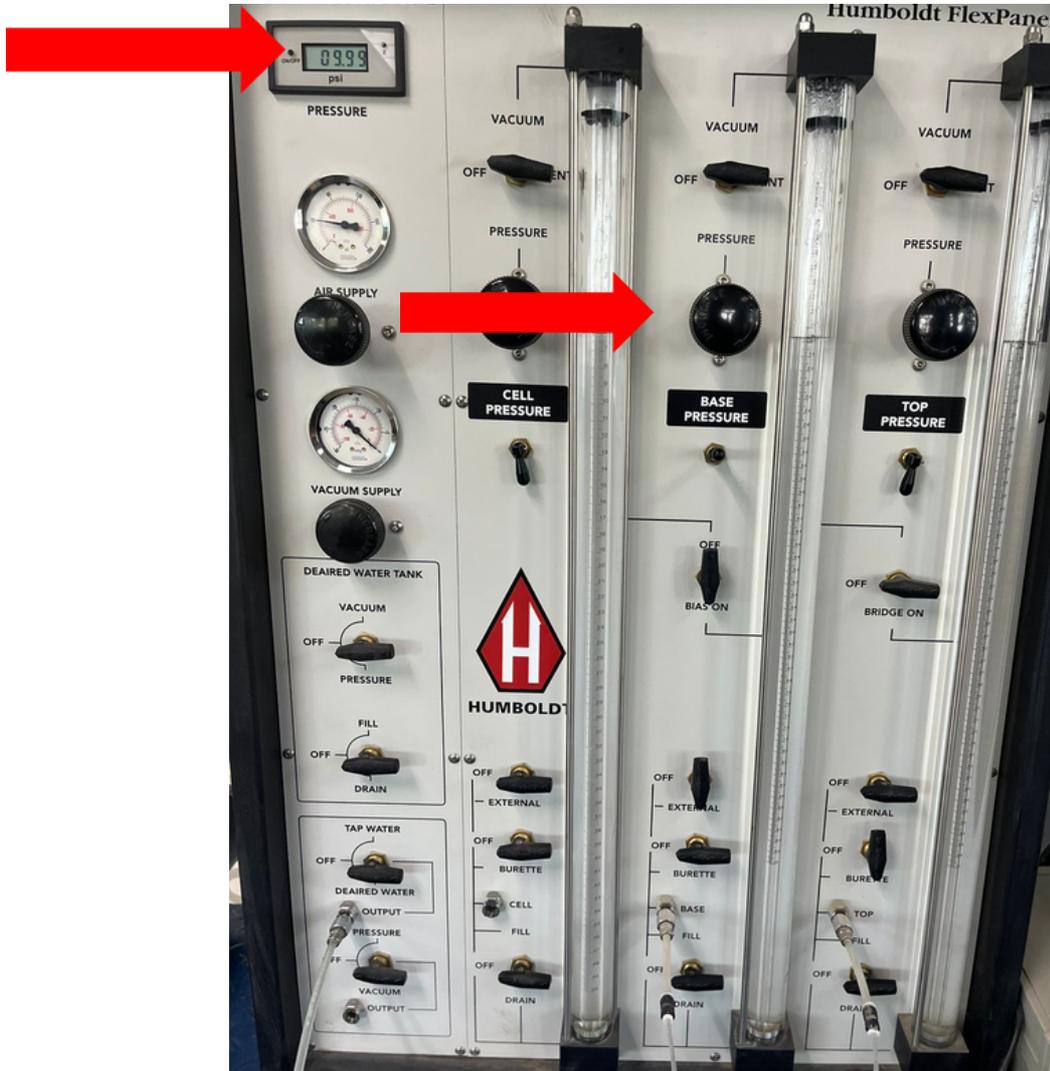
- Gire la válvula a "BIAS ON".
- Esta permite enlazar todas las presiones del panel.

# PASO 2 PRESION DE BASE PRESSURE



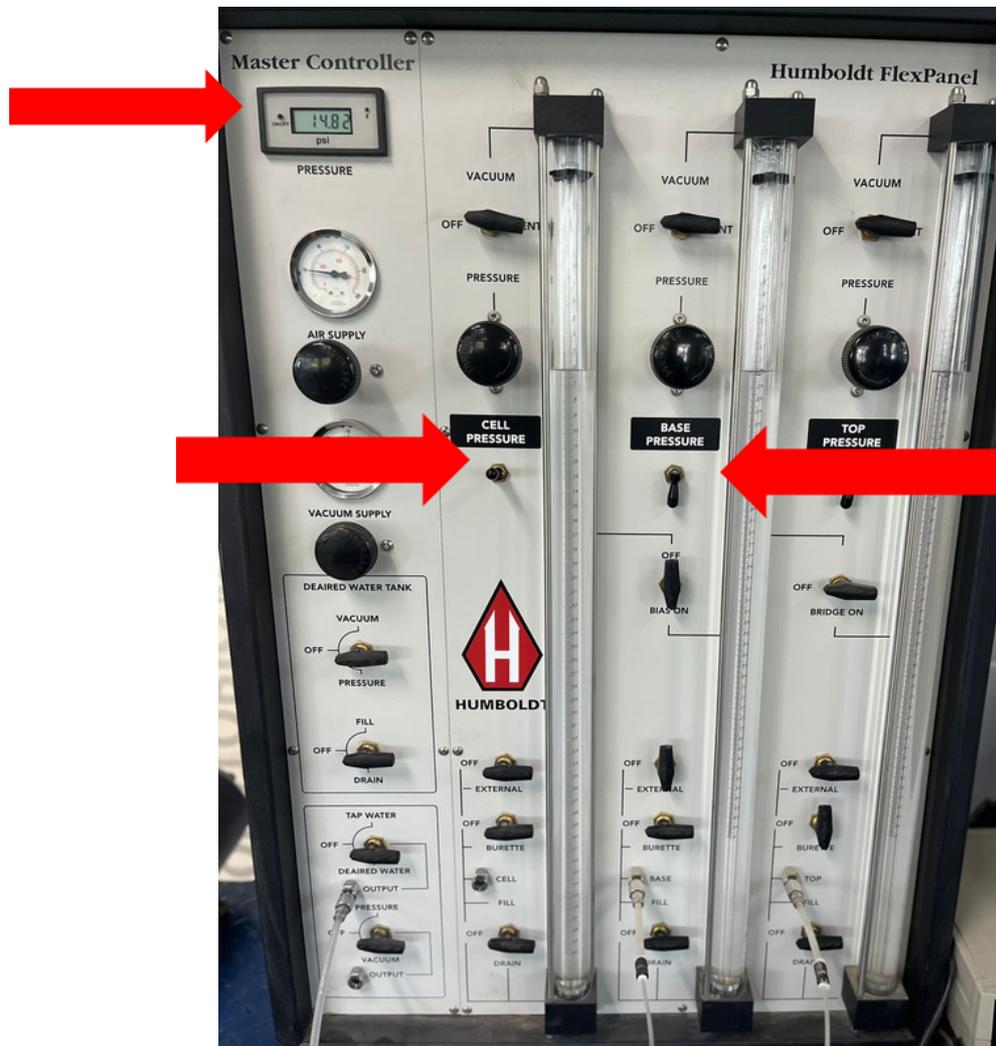
- Levante "Toggle" (Switch) de "Base Pressure", lo que revelará la presión de la base en el lector del panel.

# PASO 2 PRESIÓN DE BASE PRESSURE



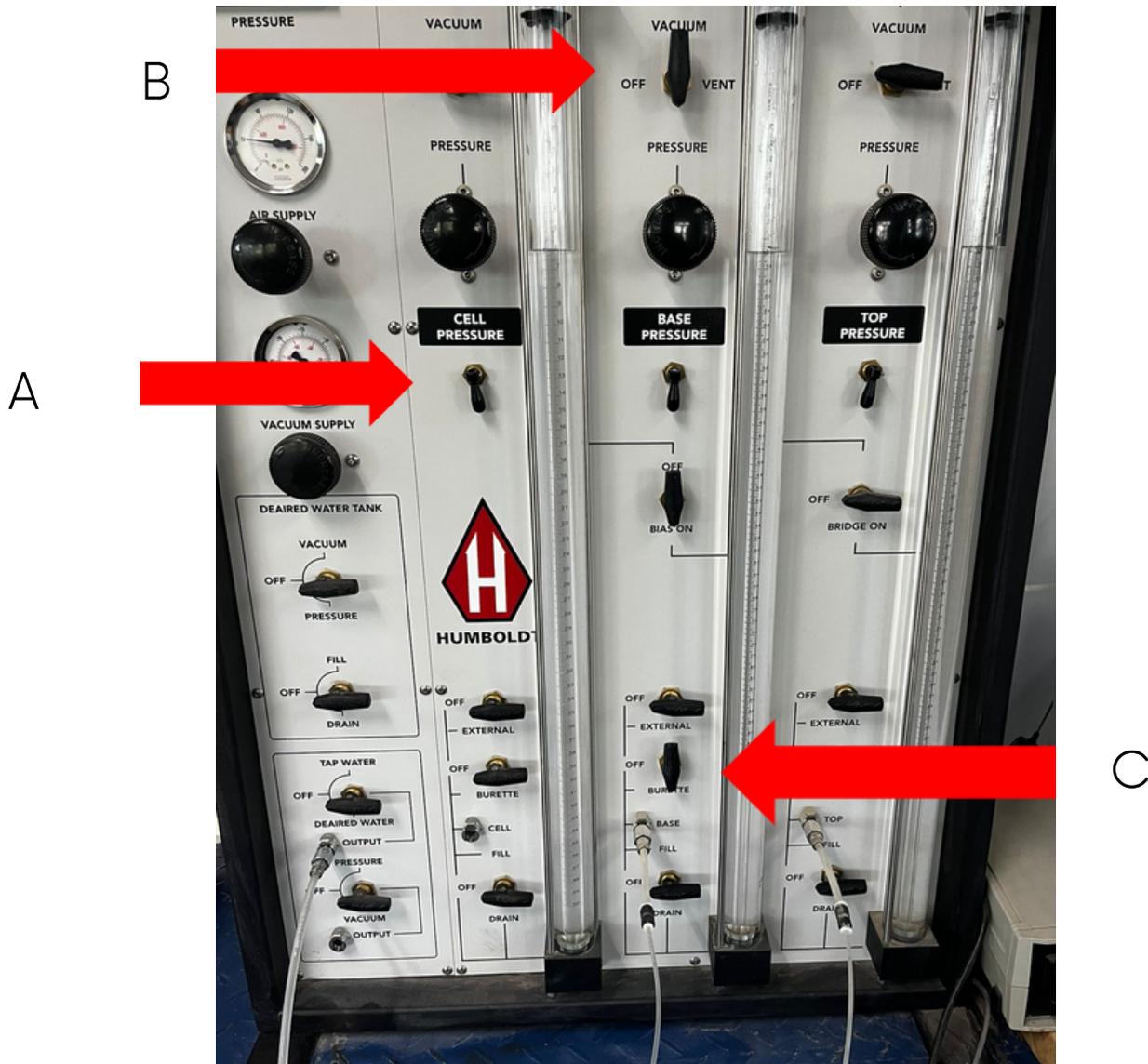
- Ajuste el regulador de presión de la base a 10 psi aproximadamente.

# PASO 3 VERIFICAR LA PRESIÓN DE LA CELDA



- Mueva el "Toogle" (Switch) de "Base Pressure" hacia abajo.
- Mueva hacia arriba "Toogle" (Switch) de "Cell Pressure".
- Esta revelara la presion de la celda.
- La presión debera de tener entre 13-15 PSI.

# PASO 4 SATURACIÓN DESDE EL PANEL



- A. Mueva hacia abajo "Toogle" (Switch) de "Cell Pressure".
- B. Gire la valvula de "Base" a "Pressure".
- C. Abra la válvula de la bureta "Burette".

# PASO 5 SATURACIÓN EN LA CELDA



- Abra la válvula de la "CELL" situada en el lado central de la célula triaxial.
- Abra la válvula de la "BASE" situada en el lado izquierdo de la célula triaxial.
- Abra la válvula de la "TOP" situada en el lado central de la célula triaxial.
- Abra la válvula de la "BASE" situada en el lado derecho de la célula triaxial.

## PASO 6 LIBERAR VACIOS DE LA SATURACIÓN



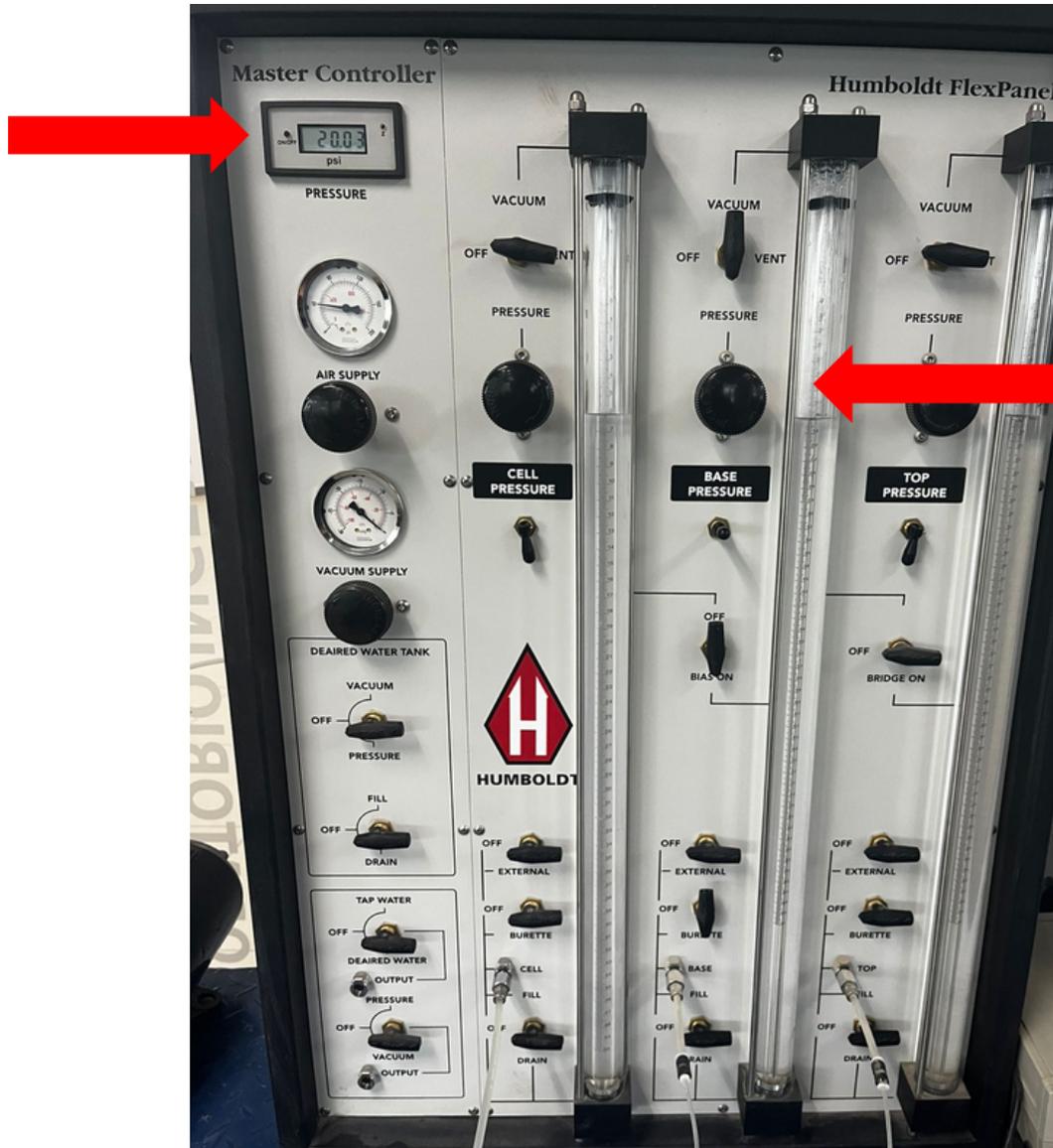
- Abra la ventilación en la parte superior del bloque de desaireación. Una vez que el agua comienza a fluir hacia fuera, cierre la ventilación.

## PASO 7 LECTURA DE POROS



- Verifique la lectura del indicador de poros debe de leer 10 PSI aproximadamente ya que le dimos 10 PSI de presión.

## PASO 9



- Ajuste el regulador de presión de la base a 20 PSI.

## PASO 10



- Verifique la lectura del indicador de poros debe de leer 20 PSI aproximadamente ya que le dimos 20 PSI de presión.

## PASO 11



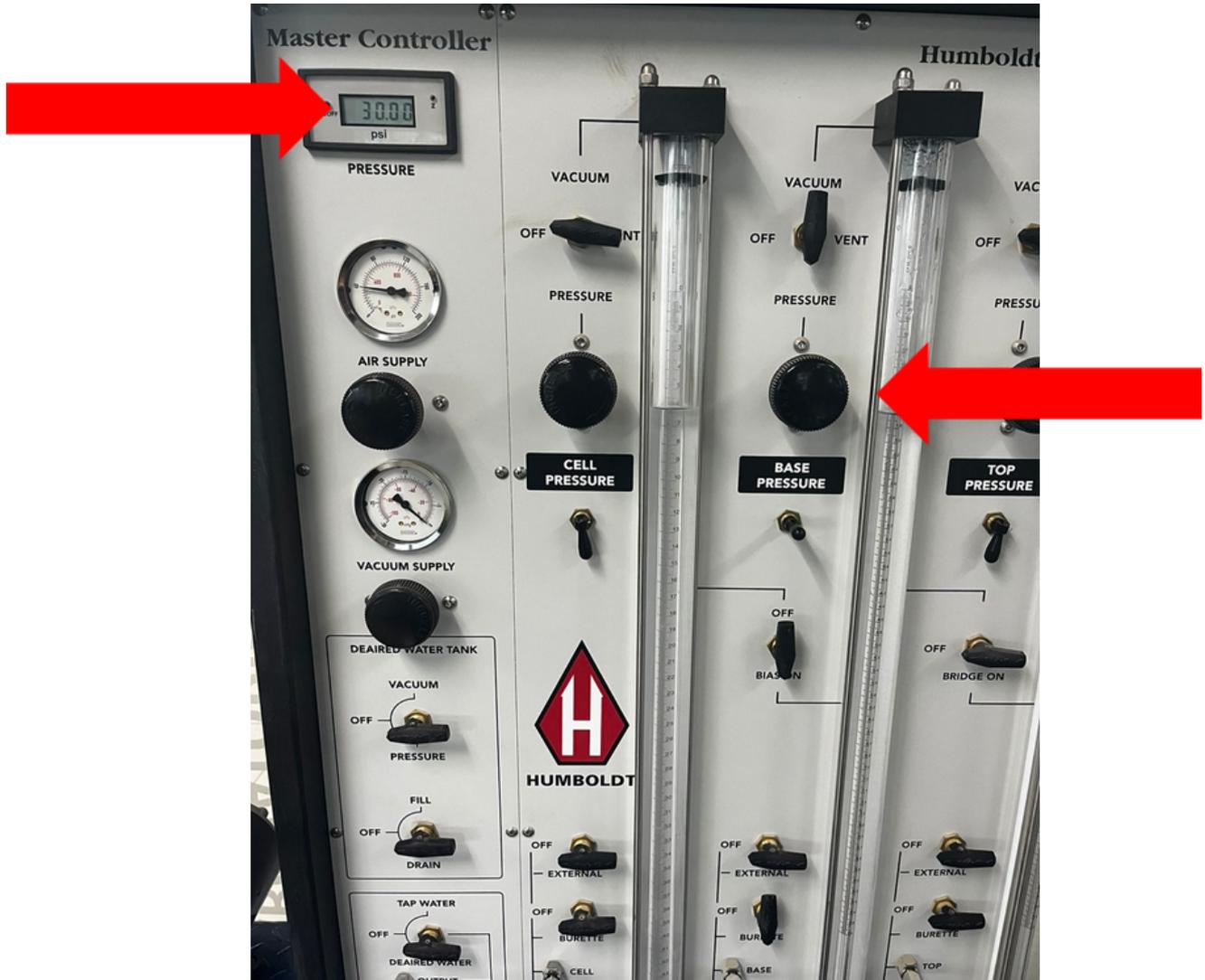
- Cierre la válvula de base ubicada en el lado derecho de la célula triaxial.

## PASO 12



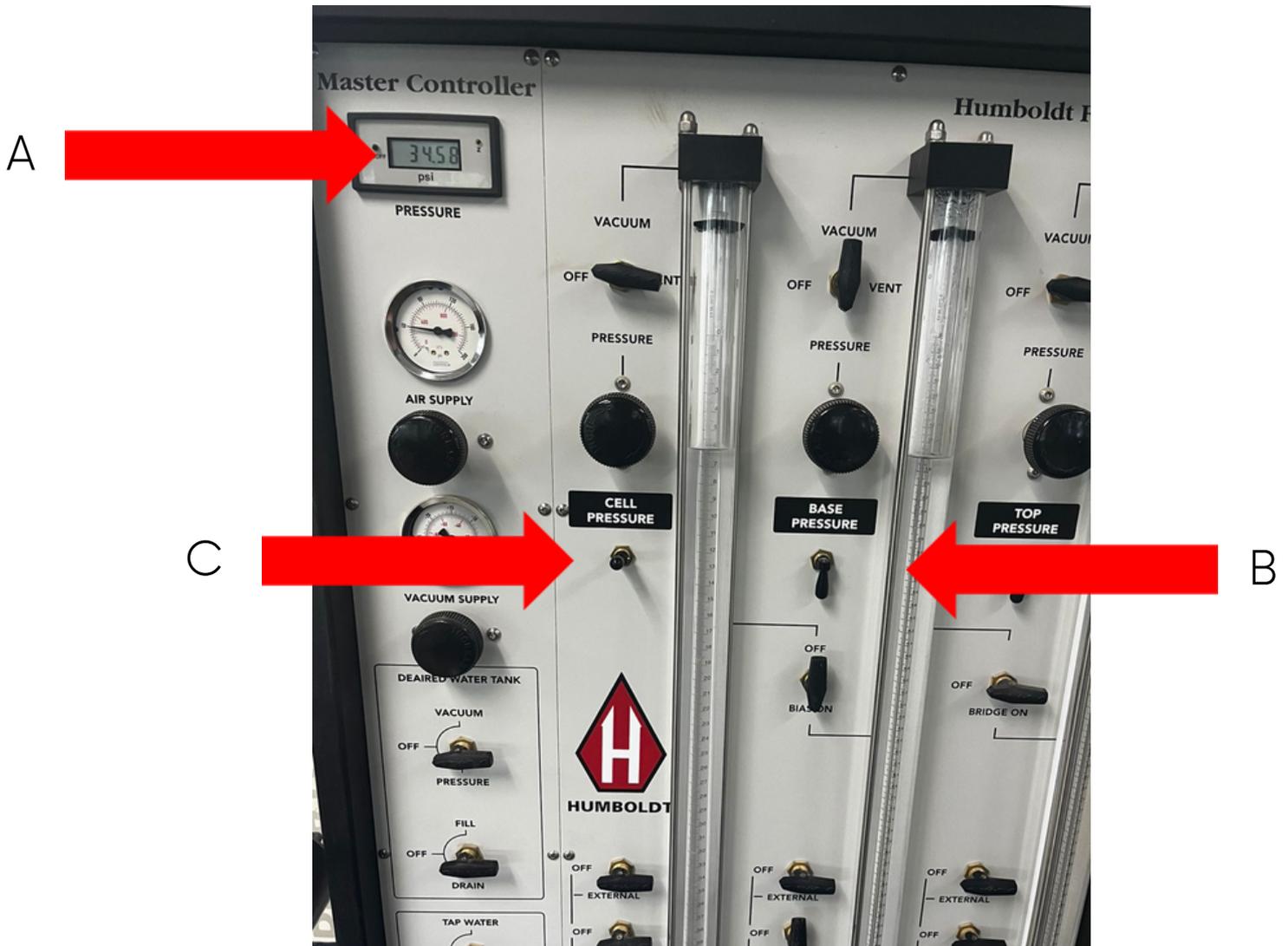
- Revise la presión de poros despues de aproximadamente 1 minuto.

# PASO 13



- Ajuste el regulador de presión de la base a 30 PSI.

# PASO 14



- A. Para verificar la presión de la celda, la presión de la celda debe leer entre 33-35 PSI.
- B. Mueva hacia abajo "Toogle" (Switch) de "Base Pressure"
- C. Mueva hacia arriba "Toogle" (Switch) de "Cell Pressure"

## PASO 15



- Revise la presión de poros después de aproximadamente 2 minutos.

## PASO 16 FORMULAS DE PRESION DE POROS

- CALCULE EL VALOR DEL PARAMETRO B DE PRESIÓN DE POROS:

$$B = \frac{\Delta M}{\Delta \sigma}$$

$$\text{EJEMPLO: } B = \frac{(28.6 - 20.0)}{(30 - 20)}$$

$$B = 0.86$$

## PASO 17

SI EL VALOR B ES IGUAL O MAYOR QUE 0.95, LA MUESTRA SE CONSIDERA SATURADA.

SI NO ES 0.95.

# PREPARACIÓN CONSOLIDACIÓN



## ÍNDICE

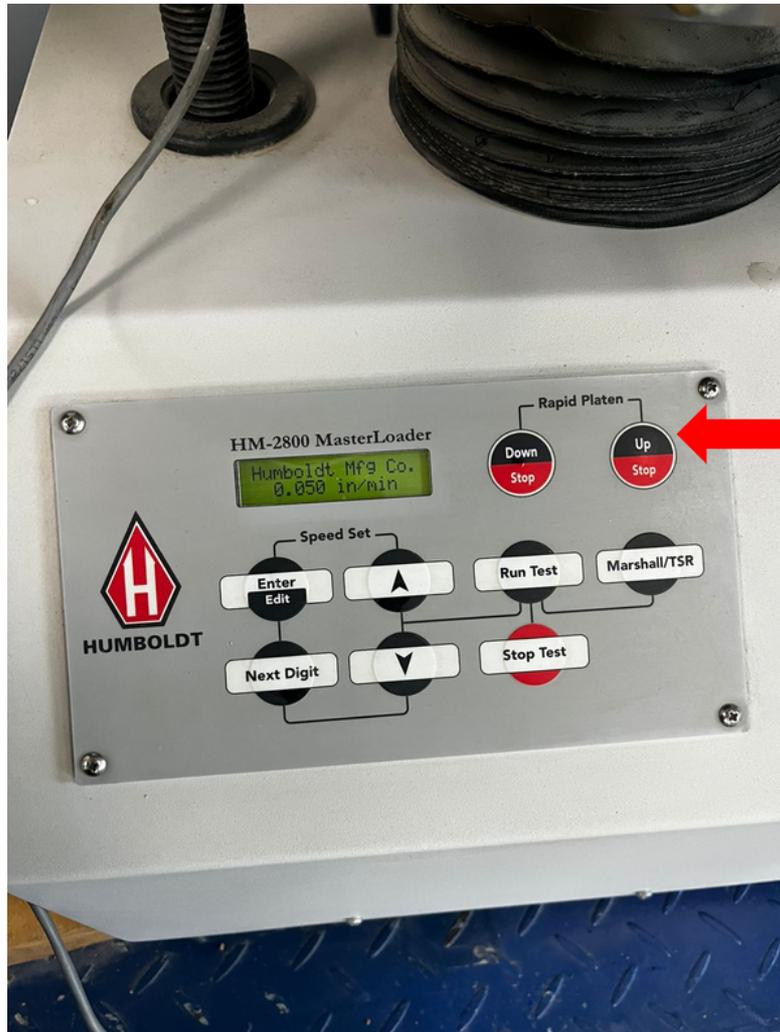
Colocar celda en el panel de carga	88
Activar panel de carga	89
Lectura de panel	90

# PASO 1 COLOCAR CELDA EN EL PANEL DE CARGA



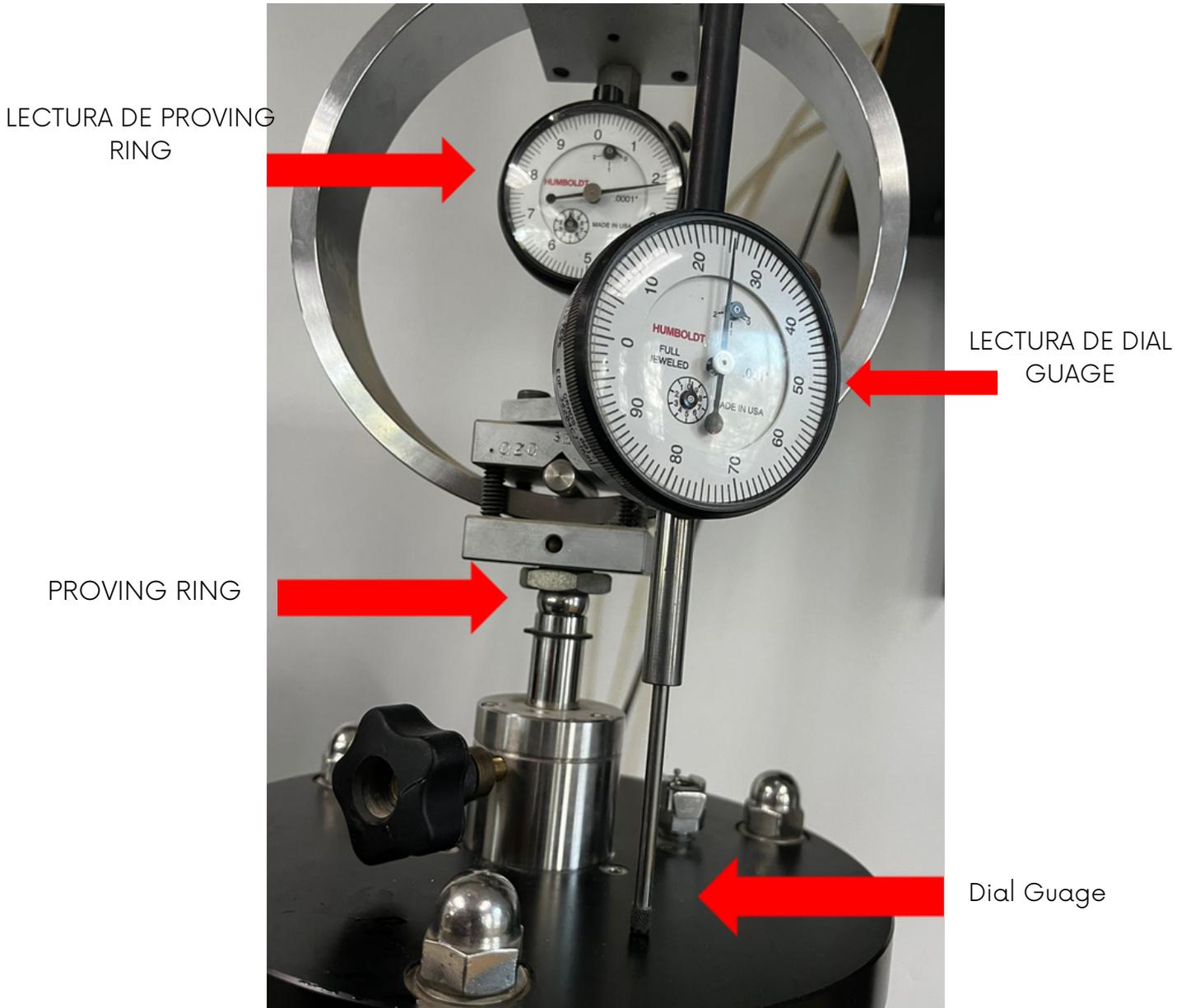
- Colocar la celda en el panel de carga.

## PASO 2 ACTIVAR PANEL DE CARGA



- Subir celda, hasta que llegue hacer un esfuerzo.
- Usar el boton de "Up" en el panel de carga para poder subir la celda.
- Usar el boton de "Up" para detener que siga subiendo.

## PASO 3 LECTURA DE PANEL



- Subir celda y tomar datos en el "proving ring" y en el "dial guage" cuando ya tengamos la ruptura del espécimen.

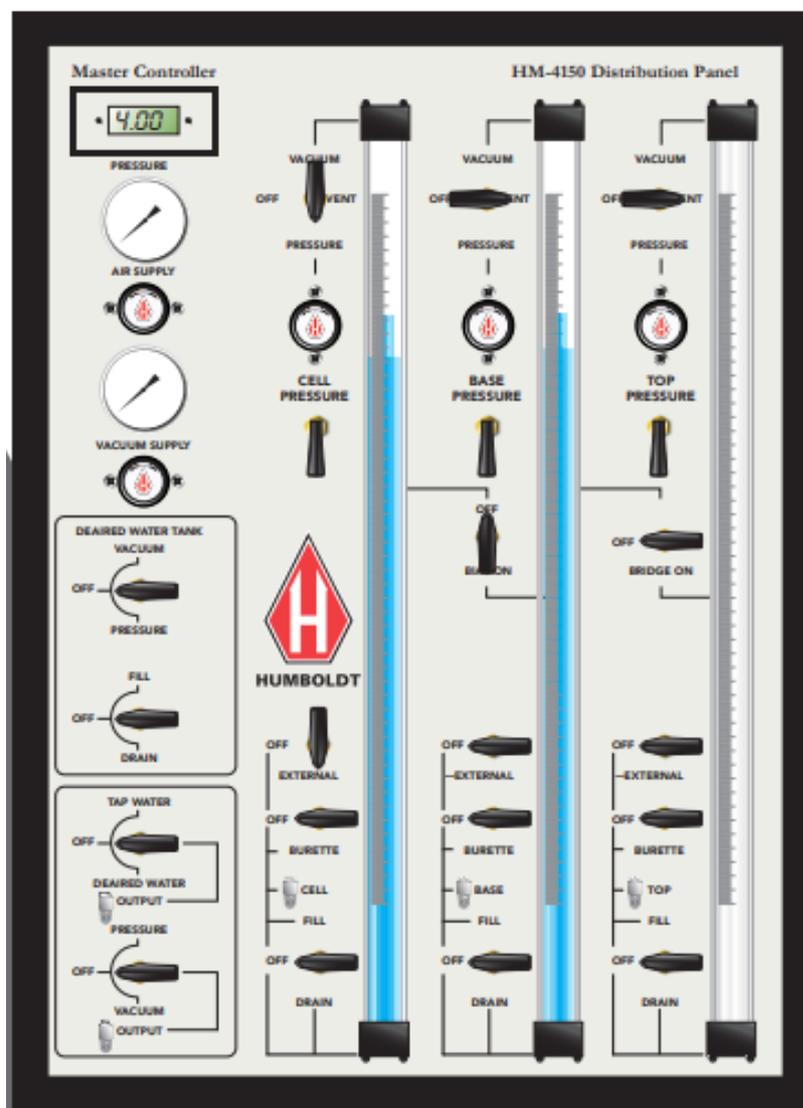
## PASO 4

- Proving Ring: también conocido como anillo de carga o celda de carga, es un dispositivo de medición utilizado para medir la fuerza o carga en una aplicación específica.

## PASO 5

- Dial Guage: comparador de carátula es un instrumento de medición que se utiliza para medir la desviación o la variación en la posición lineal de un objeto.

# PREPARACIÓN PERMEABILIDAD



## ÍNDICE

Lectura de buretas	95
Cerrar valvulas de celda	96
Buretas a celda	97

# PASO 1

Repetir pasos de:

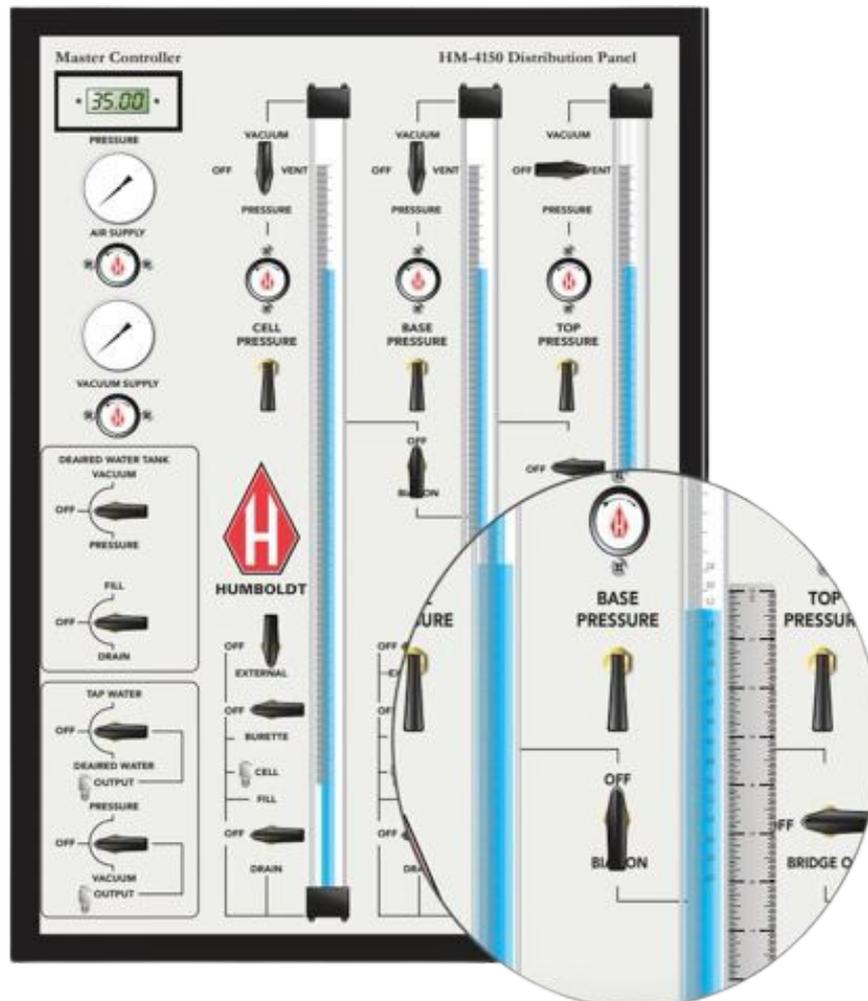
- Calibración.
- Colocación de membrana.
- Montado de especimen.
- Preparación de celda.
- Llenado de celda.
- Regular presión.

## PASO 2



- Una vez ya hecho los pasos anteriores debemos de tener nuestro panel de esta manera.

# PASO 3 LECTURA DE BURETAS



FUENTE: HUMBOLDT

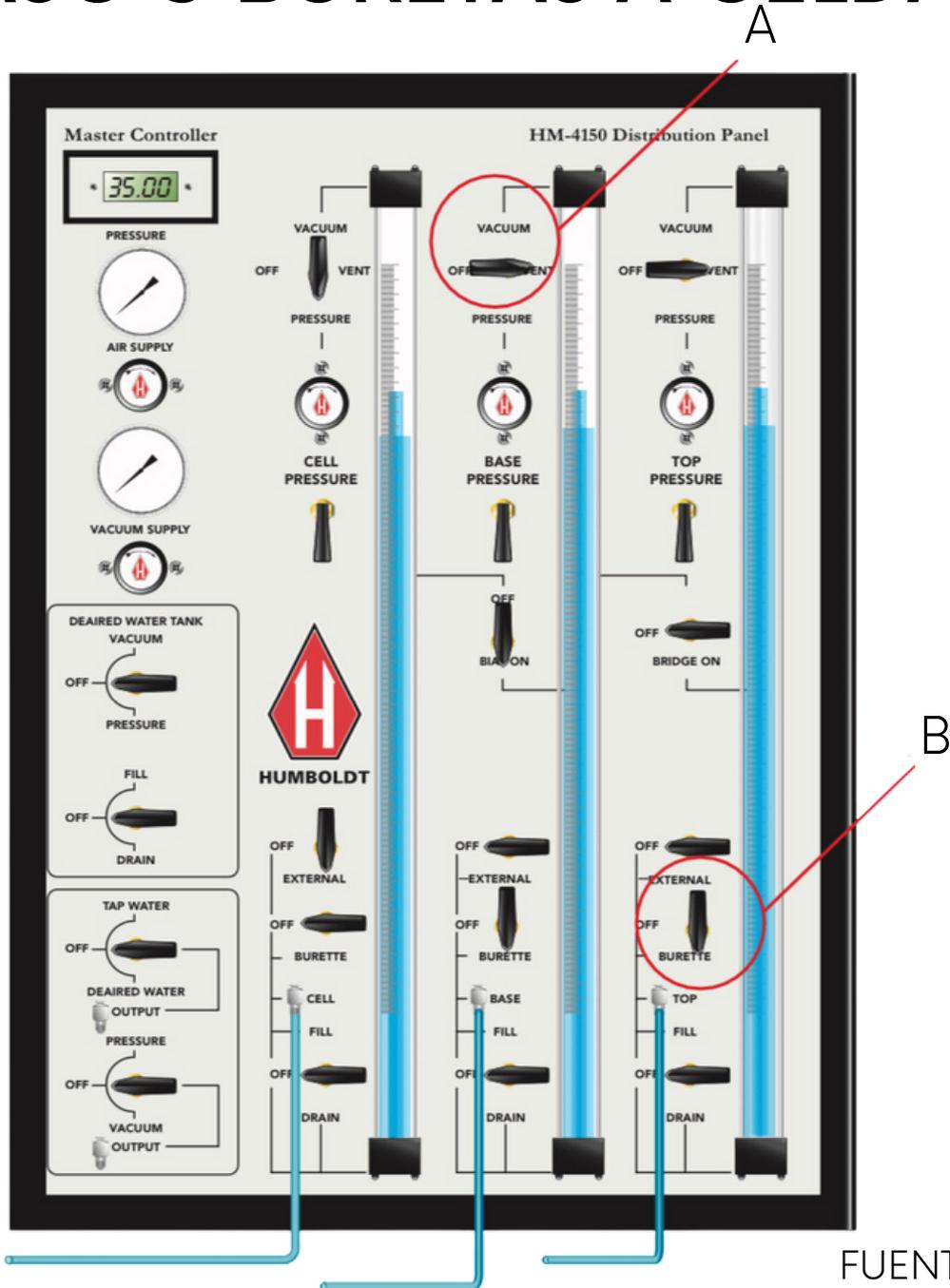
- Haga lectura de la bureta.
- Mida la longitud del volumen de la bureta, usando una regla. Ejemplo: 2.00 CC es igual a 4.00 pulgadas de longitud.
- Convertir la longitud a centímetros. Ejemplo:  $(4.00 \times 2.54) = 10.18 \text{ cm}$
- La area de la bureta es igual al volumen dividido en la longitud. Ejemplo:  $\text{Area} = 2/10.18 = 0.196 \text{ cm}^2$

# PASO 4 CERRAR VÁLVULAS DE CELDA



- Cierre todas las válvulas de la celda triaxial.

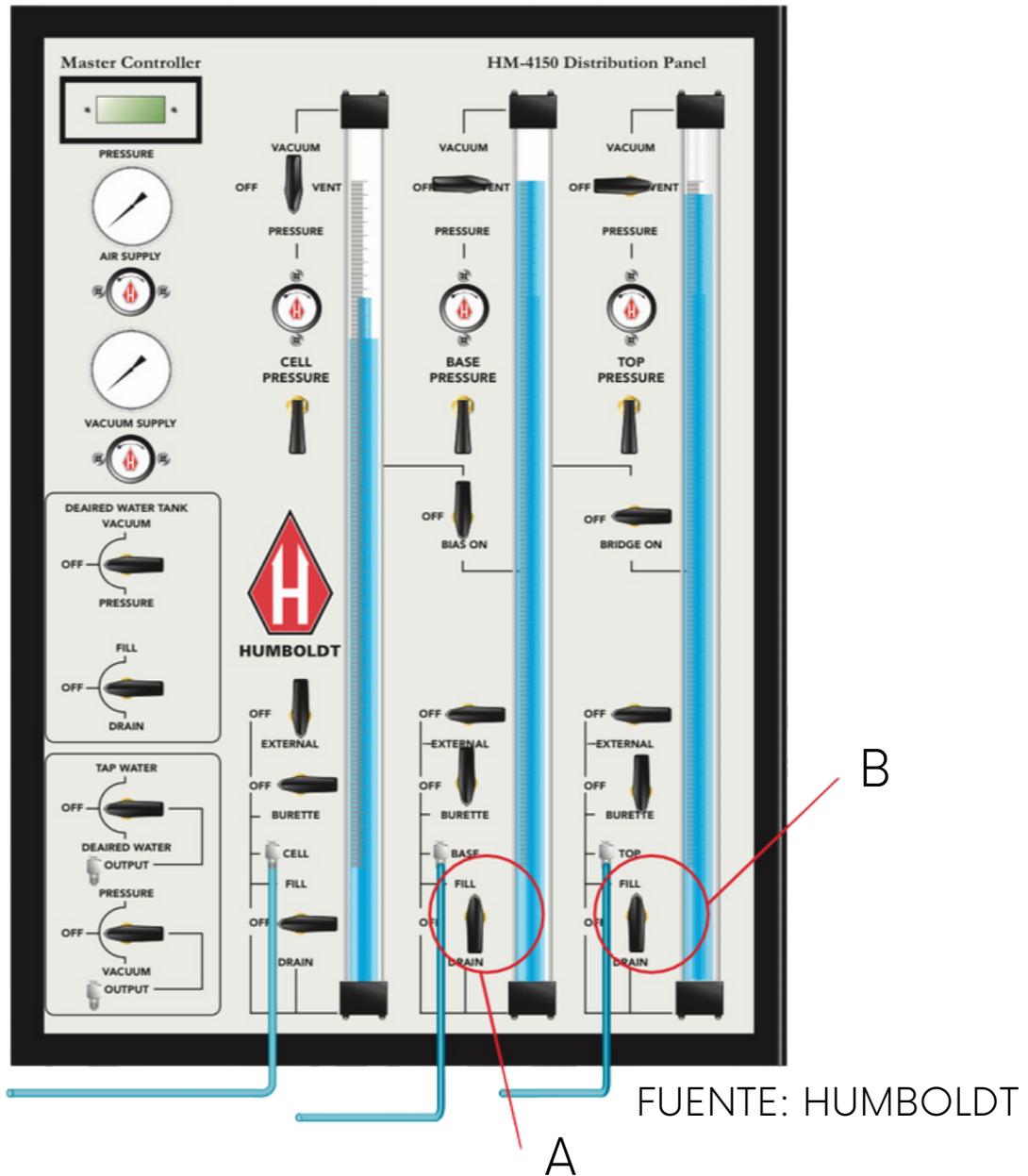
# PASO 5 BURETAS A CELDA



FUENTE: HUMBOLDT

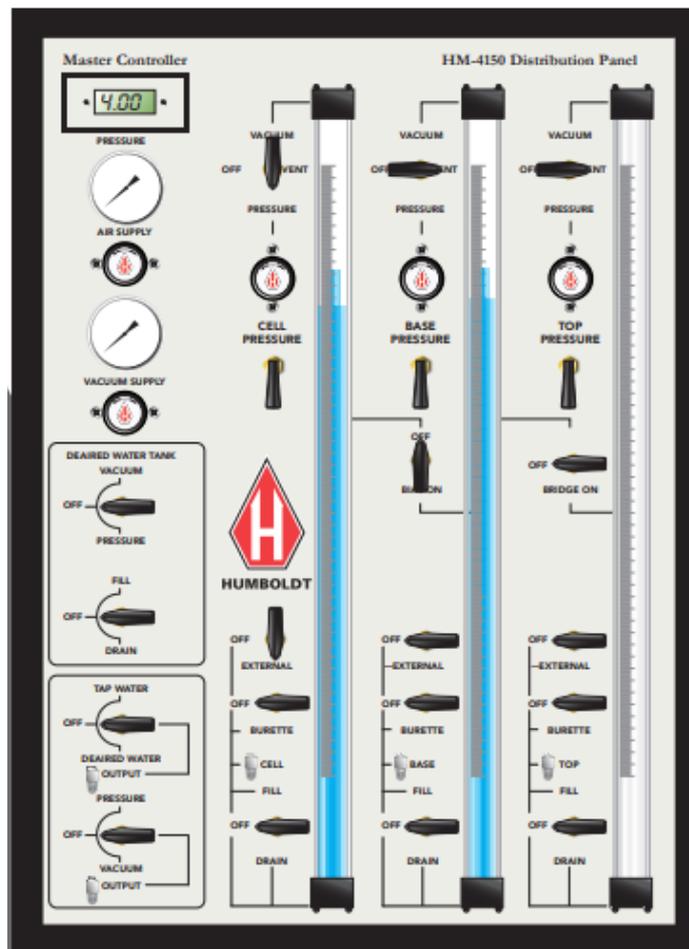
- A. Encienda la válvula de "Base Pressure" en la posición de "Vent".
- B. Encienda la válvula de "Burette" en "Base Pressure" y "Top Pressure".

# PASO 6 BURETAS A CELDA



- A. Encienda lentamente "Fill" de "Base Pressure" hasta dejar las buretas internas y externas en el nivel 0.00.
- B. Encienda lentamente "Fill" de "Top Pressure" hasta dejar las buretas internas y externas en el nivel 10.00.

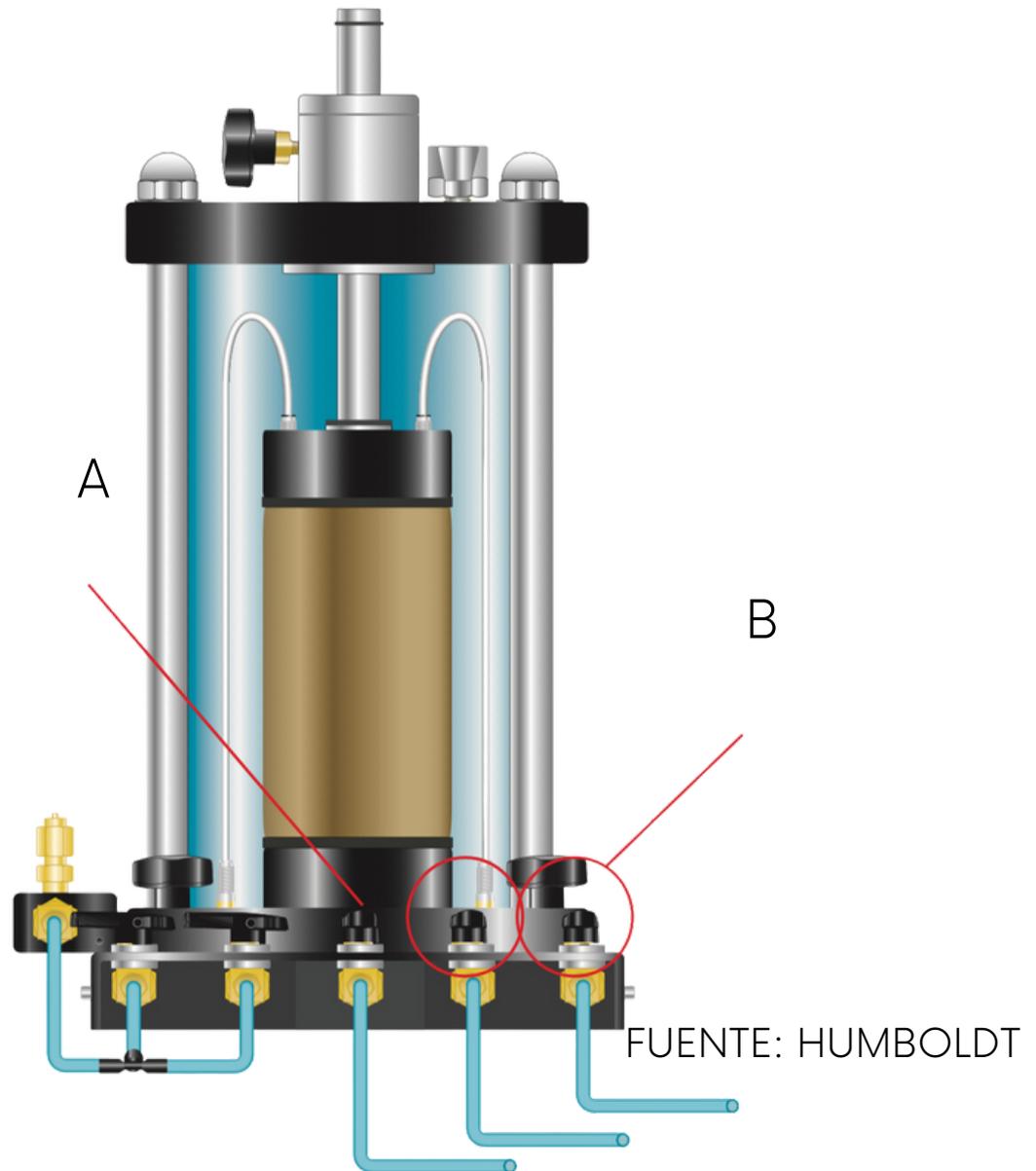
# PASO 7 BURETAS A CELDA



FUENTE: HUMBOLDT

- A. Gire la válvula de "Top Pressure" a "OFF".
- B. Gire la válvula de "Bridge On"
- C. Gire la válvula de "Base Pressure" a "Pressure".

## PASO 8 BURETAS A CELDA



- A. Abrir la válvula de "Cell" ubicada en el centro de la celda triaxial.
- B. Abrir las válvulas de "Top" y "Base" ubicadas en el lado derecho de la celda triaxial.

## PASO 9

- Permita que las buretas de "Top" y "Base" se establezcan aproximadamente entre 5-10 minutos, luego inicie un cronometro y tome lectura de ambas buretas.

## PASO 10

- La bureta de la "Base" debe de bajar y la bureta de "Top" debe de subir.

## PASO 11

- Cuando la bureta de la "Base" baje 0.3 CC, detenga el cronometro y tome lectura de las buretas.

## PASO 12

- Repita este paso 4 veces la relaciones de flujode entrada y de salida que deben de oscilar entre 0.75 y 1.25.

## PASO 13

$$\text{Permeability } K(\text{cm/sec.}) = \left( \left( a_{\text{in}} (\text{cm}^2) * a_{\text{out}} (\text{cm}^2) * L (\text{cm}) \right) / \left( (a_{\text{in}} + a_{\text{out}}) * \Delta A * \Delta t(\text{sec.}) \right) \right) \ln (\Delta h1 / \Delta h2)$$

## CONTINUACIÓN PASO 13

$K$  = conductividad hidraulica cm/s,

$\Delta Q$  = cantidad de flujo en el intervalo de tiempo  $\Delta t$ , tomado como el promedio de entrada y salida de flujo, cm<sup>3</sup>,

$L$  = longitud del especimen, cm,

$A$  = area del especimen, cm<sup>2</sup> ,

$t\Delta$  = intervalo del tiempo, "segundos", en el cual el flujo  $\Delta Q$  ocurre ( $t_2 - t_1$ ),

$t_1$  = tiempo cuando el ensayo de permeabilidad inicia, dia: hr:min:seg,

$t_2$  = tiempo cuando el ensayo de permeabilidad inicia, dia: hr:min:seg,

$\Delta h$  = pérdida de carga promedio a través del permeámetro/especimen ( $(\Delta h_1 + \Delta h_2)/2$ ), cm de agua,

$\Delta h_1$  = pérdida de carga promedio a través del permeámetro/especimen en  $t_1$ , cm de agua,

$\Delta h_2$  = pérdida de carga promedio a través del permeámetro/especimen en  $t_2$ , cm de agua,

$a_{in}$  = área de la sección transversal del depósito que contiene el líquido entrante, cm<sup>2</sup> ,

$a_{out}$  = área de la sección transversal del depósito que contiene el líquido de salida, cm<sup>2</sup>.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En conclusión, el análisis de consolidación triaxial y permeabilidad en arcillas con el equipo triaxial Humboldt en UNITEC San Pedro Sula en 2023 es una técnica fundamental en el estudio de la mecánica de suelos y la geotecnia. A través de la realización de pruebas y el análisis de resultados, se pueden obtener datos precisos y confiables acerca del comportamiento de las arcillas ante diferentes cargas y condiciones de permeabilidad.

Es importante tener en cuenta que el uso adecuado de este equipo requiere conocimientos previos en geotecnia y mecánica de suelos, así como la aplicación de medidas de seguridad y precauciones adecuadas durante la realización de las pruebas.

En este sentido, esta guía proporciona una herramienta útil y completa para aquellos que deseen realizar análisis de consolidación triaxial y permeabilidad en arcillas con el equipo triaxial Humboldt en UNITEC San Pedro Sula en 2023. Sin embargo, es importante destacar que esta guía no sustituye la capacitación y experiencia necesarias para realizar estas pruebas de manera adecuada y segura.

Por lo tanto, se recomienda que las pruebas sean realizadas por personal capacitado y experimentado en la materia, con el fin de garantizar la precisión y fiabilidad de los resultados obtenidos.

© COPYRIGHT 2023  
JULIO DAVID FUENTEZ RAMIREZ  
RANDOLFO ELÍAS PERDOMO PACHECO



### 5.3 CORRELACIONES DE DATOS A PARTIR DE LOS ENSAYOS

A lo largo de los años, se ha hecho todo lo posible para realizar investigaciones que establezcan la correlación entre el índice de compresión y las propiedades del índice de los suelos cohesivos, con el objetivo de simplificar el proceso de determinación de la tensión de compresión.

#### 5.3.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE

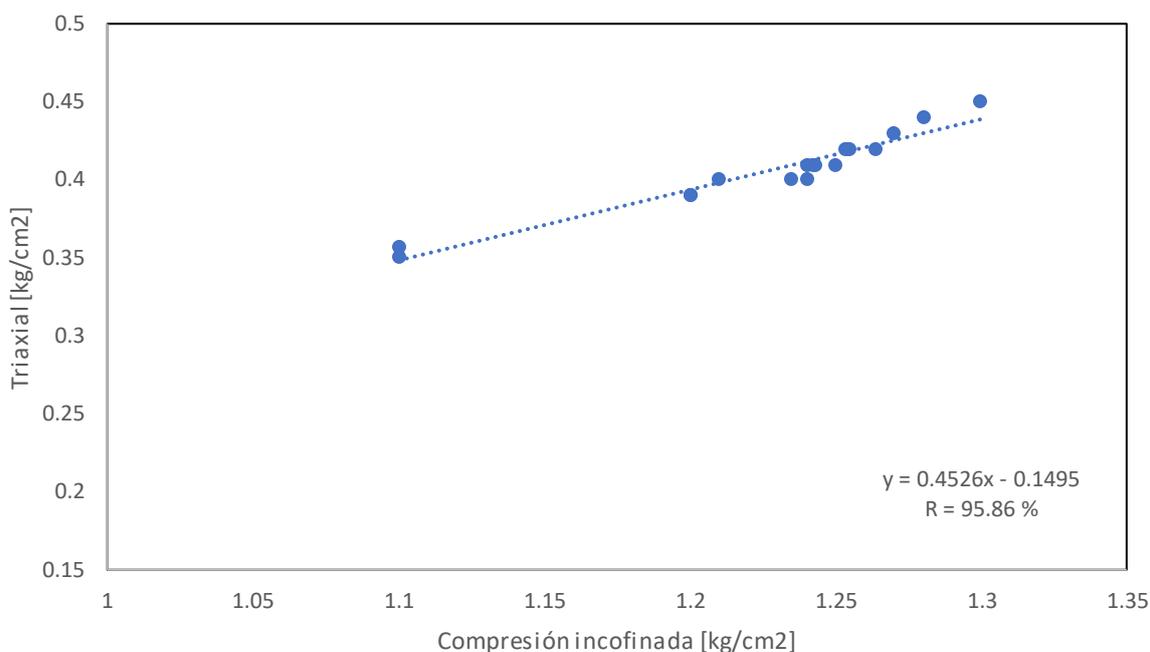
Para correlacionar con el índice de compactación de arcilla del norte de Honduras, se recopilaron todos los experimentos de compresión de diferentes partes del área de estudio, además se realizaron experimentos con valores similares, se incluyeron las respuestas de los atributos del índice y la base de datos que contenía los ensayos realizados en este estudio estuvo disponible para análisis de índice extendido.

Para el presente trabajo se escogieron las siguientes propiedades:

1. Límite líquido: porque es una propiedad que depende del tipo de suelo, tamaño y superficie de sus partículas y está influenciada por las propiedades de la fase sólida del suelo, lo que determina la absorción de agua intersticial en la estructura del suelo.
2. Índice de plasticidad: indica la magnitud del intervalo de agua sobre el cual el suelo es plástico. La plasticidad del suelo depende del contenido de partículas finas laminares; porque tienen una gran influencia en la compactación del suelo y el pequeño tamaño de estas partículas hace que la permeabilidad sea muy baja.
3. Contenido de agua: fue elegido por la cantidad de valor disponible y la certeza de obtenerlo.
4. Relación de vacíos: en el pasado, se ha puesto énfasis en la relación del índice de compresión con la relación de vacíos, ya que el índice de compresión se infiere de la curva de compresión y representa la disminución de la porosidad debido al movimiento del agua o del aire debido al aumento de la tensión del suelo.
5. Límite de contracción lineal: la selección de compresión lineal limitada se incluyó en el estudio porque era una prueba relativamente simple, además de una propiedad que no se ha utilizado en estudios previos de arcillas del área norte de San Francisco, Pedro Sula.

### 5.3.2 CORRELACIÓN DE DATOS EN FUNCIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS ENSAYOS

De acuerdo con los ensayos de laboratorio que se realizaron a lo largo del periodo académico se registró una base de datos en base a los parámetros definidos por Ayala et al (2012) en su investigación, con dichos datos de las propiedades del compuesto, en este caso la arcilla de la zona norte, se mostrará una relación lineal el cual va en función de la compresión de esta.



**Ilustración 24 - Correlación de datos**

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los ensayos realizados, en la gráfica de correlación consolidación triaxial de esfuerzo cortante, la tendencia que muestra es confiable con una tendencia de datos lineal y logarítmica como corresponde.

La correlación que presenta la cohesión triaxial tiene un grado de aceptación de un 95.86 % aproximadamente, en función de cada uno de los ensayos realizados, dichos parámetros serán analizados a continuación, para más detalle.

A continuación, se muestra a detalle cada uno de los factores evaluados dentro de la investigación, se denota la tendencia que muestran los resultados de límite líquido, índice de plasticidad, y el contenido de humedad, as su vez se presenta la correlación que dichos parámetros representan en comparación de ángulo de fricción triaxial, en cuanto a la

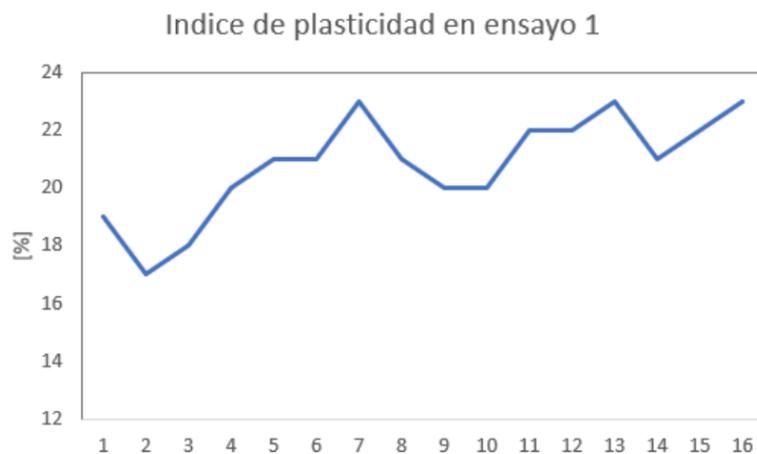
permeabilidad no se presenta en el análisis de esta sección debido a que no se encontró una correlación en comparación a ángulo de fricción triaxial, o la cohesión triaxial.

### 5.3.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS

En esta sección del documento se presentará cada uno de los resultados obtenidos en cuanto a las variables de investigación que se denotaron previamente en el documento.

#### 5.3.3.1 ÍNDICE DE PLASTICIDAD

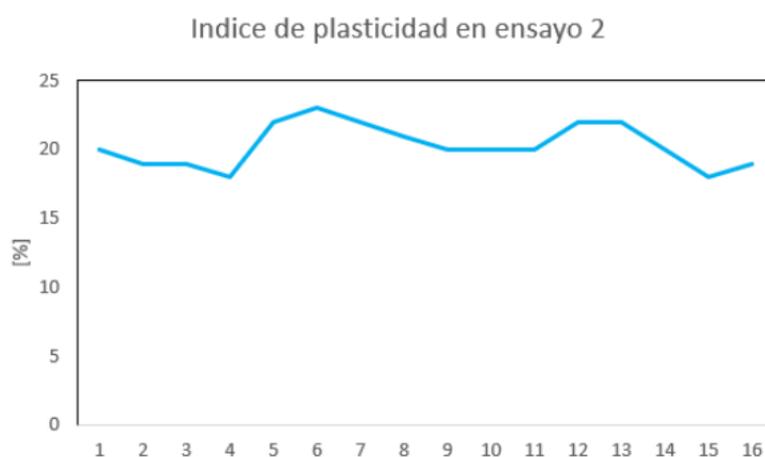
Los índices de plasticidad obtenidos en el ensayo 1 que se realizó en el actual periodo académico se lograron extraer valores en un rango de 19 a 22 por ciento



**Ilustración 25 - Índice de plasticidad en ensayo 1**

Fuente: Elaboración propia

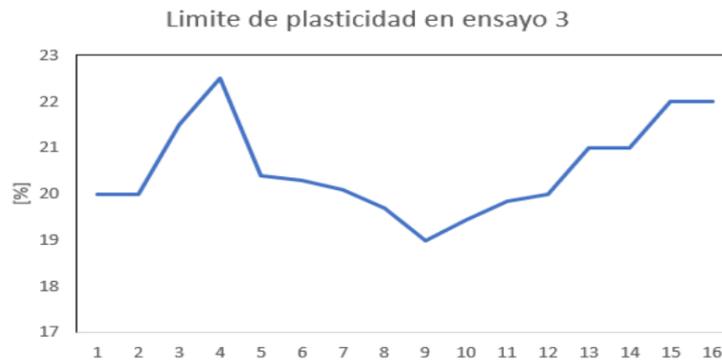
Así como en el ensayo 1, los rangos de los índices de plasticidad en el ensayo 2 se mantienen, los datos únicamente presentan una fluctuación de un 27 %



### Ilustración 26 - Índice de plasticidad en ensayo 2

Fuente: Elaboración propia

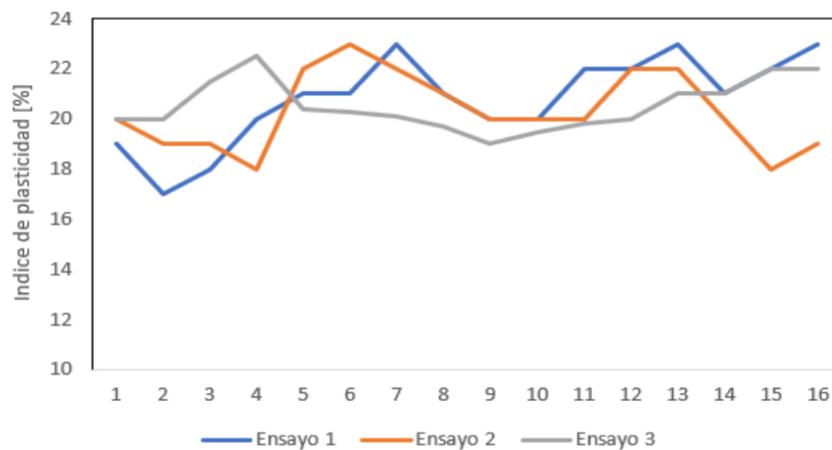
En el ensayo número tres, se obtuvieron valores aproximados a los resultados de los dos ensayos anteriores, tal y como se muestra en la ilustración 27.



### Ilustración 27 - Índice de plasticidad en ensayo 3

Fuente: Elaboración propia

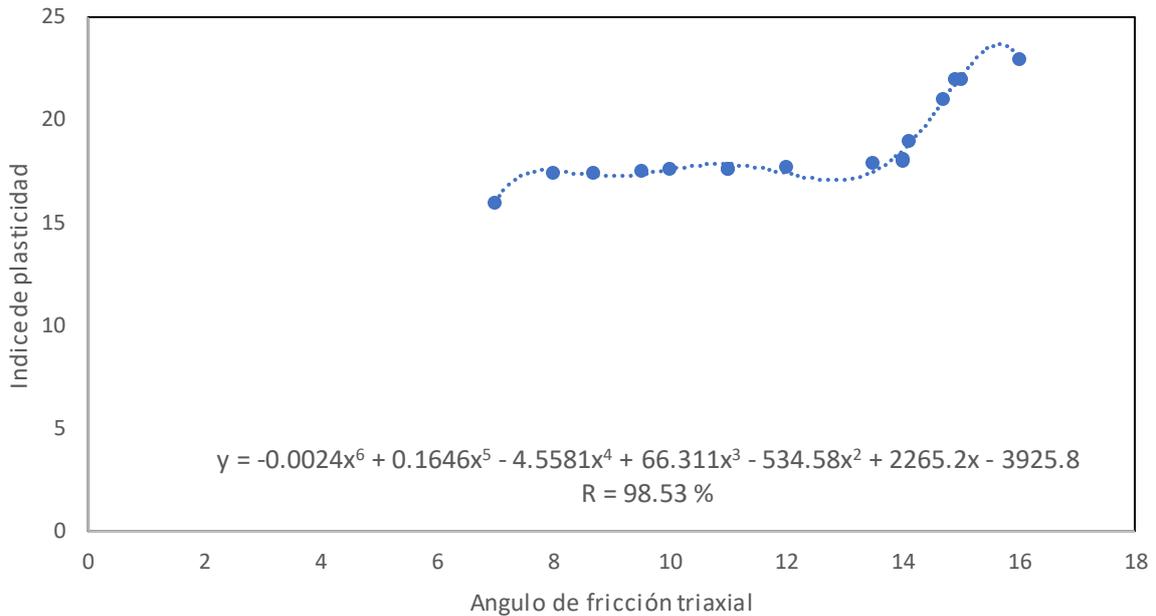
Realizando una comparación de los índices de plasticidad para cada uno de los ensayos se denota que la media de los valores es de 20 % en cuantos a los resultados obtenidos, los resultados entre ensayos solo varían aproximadamente un 20% de la muestra que se tomó.



### Ilustración 28 - Comparación de índice de plasticidad en ensayos

Fuente: Elaboración propia

Correlación de índice de plasticidad Ensayo 1

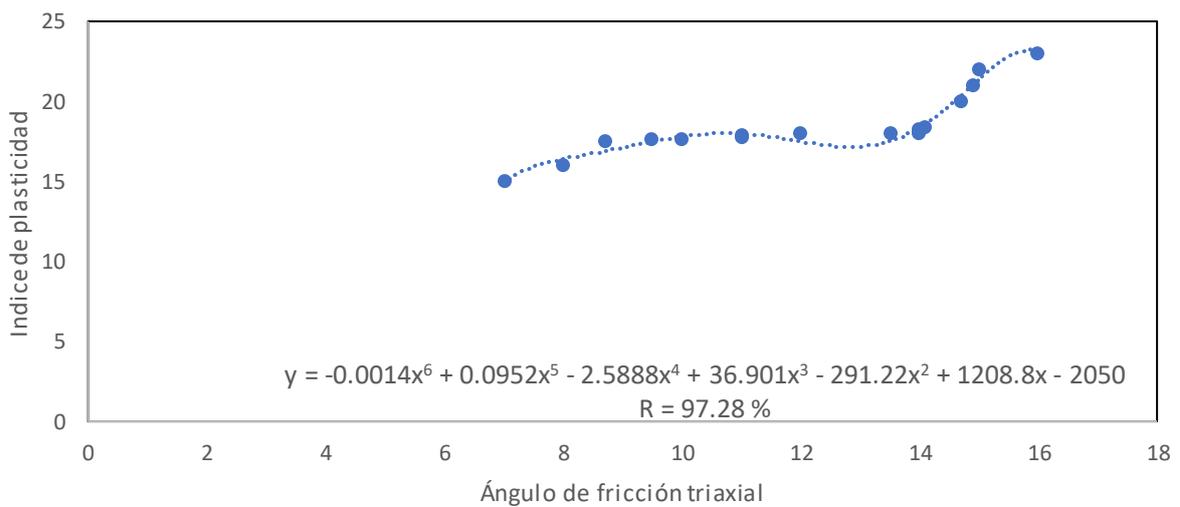


**Ilustración 29 – Correlación de datos de plasticidad con respecto a ángulo de fricción ensayo 1**

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al índice de plasticidad en función de ángulo de fricción triaxial, se obtiene un grado de confiabilidad de aproximadamente 98.53 %.

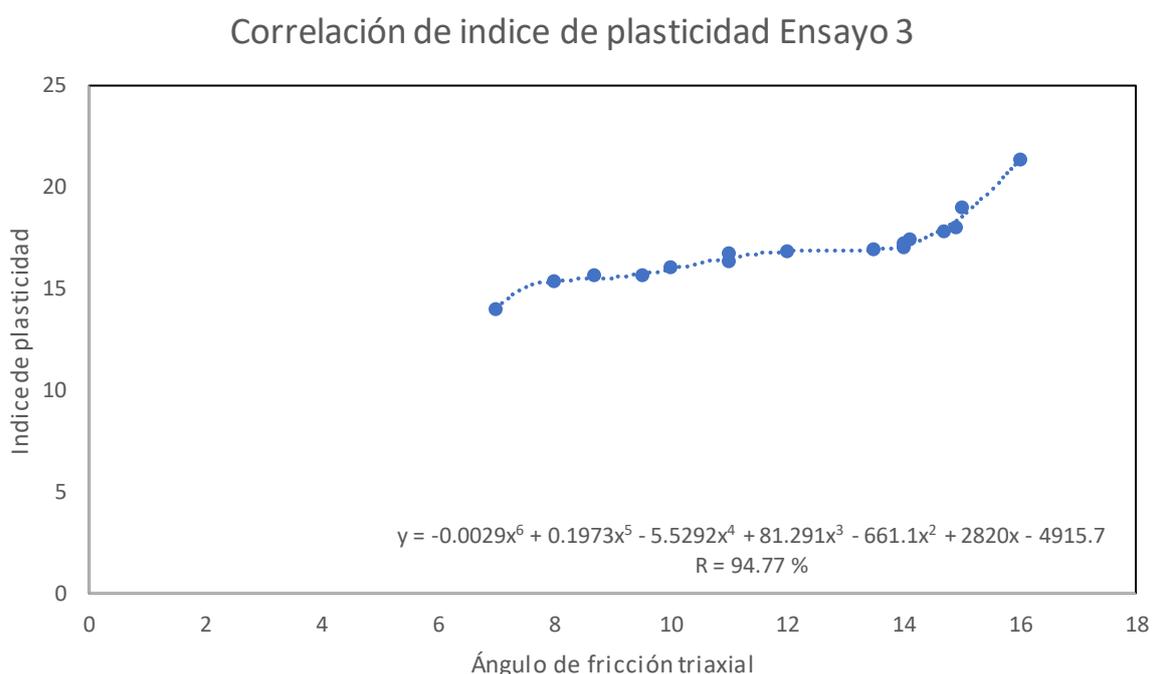
Correlación de índice de plasticidad Ensayo 2



**Ilustración 30 – Correlación de datos de plasticidad con respecto a ángulo de fricción ensayo 2**

Fuente: Elaboración propia

La ilustración 30, muestra la correlación de datos que se obtuvo a partir del índice de plasticidad con respecto al ángulo de fricción triaxial en el ensayo, en base a la tendencia que muestran los resultados en el gráfico de dispersión, denota que el grado de aceptación obtenido en los resultados es de un 97.28 %, a diferencia de la correlación de los datos en el ensayo 3, que el grado de aceptación es de 94.77 %, aproximadamente 2 % menos que en el ensayo previo. (ver ilustración 31)

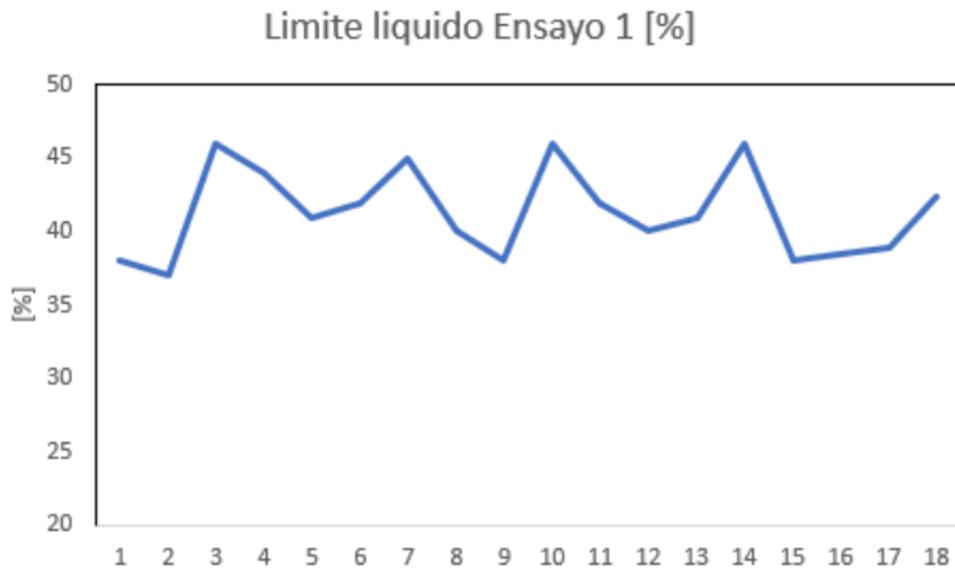


**Ilustración 31 – Correlación de datos de plasticidad con respecto a ángulo de fricción ensayo 3**

Fuente: Elaboración propia

**5.3.3.2 LIMITE LIQUIDO EN LOS ENSAYOS**

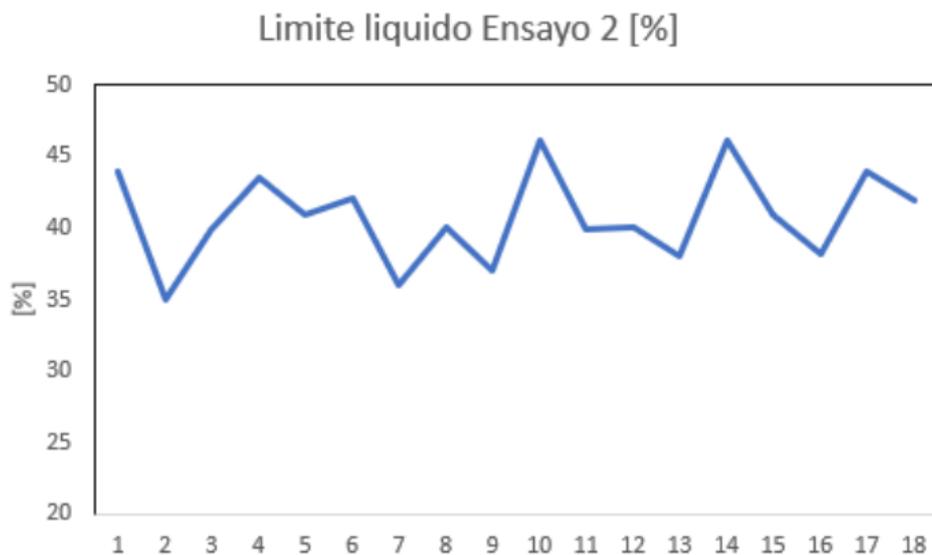
Dentro de los parámetros el cual se analizó en cada uno de los ensayos realizados, se presenta el límite líquido de cada una de las muestras, las gráficas presentan la tendencia que presenta cada uno de los ensayos en cuanto al porcentaje de líquido que se presenta este al realizarse los ensayos, la ilustración 32, muestra la tendencia que presente el ensayo 1 en cuanto al límite líquido, mostrando un rango de 35 % – 45 % aproximadamente.



**Ilustración 32 – Límite liquido en ensayo 1**

Fuente: Elaboración propia

La ilustración 33, presenta los resultados obtenidos en el ensayo dos, en este los valores presentan una fluctuación de un 22 %, manteniendo la misma secuencia que se presenta en los demás parámetros evaluados.

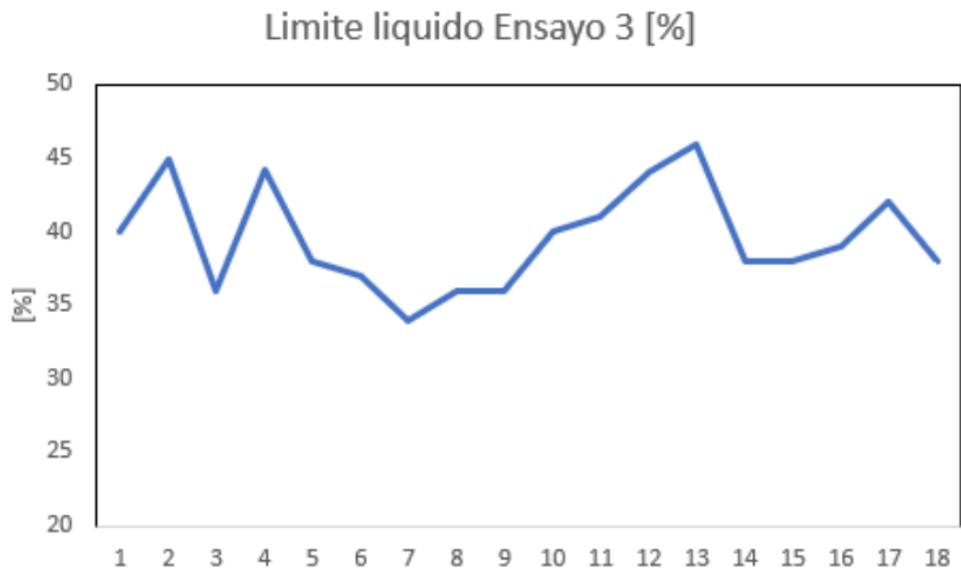


**Ilustración 33 – Límite liquido en ensayo 2**

Fuente: Elaboración propia

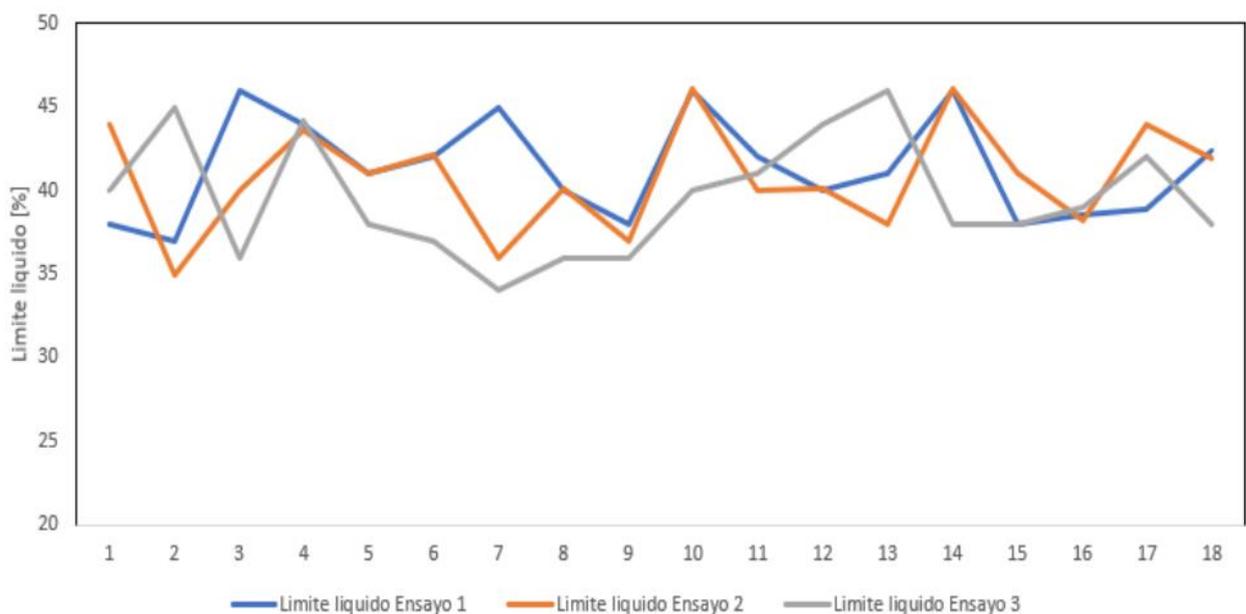
En el ensayo tres, se logró obtener más valores mayores, como ser un límite liquido de 45 %, luego se mantiene la misma tendencia que los demás ensayos. (ver ilustración 34)

La ilustración 35, muestra la tendencia que presentaron los datos en todos los ensayos, cada una de las muestras presentaron la misma tendencia en cuanto a los porcentajes de límite líquido, el cual rondaron entre el 35 – 45 %.



**Ilustración 34 – Límite líquido en ensayo 3**

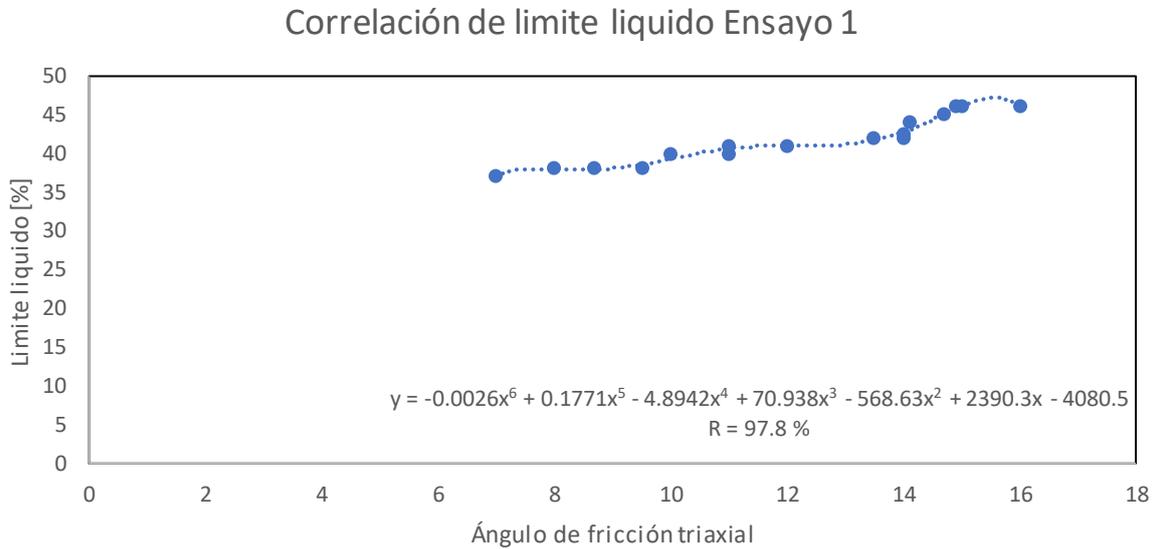
Fuente: Elaboración propia



**Ilustración 35 – Comparación de límite líquido en ensayos**

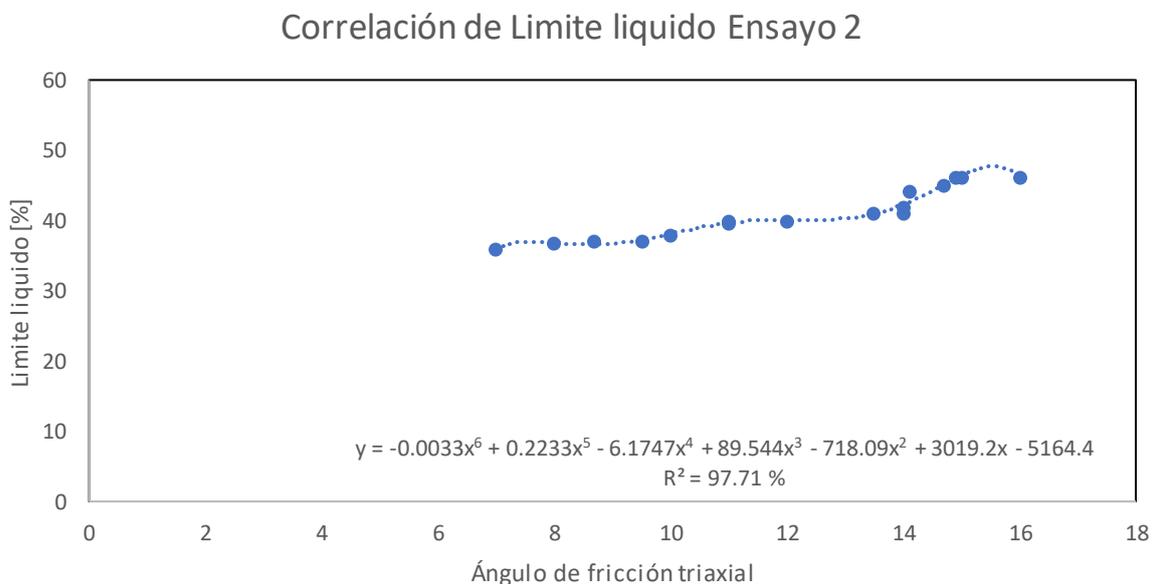
Fuente: Elaboración propia

La ilustración 36, muestra la correlación que presenta el límite líquido en con respecto al ángulo de fricción triaxial, el cual presenta un grado de confiabilidad de un 97.8 % aproximadamente en el ensayo 1, de acuerdo con los datos obtenidos en el primer ensayo.



**Ilustración 36 – Correlación entre límite líquido y el ángulo de fricción triaxial en ensayo 1**

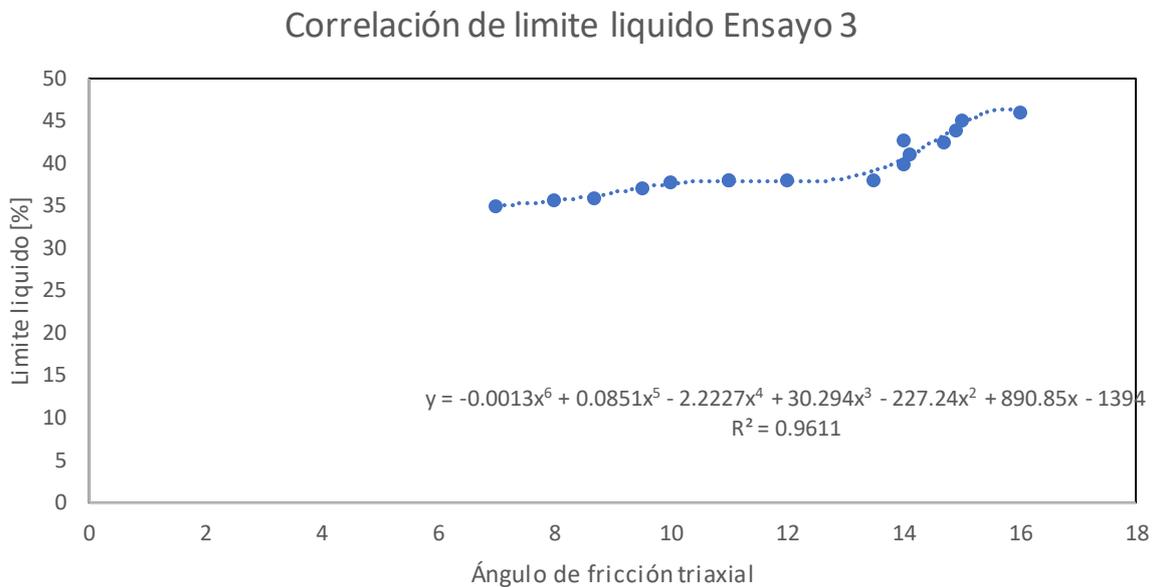
Fuente: Elaboración propia



**Ilustración 37 – Correlación entre límite líquido y el ángulo de fricción triaxial en ensayo 2**

Fuente: Elaboración propia

La ilustración 37, muestra la correlación que presentaron los datos en el ensayo en cuanto a la tendencia de datos que se presentaron en el ensayo 2, el grado de aceptación obtenido fue de 97.71 %, mostrando una diferencia de un 1.6 %, con respecto a la correlación obtenida en la correlación del ensayo 3 tal y como se aprecia en la ilustración 38.

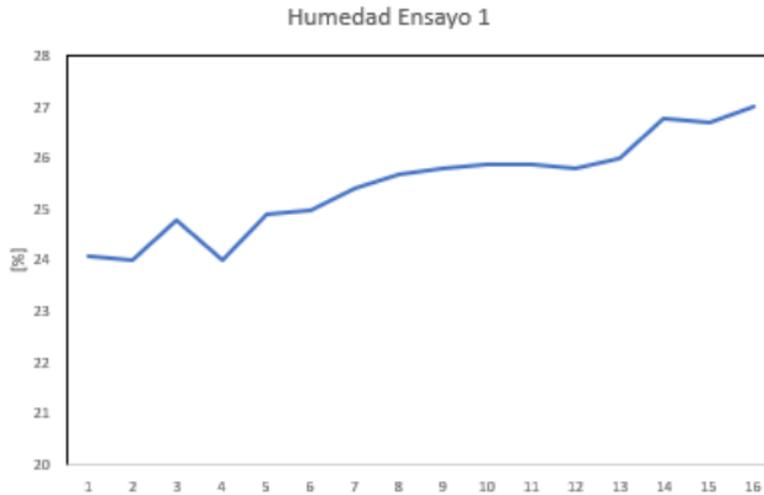


**Ilustración 38 – Correlación entre límite líquido y el ángulo de fricción triaxial en ensayo 3**

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.3.3 CONTENIDO DE HUMEDAD

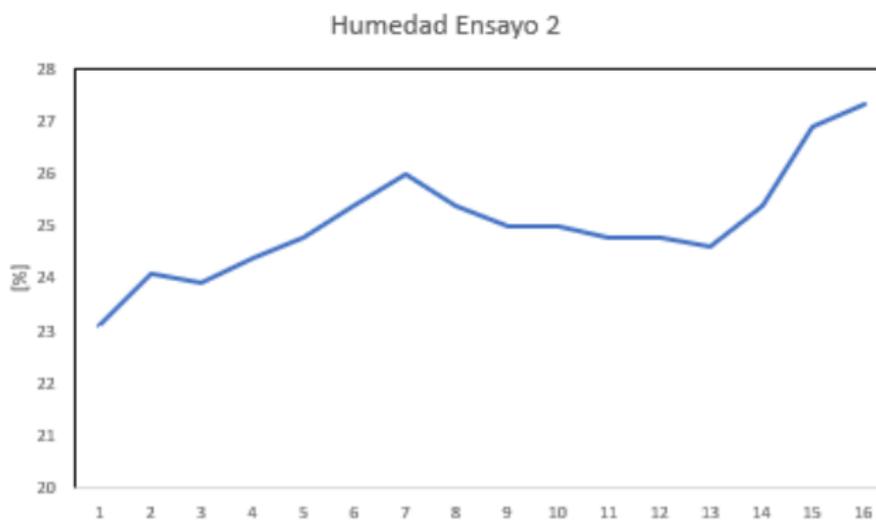
La ilustración 39, muestra el contenido de humedad que presentaron las muestras en el ensayo 1 que se realizó en el actual periodo académico, en dicho ensayo los valores que se extrajeron oscilaron entre 24 a 27 por ciento de humedad.



**Ilustración 39 – Contenido de agua en ensayo 1**

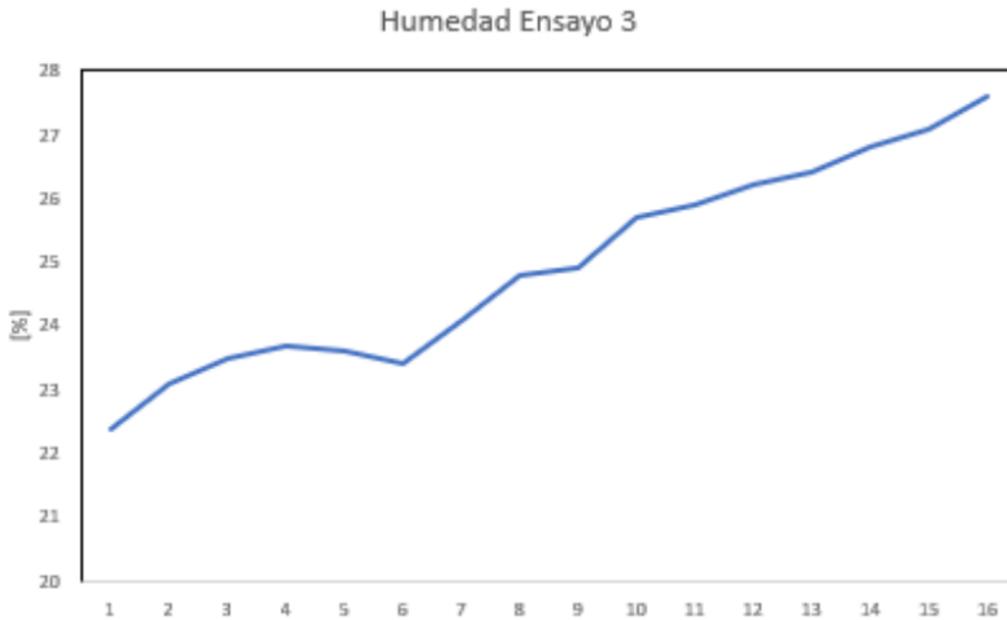
Fuente: Elaboración propia

Lo cantidad de agua o humedad en ensayo 2 presento un variación de datos de aproximadamente 24 %, manteniendo un rango de un 23 a un 27 % de humedad en las muestras.



**Ilustración 40 – Contenido de agua en ensayo 2**

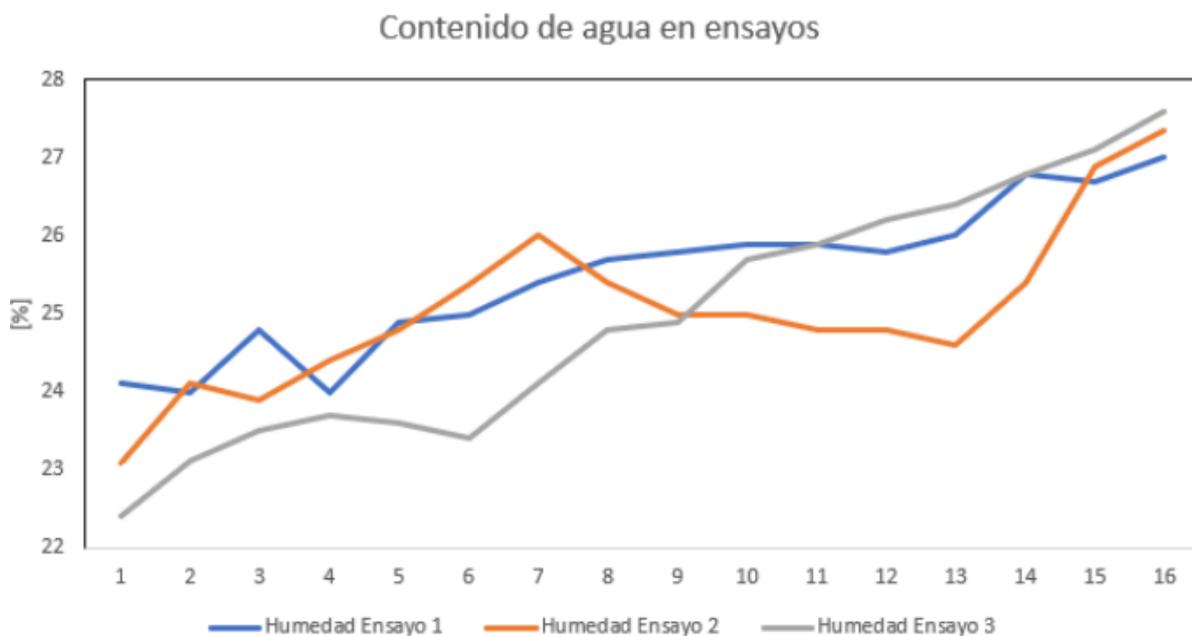
Fuente: Elaboración propia



**Ilustración 41 – Contenido de agua en ensayo 3**

Fuente: Elaboración propia

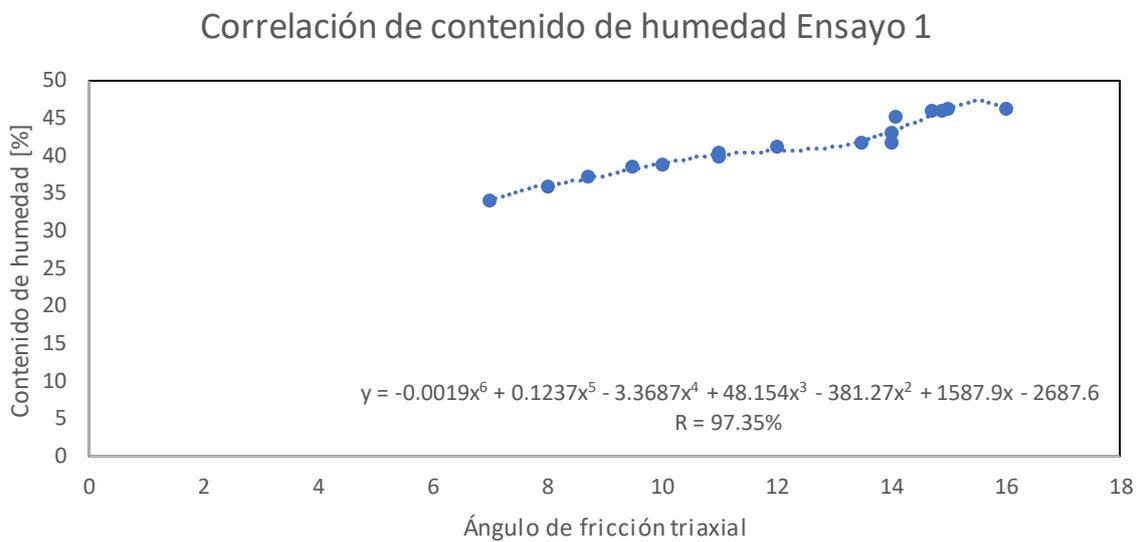
La ilustración 42, compara el comportamiento que presenta cada uno de los ensayos en cuanto a la cantidad de agua o humedad que concentraron las muestras en sus resultados.



**Ilustración 42 – Comparación de contenidos de agua en los ensayos**

Fuente: Elaboración propia

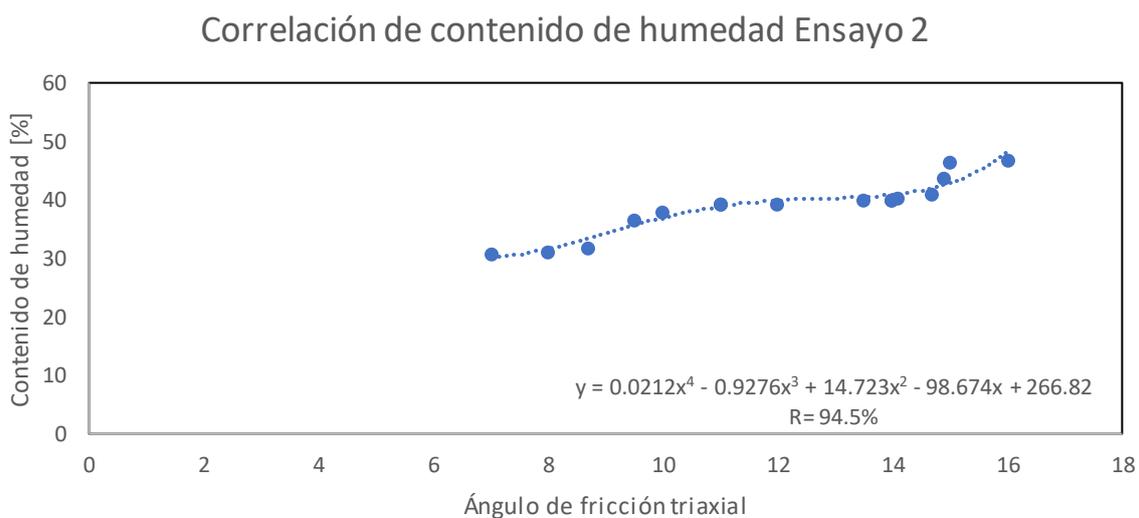
Para el contenido de humedad que presento cada una de las muestras en función del ángulo de fricción, el grado de aceptación es de aproximadamente un 97.35 % en el ensayo 1.



**Ilustración 43 – Correlación entre humedad y el ángulo de fricción triaxial en ensayo 1**

Fuente: Elaboración propia

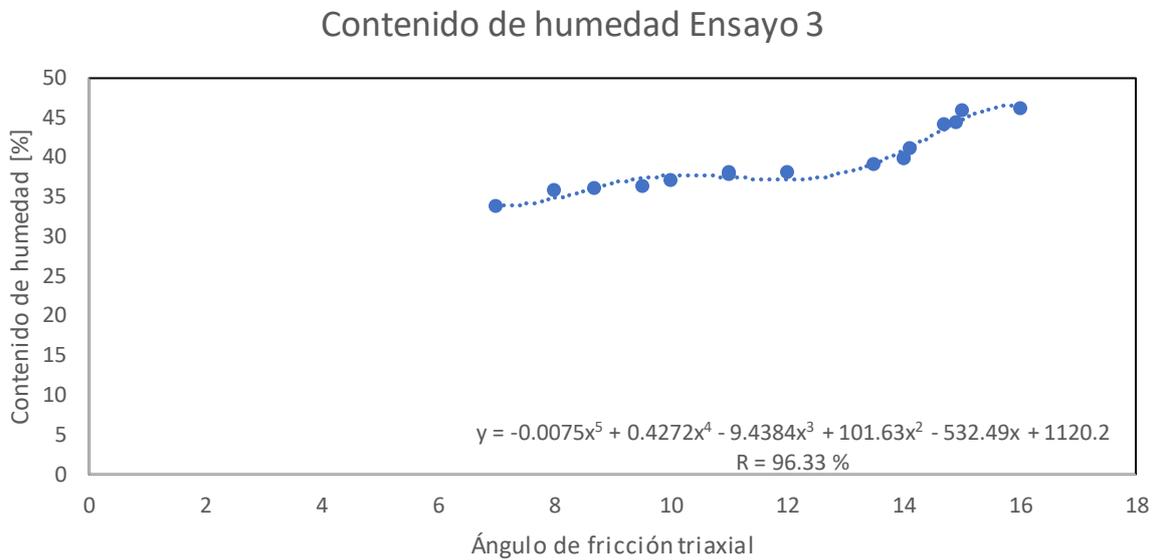
El ensayo 2, en los resultados obtenidos muestran un grado de aceptación de aproximadamente 94.5 %, la tendencia de los datos como se explicó previamente en cuanto a la humedad de las muestras que se presentan son de alrededor



**Ilustración 44 – Correlación entre humedad y el ángulo de fricción triaxial en ensayo 2**

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 45, se presenta gráficamente la tendencia que presentan los datos en la correlación que se efectuó en el ensayo 3, el cual se obtuvo un grado de aceptación de aproximadamente 96.33 %, a diferencia del ensayo 2 que índice de aceptación es 1.8 % menor.



**Ilustración 45 – Correlación entre humedad y el ángulo de fricción triaxial en ensayo 3**

Fuente: Elaboración propia

## VI. CONCLUSIONES

Algunas conclusiones que se pueden extraer de esta guía son las siguientes:

- 1) Se elaboro una guía de uso del equipo triaxial Humboldt que contiene 107 páginas contiene 12 capítulos en donde podemos ver temas de calibración de equipos montado de espécimen llenado de celda ente otros. Este objetivo se pudo cumplir a partir del desarrollo del manual de usuario triaxial. Que incluso consiguió ampliar las perspectivas de uso del laboratorio para este equipo, logrando así desarrollar, al final de este trabajo de grado. Un guía capaz de ser utilizado por cualquier persona que desee emplear el equipo con el conocimiento de manejo total correctamente. En la guía que se encuentra anexado en este documento es detallado y completo y fue realizado siguiendo la norma ASTM D 4767. De tal manera pudiendo validar los datos obtenidos con veracidad mediante el equipo triaxial Humboldt. Con el manual la persona que desee realizar el ensayo lo lograra ya que cuenta con el paso a paso de cada una de las etapas a realizarse. En la guía se cuenta con los ensayos de permeabilidad, consolidación y presión de poros, utilizando el equipo Humboldt explicando como deberá realizarse cada ensayo. La guía permitirá al lector sentirse relacionado con el tema al ser explicita por cada paso, para la elaboración correcta del ensayo. La guía le permitirá utilizar el equipo como debe de ser, sabiendo manipularlo para obtener su mayor rendimiento y que así pueda realizar las pruebas de la forma idónea, y con cada uno de los resultados a obtener en los ensayos triaxiales que se detallan en la guía se llevan a cabo en un solo tipo de suelo, el cual es la arcilla de la zona norte del país hondureño a una profundidad aproximadamente de 10 a 12 metros con una resistencia en la arcilla 0.9 a 1.6 kg/cm<sup>2</sup>, estos ensayos como tal corresponden a la cohesión y el ángulo de fricción que se efectuaron, el cual se obtienen de la envolvente de la falla del círculo de Mohr.
- 2) En conclusión, la guía para el análisis de la consolidación triaxial y la permeabilidad de la arcilla utilizando el equipo triaxial de Humboldt tiene una comprensión integral de la mecánica del suelo, las pruebas triaxiales y los principios de la permeabilidad de la arcilla, así como un conocimiento práctico de cómo operar e interpretar los resultados de las pruebas del equipamiento. El equipo triaxial de Humboldt es un aparato de prueba ampliamente utilizado que aplica tensiones axiales y laterales controladas a una muestra de suelo para determinar su resistencia, características de deformación y permeabilidad.

- 3) Se identificaron los criterios a considerar para el proceso de consolidación triaxial con el equipo de Humboldt que fue fundamental para obtener los resultados de las pruebas precisos y confiables. Los criterios que se tomaron en cuenta incluyen la selección de la muestra de suelo, los parámetros de prueba y la interpretación de los resultados de la prueba. La selección de la muestra de suelo es un criterio esencial que debe ser considerado. La muestra de suelo debe ser representativa del suelo que se está analizando y el tamaño de la muestra debe ser apropiado para el equipo, haciendo uso del tamaño correcto mostrado en la guía del espécimen. Los parámetros de prueba también son criterios críticos que se tomaron en cuenta. Los parámetros incluyeron la presión de confinamiento, la carga axial y la tasa de carga. Los parámetros de prueba afectarán el comportamiento del suelo durante la prueba y, por lo tanto, pueden afectar significativamente los resultados de la prueba.
- 4) La recopilación de las normas ASTM que deben tenerse en cuenta al aplicar la consolidación triaxial y el análisis de permeabilidad con equipos triaxiales de Humboldt es esencial para garantizar que el proceso de prueba se lleve a cabo de manera precisa y confiable. La norma de ASTM d4767-20 proporciona una metodología uniforme para realizar pruebas e interpretar los resultados de las pruebas. Los estándares de ASTM cubren varios aspectos del proceso de prueba, incluida la preparación de la muestra, la calibración del equipo, los parámetros de prueba y la interpretación de los resultados de la prueba. Al seguir los estándares de ASTM, pudimos garantizar que las pruebas se realizaron de manera consistente y que los resultados son confiables y representativos del suelo que se está analizando. Los estándares brindaron una base para la comparación entre los diferentes resultados de las pruebas.
- 5) En base al grado de aceptación que presenta cada uno de los análisis en los gráficos de dispersión, se concluye que los ensayos realizados en laboratorio contribuyen a una mejor perspectiva para proyectar cohesiones el cual se adquiere a partir de los ensayos triaxiales, el índice de aceptación que presenta los ensayos es mayor al 90 % en cuanto a la correlación que se había propuesto en el alcance de la investigación de corte directo, en función de los valores de los ensayos de corte directo y los ensayos de corte triaxial en condiciones consolidadas y no drenadas, se puede observar que el ángulo de fricción es inferior a los obtenidos en los ensayos triaxiales, ya que este ensayo mide la presión intersticial experimentado por la muestra durante la 103 fase de corte, tiene en cuenta esta

presión al calcular el círculo de Mohr trazado y obtiene la tensión circular efectiva correspondiente y la tensión total para cada una de las tres muestras ensayadas, teniendo en cuenta el líquido utilizado en el análisis El límite varía del 36% al 47% y para el análisis en cuestión se debe aplicar para suelo con las mismas propiedades en el expediente.

## VII. RECOMENDACIONES

La guía de uso para el análisis de consolidación triaxial y permeabilidad en arcillas con el equipo triaxial Humboldt también puede proporcionar algunas recomendaciones importantes para aquellos que realizan pruebas de geotecnia en muestras de arcilla. Algunas de estas recomendaciones podrían incluir:

- 1) Para un mejor desarrollo de la guía sería poder actualizar el equipo, para que de esta manera se pueda tener más información acerca de cada uno de sus accesorios ya que no cuenta con mucha información del uso, porque solo actualizan al accesorio anterior por un equipo nuevo que quizá sea más efectivo, y obteniendo resultados con mayor precisión. Que por parte del país se pueda obtener tener acceso a los mapeos de la zona norte de Honduras para poder localizar los sectores en donde se encuentran las arcillas, para que de esta manera se pueda estudiar otros tipos de arcillas.
- 2) Tener conocimiento acerca de la mecánica de suelo para poder interpretar correctamente los resultados. Tener a mano documentos sobre cómo realizar los procesos de consolidación, permeabilidad y presión de poros, para que de esta manera pueda comprenderse de mejor forma la guía. Poder tener acceso a varias muestras y así tener resultados variados y hacer al menos dos pruebas por cada muestra para poder corroborar el resultado obtenido en el primer ensayo. Las muestras de arcillas deben de ser representativas al suelo donde se extrajo. Tomar en cuenta cada uno de los pasos para obtener una mayor precisión de los resultados. Manipular correctamente el equipo y con delicadeza para así evitar dañar alguna manecilla. Revisar los resultados cuidadosamente para asegurar que son coherentes referentes al suelo estudiado.
- 3) El proceso de consolidación triaxial es un paso crucial en el procedimiento de prueba triaxial de Humboldt, que implica la aplicación de presión de confinamiento a la muestra de suelo para simular las condiciones in situ. La implementación adecuada del proceso de consolidación es fundamental para obtener resultados de prueba precisos y confiables.
- 4) Familiarícese con las normas ASTM relevantes: Las normas ASTM más relevantes para las pruebas triaxiales de Humboldt son ASTM D2850, ASTM D4767 y ASTM D7181. Utilizar los cálculos apropiados: utilice las ecuaciones proporcionadas en las normas ASTM para calcular la resistencia al corte de la muestra de suelo en función de los resultados de la 103

prueba. Al seguir estas recomendaciones, puede asegurarse de que sus pruebas triaxiales de Humboldt se realicen de acuerdo con los estándares de ASTM, lo que ayudará a garantizar la precisión y la repetibilidad de sus resultados.

- 5) El uso adecuado de este equipo requiere la consideración de varios parámetros.: El tipo de suelo que se está analizando es un parámetro crucial para considerar. La resistencia al corte de diferentes tipos de suelos puede variar ampliamente. La magnitud de la presión de confinamiento es un parámetro importante para considerar, ya que puede afectar significativamente la resistencia al corte, medida de la muestra de suelo. La preparación adecuada de la muestra es fundamental para obtener resultados de prueba precisos. Los parámetros para considerar incluyen el tamaño de la muestra, la forma de la muestra, la compactación de la muestra y la saturación de la muestra. La calibración del equipo es importante. Calibrar el equipo de prueba regularmente para garantizar que los resultados sean precisos y repetibles.

## **APLICABILIDAD**

La guía de análisis de consolidación triaxial para arcillas con el equipo Humboldt en en San Pedro Sula, Honduras, es recomendable ser aplicado por entes privados y gubernamentales, o inclusive por instituciones que requieran realizar ensayos triaxiales o ensayos de permeabilidad, ya que facilita el uso correcto del equipo de consolidación triaxial y permeabilidad.

El manual puede ser utilizado por:

- 1) Instituciones privadas que pretendan desarrollar proyectos que requieran permeabilidad de arcillas en San Pedro Sula con las características de uso que presenta la guía.
- 2) Ingenieros estructurales independientes o laboratistas a la hora de desarrollar proyectos con características parecidas en San Pedro Sula.
- 3) Estudiantes de tercer año de ingeniería civil en UNITEC S.P.S. que desean ampliar su conocimiento sobre cimentación para ensayos de consolidación triaxial.
- 4) Ingenieros con poco conocimiento sobre permeabilidad de arcillas, ya que servirá como guía para llevar a cabo el desarrollo de este tipo pruebas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Pierrri Palma, I. F. (2011). *Evaluación de los parámetros de corte en suelos cohesivos saturados, mediante pruebas de compresión triaxial: consolidado no drenado y consolidado drenado*. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3326\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3326_C.pdf)
- Rodas Ayala, S. A. (2021). *Cimentaciones*. Obtenido de <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-tecnologica-de-honduras/espanol/investigacion-e-apuntes-1234/22797961/download/investigacion-e-apuntes-1234.pdf>
- 653, A. D. (2001). *Terminología estándar relacionada con Suelo, roca y fluidos contenidos*. Obtenido de <https://toaz.info/doc-view-2>
- Alva-Hurtado, J. E. (2011). *Diseño de Cimentaciones*. Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Baquadano,, K. (2020). *Suman un requisito más para sacar permiso de construcción*. Obtenido de <https://www.laprensa.hn/sanpedro/1353034-410/suman-requisito-para-sacar-permisso-construccion-san-pedro-sula-honduras>
- Botía Diaz, W. (2015). MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CÁLCULO. *FACULTAD INGENIERIA*. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, BOGOTA. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6239/MANUAL%20DE%20PROCEDIMIENTOS%20DE%20ENSAYOS%20DE%20SUELOS.pdf;jsessionid=B3CF14F2643ECD0B2D8BFE9B0174D0F4?sequence=1>
- Botía Diaz, W. Á. (2015). MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CÁLCULO. (*PROGRAMA INGENIERIA CIVIL*). UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, BOGOTA. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6239/MANUAL%20DE%20PROCEDIMIENTOS%20DE%20ENSAYOS%20DE%20SUELOS.pdf;jsessionid=CA4A9FC7669CE155E8ACB4C5E73BEB34?sequence=1>
- Botía Diaz, W. Á. (2015). MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CÁLCULO. (*FACULTAD INGENIERIA*). UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, BOGOTA. Obtenido de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6239/MANUAL%20DE%20PROCEDIMIENTOS%20DE%20ENSAYOS%20DE%20SUELOS.pdf;jsessionid=3977A1D74335ABBC6DB913CBCE000725?sequence=1>

Braja M., D. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*.

Braja, D. M. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*.

Cañas, J. (1996). *Análisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y grueso y determinación de material más fino que el tamiz No. 200 (75 µm) en agregado mineral por lavado*. Obtenido de <https://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/GRANULOMETRIA.pdf>

Cometa Trujillo , S., & Mendez Bohorquez , N. J. (2016). CORRELACION ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO Y EL ENSAYO DE TRIAXIAL EN UN SUELO ARCILLOSO TIPICO DE LA ZONA OCCIDENTAL DE BOGOTA. *FACULTAD TECNOLÓGICA INGENIERÍA CIVIL*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS , Colombia. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4108/MendezBohorquezNelsonJavier2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cometa Trujillo, S., & Mendez Bohorquez, N. J. (2016). CORRELACION ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO Y EL ENSAYO DE TRIAXIAL EN UN SUELO ARCILLOSO TIPICO DE LA ZONA OCCIDENTAL DE BOGOTA. (*FACULTAD TECNOLÓGICA INGENIERÍA CIVIL*). UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, BOGOTÁ, Colombia. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4108/MendezBohorquezNelsonJavier2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

D2166-06, A. (2006). Obtenido de [https://www.cesmec.cl/medios/DIC/normas/ASTMD2166\\_06E.pdf](https://www.cesmec.cl/medios/DIC/normas/ASTMD2166_06E.pdf)

D2216. (1998). Obtenido de <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-nacional-pedro-henriquez-urena/mecanica-de-suelo/astm-d2216-98-metodo-de-prueba-estandar-para-la-determinacion-de-laboratorio-del-contenido-de-agua-humedad-de-suelos-y-rocas/15280914>

- De la Fuente Martín, P. (1984). Estudio de la deformabilidad de los suelos arcillosos de Madrid. *Ingenieros de caminos, canales, y puertos*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, Madrid. Obtenido de [https://oa.upm.es/608/1/PABLO\\_DE\\_LA\\_FUENTE\\_MARTIN.pdf](https://oa.upm.es/608/1/PABLO_DE_LA_FUENTE_MARTIN.pdf)
- Díaz Rodríguez, A. (2014). *Mecánica de suelos: Naturaleza y propiedades*. Trillas.
- ENEE. (2019). Estudio de mecánica de suelos en sitios donde la ENEE ampliará subestaciones eléctricas. *Apoyo a la integración de Honduras en el mercado eléctrico regional préstamo BID*. San Pedro Sula. Obtenido de <http://www.enee.hn/Bid/2020/Mayo/Estudio%20de%20Suelo%20SPSS/Informe%20Estudio%20de%20Suelos%20SPSS.pdf>
- Escobar Villagómez, V. A., & Vásconez Freire, D. R. (2023). *ELABORACIÓN DE UN MANUAL PARA EL USO DEL "EQUIPO DE ENSAYO TRIAXIAL" (ELE), UBICADO EN EL LABORATORIO DE SUELOS, BLOQUE "E" DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE QUITO, CAMPUS SUR*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24239/1/TTS1143.pdf>
- Esparza Villalba, C. A. (2009). *Contenido de humedad*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/UCGcertificacionvial/contenido-de-humedad>
- Garnica Anguas, P., & Gómez López, J. (2001 ). *Deformaciones permanentes materiales granulares para la sección estructural de carreteras*. Instituto Mexicano del Transporte.
- Geotechnical. (2020). *Geotechnical Consulting*. Obtenido de <https://geotecniamecanicasuelosabc.com/ensayo-triaxial/>
- Hernández Sampieri, R. (2010). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación* (sexta ed.). México D.F.: McGraw-Hill / Interamericana Editores S.A. de C.V.
- Holtz, R., & Kovacs, W. (1981). *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice-Hal International, EEUU.
- HUMBOLDT. (2023). Obtenido de [https://www.raptorsupplies.com/b/humboldt-soil-testing?acc\\_typ=rp\\_intl&campaign\\_id=18286333154&campaign\\_network=g&device=c&keyword=humboldt%20equipment&matchtype=p&utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&gclid=CjwKCAiAu5agBhBzEiwAdiR5tLF5R\\_aPP\\_m9y1JTUEiGaipxLNKi](https://www.raptorsupplies.com/b/humboldt-soil-testing?acc_typ=rp_intl&campaign_id=18286333154&campaign_network=g&device=c&keyword=humboldt%20equipment&matchtype=p&utm_source=google&utm_medium=cpc&gclid=CjwKCAiAu5agBhBzEiwAdiR5tLF5R_aPP_m9y1JTUEiGaipxLNKi)

- Juárez Badilla, E., & Rico Rodríguez, A. (2009). *Mecánica de suelos*.
- LanammeUCR. (2020). *Determinación de la gravedad específica del suelo mediante picnómetro con agua*. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/5-geotecnia/5.05.pdf>
- Morales Fuentes, M. J., Gale Torres, L. M., & Fernández Hernández, R. E. (2017). *CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE LA ZONA NORESTE Y NOROESTE DE SAN PEDRO SULA*. UNITEC. Obtenido de <https://www.unitec.edu/innovare/published/volume-6/number-1/615-clasificacion-de-suelos-de-la-zona-noreste-y-noroeste-de-san-pedro-sula.pdf>
- Oyola-Guzmán, R. D., & Vaca Oyola, L. S. (2018). *Uso de la teoría de Mohr-Coulomb para explicar el mejoramiento de suelos mediante el proceso de compactación*. Revista de Arquitectura e Ingeniería. Vol.12. doi:No.1 ISSN 1990-8830 / RNPS 2125
- PÉREZ PLAZAS, S. (2004). *Desarrollo de vivienda popular por autoconstrucción en Colombia evaluación de procesos constructivos*. Universidad de los andes.
- Pierri Palma, I. F. (2011). *EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CORTE EN SUELOS COHESIVOS SATURADOS, MEDIANTE PRUEBAS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL: CONSOLIDADO NO DRENADO Y CONSOLIDADO DRENADO*. (Facultad de Ingeniería). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3326\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3326_C.pdf)
- Progreso, R. (2019). *Imparable deforestación del Merendón*. Obtenido de <https://wp.radioprogressohn.net/imparable-deforestacion-del-merendon/>
- Quattro, G. (2020). El Salvador.
- Salas, O. (2011). *Ensayos triaxiales para suelos*.
- Santa Cruz Perales, D. (2018). *Zonificación de la capacidad portante del suelo de la localidad de Soritor del distrito de Soritor*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Perú. Obtenido de <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2928/CIVIL%20-%20Tesis%20Dennis%20Santa%20Cruz%20Perales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sejias, A. (2007). *METODO DE ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DE SUELO*. Obtenido de <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-catolica-andres->

bello/fundamentos-de-ingenieria-industrial/astm-d422-normativa-internacional/11458168

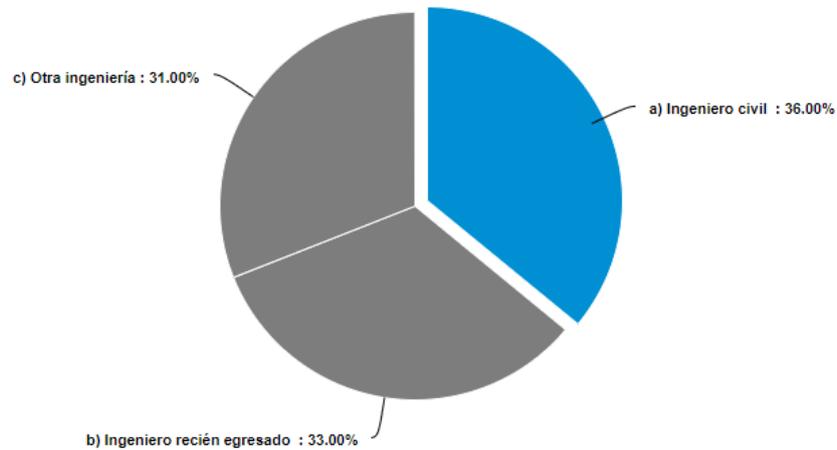
Stamatopoulos, A., & Kotzias, P. (1990). *Mejoramiento de suelos por precarga*. Limusa.

Suelos-FIC-UNI, M. d. (2011). *SEMINARIO TALLER DE MECÁNICA DE SUELOS Y EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA*. Obtenido de [www.cismid-uni.org](http://www.cismid-uni.org)

Terzaghi, K., Peck, R., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*.

## ANEXOS

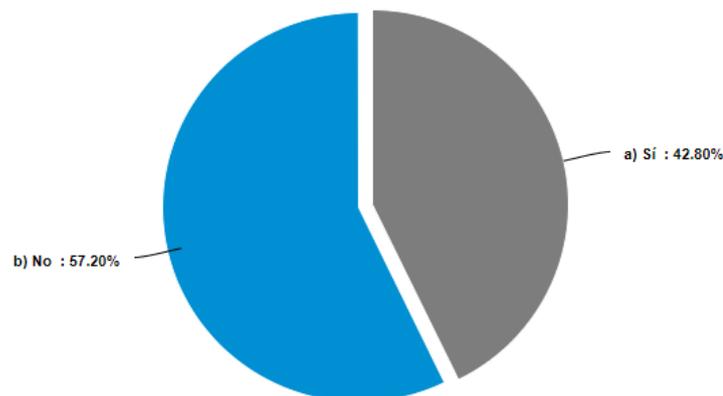
### Anexo 1 - Resultado profesión



Fuente: Elaboración propia

La primera pregunta denota que en su mayoría las encuestas fueron dirigidas a ingenieros civiles el cual es el principal enfoque de la investigación, sin embargo, de las 68 personas encuestadas también se consideró personas que no necesariamente son del rubro, pero han tenido alguna experiencia con ensayos triaxiales como tal.

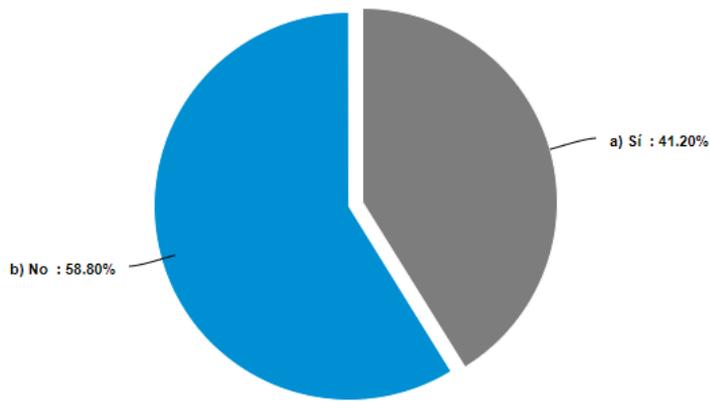
### Anexo 2 - Conocimiento de equipo triaxial Humboldt



Fuente: Elaboración propia

Dentro de las 68 personas encuestadas el 57.20 % de ellos denotan que no tienen un conocimiento al menos significativo del uso del equipo triaxial Humboldt.

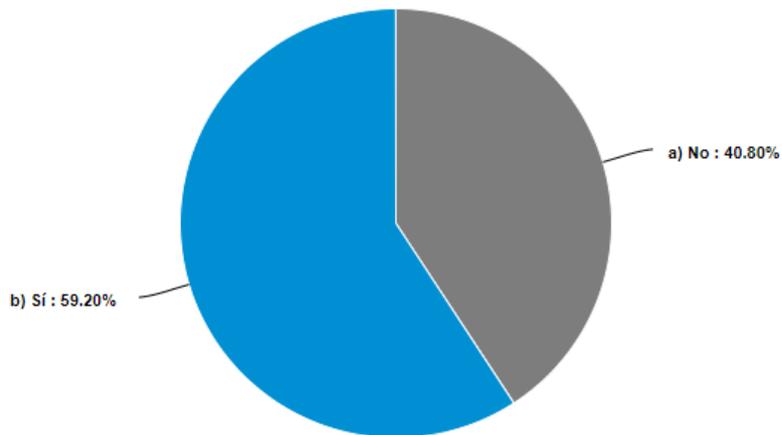
### Anexo 3 - Realización de ensayos de consolidación triaxial



Fuente: Elaboración propia

De la comunidad de ingenieros encuestados, en un 58.80 % mencionan que no se ha presentado la oportunidad de realizar ensayos de consolidación triaxial con el equipo Humboldt.

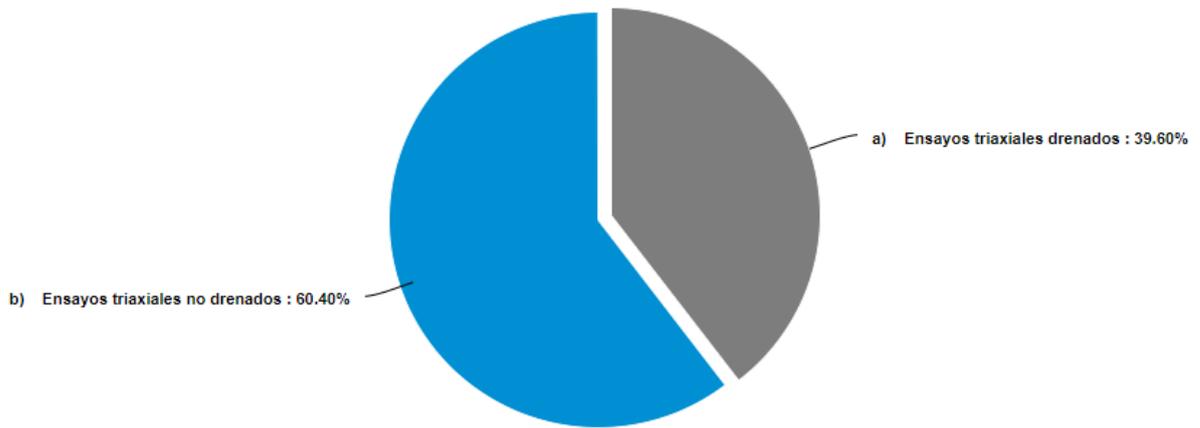
#### **Anexo 4 - Importancia de guía de ensayos de consolidación triaxial**



Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados obtenidos en las encuestas que se aplicaron a la comunidad de ingenieros civiles se denota que se muestra un gran interés por contar con una guía que los instruya en la elaboración de ensayos triaxiales con el equipo Humboldt.

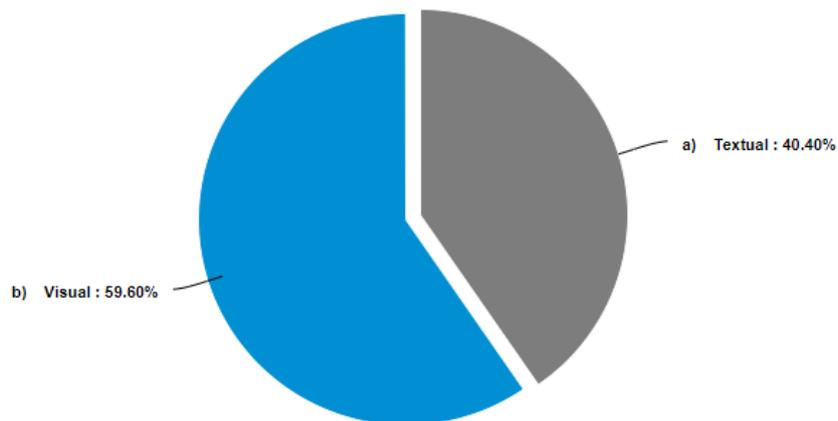
#### **Anexo 5 - Tipos de ensayos de consolidación triaxial**



Fuente: Elaboración propia

Se muestra un mayor interés por contar con una guía de ensayos triaxiales no drenados según encuestas.

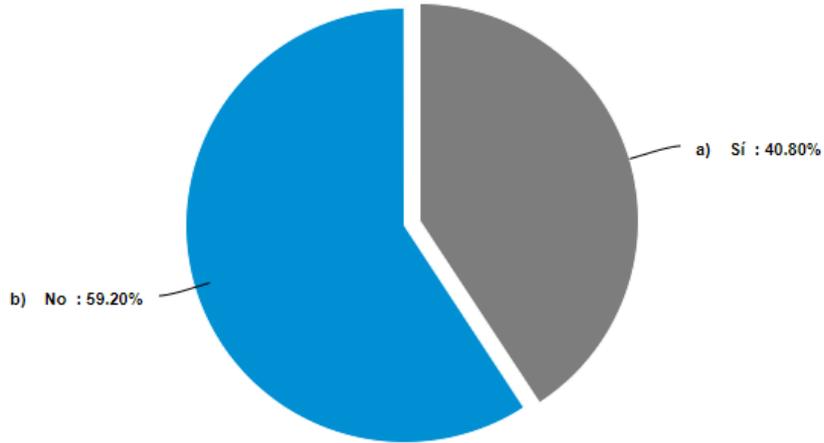
### **Anexo 6 - Presentación de guía**



Fuente: Elaboración propia

En su mayoría de las personas que fueron encuestadas presentan un mayor interés por contar con una guía con instrucciones visuales para que sea más fácil de comprender.

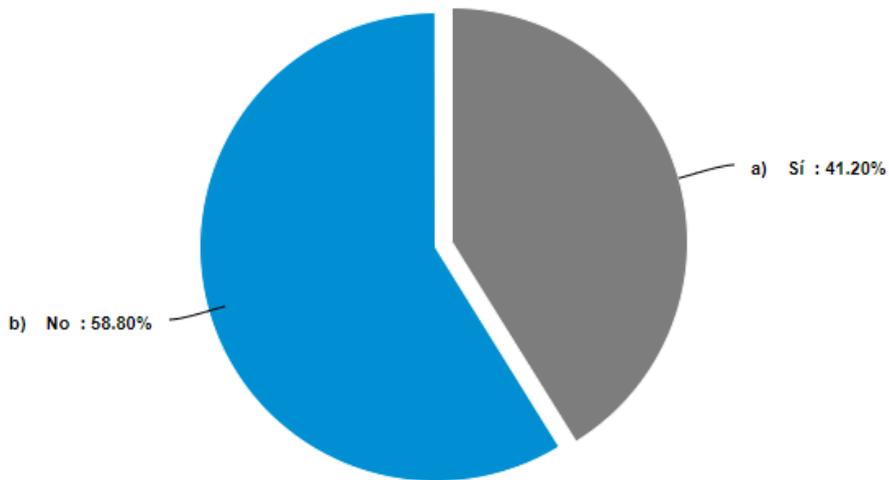
### **Anexo 7 - Normativas de la guía**



Fuente: Elaboración propia

En el anexo 6, se muestra que la mayor parte de las personas que fueron encuestadas no tienen conocimiento alguno de las normativas que limitan los ensayos triaxiales, por lo que es de gran importancia incorporarlo en la guía.

### **Anexo 8 - Procedimientos de la guía**



Fuente: Elaboración propia

En su mayoría las personas que fueron encuestados encontraron de importancia el hecho de tener una guía como referencia de los procedimientos a seguir para poder realizar ensayos de consolidación triaxial con el equipo Humboldt.

A su vez, en la pregunta nueve se le consulto a ingenieros si tienen conocimiento de guías de ensayos triaxiales para permeabilidad de arcillas con el equipo Humboldt, y aproximadamente un 58 % mencionaron que no tienen idea de la existencia de una ejemplar para el uso de dicho material, y la mayoría de las personas que dijeron que sí, son guías internacionales.

## Anexo 9 - Conocimiento de existencia de guías



Fuente: Elaboración propia

## Anexo 10 - Colocación de espécimen en celda



Fuente: Elaboración propia

### **Anexo 11 - Llenado de celda**



Fuente: Elaboración propia

### **Anexo 12 - Apisonamiento**



Fuente: Elaboración propia

### **Anexo 13 - Apisonamiento**



Fuente: Elaboración propia

#### Anexo 14 - Llenado de "Deaired Water Tank"



Fuente: Elaboración propia

## Anexo 15 – Resultado de ensayos de Laboratorio Geotec



### Presión De Poros

$$B = \frac{\Delta u_a}{\Delta \sigma_3} = \frac{1}{1 + \frac{nC_v}{C_c}}$$

$$B = \frac{20.5}{20}$$

$$B = 0.95$$

### Carga Consolidación 1

$\sigma_1$	283.24
$\sigma_3$	145.13
radio	69.055
centro	214.185

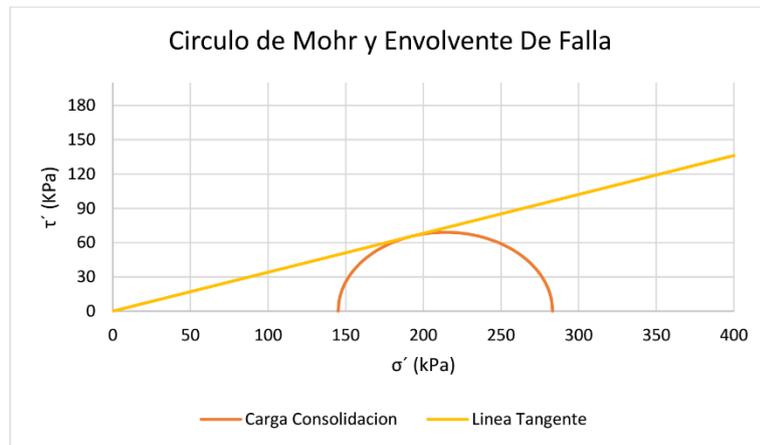
### Prueba 1

## Anexo 16 – Resultado de ensayos de Laboratorio Geotec 2

Grados	Radianes	Esfuerzo N	Esfuerzo C
0	0.00	145.13	0.00
10	0.17	146.18	11.99
20	0.35	149.29	23.62
30	0.52	154.38	34.53
40	0.70	161.29	44.39
50	0.87	169.80	52.90
60	1.05	179.66	59.80
70	1.22	190.57	64.89
80	1.40	202.19	68.01
90	1.57	214.19	69.06
100	1.75	226.18	68.01
110	1.92	237.80	64.89
120	2.09	248.71	59.80



Grados	Radianes	Esfuerzo N	Esfuerzo C
130	2.27	258.57	52.90
140	2.44	267.08	44.39
150	2.62	273.99	34.53
160	2.79	279.08	23.62
170	2.97	282.19	11.99
180	3.14	283.24	0.00



## Anexo 17 – Resultado de muestras

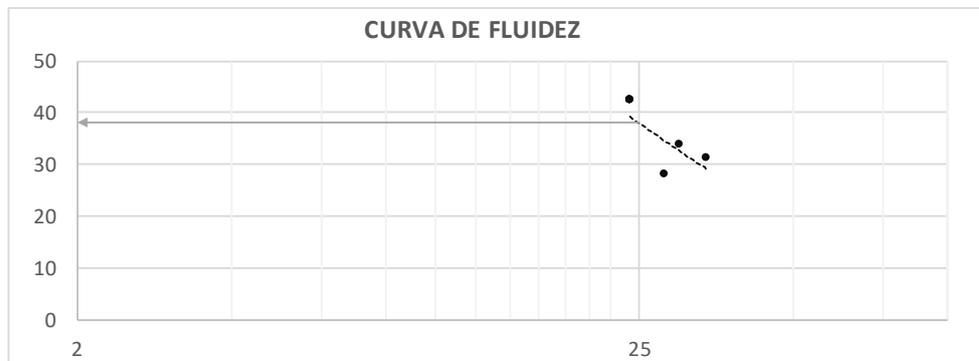
N° DE MUESTRA: E-1-1

### LÍMITE LÍQUIDO

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.900	66.250	67.500	69.500			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	59.950	59.950	62.000	62.050			
PESO DE LATA (gr.):	40.900	41.250	42.500	44.500			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.050	18.700	19.500	17.550			
PESO DE AGUA (gr.):	5.950	6.300	5.500	7.450			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	31.234	33.690	28.205	42.450			
N° DE GOLPES:	34	30	28	24			

### LÍMITE PLÁSTICO

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.700	66.200					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	64.350	60.100					
PESO DE LATA (gr.):	40.700	41.200					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	23.650	18.900					
PESO DE AGUA (gr.):	1.350	6.100					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	5.708	32.275					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	18.992						



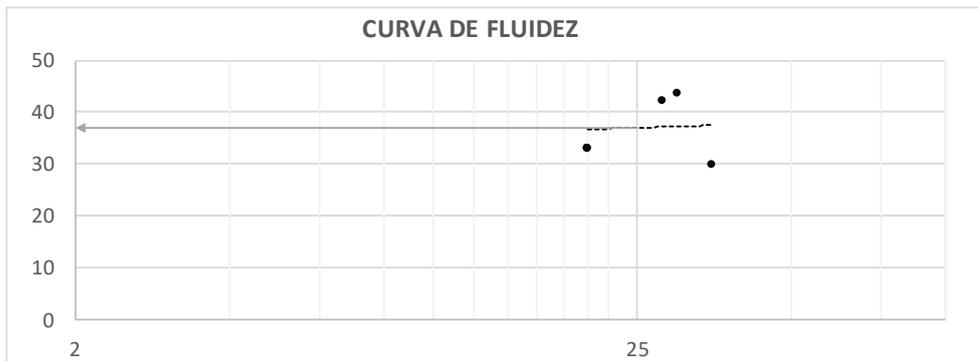
LÍMITE LÍQUIDO (%): 38.006  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 18.992  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 19.014

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.800	66.600	67.800	71.200			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	60.050	59.000	60.400	65.000			
PESO DE LATA (gr.):	40.800	41.600	42.800	46.200			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.250	17.400	17.600	18.800			
PESO DE AGUA (gr.):	5.750	7.600	7.400	6.200			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	29.870	43.678	42.045	32.979			
N° DE GOLPES:	35	30	28	20			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.500	70.200					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	61.910	65.490					
PESO DE LATA (gr.):	40.500	45.200					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	21.410	20.290					
PESO DE AGUA (gr.):	3.590	4.710					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	16.768	23.213					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	19.991						



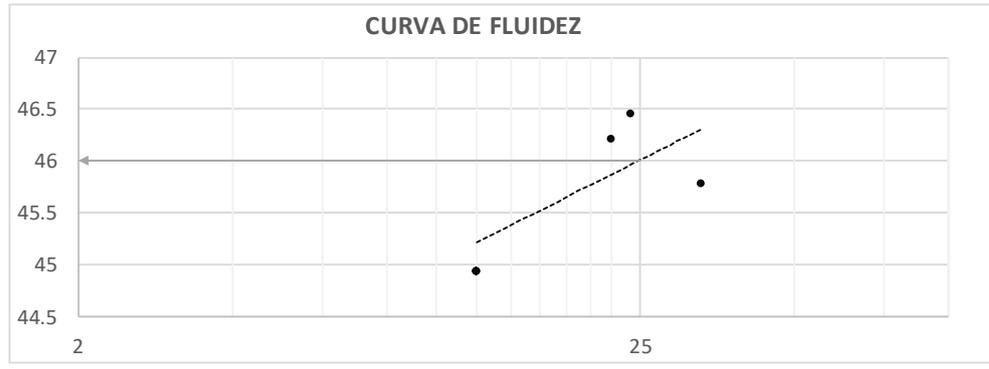
LÍMITE LÍQUIDO (%): 37.003  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 19.991  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 17.012

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.100	66.000	67.300	67.800			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	57.250	58.070	59.400	60.050			
PESO DE LATA (gr.):	40.100	41.000	42.300	42.800			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.150	17.070	17.100	17.250			
PESO DE AGUA (gr.):	7.850	7.930	7.900	7.750			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	45.773	46.456	46.199	44.928			
N° DE GOLPES:	33	24	22	12			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.300	65.800					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	61.550	58.870					
PESO DE LATA (gr.):	40.300	40.800					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	21.250	18.070					
PESO DE AGUA (gr.):	3.750	6.930					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	17.647	38.351					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	27.999						



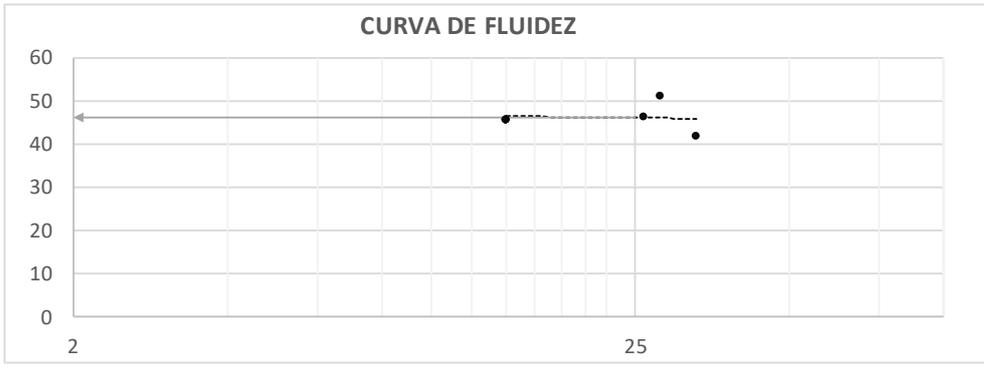
LÍMITE LÍQUIDO (%):           46.007  
 LÍMITE PLÁSTICO (%):       27.999  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD:     18.009

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.600	67.500	67.900	69.800			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	57.250	59.050	60.015	62.000			
PESO DE LATA (gr.):	39.600	42.500	42.900	44.800			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.650	16.550	17.115	17.200			
PESO DE AGUA (gr.):	7.350	8.450	7.885	7.800			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	41.643	51.057	46.071	45.349			
N° DE GOLPES:	33	28	26	14			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	67.800	67.950					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	63.800	61.760					
PESO DE LATA (gr.):	42.800	42.950					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	21.000	18.810					
PESO DE AGUA (gr.):	4.000	6.190					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	19.048	32.908					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	25.978						



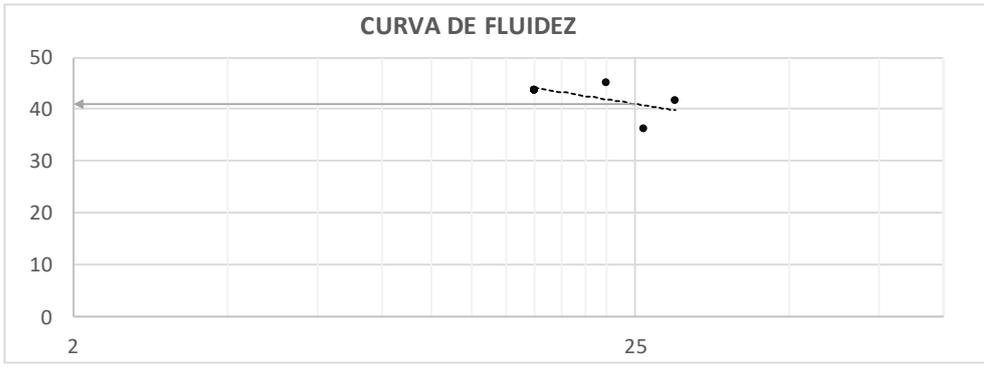
LÍMITE LÍQUIDO (%): 46.008  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 25.978  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 20.030

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	63.750	68.600	69.800	70.600			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	56.400	61.960	62.030	63.010			
PESO DE LATA (gr.):	38.750	43.600	44.800	45.600			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.650	18.360	17.230	17.410			
PESO DE AGUA (gr.):	7.350	6.640	7.770	7.590			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	41.643	36.166	45.096	43.596			
N° DE GOLPES:	30	26	22	16			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	68.100	69.100					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	62.500	66.600					
PESO DE LATA (gr.):	43.100	44.100					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.400	22.500					
PESO DE AGUA (gr.):	5.600	2.500					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	28.866	11.111					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	19.989						



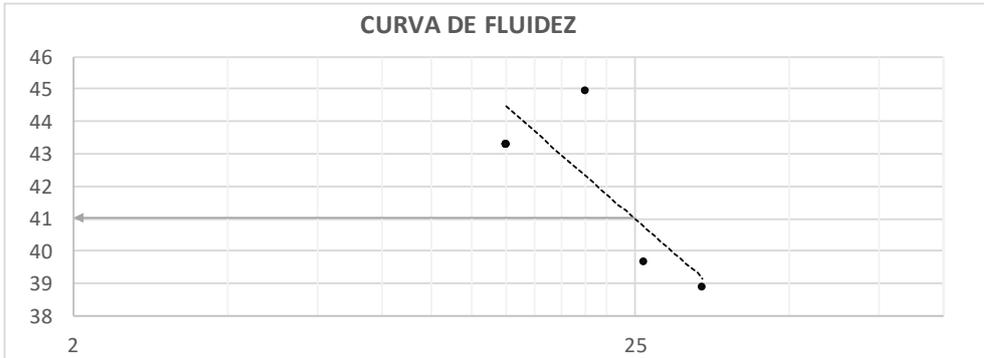
LÍMITE LÍQUIDO (%):            41.008  
 LÍMITE PLÁSTICO (%):        19.989  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD:      21.020

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.500	66.600	67.900	69.600			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.500	59.500	60.150	62.050			
PESO DE LATA (gr.):	40.500	41.600	42.900	44.600			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.000	17.900	17.250	17.450			
PESO DE AGUA (gr.):	7.000	7.100	7.750	7.550			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	38.889	39.665	44.928	43.266			
N° DE GOLPES:	34	26	20	14			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.700	66.900					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	60.520	63.860					
PESO DE LATA (gr.):	40.700	41.900					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.820	21.960					
PESO DE AGUA (gr.):	5.180	3.040					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	26.135	13.843					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	19.989						



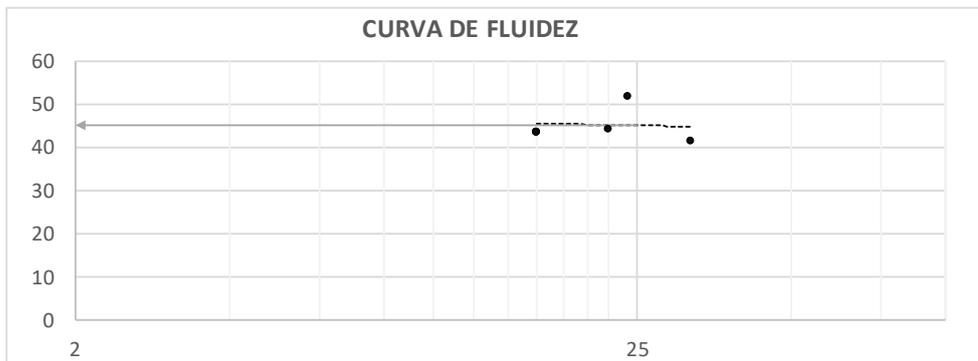
LÍMITE LÍQUIDO (%): 41.003  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 19.989  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 21.014  
 ÍNDICE DE FLUENCIA: -13.807

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.500	66.600	67.900	69.600			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.500	58.200	60.550	62.050			
PESO DE LATA (gr.):	41.600	41.900	43.900	44.600			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	16.900	16.300	16.650	17.450			
PESO DE AGUA (gr.):	7.000	8.400	7.350	7.550			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	41.420	51.534	44.144	43.266			
N° DE GOLPES:	32	24	22	16			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	67.600	67.950					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	62.800	63.750					
PESO DE LATA (gr.):	42.600	42.950					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	20.200	20.800					
PESO DE AGUA (gr.):	4.800	4.200					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	23.762	20.192					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	21.977						



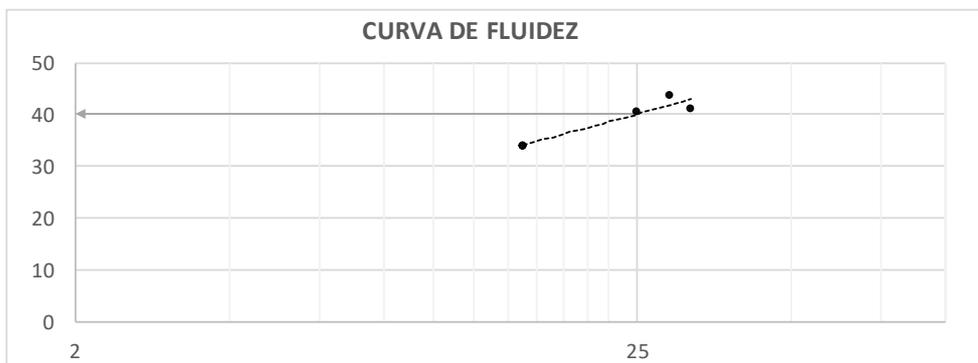
LÍMITE LÍQUIDO (%): 45.003  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 21.977  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 23.026

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	67.700	68.600	69.200	69.800			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	60.450	61.000	62.000	63.500			
PESO DE LATA (gr.):	42.700	43.600	44.200	44.800			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.750	17.400	17.800	18.700			
PESO DE AGUA (gr.):	7.250	7.600	7.200	6.300			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	40.845	43.678	40.449	33.690			
N° DE GOLPES:	32	29	25	15			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	68.900	69.800					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	65.500	65.250					
PESO DE LATA (gr.):	43.900	44.800					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	21.600	20.450					
PESO DE AGUA (gr.):	3.400	4.550					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	15.741	22.249					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	18.995						



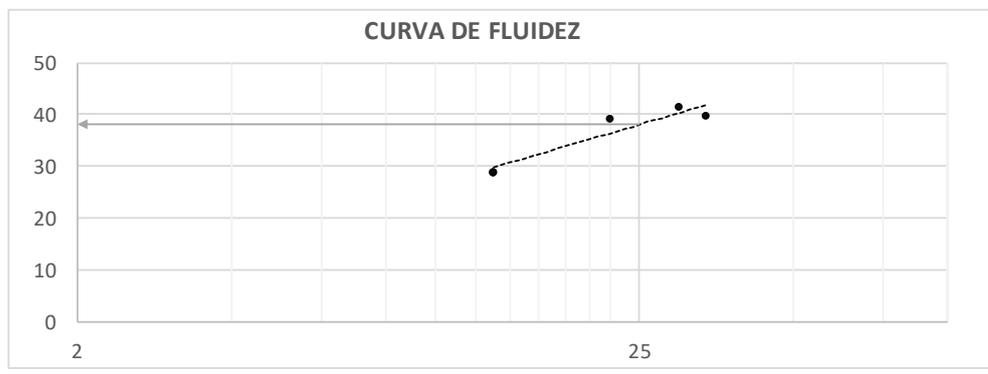
LÍMITE LÍQUIDO (%): 40.000  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 18.995  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 21.005

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	63.600	66.800	68.500	69.200			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	56.500	59.500	61.500	63.650			
PESO DE LATA (gr.):	38.600	41.800	43.500	44.200			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.900	17.700	18.000	19.450			
PESO DE AGUA (gr.):	7.100	7.300	7.000	5.550			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	39.665	41.243	38.889	28.535			
N° DE GOLPES:	34	30	22	13			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	66.600	68.800					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	63.100	65.040					
PESO DE LATA (gr.):	41.600	43.800					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	21.500	21.240					
PESO DE AGUA (gr.):	3.500	3.760					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	16.279	17.702					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	16.991						



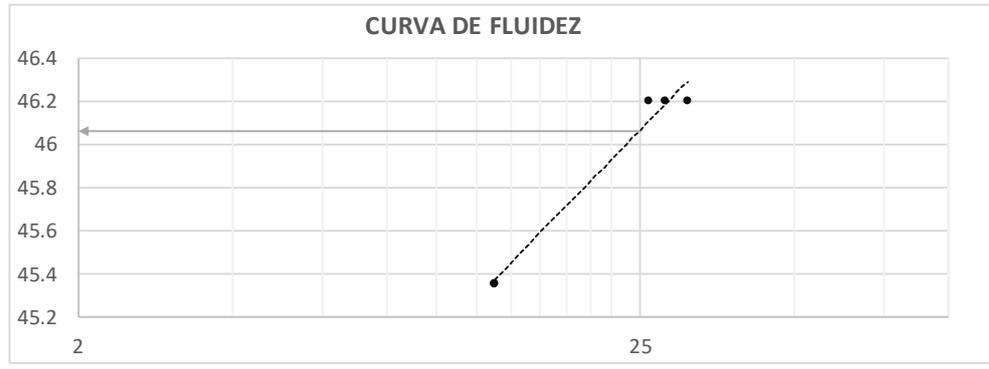
LÍMITE LÍQUIDO (%):            37.999  
 LÍMITE PLÁSTICO (%):        16.991  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD:      21.009

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	60.400	65.500	66.900	69.800			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	52.500	57.600	59.000	62.000			
PESO DE LATA (gr.):	35.400	40.500	41.900	44.800			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.100	17.100	17.100	17.200			
PESO DE AGUA (gr.):	7.900	7.900	7.900	7.800			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	46.199	46.199	46.199	45.349			
N° DE GOLPES:	31	28	26	13			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	61.900	66.900					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	57.300	61.500					
PESO DE LATA (gr.):	36.900	41.900					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	20.400	19.600					
PESO DE AGUA (gr.):	4.600	5.400					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	22.549	27.551					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	25.050						



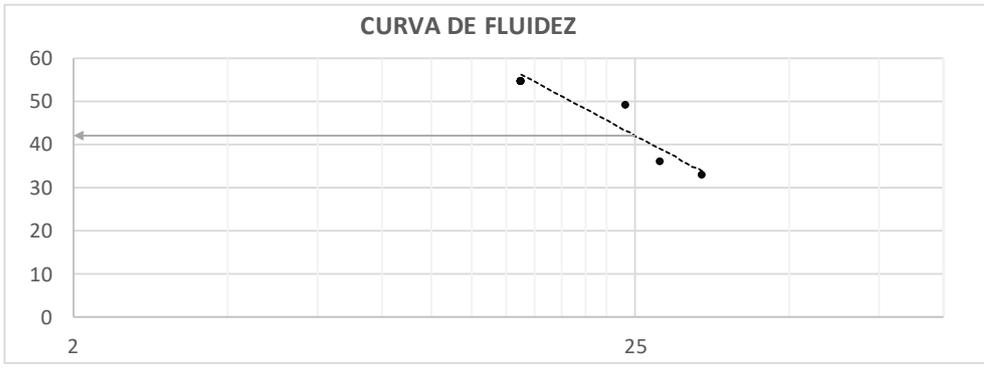
LÍMITE LÍQUIDO (%): 46.062  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 25.050  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 21.012

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.850	66.600	69.200	71.800			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.700	60.000	61.000	63.000			
PESO DE LATA (gr.):	39.850	41.600	44.200	46.800			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.850	18.400	16.800	16.200			
PESO DE AGUA (gr.):	6.150	6.600	8.200	8.800			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	32.626	35.870	48.810	54.321			
N° DE GOLPES:	34	28	24	15			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	63.700	67.976					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	60.350	63.050					
PESO DE LATA (gr.):	38.700	42.976					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	21.650	20.074					
PESO DE AGUA (gr.):	3.350	4.926					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	15.473	24.539					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	20.006						



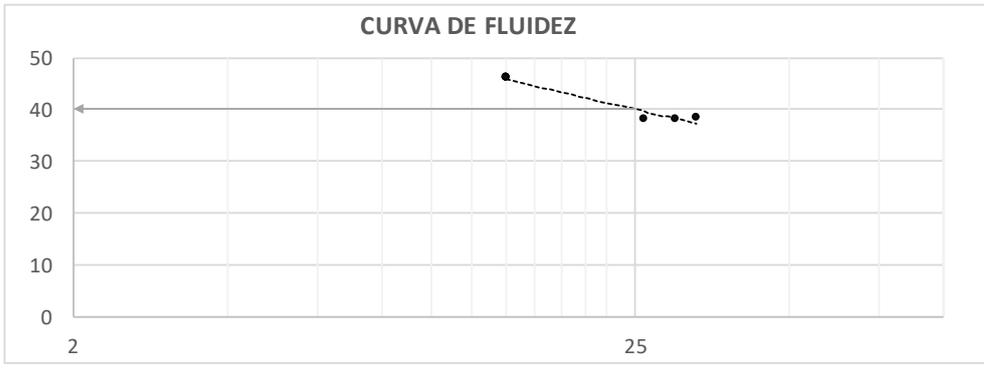
LÍMITE LÍQUIDO (%): 42.009  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 20.006  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 22.003

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.600	66.900	67.900	68.900			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.650	60.000	61.000	61.000			
PESO DE LATA (gr.):	40.600	41.900	42.900	43.900			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.050	18.100	18.100	17.100			
PESO DE AGUA (gr.):	6.950	6.900	6.900	7.900			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	38.504	38.122	38.122	46.199			
N° DE GOLPES:	33	30	26	14			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.600	65.900					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	60.000	62.955					
PESO DE LATA (gr.):	39.600	40.900					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	20.400	22.055					
PESO DE AGUA (gr.):	4.600	2.945					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	22.549	13.353					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	17.951						



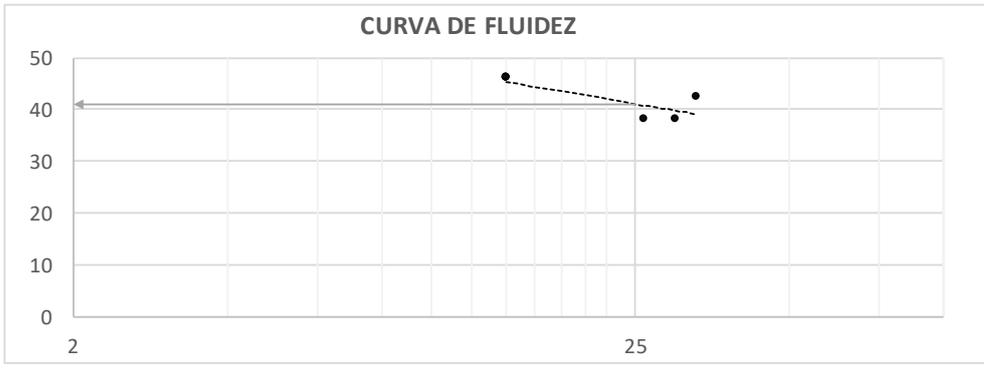
LÍMITE LÍQUIDO (%): 40.038  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 17.951  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 22.087

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.600	66.900	67.900	68.900			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.150	60.000	61.000	61.000			
PESO DE LATA (gr.):	40.600	41.900	42.900	43.900			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.550	18.100	18.100	17.100			
PESO DE AGUA (gr.):	7.450	6.900	6.900	7.900			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	42.450	38.122	38.122	46.199			
N° DE GOLPES:	33	30	26	14			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	61.900	66.800					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	59.330	61.850					
PESO DE LATA (gr.):	36.900	41.800					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	22.430	20.050					
PESO DE AGUA (gr.):	2.570	4.950					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	11.458	24.688					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	18.073						



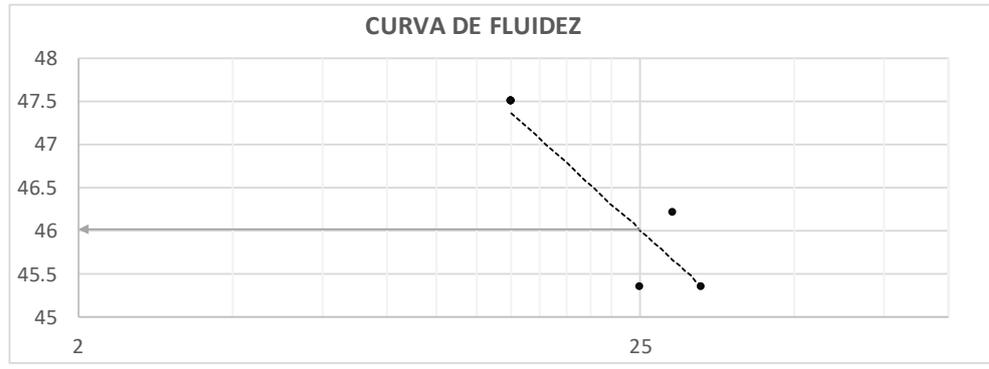
LÍMITE LÍQUIDO (%):           41.077  
 LÍMITE PLÁSTICO (%):       18.073  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD:     23.004

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	66.800	67.900	68.800	69.300			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	59.000	60.000	61.000	61.250			
PESO DE LATA (gr.):	41.800	42.900	43.800	44.300			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.200	17.100	17.200	16.950			
PESO DE AGUA (gr.):	7.800	7.900	7.800	8.050			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	45.349	46.199	45.349	47.493			
N° DE GOLPES:	33	29	25	14			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	60.900	66.900					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.500	59.850					
PESO DE LATA (gr.):	35.900	41.900					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	22.600	17.950					
PESO DE AGUA (gr.):	2.400	7.050					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	10.619	39.276					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	24.948						



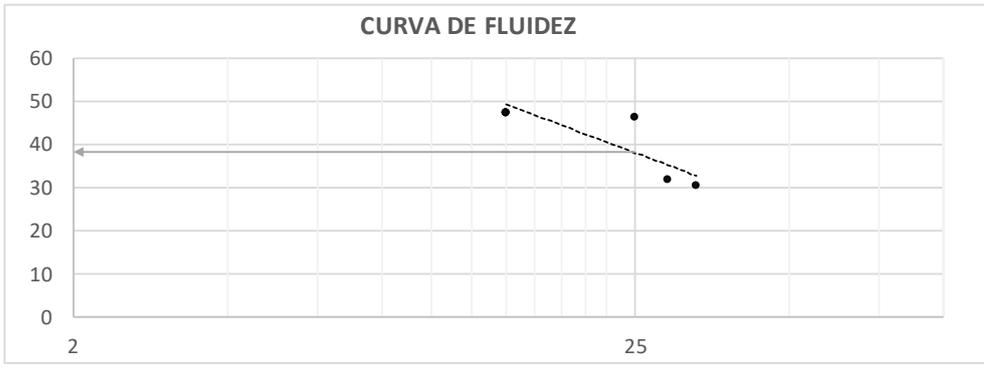
LÍMITE LÍQUIDO (%):            46.008  
 LÍMITE PLÁSTICO (%):        24.948  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD:      21.060

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.800	66.000	68.900	69.900			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	60.000	60.000	61.000	61.900			
PESO DE LATA (gr.):	40.800	41.000	43.900	44.900			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.200	19.000	17.100	17.000			
PESO DE AGUA (gr.):	5.800	6.000	7.900	8.000			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	30.208	31.579	46.199	47.059			
N° DE GOLPES:	33	29	25	14			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	61.800	68.600					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.500	65.000					
PESO DE LATA (gr.):	36.800	43.600					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	21.700	21.400					
PESO DE AGUA (gr.):	3.300	3.600					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	15.207	16.822					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	16.015						



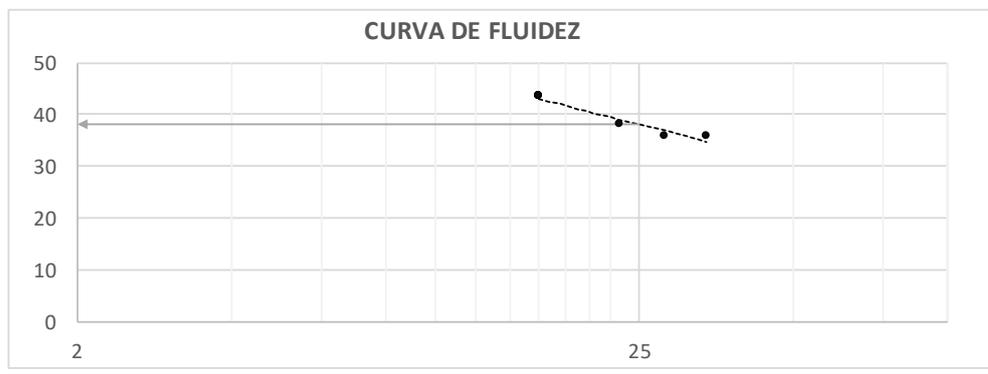
LÍMITE LÍQUIDO (%):            38.022  
 LÍMITE PLÁSTICO (%):        16.015  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD:      22.008

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	66.600	68.600	69.900	73.700			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	60.000	62.000	63.000	66.100			
PESO DE LATA (gr.):	41.600	43.600	44.900	48.700			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.400	18.400	18.100	17.400			
PESO DE AGUA (gr.):	6.600	6.600	6.900	7.600			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	35.870	35.870	38.122	43.678			
N° DE GOLPES:	34	28	23	16			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.600	69.200					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	62.400	64.950					
PESO DE LATA (gr.):	39.600	44.200					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	22.800	20.750					
PESO DE AGUA (gr.):	2.200	4.250					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	9.649	20.482					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	15.066						



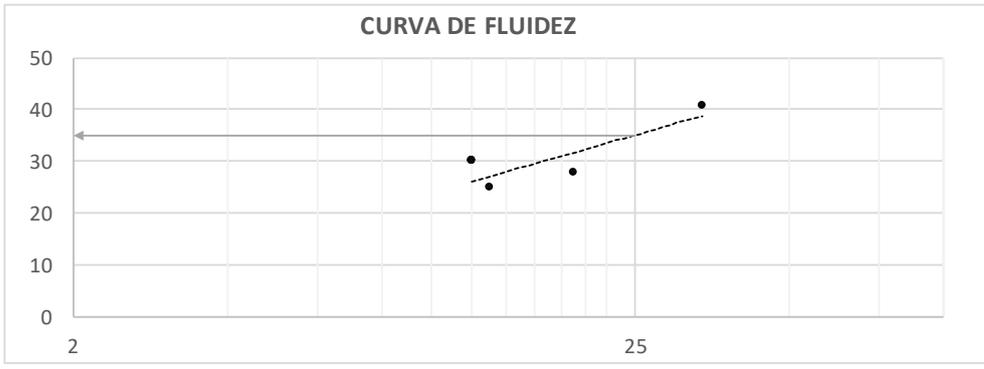
LÍMITE LÍQUIDO (%): 38.087  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 15.066  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 23.021

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	63.930	62.430	65.000	64.000			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	56.700	57.000	60.000	58.230			
PESO DE LATA (gr.):	38.930	37.430	40.000	39.000			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.770	19.570	20.000	19.230			
PESO DE AGUA (gr.):	7.230	5.430	5.000	5.770			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	40.687	27.747	25.000	30.005			
N° DE GOLPES:	34	19	13	12			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	63.000	66.200					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.000	64.556					
PESO DE LATA (gr.):	38.000	41.200					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	20.000	23.356					
PESO DE AGUA (gr.):	5.000	1.644					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	25.000	7.039					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	16.019						



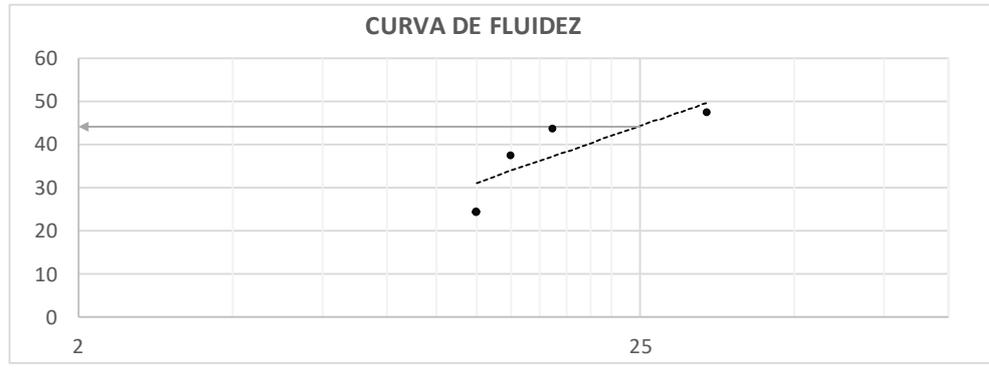
LÍMITE LÍQUIDO (%):            35.028  
 LÍMITE PLÁSTICO (%):        16.019  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD:      19.008

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	66.000	62.770	63.560	62.500			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.000	56.000	56.000	57.630			
PESO DE LATA (gr.):	41.000	37.700	38.560	37.500			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.000	18.300	17.440	20.130			
PESO DE AGUA (gr.):	8.000	6.770	7.560	4.870			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	47.059	36.995	43.349	24.193			
N° DE GOLPES:	34	14	17	12			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.700	44.370					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	59.230	44.000					
PESO DE LATA (gr.):	40.700	41.200					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.530	2.800					
PESO DE AGUA (gr.):	6.470	0.370					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	34.916	13.214					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	24.065						



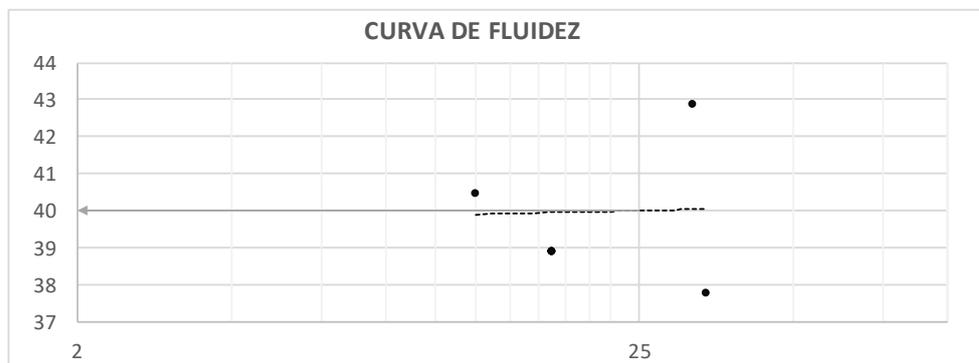
LÍMITE LÍQUIDO (%): 44.102  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 24.065  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 20.037

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	63.000	66.200	67.500	69.000			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	56.150	59.000	60.000	62.000			
PESO DE LATA (gr.):	38.000	41.200	42.500	44.000			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.150	17.800	17.500	18.000			
PESO DE AGUA (gr.):	6.850	7.200	7.500	7.000			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	37.741	40.449	42.857	38.889			
N° DE GOLPES:	34	12	32	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	63.000	66.200					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	56.540	64.556					
PESO DE LATA (gr.):	38.000	41.200					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.540	23.356					
PESO DE AGUA (gr.):	6.460	1.644					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	34.844	7.039					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	20.941						



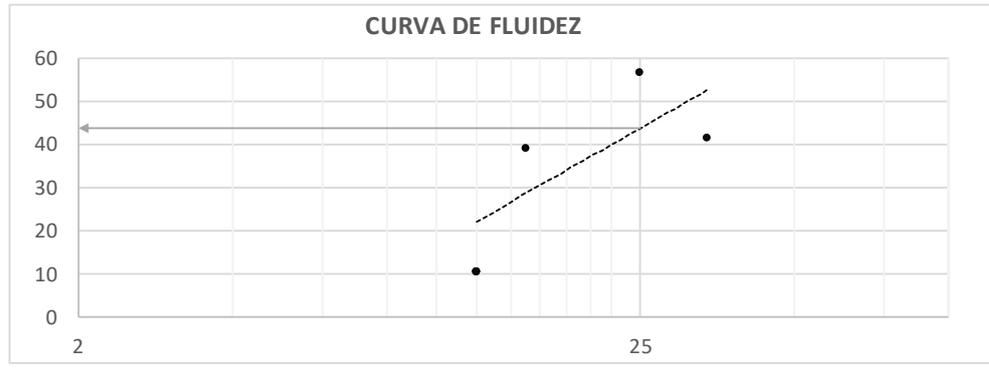
LÍMITE LÍQUIDO (%): 40.003  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 20.941  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 19.061

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.000	66.000	67.000	69.000			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	57.690	59.000	58.000	66.700			
PESO DE LATA (gr.):	40.000	41.000	42.000	44.000			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.690	18.000	16.000	22.700			
PESO DE AGUA (gr.):	7.310	7.000	9.000	2.300			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	41.323	38.889	56.250	10.132			
N° DE GOLPES:	34	15	25	12			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	67.000	66.940					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	61.000	62.800					
PESO DE LATA (gr.):	42.000	41.494					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.000	21.306					
PESO DE AGUA (gr.):	6.000	4.140					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	31.579	19.431					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	25.505						



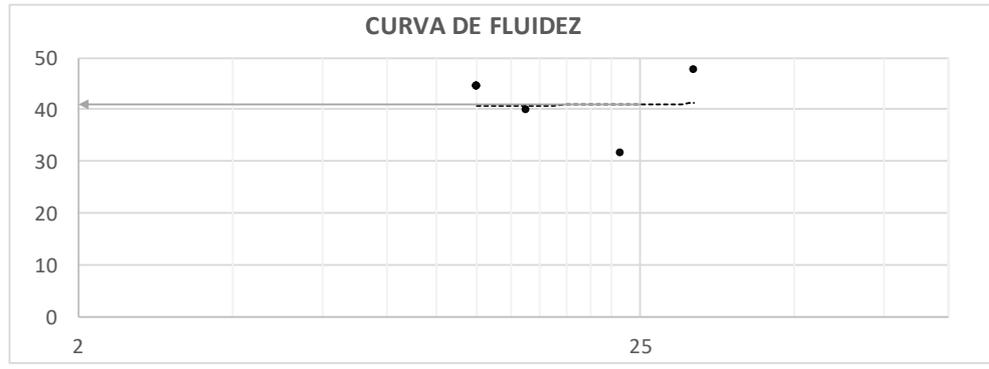
LÍMITE LÍQUIDO (%): 43.511  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 25.505  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 18.006

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.000	67.000	68.500	69.500			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	55.940	59.870	62.500	61.800			
PESO DE LATA (gr.):	39.000	42.000	43.500	44.500			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	16.940	17.870	19.000	17.300			
PESO DE AGUA (gr.):	8.060	7.130	6.000	7.700			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	47.580	39.899	31.579	44.509			
N° DE GOLPES:	32	15	23	12			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.650	63.998					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	60.000	62.000					
PESO DE LATA (gr.):	40.650	38.998					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.350	23.002					
PESO DE AGUA (gr.):	5.650	1.998					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	29.199	8.686					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	18.943						



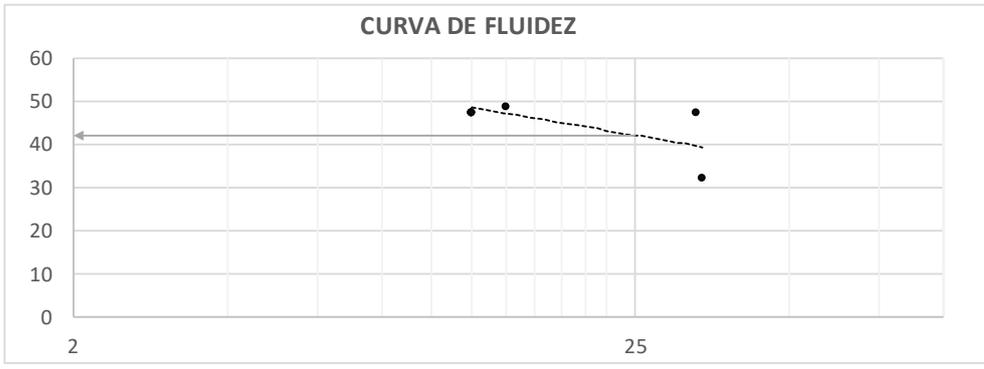
LÍMITE LÍQUIDO (%): 41.023  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 18.943  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 22.080

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.000	67.000	68.000	70.000			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	57.950	58.830	60.000	62.000			
PESO DE LATA (gr.):	39.000	42.000	43.000	45.000			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.950	16.830	17.000	17.000			
PESO DE AGUA (gr.):	6.050	8.170	8.000	8.000			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	31.926	48.544	47.059	47.059			
N° DE GOLPES:	34	14	33	12			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.000	67.000					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.000	65.500					
PESO DE LATA (gr.):	39.000	42.000					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.000	23.500					
PESO DE AGUA (gr.):	6.000	1.500					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	31.579	6.383					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	18.981						



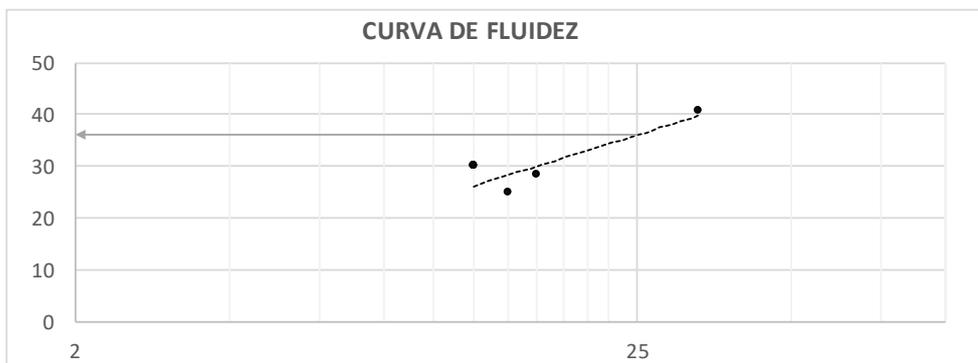
LÍMITE LÍQUIDO (%): 42.052  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 18.981  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 23.071

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	63.930	62.430	65.000	64.000			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	56.700	56.900	60.000	58.230			
PESO DE LATA (gr.):	38.930	37.430	40.000	39.000			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.770	19.470	20.000	19.230			
PESO DE AGUA (gr.):	7.230	5.530	5.000	5.770			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	40.687	28.403	25.000	30.005			
N° DE GOLPES:	33	16	14	12			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.500	67.300					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	62.000	64.680					
PESO DE LATA (gr.):	40.500	42.300					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	21.500	22.380					
PESO DE AGUA (gr.):	3.500	2.620					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	16.279	11.707					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	13.993						



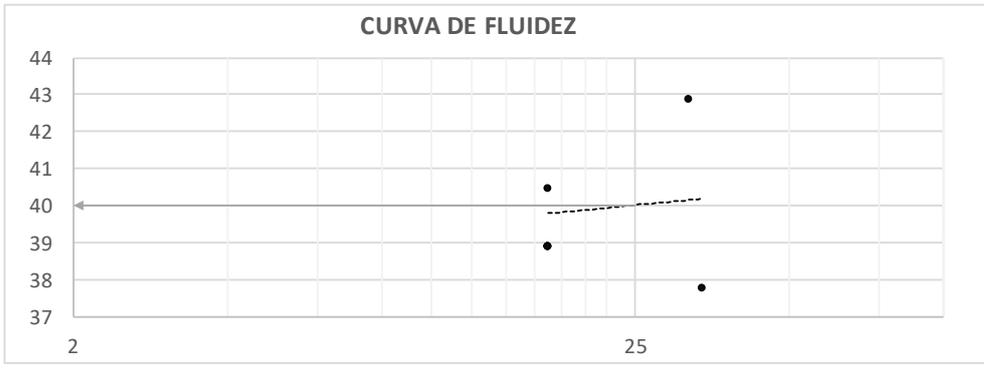
LÍMITE LÍQUIDO (%): 36.008  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 13.993  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 22.015

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	63.000	66.200	67.500	69.000			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	56.150	59.000	60.000	62.000			
PESO DE LATA (gr.):	38.000	41.200	42.500	44.000			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.150	17.800	17.500	18.000			
PESO DE AGUA (gr.):	6.850	7.200	7.500	7.000			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	37.741	40.449	42.857	38.889			
N° DE GOLPES:	34	17	32	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	62.000	66.000					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	56.400	64.260					
PESO DE LATA (gr.):	38.000	41.000					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.400	23.260					
PESO DE AGUA (gr.):	5.600	1.740					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	30.435	7.481					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	18.958						



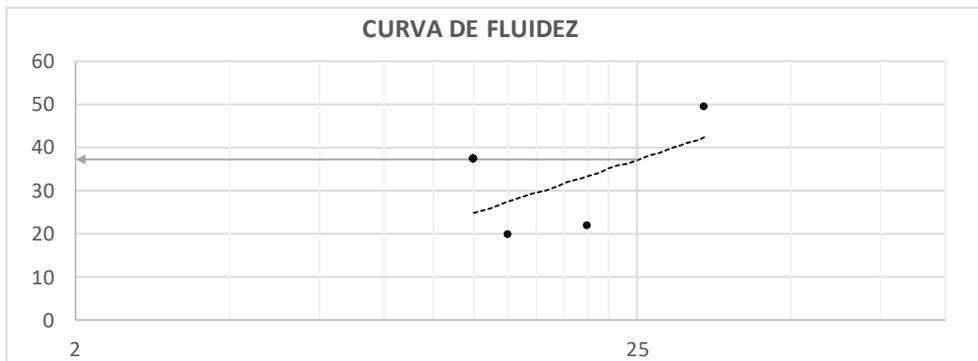
LÍMITE LÍQUIDO (%): 40.016  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 18.958  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 21.059

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.930	61.430	64.000	65.000			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	56.700	57.000	59.920	58.230			
PESO DE LATA (gr.):	39.930	36.430	39.000	40.000			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	16.770	20.570	20.920	18.230			
PESO DE AGUA (gr.):	8.230	4.430	4.080	6.770			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	49.076	21.536	19.503	37.137			
N° DE GOLPES:	34	20	14	12			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.000	66.000					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.560	64.556					
PESO DE LATA (gr.):	39.000	41.000					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.560	23.556					
PESO DE AGUA (gr.):	5.440	1.444					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	27.812	6.130					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	16.971						



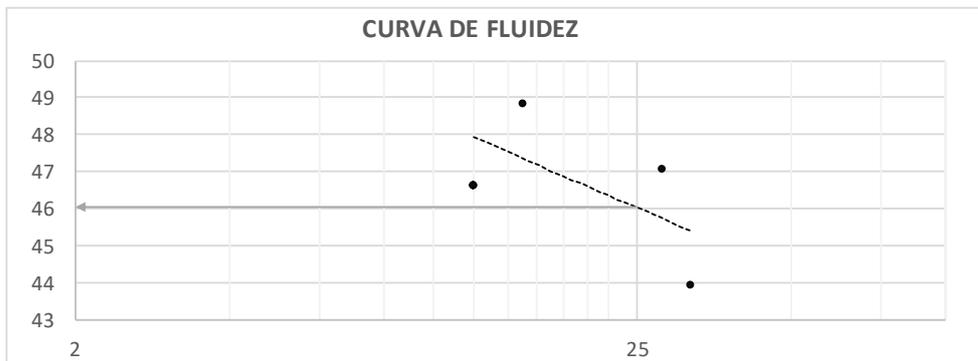
LÍMITE LÍQUIDO (%): 37.004  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 16.971  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 20.033

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	68.000	65.200	64.400	63.450			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	60.370	57.000	56.400	55.500			
PESO DE LATA (gr.):	43.000	40.200	39.400	38.450			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.370	16.800	17.000	17.050			
PESO DE AGUA (gr.):	7.630	8.200	8.000	7.950			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	43.926	48.810	47.059	46.628			
N° DE GOLPES:	32	15	28	12			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.500	63.860					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	59.000	59.050					
PESO DE LATA (gr.):	39.500	38.860					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.500	20.190					
PESO DE AGUA (gr.):	5.500	4.810					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	28.205	23.824					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	26.014						



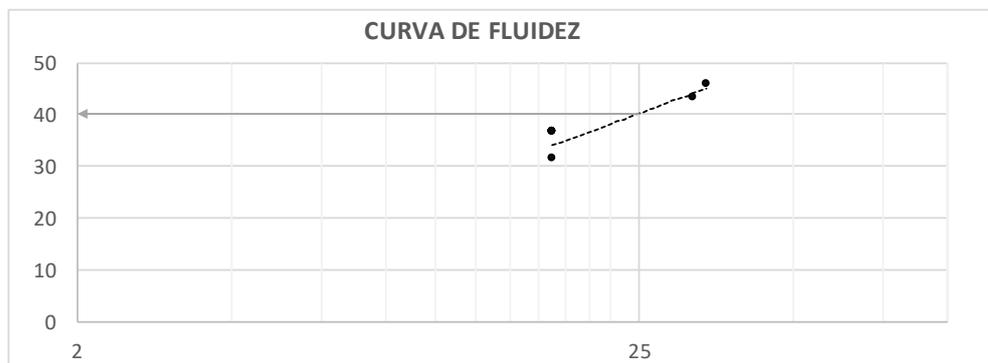
LÍMITE LÍQUIDO (%): 46.034  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 26.014  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 20.020

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.000	65.000	67.560	68.890			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	56.150	59.000	60.000	62.199			
PESO DE LATA (gr.):	39.000	40.000	42.560	43.890			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.150	19.000	17.440	18.309			
PESO DE AGUA (gr.):	7.850	6.000	7.560	6.691			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	45.773	31.579	43.349	36.545			
N° DE GOLPES:	34	17	32	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.000	67.430					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	61.000	63.040					
PESO DE LATA (gr.):	40.000	42.430					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	21.000	20.610					
PESO DE AGUA (gr.):	4.000	4.390					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	19.048	21.300					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	20.174						



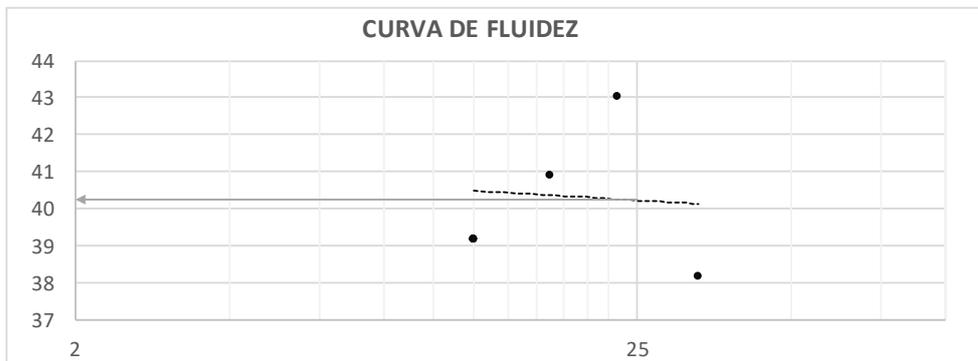
LÍMITE LÍQUIDO (%): 40.176  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 20.174  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 20.002

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	63.000	66.200	67.500	69.000			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	56.150	59.000	60.000	62.000			
PESO DE LATA (gr.):	38.200	41.400	42.570	44.120			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.950	17.600	17.430	17.880			
PESO DE AGUA (gr.):	6.850	7.200	7.500	7.000			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	38.162	40.909	43.029	39.150			
N° DE GOLPES:	33	17	23	12			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	62.000	66.000					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	55.990	64.278					
PESO DE LATA (gr.):	36.000	37.342					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.990	26.936					
PESO DE AGUA (gr.):	6.010	1.722					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	30.065	6.393					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	18.229						



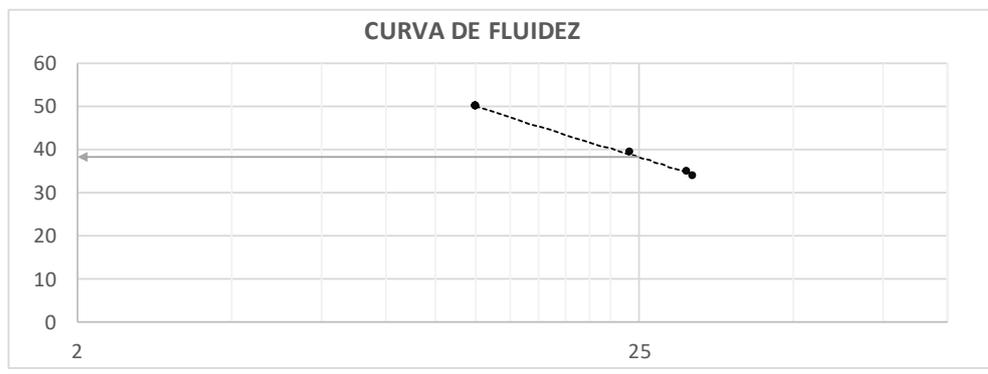
LÍMITE LÍQUIDO (%): 40.229  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 18.229  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 22.000

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.324	62.422	63.425	66.530			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	59.000	56.000	56.390	58.230			
PESO DE LATA (gr.):	40.324	37.422	38.425	41.530			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.676	18.578	17.965	16.700			
PESO DE AGUA (gr.):	6.324	6.422	7.035	8.300			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	33.862	34.568	39.159	49.701			
N° DE GOLPES:	32	31	24	12			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.424	65.435					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.600	65.001					
PESO DE LATA (gr.):	39.424	40.435					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.176	24.566					
PESO DE AGUA (gr.):	5.824	0.434					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	30.371	1.767					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	16.069						



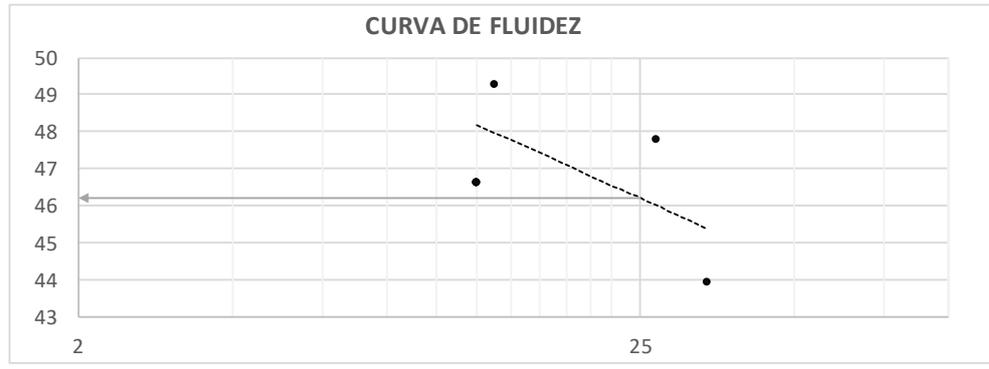
LÍMITE LÍQUIDO (%):            38.070  
 LÍMITE PLÁSTICO (%):        16.069  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD:      22.001

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	67.000	65.250	64.480	63.450			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	59.370	57.000	56.400	55.500			
PESO DE LATA (gr.):	42.000	40.250	39.480	38.450			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.370	16.750	16.920	17.050			
PESO DE AGUA (gr.):	7.630	8.250	8.080	7.950			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	43.926	49.254	47.754	46.628			
N° DE GOLPES:	34	13	27	12			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.700	64.120					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	59.390	59.050					
PESO DE LATA (gr.):	39.700	39.120					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.690	19.930					
PESO DE AGUA (gr.):	5.310	5.070					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	26.968	25.439					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	26.204						



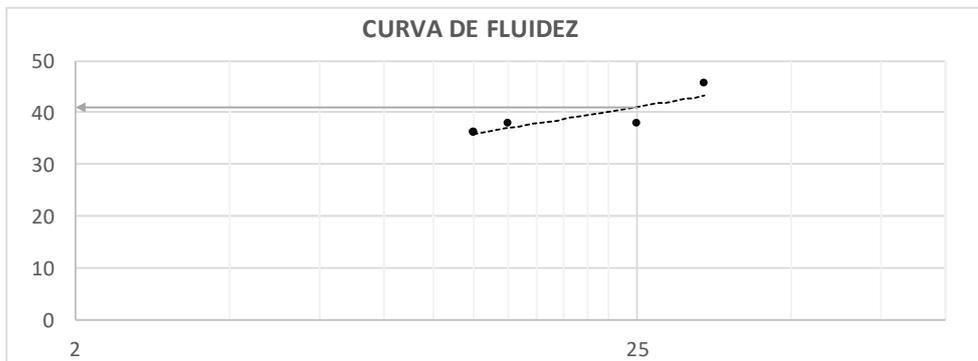
LÍMITE LÍQUIDO (%):      46.214  
 LÍMITE PLÁSTICO (%):    26.204  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD:   20.011

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.000	67.000	68.500	69.500			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	56.500	59.870	61.930	61.800			
PESO DE LATA (gr.):	40.000	41.000	44.500	40.450			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	16.500	18.870	17.430	21.350			
PESO DE AGUA (gr.):	7.500	7.130	6.570	7.700			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	45.455	37.785	37.694	36.066			
N° DE GOLPES:	34	14	25	12			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.650	63.998					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	59.000	61.190					
PESO DE LATA (gr.):	39.324	38.242					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.676	22.948					
PESO DE AGUA (gr.):	6.650	2.808					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	33.798	12.237					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	23.017						



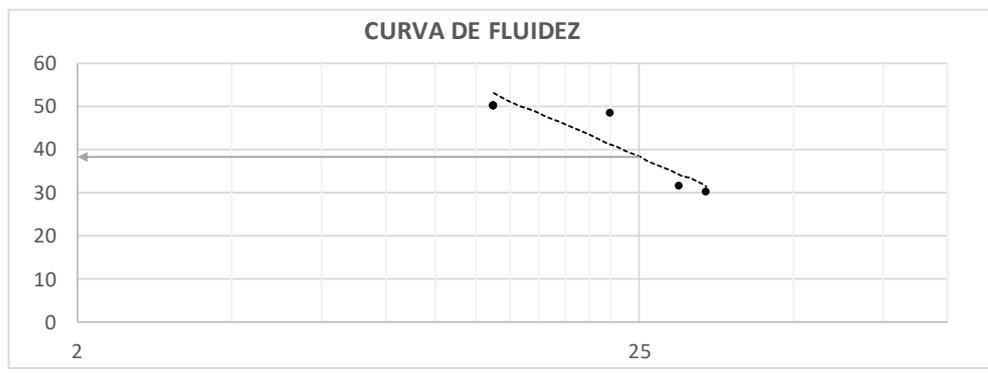
LÍMITE LÍQUIDO (%): 41.039  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 23.017  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 18.022

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.643	61.945	64.535	67.324			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	59.868	56.000	56.390	59.000			
PESO DE LATA (gr.):	40.643	36.945	39.535	42.324			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.225	19.055	16.856	16.676			
PESO DE AGUA (gr.):	5.775	5.945	8.145	8.324			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	30.039	31.199	48.320	49.918			
N° DE GOLPES:	34	30	22	13			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.215	66.200					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	59.000	64.920					
PESO DE LATA (gr.):	40.215	41.200					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.785	23.720					
PESO DE AGUA (gr.):	6.215	1.280					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	33.085	5.396					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	19.241						



LÍMITE LÍQUIDO (%): 38.244  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 19.241  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 19.003

N° DE MUESTRA: E3-1

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (m):

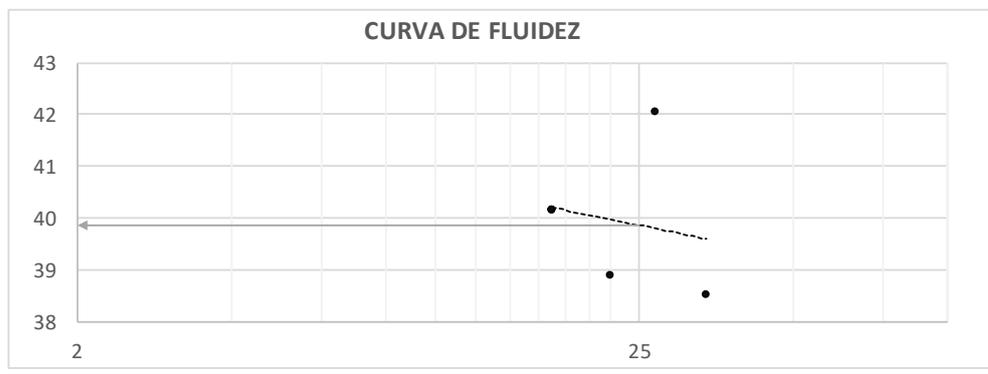
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.230	65.700	63.980	65.150			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.280	58.300	56.980	57.990			
PESO DE LATA (gr.):	40.230	40.700	38.980	40.150			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.050	17.600	18.000	17.840			
PESO DE AGUA (gr.):	6.950	7.400	7.000	7.160			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	38.504	42.045	38.889	40.135			
N° DE GOLPES:	34	27	22	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.760	65.250					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	60.790	61.020					
PESO DE LATA (gr.):	39.760	40.250					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	21.030	20.770					
PESO DE AGUA (gr.):	3.970	4.230					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	18.878	20.366					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	19.622						



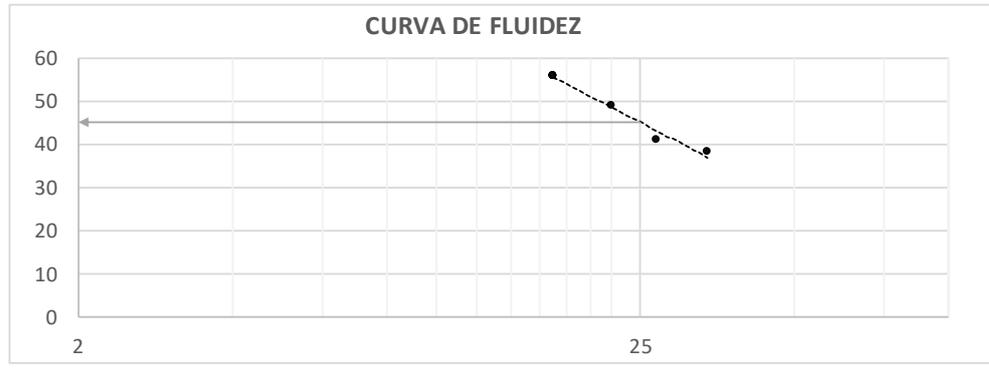
LÍMITE LÍQUIDO (%): 39.865  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 19.622  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 20.243

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.230	64.680	65.120	65.650			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.330	57.400	56.930	56.700			
PESO DE LATA (gr.):	40.230	39.680	40.120	40.650			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.100	17.720	16.810	16.050			
PESO DE AGUA (gr.):	6.900	7.280	8.190	8.950			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	38.122	41.084	48.721	55.763			
N° DE GOLPES:	34	27	22	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.120	63.960					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	60.050	59.010					
PESO DE LATA (gr.):	40.120	38.960					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.930	20.050					
PESO DE AGUA (gr.):	5.070	4.950					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	25.439	24.688					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	25.064						



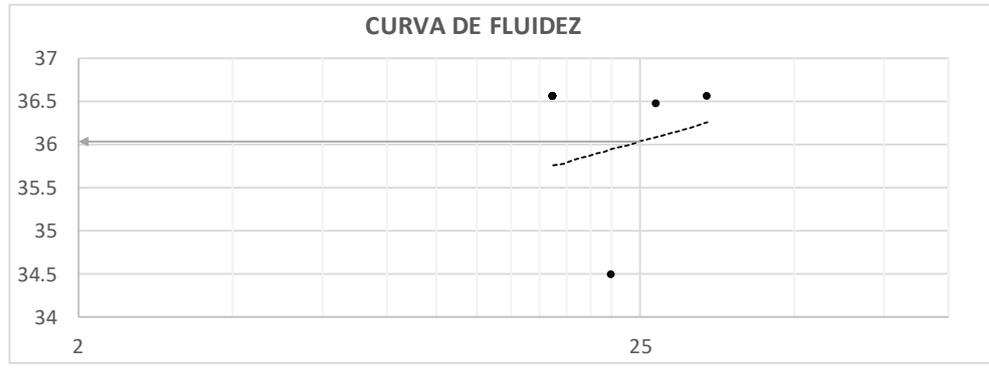
LÍMITE LÍQUIDO (%): 45.068  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 25.064  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 20.004

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.670	65.230	64.880	65.700			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	57.980	58.550	58.470	59.010			
PESO DE LATA (gr.):	39.670	40.230	39.880	40.700			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.310	18.320	18.590	18.310			
PESO DE AGUA (gr.):	6.690	6.680	6.410	6.690			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	36.537	36.463	34.481	36.537			
N° DE GOLPES:	34	27	22	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.670	65.540					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	62.100	62.790					
PESO DE LATA (gr.):	40.670	40.540					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	21.430	22.250					
PESO DE AGUA (gr.):	3.570	2.750					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	16.659	12.360					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	14.509						



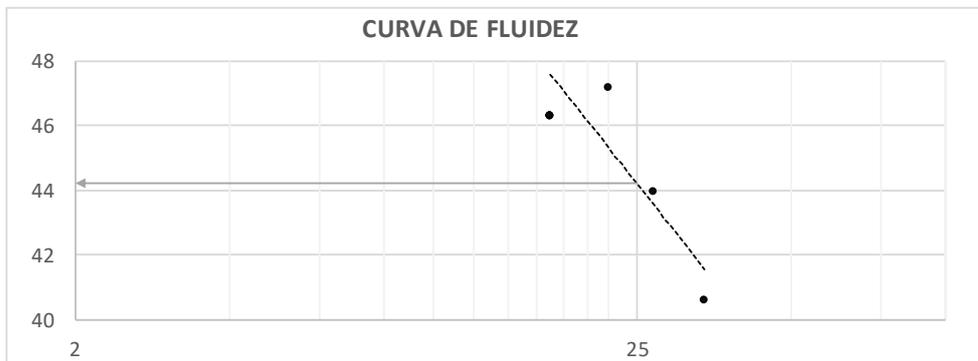
LÍMITE LÍQUIDO (%): 36.028  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 14.509  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 21.519

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.500	64.970	65.020	64.560			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.280	57.340	57.010	56.650			
PESO DE LATA (gr.):	40.500	39.970	40.020	39.560			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.780	17.370	16.990	17.090			
PESO DE AGUA (gr.):	7.220	7.630	8.010	7.910			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	40.607	43.926	47.145	46.284			
N° DE GOLPES:	34	27	22	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.700	64.020					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	61.010	59.780					
PESO DE LATA (gr.):	40.700	39.020					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	20.310	20.760					
PESO DE AGUA (gr.):	4.690	4.240					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	23.092	20.424					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	21.758						



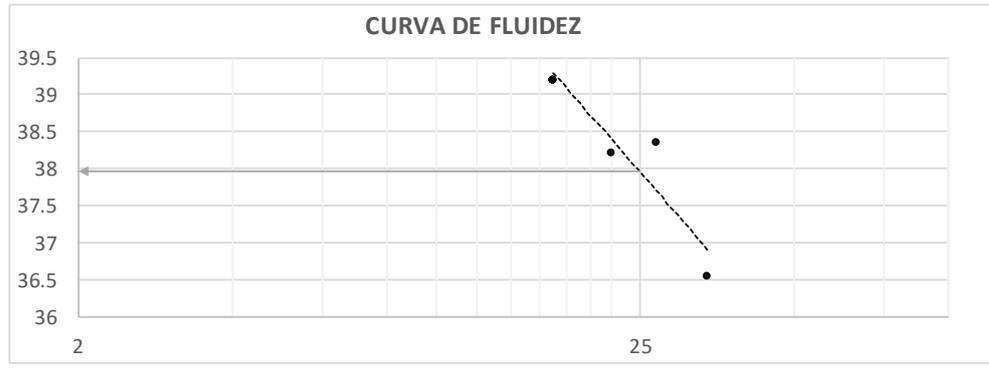
LÍMITE LÍQUIDO (%): 44.211  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 21.758  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 22.453

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.700	65.230	64.780	65.150			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	59.010	58.300	57.870	58.110			
PESO DE LATA (gr.):	40.700	40.230	39.780	40.150			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.310	18.070	18.090	17.960			
PESO DE AGUA (gr.):	6.690	6.930	6.910	7.040			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	36.537	38.351	38.198	39.198			
N° DE GOLPES:	34	27	22	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.440	64.880					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	61.830	61.023					
PESO DE LATA (gr.):	40.440	39.880					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	21.390	21.143					
PESO DE AGUA (gr.):	3.610	3.857					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	16.877	18.242					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	17.560						



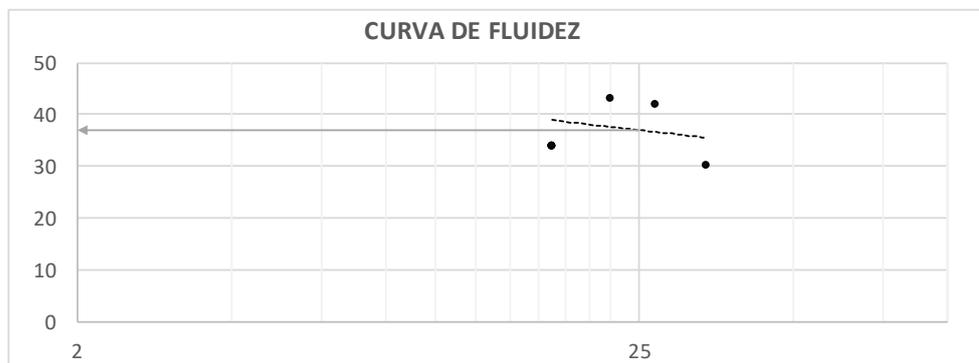
LÍMITE LÍQUIDO (%): 37.960  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 17.560  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 20.400

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.780	65.010	65.550	65.360			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	59.012	57.635	58.030	59.060			
PESO DE LATA (gr.):	39.780	40.010	40.550	40.360			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.232	17.625	17.480	18.700			
PESO DE AGUA (gr.):	5.768	7.375	7.520	6.300			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	29.992	41.844	43.021	33.690			
N° DE GOLPES:	34	27	22	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.320	65.700					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	62.360	61.550					
PESO DE LATA (gr.):	40.320	40.700					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	22.040	20.850					
PESO DE AGUA (gr.):	2.960	4.150					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	13.430	19.904					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	16.667						



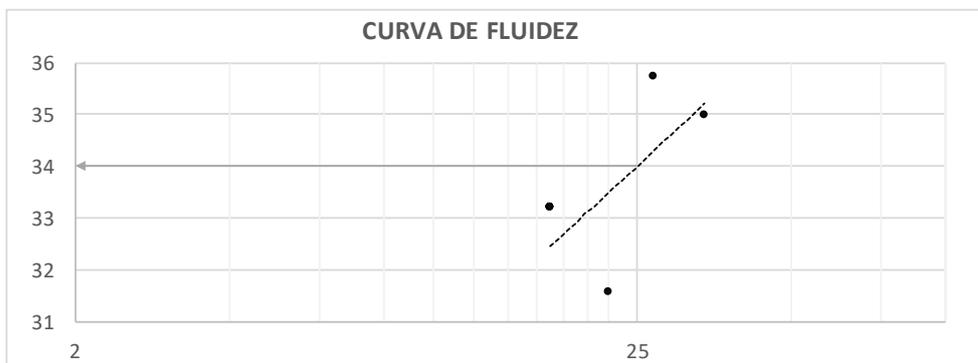
LÍMITE LÍQUIDO (%): 36.981  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 16.667  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 20.314

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.150	65.550	64.870	65.670			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.670	58.970	58.870	59.440			
PESO DE LATA (gr.):	40.150	40.550	39.870	40.670			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.520	18.420	19.000	18.770			
PESO DE AGUA (gr.):	6.480	6.580	6.000	6.230			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	34.989	35.722	31.579	33.191			
N° DE GOLPES:	34	27	22	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.960	65.150					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	62.380	61.650					
PESO DE LATA (gr.):	39.960	40.150					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	22.420	21.500					
PESO DE AGUA (gr.):	2.580	3.500					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	11.508	16.279					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	13.893						



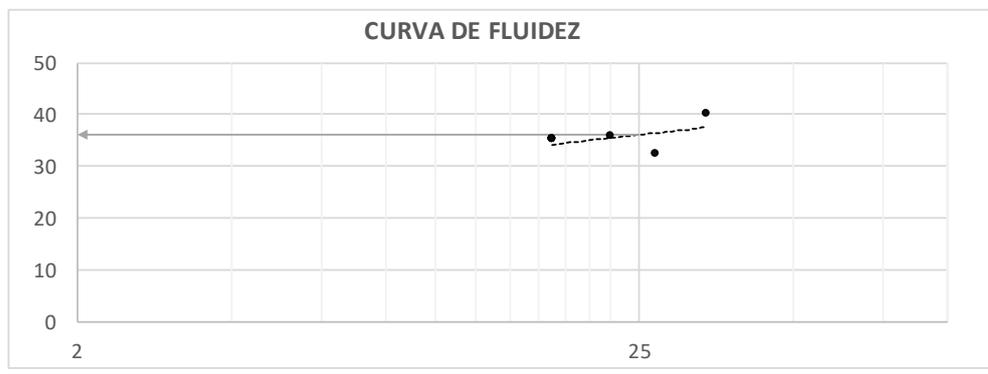
LÍMITE LÍQUIDO (%): 33.999  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 13.893  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 20.106

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.700	64.780	65.150	65.530			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.550	58.670	58.550	59.010			
PESO DE LATA (gr.):	40.700	39.780	40.150	40.530			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.850	18.890	18.400	18.480			
PESO DE AGUA (gr.):	7.150	6.110	6.600	6.520			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	40.056	32.345	35.870	35.281			
N° DE GOLPES:	34	27	22	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.320	65.150					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	62.170	61.290					
PESO DE LATA (gr.):	40.320	40.150					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	21.850	21.140					
PESO DE AGUA (gr.):	3.150	3.860					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	14.416	18.259					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	16.338						



LÍMITE LÍQUIDO (%): 36.042  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 16.338  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 19.704

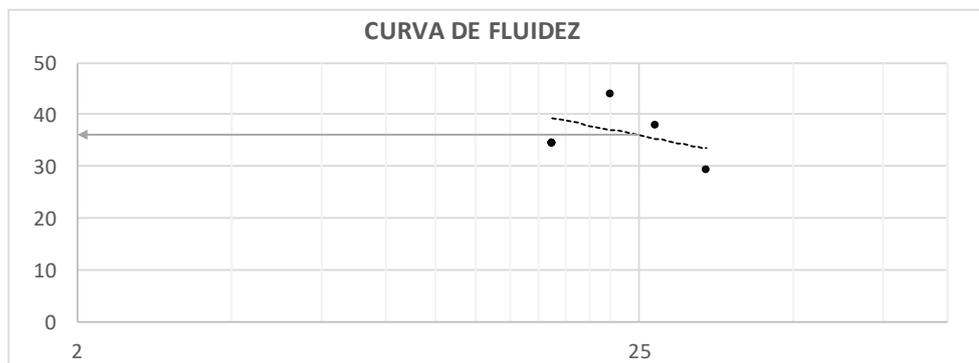
N° DE MUESTRA: ENSAYO #3, MUESTRA #9

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.770	65.110	65.700	65.520			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	59.110	58.250	58.090	59.140			
PESO DE LATA (gr.):	39.770	40.110	40.700	40.520			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	19.340	18.140	17.390	18.620			
PESO DE AGUA (gr.):	5.660	6.860	7.610	6.380			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	29.266	37.817	43.761	34.264			
N° DE GOLPES:	34	27	22	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.560	65.650					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	61.950	61.084					
PESO DE LATA (gr.):	39.560	40.650					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	22.390	20.434					
PESO DE AGUA (gr.):	2.610	4.566					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	11.657	22.345					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	17.001						



LÍMITE LÍQUIDO (%): 36.003  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 17.001  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 19.002

N° DE MUESTRA: ENSAYO #3, MUESTRA #10

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (m):

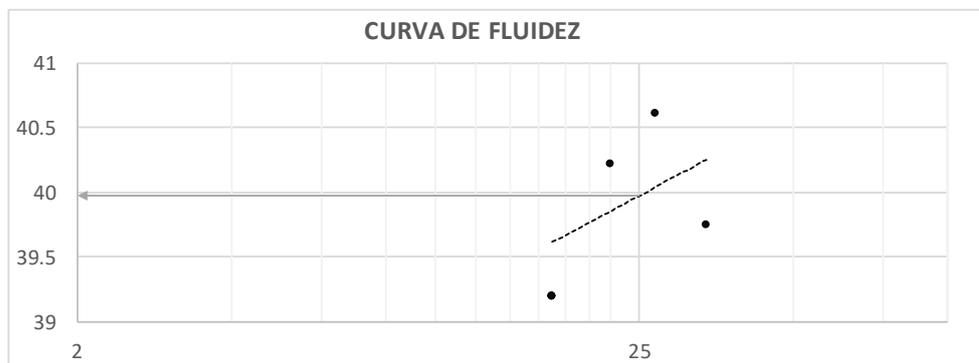
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.230	64.770	65.150	65.440			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.120	57.550	57.980	58.400			
PESO DE LATA (gr.):	40.230	39.770	40.150	40.440			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.890	17.780	17.830	17.960			
PESO DE AGUA (gr.):	7.110	7.220	7.170	7.040			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	39.743	40.607	40.213	39.198			
N° DE GOLPES:	34	27	22	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.300	65.220					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	61.240	60.771					
PESO DE LATA (gr.):	40.300	40.220					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	20.940	20.551					
PESO DE AGUA (gr.):	4.060	4.449					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	19.389	21.649					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	20.519						



LÍMITE LÍQUIDO (%): 39.970

LÍMITE PLÁSTICO (%): 20.519

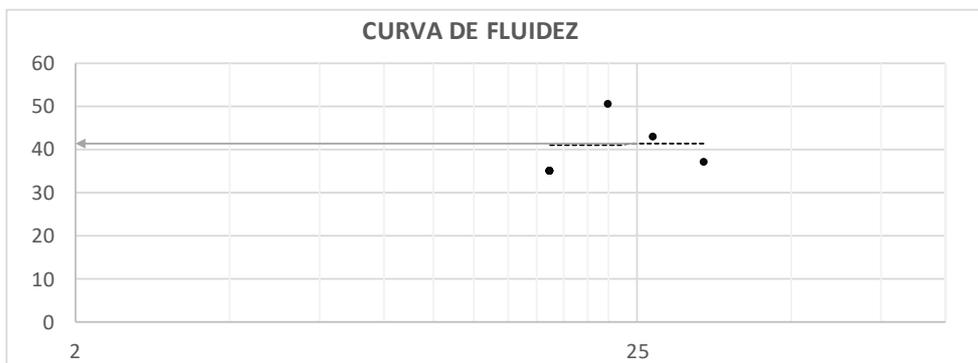
ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 19.452

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.880	65.150	65.560	65.430			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.150	57.670	57.200	59.000			
PESO DE LATA (gr.):	39.880	40.150	40.560	40.430			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.270	17.520	16.640	18.570			
PESO DE AGUA (gr.):	6.730	7.480	8.360	6.430			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	36.836	42.694	50.240	34.626			
N° DE GOLPES:	34	27	22	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.780	64.930					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	61.010	59.965					
PESO DE LATA (gr.):	39.780	39.930					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	21.230	20.035					
PESO DE AGUA (gr.):	3.770	4.965					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	17.758	24.782					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	21.270						



LÍMITE LÍQUIDO (%): 41.116  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 21.270  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 19.847

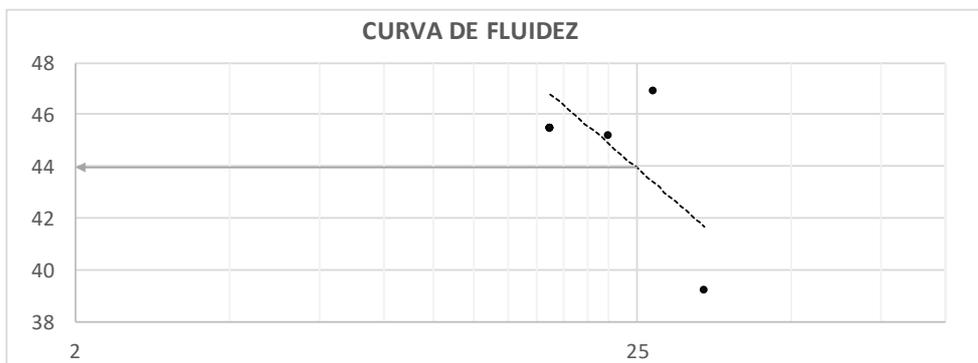
N° DE MUESTRA: ENSAYO #3, MUESTRA #12

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.150	65.440	64.870	64.930			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.110	57.460	57.090	57.120			
PESO DE LATA (gr.):	40.150	40.440	39.870	39.930			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.960	17.020	17.220	17.190			
PESO DE AGUA (gr.):	7.040	7.980	7.780	7.810			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	39.198	46.886	45.180	45.433			
N° DE GOLPES:	34	27	22	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.110	65.650					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	61.160	60.014					
PESO DE LATA (gr.):	40.110	40.650					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	21.050	19.364					
PESO DE AGUA (gr.):	3.950	5.636					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	18.765	29.106					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	23.935						



LÍMITE LÍQUIDO (%): 43.936  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 23.935  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 20.000

N° DE MUESTRA: ENSAYO #3, MUESTRA #13

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (m):

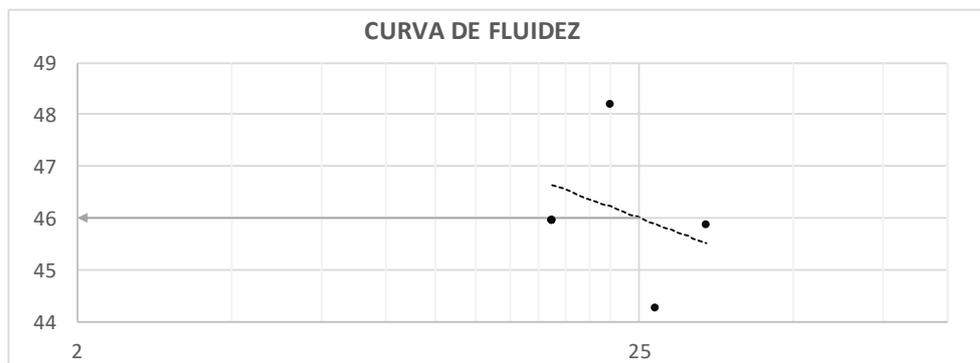
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.870	65.110	65.330	65.560			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	57.010	57.440	57.200	57.690			
PESO DE LATA (gr.):	39.870	40.110	40.330	40.560			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.140	17.330	16.870	17.130			
PESO DE AGUA (gr.):	7.860	7.670	8.130	7.870			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	45.858	44.259	48.192	45.943			
N° DE GOLPES:	34	27	22	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.870	65.620					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	60.550	59.981					
PESO DE LATA (gr.):	39.870	40.620					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	20.680	19.361					
PESO DE AGUA (gr.):	4.320	5.639					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	20.890	29.126					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	25.008						



LÍMITE LÍQUIDO (%): 46.010  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 25.008  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 21.002

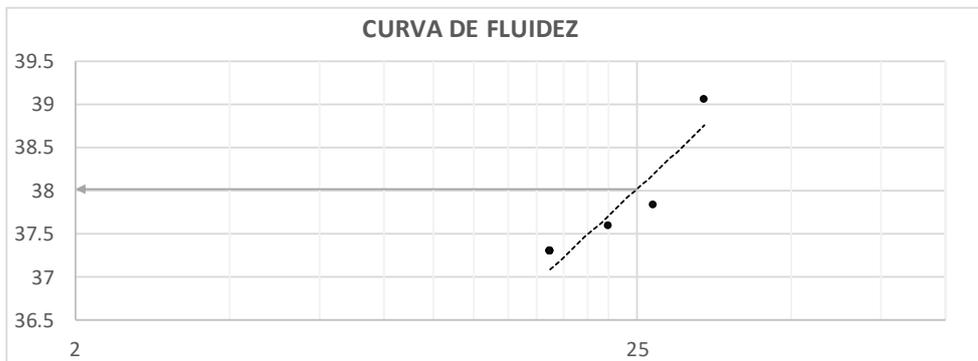
N° DE MUESTRA: ENSAYO #3, MUESTRA #14

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.130	64.870	64.670	65.540			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.110	58.010	57.840	58.750			
PESO DE LATA (gr.):	40.130	39.870	39.670	40.540			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.980	18.140	18.170	18.210			
PESO DE AGUA (gr.):	7.020	6.860	6.830	6.790			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	39.043	37.817	37.589	37.287			
N° DE GOLPES:	34	27	22	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.110	65.230					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	61.330	61.743					
PESO DE LATA (gr.):	40.110	40.230					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	21.220	21.513					
PESO DE AGUA (gr.):	3.780	3.487					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	17.813	16.209					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	17.011						



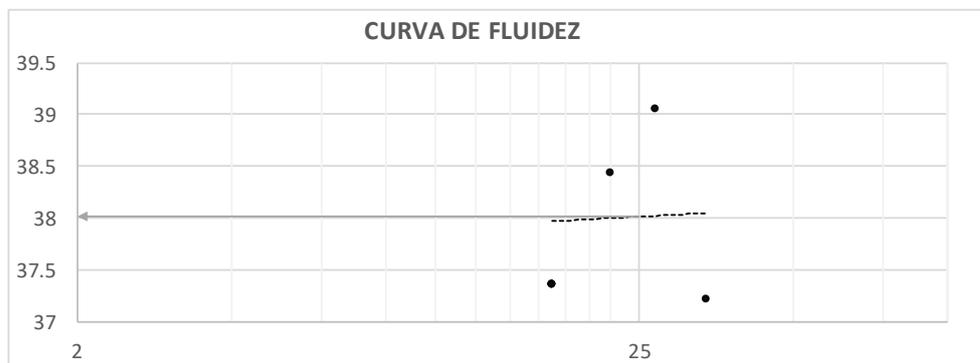
LÍMITE LÍQUIDO (%): 38.011  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 17.011  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 21.000

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.870	65.140	65.700	65.250			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.090	58.120	58.760	58.450			
PESO DE LATA (gr.):	39.870	40.140	40.700	40.250			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	18.220	17.980	18.060	18.200			
PESO DE AGUA (gr.):	6.780	7.020	6.940	6.800			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	37.212	39.043	38.427	37.363			
N° DE GOLPES:	34	27	22	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	64.880	65.140					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	61.440	61.680					
PESO DE LATA (gr.):	39.880	40.140					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	21.560	21.540					
PESO DE AGUA (gr.):	3.440	3.460					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	15.955	16.063					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	16.009						



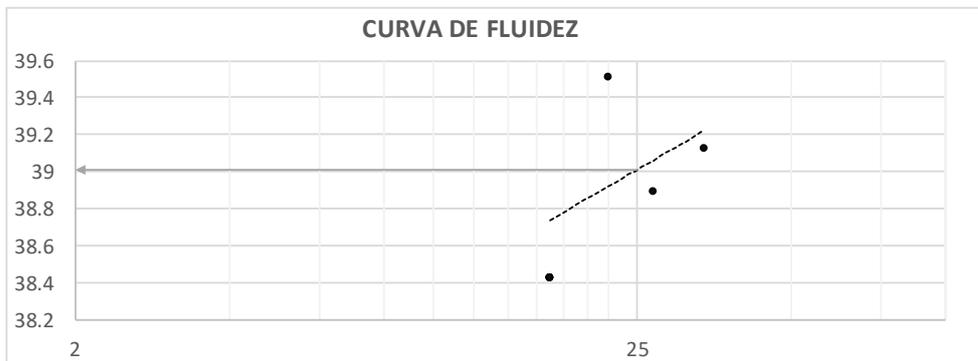
LÍMITE LÍQUIDO (%): 38.015  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 16.009  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 22.006

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	1	2	3	4			
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.160	64.870	64.960	65.160			
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	58.130	57.870	57.880	58.220			
PESO DE LATA (gr.):	40.160	39.870	39.960	40.160			
PESO DE SUELO SECO (gr.):	17.970	18.000	17.920	18.060			
PESO DE AGUA (gr.):	7.030	7.000	7.080	6.940			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	39.121	38.889	39.509	38.427			
N° DE GOLPES:	34	27	22	17			

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	1	2					
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	65.700	64.880					
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	61.110	62.298					
PESO DE LATA (gr.):	40.700	39.880					
PESO DE SUELO SECO (gr.):	20.410	22.418					
PESO DE AGUA (gr.):	4.590	2.582					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	22.489	11.518					
LÍMITE PLÁSTICO (%):	17.003						



LÍMITE LÍQUIDO (%): 39.009  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 17.003  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 22.006