

**"MINI LABORATORY
PRESSUROMETER (MPMTLAB)"**

**"MINI-PRESURÍMETRO DE
LABORATORIO (MPMTLAB)"**

Brayan Moreno, Jesús Botero, John Garzón,
Eliana Martínez and Juan Carlos Ruge.
*Programa de Ingeniería Civil, Universidad Piloto
de Colombia*

Abstract: Summary: This article presents the results of the experimental campaign obtained from the execution of 6 fine soil tests at different percentages (%) of humidity, carried out in the "LABORATORY MINI-PRESSURE METER (MPMTLAB)". In addition, the assembly, the initial calibration of the equipment and the test procedure are presented. Within the experimental methodology of this campaign, the proctor density of the material was taken into consideration for the performance of the first four (4) tests and a lower density for the execution of the last two (2) tests, taking into account pressures lower than the 10Mpa. The purpose of this test is to determine the following parameters: Modulus of pressuremetric deformation (E_p), limit pressure (P_l) and yield pressure (P_f). and finally, the initial calibration of this equipment.

Keywords: *Maximum density, Kaolin, mini-presurimeter, support capacity, deformation in soils.*

Resumen: En este artículo se presentan los resultados de la campaña experimental

obtenidos de la ejecución de 6 ensayos de suelo fino a diferentes porcentajes (%) de humedad, realizadas en el "MINI-PRESURIMETRO DE LABORATORIO (MPMTLAB)". Además, se presenta el ensamble, la calibración inicial del equipo y el procedimiento del ensayo. Dentro de la metodología experimental de esta campaña se tuvo en consideración la densidad proctor del material para la realización de los primeros cuatro (4) ensayos y una densidad menor para la ejecución de los dos (2) últimos ensayos, teniendo en cuenta presiones inferiores a los 10Mpa. La finalidad de este ensayo es la determinación de los siguientes parámetros: Módulo de deformación presiométrico (E_p), la presión límite (P_l) y la presión de fluencia (P_f). y finalmente, la calibración inicial de este equipo.

Palabras Clave: Densidad máxima, Caolín, mini-presurimetro, capacidad de soporte, deformación en suelos.

I. Introducción

Colombia se caracteriza por ser un país con una extensa diversidad geotécnica, puesto que por su ubicación geográfica presenta distintos tipos de suelos como lo indica el Sistema Universal de Clasificación de Suelos, SUCS en los cuales están las gravas, arenas, limos y arcillas. El suelo al ser un material complejo y de características cambiantes con respecto a las condiciones ambientales debe ser estudiado adecuadamente. Por lo anterior, es fundamental tener un conocimiento claro

de los parámetros y rasgos físicos a la hora de realizar una obra, esto debido a que las dificultades más frecuentes en la ingeniería están ligadas directamente a la inestabilidad del terreno la cual se refleja con problemas de deslizamiento, asentamientos excesivos o fallas del material **(Sáez, 2010)**.

Partiendo de dicha premisa, es indispensable desarrollar estudios de suelos, mediante ensayos in situ o en laboratorio, obteniendo parámetros del suelo de suma importancia como el esfuerzo al que el terreno se cizalla, resistencia al corte sin drenaje, presión de empuje al reposo, el grado de consolidación, cohesión y ángulo de rozamiento. Con el fin de conocer el comportamiento del suelo y así ejecutar exitosamente proyectos de construcción de gran impacto como vías, taludes, muros de contención, cimentaciones superficiales y profundas **(Cano, H. 2009)**.

Teniendo en cuenta lo anterior, se lleva a cabo el desarrollo del proyecto propuesto en el presente documento, en el cual se realizó el diseño, la construcción y calibración parcial de un equipo didáctico denominado “Mini-Presurímetro de Laboratorio (MPMTLAB)” cuya finalidad es generar una opción alterna para la caracterización geotécnica de suelos en laboratorio. Adicional, se busca incentivar la investigación experimental en los estudiantes de pregrado de Ingeniería Civil a través de la fabricación y puesta en funcionamiento de equipos didácticos de

laboratorio. De igual forma el presente documento estudiara parámetros geotécnicos que permitan el análisis adecuado del sustrato, con el fin de identificar, comprender y mejorar las técnicas para la realización del ensayo en el “Mini-Presurímetro de Laboratorio (MPMTLAB)”

II. Estado del Arte

Para tener una noción del tema expuesto en este artículo, se tuvieron en cuenta algunas investigaciones guía para conocer los resultados obtenido de estudios similares al presente, teniendo en cuenta un enfoque de diseño, calibración del Presurímetro y ejecución de pruebas.

El ensayo Presiométrico de Ménard permite determinar la resistencia al corte mediante una correlación con la presión límite que fue propuesta por Amar y Jézéquel en 1972 **(Vega, L. L. 2016)**. Los rangos son sumamente amplios y se podría decir que no son altamente precisos los resultados.

A su vez los presiómetros suelen ser conocidos también en España como dilatómetros o presiometros cuando se trata de ensayos que alcanzan elevadas presiones, hasta 20 MPa, (utilizados en rocas) para diferenciarlos de los clásicos presiómetros Ménard, que alcanza menores presiones de trabajo (8 MPa) y cuya aplicación es en suelos o en su defecto en rocas blandas **(Clarke, 1995)**. En el presente escrito se optó por la denominación presiómetro y presiometría

ya que estrictamente es la terminología correcta que hace referencia a la aplicación de una presión. Y dilatómetro es un término más correcto para la expansión debido al efecto de la temperatura.

De igual forma se encontró el proceso de desarrollo del ensayo con el fin de obtener los parámetros geotécnicos que permitan hacer un análisis de resultados y por consiguiente modelar el comportamiento del terreno durante la construcción y explotación. La interpretación de los EGIS para obtener los parámetros geotécnicos se puede dividir en tres grandes grupos: 1. Ensayos en los cuales los elementos del suelo siguen trayectorias de tensiones muy parecidas a las reales. Esta forma de interpretación de los ensayos es muy conocida como método indirecto, un ejemplo de entender es el compuesto por el presiómetro de Ménard, desarrollado en Francia en la década de los 50s. A partir de los resultados obtenidos con el ensayo (el módulo presiométrico, la presión de fluencia y la presión límite del suelo) se pueden realizar directamente cálculos para el diseño, tales como capacidad portante de cimentaciones, asientos, entre otros. Al igual que la selección del material a ser estudiado, es importante llevar a cabo la utilización adecuada de la máquina, proceder a realizar una calibración idónea que permita el desarrollo controlado de las pruebas. Efectivamente, el ensayo presiométrico tiende a sobrestimar netamente los valores de la cohesión y subestimar los del ángulo de rozamiento

interno que prácticamente son los responsables de estas diferencias. Por esta razón es común utilizar modelos simples de naturaleza empírica para la interpretación de los ensayos (**Devincenzi, M. Frank, N. 1995**).

Con el fin de conceptualizar claramente el ensayo y en referencia a la investigación se encontró que; El ensayo presiométrico se realiza en el interior de un sondeo de diámetro convencional y consiste en aplicar escalonadamente una presión radial, mediante una sonda dilatante, en el interior del sondeo. Al igual que se debe considerar que una vez alcanzada la presión máxima admisible se procede a descargar el presiómetro, de forma escalonada, midiendo las deformaciones durante la descarga. Según lo indica la presión es aplicada a través de una membrana de caucho ya sea por medio de agua o de aire. Se trabaja con presiones menores a 10Mpa y solo algunos casos hasta 20Mpa. Se lleva a cabo la elaboración de la curva presiométrica. A partir de esta curva se calcula la presión de fluencia, PF, o presión a la que el material deja de comportarse elásticamente, y la presión límite PL, que es la presión a la que el terreno se cizalla, no admitiendo ningún incremento de presión. Por último, se obtiene el módulo de deformación presiométrico E_p (**González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., & Oteo, C. 2002**).

Con la finalidad de ampliar un conocimiento claro del funcionamiento general del equipo y en búsqueda de llevar

a cabo adecuadamente los procesos se tienen como referencia la puesta en funcionamiento del Presiómetro de Ménard y el uso de metodologías para la obtención de los parámetros del PMT, las cuales buscan beneficiar las investigaciones en el área de la geotecnia. Esto aplicado a pruebas reales para la ampliación de una construcción. La metodología de este proyecto comprende los cuidados, maneras y algunas recomendaciones para realizar una prueba presiométrica de manera correcta, dando al lector una esquematización de los pasos a seguir en forma secuencial al ejecutar el ensayo, se procura dejar claro cada paso y el porqué es necesario realizarlo (Jiménez, D. 2007).

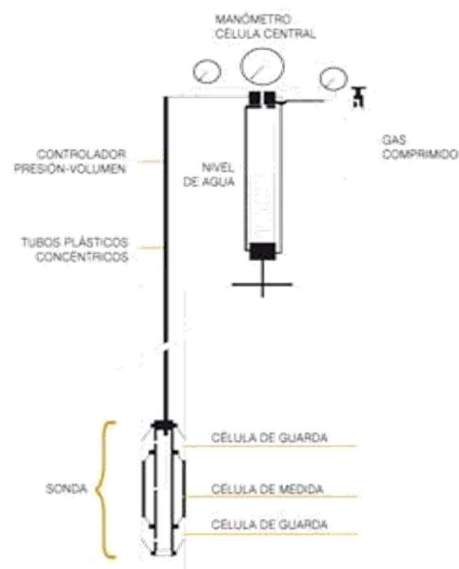
Uno de los procesos encontrados para ver en funcionamiento este ensayo fue el del Edificio central en donde se llevaron a cabo 4 diferentes pruebas para la obtención de estos parámetros, en las cuales se compararon rangos de presión, tipos de material a estudiar como arcillas blandas y duras. Estas pruebas permitieron la realización de cálculos, generación de gráficas y la construcción de un análisis de resultados acorde al planteamiento de este proyecto. Así como definir que la capacidad de soporte de un suelo calculada con los métodos del presiómetro es directamente proporcional a la presión límite y si la presión límite es la responsable de esta dispersión se debe a que, posiblemente el agujero sea muy grande con respecto al diámetro de la probeta, lo que ocasiona una pérdida de

volumen que no se espera (Jiménez, D. 2007).

III. Materiales y Metodología

El presiómetro de Ménard para realizar ensayos de suelo “*in situ*”. Consta de tres componentes principales, los cuales son: *La Unidad de Control, El Tubo Coaxial y La Probeta*.

Figura 1. Esquema ilustrativo de partes del equipo.



Fuente: Devincenzi, M. Frank, N. (1995).

UNIDAD DE CONTROL: La unidad de control es una caja de fibra de vidrio con un panel frontal en el cual hay varios reguladores, calibradores de presión y válvulas, como se observa en la Figura 1.

PROBETA: es un cilindro metálico hueco, alrededor del cual hay una membrana de

hule ubicada en la parte central, esta membrana tiene una protección, la cual se extiende sobre la totalidad de la longitud de la probeta.

TUBO COAXIAL: El tubo coaxial consiste en 2 tubos conectados de manera concéntrica, de la unidad de control a la probeta. El tubo interno es utilizado para aplicar el agua a presión mientras que el tubo externo se utiliza para aplicar la presión de gas a las celdas de guarda (**Baguelin F., Jézequel J., e Shields D. 1978**).

El ensayo presiométrico de campo consiste en una prueba in situ, específicamente se inserta la célula cilíndrica en la perforación, una vez que se ubique a la profundidad deseada se le aplica presión y agua a la probeta mediante el tubo coaxial. La probeta tiene una membrana, la cual tiene dos cavidades internas, una que se le denomina celda central y otra que se llama celda de guarda, estas cavidades albergan lo que es el agua y el gas durante el ensayo. La prueba consiste en llenar la probeta con gas y agua para que la funda metálica y la membrana entren en contacto con las paredes de la perforación. La inyección de gas se realiza incrementando la presión en la unidad de control. Dichos incrementos de presión se deben realizar cada 60 segundos, dejando que el agua fluya libremente por el cuerpo de la membrana, en específico, por la celda central de la misma, alcanzado un volumen cercano a los 600cc. A este volumen se considera que la prueba ha

terminado y el suelo ha llegado a su falla (**Devincenzi, M. 1995**).

• TIPOS DE PRESURÍMETROS

Existen distintos tipos de presiómetros:

Tipo GB: Todas sus celdas se llenan con

agua a presión, y está adaptado para realizar ensayos en roca (**Jiménez, D. 2007**).

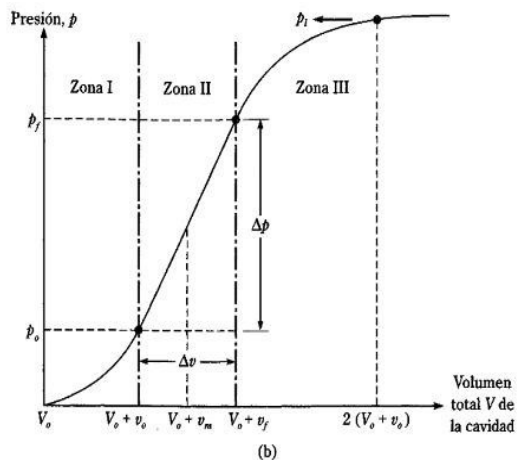
Tipo E: es el presiómetro en el que la presión en la celda de guarda se mantiene igual que la presión en la celda central, es decir, una vez que la celda de guarda se llena con el gas, la presión automáticamente se iguala en ambas celdas (**Jiménez, D. 2007**).

Tipo GC: consta de dos celdas, celda de guarda y celda central, ambas presurizadas con gas y agua respectivamente (**Jiménez, D. 2007**).

Es importante recordar que los tipos de presiómetros trabajan de manera similar, las alteraciones aparecen en el procedimiento, básicamente las discrepancias aparecen en las duraciones de las presiones y en los incrementos de ellas. Al ser un ensayo de variabilidad en volumen, las variaciones registradas durante la prueba se convierten en deformaciones del suelo, y son las que permiten medir el Módulo de deformación presiométrico (E_p), la presión límite (P_l) y la presión de fluencia (P_f), a partir de la

curva presiométrica, como se puede observar en la figura 2.

Figura 2. Esquema ilustrativo de curva presiométrica.



Fuente: López et al (2019)

Con la curva generada de ensayo se obtienen parámetros definidos propios del suelo y se puede calcular la capacidad portante del suelo. Lo que se muestra en esta grafica son 3 fragmentos bien definidos:

Zona I: Define la presión horizontal *in situ*. La cual es la presión necesaria para ejercer un esfuerzo en el terreno, debido a la expansión de la membrana y el volumen de la cavidad.

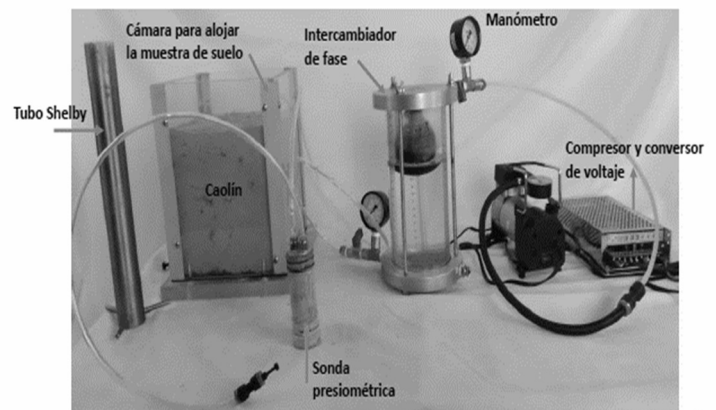
Zona II: Define el rango de comportamiento elástico del suelo y también identifica el módulo de deformación presiométrico (E_p) del material en estudio.

Zona III: Identifica el rango de comportamiento plástico del suelo, al introducir la membrana se induce presión

en el material deformándolo hasta llegar al punto de falla (González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., & Oteo, C. 2002).

ENSAMBLE MINI-PRESURIMETRO DE LABORATORIO

Figura 3. Partes del Mini presurímetro de laboratorio (MPTMLAB).



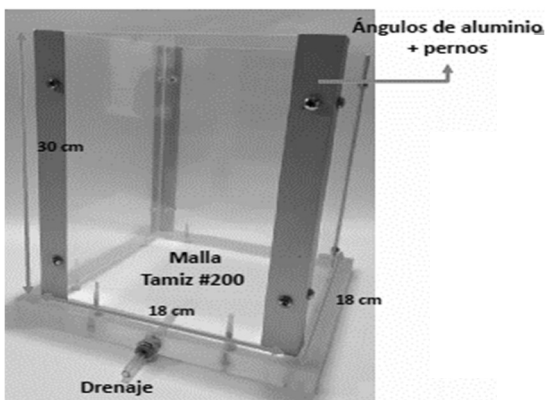
Fuente: Elaboración propia.

La metodología experimental realizada tiene como base fundamental el cumplimiento de los objetivos, en búsqueda de profundizar principalmente los conceptos básicos del proyecto, al igual que orientar a otros estudiantes investigadores a llevar a cabo proyectos en pro de la investigación en el campo de la geotecnia. Por lo cual en este proyecto llevo a cabo el diseño y construcción del equipo denominado “Mini-presurímetro de laboratorio (MPTMLAB)”, basado en el principio del presurímetro de Menard. El equipo consta de las siguientes partes:

Cámara para muestra: En esta parte del equipo está contenida la muestra de un suelo fino para la realización del ensayo. La cámara está constituida por una caja

acrílica de 18 cm por 18 cm, con una altura de 30 cm, sus paredes son de un acrílico de 10mm de espesor, unidas en sus aristas verticales por ángulos de aluminio y pernos. La base de la cámara cuenta con un orificio de 1/4 de pulgada comunicado al exterior con un racor de sello rápido de 1/8 de pulgada para garantizar el drenaje de la muestra del suelo en estudio de ser necesario. El fondo de esta cámara tiene una malla de tamiz #200 cumpliendo la función de piedra porosa permitiendo la salida de líquido.

Figura 4. Cámara para contener la muestra de suelo (MPTMLAB).

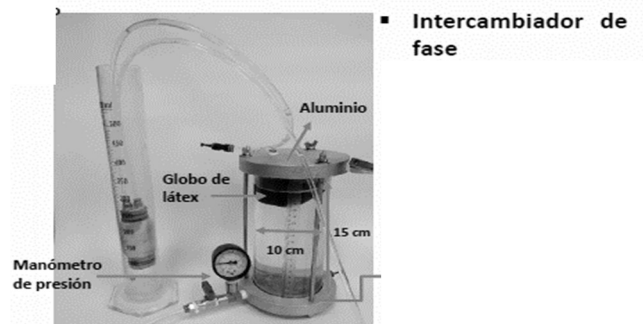


Fuente: Elaboración propia.

Intercambiador de fase: Esta parte es la encargada de recibir el aire del compresor y a su vez de inyectar el agua a una presión controlada a la sonda. El intercambiador se conforma por una recámara cilíndrica de acrílico de 4mm de espesor y con dimensiones de 10cm de diámetro y 15cm de alto, está sellada en sus extremos por una base y una tapa de aluminio de 15cm de diámetro y 2cm de espesor, estas están unidas por tres varillas de acero sujetadas

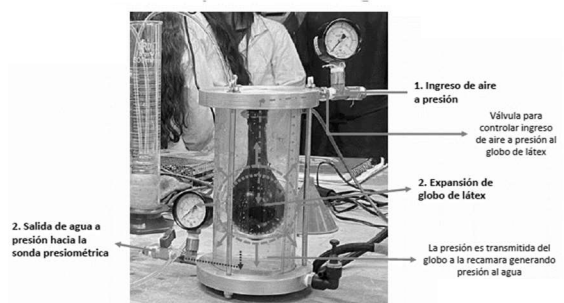
con tornillos en sus extremos para garantizar que la recámara quede completamente sellada evitando pérdidas de presión. La base tiene un ducto de salida con una válvula conectada a un manómetro para así controlar la presión del agua. En la tapa hay un orificio con un ducto de entrada conectado a una válvula para controlar el suministro de aire, en el centro interno de la tapa hay un pedestal donde se realiza el acoplamiento de un globo de látex, que al inflarse con el aire suministrado genera que el agua se traslade de la recámara cilíndrica hacia la sonda. Para permitir la lectura del volumen desplazado, se le colocó a la recámara una escala graduada.

Figura 5. Intercambiador de fase (MPTMLAB).



Fuente: Elaboración propia.

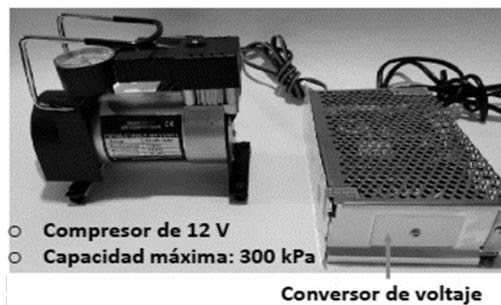
Figura 6. Intercambiador de fase (MPTMLAB).



Fuente: Elaboración propia.

Compresor: es el que suministra el aire al intercambiador de presión, se realiza la instalación de un compresor pequeño de 12V y 300 kPa de capacidad máxima aproximadamente, este tiene un conversor de voltaje para conectarse a un tomacorriente habitual de 110V.

Figura 7. Compresor (MPTMLAB).



Fuente: Elaboración propia.

Sonda: La sonda es la responsable de generar presión horizontal a la muestra de estudio y el ingreso de volumen de agua. Está compuesta de una membrana de látex que recubrirá a un cilindro de aluminio de 3.8cm de diámetro, con un largo de 10cm y con 12 orificios de 1/8 de pulgada de diámetro, distribuidos en su perímetro para permitir el ingreso de agua a la membrana, sellados con 2 o’rings en cada extremo para evitar pérdidas de presión. Por último, en un extremo del cilindro se consta de dos orificios para acoplar la entrada y salida de agua a la sonda.

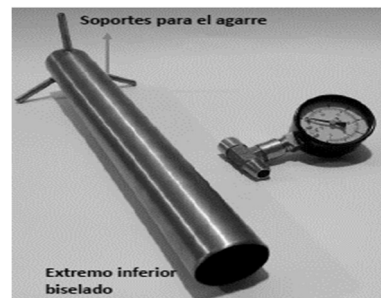
Figura 8. Sonda presiometrica (MPTMLAB).



Fuente: Elaboración propia.

Tubo Shelby: con este tubo se realiza la perforación en la muestra para el ingreso de la sonda. Está compuesto de un tubo de acero inoxidable con un diámetro de 1.5 pulgadas y un largo de 40cm, para facilitar la perforación, consta de un biselado en un extremo y en el otro extremo tres soportes para el agarre.

Figura 9. Tubo shelby (MPTMLAB).



Fuente: Elaboración propia.

Manómetros: En la salida del intercambiador hacia la sonda, tiene un manómetro de escala de 0 a 98 kPa, con una válvula de control, para regular y medir la presión ingreso del agua. En la entrada de aire del intercambiador de presión, cuenta con el manómetro de escala de 0 a 689 kPa, con una válvula de control, para regular y medir la presión de aire abastecido por el compresor.

IV. Programa Experimental

El equipo fue diseñado para estudiar suelos finos, debido a que se trabajó con presiones bajas y a su vez evitar que la membrana de la sonda se dañe fácilmente. Puntalmente, durante la realización de las pruebas se trabajó con

caolín blanco dado que es un mineral industrial con diversos usos: papel, pintura, cerámicos, caucho, plásticos. El caolín, es un material de fácil acceso y adquisición con características y comportamientos similares a la arcilla. Por otra parte, se definió para esta campaña experimental el desarrollo de ensayos de caracterización del caolín establecidas en la normatividad del INVIAS 2013; Hidrometría (INV E-123-13), Límites de consistencias (INV E-125/126-13) y Gravedad específica (INV E-128-13). También se establece trabajar con el caolín en su máxima densidad proctor, este dato obtenido con el ensayo de Relaciones humedad – peso unitario (INV E-141-13) **(INVIAS.2007)**.

La muestra compactada en la cámara para la muestra, con una altura de 15cm, teniendo este dato, se mantendrán las condiciones del ensayo INV E-141-13, es decir, se trabajó con el mismo número de capas, se implementó el mismo martillo normalizado, únicamente se realizó el ajuste del volumen (volumen de la cámara de muestra) y con estos se calcula el número de golpes necesarios para conservar la energía de compactación **(Rollins, T. D. 1997)**.

Figura 10. Muestra caolín



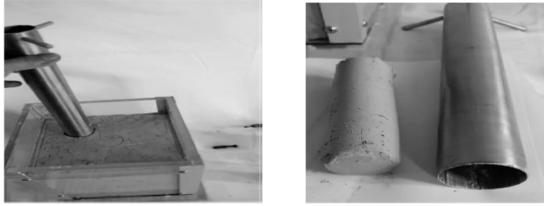
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se proyectó la realización de 10 ensayos en el equipo de mini-presurímetro de laboratorio diseñado y construido con estas condiciones de muestra, para establecer la variabilidad de los datos registrados. Pero en su etapa de desarrollo se llevaron a cabo seis (6) ensayos debido a las condiciones específicas del material en estudio.

En la obtención de las propiedades físicas del Caolín: El caolín presenta propiedades características de los suelos finos, por lo cual es su estructura se denomina un material altamente cohesivo **(Schnaid F. 2000)**.

Preparación de la muestra de suelo: Compactación de la muestra de suelo en tres (3) capas de igual altura. Perforación de la muestra de suelo para la instalación de la sonda: Con la muestra compactada, se procede a realizar el orificio con el tubo Shelby.

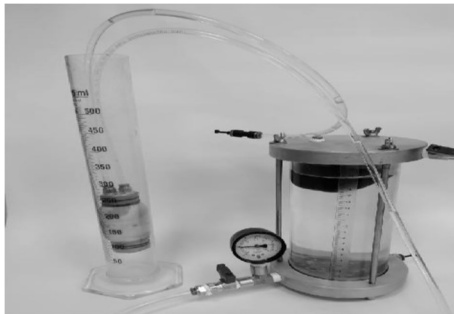
Figura 11. Preparación de la muestra de suelo.



Fuente: Elaboración propia.

Calibración de la sonda:
 Introducción de la sonda y lectura inicial de volumen: Se procede a introducir la sonda en el orificio realizado. Lectura inicial de volumen de agua en el intercambiador de fase.

Figura 12. Calibración de la sonda



Fuente: Elaboración propia.

Expansión de la cavidad y lectura final de volumen: Aplicación de incrementos de presión de 1 psi (± 7 kPa). Este ingreso se mide con la válvula de salida del intercambiador de presiones. Lectura final de volumen de agua en el intercambiador de fase.

Figura 13. Introducción de sonda y lectura inicial de volumen.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Expansión de cavidad y lectura final de volumen



Fuente: Elaboración propia.

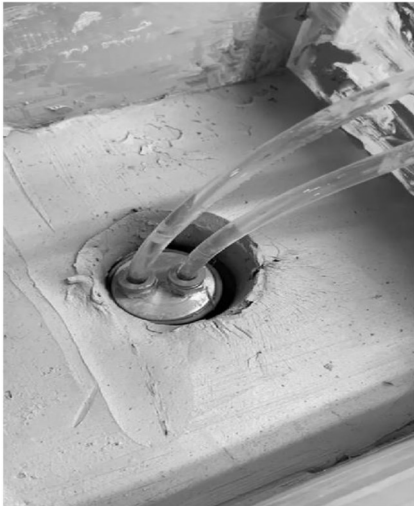
V. Presentación y Discusión de Resultados

Fase I: CAMPAÑA EXPERIMENTAL PRINCIPAL. Durante el desarrollo de la campaña experimental, se llevaron a cabo finalmente seis (6) ensayos de los diez (10) proyectados durante el proceso de planteamiento del proyecto. Esto debido a las condiciones y resultados presentados por reacción del material a densidad proctor, el cual no presentó deformación, teniendo en cuenta que la densidad proctor es la máxima densidad que puede desarrollar un material a una humedad determinada y teniendo en cuenta que el equipo construido trabaja a unas bajas presiones, no se logró evidenciar cambios en el volumen en los incrementos de presión.

Fase II: ENSAYOS ADICIONALES. Se lleva a cabo el desarrollo de ensayos adicionales en el mini-presurímetro de laboratorio. Ensayos con una humedad cercana al LL del caolín (49%). En esta presentación de ensayos se evidencia notoriamente que la muestra en condiciones de densidad inferiores a su máximo si presenta una deformación al

incremento de presiones, logrando registrar datos para el procesamiento, Ver figura 15.

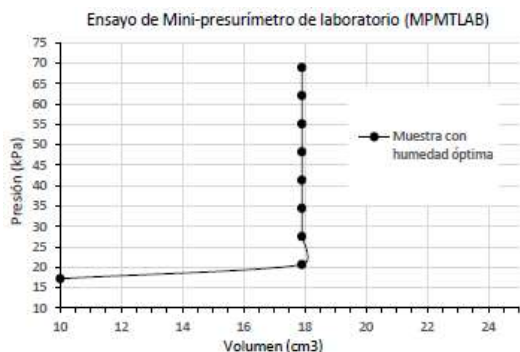
Figura 15. Variación de volumen w=49%



Fuente: Elaboración propia.

Fase III: GRÁFICOS. Se lleva a cabo el análisis gráfico de las dos campañas de ensayos, partiendo de los resultados obtenidos en el laboratorio para un análisis de comportamiento del material sometido a diferentes densidades. Como se observa en la figura 16, bajo las condiciones de humedad óptima, no presenta una variación de volumen bajo el sometimiento de presiones incrementadas.

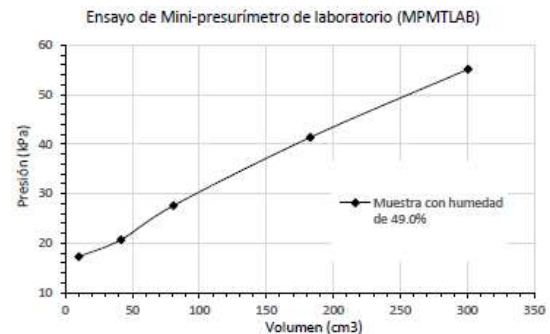
Figura 16. Grafica de muestra de suelo con humedad óptima (MPTMLAB).



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 17, se puede diferenciar la variación del comportamiento del suelo a una humedad cercana al límite líquido, en donde se puede observar a lo largo de la gráfica variaciones de volúmenes diferenciales con respecto a la aplicación en aumento de las presiones. En comparación con la gráfica típica de presión vs deformación y en un primer análisis se encontraron los puntos de **adaptación de sondeo** en el intervalo de los puntos de 0 a 40, **comportamiento elástico** de los puntos 40 a 90 y **comportamiento plástico** a partir del punto 90.

Figura 17. Grafica de muestra de suelo con humedad de 49% (MPTMLAB).



Aunque el anterior comportamiento no se evidencia en concordancia con exactitud la forma que presenta la gráfica expuesta a una humedad del 49% presenta gran similitud al comportamiento normal de la gráfica presiométrica. Cabe resaltar que para una interpretación idónea de estos resultados y la obtención de graficas típicas que se acerquen al comportamiento típico en el caso de este material se deberá realizar una

calibración profunda con la realización de campañas de ensayos más oportunas con un número más amplio de muestreos en laboratorio.

VI. Conclusiones

Se concluyo que el proceso de realización de la prueba y los resultados obtenidos pudo verse afectado por la capacidad del equipo, la aplicación de presiones bajas, la utilización de membranas de bajo calibre, y debido a la compactación del material a máxima densidad lo que generó una resistencia a la deformación considerable y llevo a que no se presentara un volumen desplazado significativo en la realización de los ensayos.

En la figura 16 se observa el comportamiento no cambiante de la muestra con un porcentaje de humedad óptimo, este resultado pudo verse afectado por la manipulación inadecuada de las muestras.

En cuanto a lo anterior se aclara que el diseño propuesto del equipo mini-presurímetro, funciona bien en suelos finos en densidades inferiores a la máxima densidad Proctor de acuerdo con lo obtenido de las pruebas realizadas a una humedad $W=49\%$. Se realiza a cabalidad la construcción del mini-presurímetro de laboratorio (MPMTLAB), se recomienda llevar a cabo un número considerable de ensayos con el fin de perfeccionar la técnica en la realización del ensayo.

Para esta investigación desarrollada en el semillero de investigación de la UPC se

proponen futuras líneas de investigación como: Calibraciones y correcciones para la obtención de resultados, realización de ensayos en otros materiales finos, y la elaboración de software para el procesamiento de datos.

Finalmente, el equipo logra el cumplimiento de los objetivos partiendo principalmente de que es un equipo didáctico que busca el fortalecimiento de los estudiantes en el laboratorio de manera práctica, bajo la promoción de la realización de nuevas investigaciones, desarrollo de tecnología amigable con la comunidad estudiantil que busca el fortalecimiento de los conceptos teóricos aplicados al laboratorio.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). (1999). Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico. Parte 3: Proyecto asistido por ensayos de campo (UNE-ENV 1997-3): Madrid, España.

ASTM (1987) American Society for Testing of Materials – Standard Test Method for Pressuremeter Testing in Soils. D 4719/87. Annual Book of ASTM Standards V. 04.08. New York, EEUU.

Baguelin F., Jézequel J., e Shields D. (1978) The pressueremeter and Foundation Engennering.1st Edition, Clausthal, Germany: Trans Tech Publications.

Braja Das, M. (2001). Principios de ingeniería de cimentaciones. México

DF, México: Internacional Thomson Editores.

Briaud, J. T. (1985). Pressuremeter and deep Foundation Design. Texas: Texas University.

Cano, H. (2009). Obtención de parámetros geotécnicos mediante el ensayo presiométrico. Jornada Técnica: El ensayo presiométrico en el proyecto geotécnico, 1(1), 33-58.

Devincenzi, M. (1995). Ensayos geotécnicos In situ - Ensayo presiométrico Ménard. Girona, España: IGEOtest.

González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., & Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid, España: Pearson Educación.

Hughes N., Wroth C. y Windle D., "Ressurement Tests in sands", Geotechnique, vol. 27, No.4, dic 1977.

INVIAS. (2007). Determinación de la masa unitaria máxima y mínima para el cálculo de la densidad relativa. Bogotá: I.N.V.E - 136 - 07.

Jiménez, D. (2007) Implantación y Calibración del Presiómetro Ménard para estimación de capacidad de soporte y deformabilidad de suelos en cimentaciones de proyectos ICE. (Tesis de graduación). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Construcción

Lemoigne, J.-R. a. (1988). Improved Calibration and correction techniques for Pressuremeters. Canada.

López Acosta N., Martínez Hernández E., Espinoza Santiago L., (2019) Geotechnical Engineering in the XXI Century: Lessons learned and future challenges, Cancun Mexico, Mill Press.

Menard, L. 1356. An apparatus for measuring the strength of soils in place, master's thesis, university of Illinois, Illinois, USA.

Roctest, Inc. 2005. PENCEL Pressuremeter Instruction Manual, Plattsburgh, N.Y.: Roctest, Inc.

Roctest. (1983). The Pressuremeter Test. MANUAL DEL EQUIPO. 80p.

Rollins, T. D. (1997). Pressuremeter Testing in Arid Collapsible Solis. GTJODJ.

Sáez, E. (2010). Fundamentos de Geotecnia ICE-1603. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile.

Schnaid F. (2000). Ensaio de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações. Sao Paulo, Brasil: Oficina de textos.

Toledo, M. M. (2014). "Obtención de parámetros geotécnicos a través de ensayos de presiometría. Cuba.

Vega, L. L. (2016). Revisión bibliográfica de ensayos In-situ en el marco de la academia, la industria y las normativas bajo el contexto colombiano y norte americano [Tesis de Pregrado, Universidad de los Andes]