

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MASTER EN GEOTECNIA APLICADA

COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE LÍMITE LÍQUIDO USANDO EL MÉTODO DE PENETRACIÓN DEL CONO Y EL MÉTODO CASAGRANDE EN SUELOS PLÁSTICOS DEL ORIENTE ECUATORIANO

AUTOR:

MARÍA ISABEL LEÓN REA

DIRECTOR:

Ing. JORGE DAVID ALBUJA SÁNCHEZ

QUITO, MARZO DE 2026

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, María Isabel León Rea, portadora de la cédula de ciudadanía CC. 1713147831, maestrante de la Facultad de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador – Sede Quito, declaro que el presente trabajo de titulación es totalmente personal, original y auténtico.

Por lo tanto, declaro que el contenido de la presente investigación es de exclusiva responsabilidad académica y legal de la autora y de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

MARÍA ISABEL LEÓN REA

APROBACIÓN

Yo, PhD. Jorge David Albuja Sánchez, en calidad de tutor de la presente investigación de tesis, cuyo título es “Comparación De Los Valores De Límite Líquido Usando El Método De Penetración Del Cono Y El Método Casagrande En Suelos Plásticos Del Oriente Ecuatoriano”, certifico:

Haber revisado el trabajo, el cual cumple los requisitos de calidad, originalidad y presentación exigibles, así como se han incluido las respectivas sugerencias realizadas por parte del tribunal al trabajo de tesis.

PhD. Jorge Albuja Sánchez

TUTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a la empresa Geosuelos Cia. Ltda. por haberme brindado todas las facilidades y el respaldo necesarios durante este tiempo de estudios de maestría. Su confianza, apoyo y soporte fueron fundamentales para poder tener éxito en este trabajo de titulación.

Un agradecimiento a todos mis compañeros, que en las diferentes áreas de la empresa, también colaboraron con los diferentes hitos en el desarrollo de mi investigación.

Así mismo, agradezco a mi tutor, el PhD. Jorge David Albuja Sánchez, por su apoyo, guía y paciencia, para poder continuar y culminar exitosamente este trabajo.

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo principal evaluar y comparar los resultados del ensayo de límite líquido (LL) realizado con dos metodologías estandarizadas: método de la Copa de Casagrande, según lo establecido en la norma ASTM D-4318, y el método de Penetración de Cono, siguiendo la norma BS 1377-2.

El desarrollo de la investigación consistió en la ejecución de los ensayos, de manera controlada, con una selección previa de 72 muestras de suelo obtenidas en diferentes provincias de la región oriental ecuatoriana. Para poder conseguir que la comparación sea lo más consistente posible, en la metodología se estableció que las muestras para cada método de determinación del límite líquido sean preparadas de manera simultánea y homogenizadas en las mismas condiciones.

Se propone finalmente una ecuación para la correlación local de los resultados de ambos métodos que permita mantener el registro histórico en caso de que se migre al método de penetración del cono de manera definitiva.

De igual forma, se propone la continuidad en la comparación de los métodos para conseguir resultados más contundentes respecto de la reproductibilidad y repetibilidad de cada proceso de ensayo.

Palabras clave: Geotecnia, Límite Líquido, Copa de Casagrande, Penetrómetro de cono, suelos de grano fino, Oriente Ecuatoriano

ABSTRACT

The primary objective of this study was to evaluate and compare the results of the liquid limit (LL) test conducted using two standardized methods: the Casagrande Cup method, as specified in ASTM D-4318, and the Cone Penetration method, in accordance with BS 1377-2.

The research involved conducting the tests under controlled conditions using a pre-selected set of 72 soil samples collected from different provinces in eastern Ecuador. To ensure the comparison was as consistent as possible, the methodology stipulated that the samples for each liquid limit determination method be prepared simultaneously and homogenized under the same conditions.

Finally, an equation is proposed for the local correlation of the results of both methods, allowing the historical record to be maintained in the event of a definitive transition to the cone penetration method.

Similarly, continued comparison of the methods is proposed to obtain more conclusive results regarding the reproducibility and repeatability of each testing process.

***Keywords**:* Geotechnical Engineering, Liquid Limit, Casagrande Cup Method, Fall Cone Test, Ecuadorian Amazon

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN ..... **V**

ABSTRACT ..... **VI**

ÍNDICE DE CONTENIDOS ..... **VII**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **VIII**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **VIII**

1. CAPITULO I: GENERALIDADES **9**

1.1. Introducción 9

1.2. Planteamiento del Problema y Justificación 10

1.3. Preguntas de la Investigación 12

1.4. Objetivos 12

1.4.1. General *12*

1.4.2. Específicos *12*

2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO **13**

2.1. Estado de Arte 13

2.2. Análisis Local 19

3. METODOLOGÍA **21**

3.1. Preparación de las muestras 23

3.2. Ensayo de las muestras 24

3.2.1. Método Casagrande – Norma ASTM D4318 ..... *25*

3.2.2. Método De Penetración de Cono – Norma BS 1377-2 ..... *27*

3.3. Muestras Ensayadas 29

3.4. Análisis Estadístico 29

4. CAPITULO IV: RESULTADOS **30**

4.1. Resultados Generales 30

4.2. Reproductibilidad del ensayo 35

4.3. Repetibilidad del ensayo 40

5. CONCLUSIONES **42**

6. REFERENCIAS **47**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Detalle de Estudios Previos *14*
Tabla 2. Correlaciones existentes *16*
Tabla 3. Muestras Ensayadas *29*
Tabla 4. Resultados LL por ambos métodos analizados *30*
Tabla 5. Resultados LL – Reproductibilidad – Proyecto 4 muestra B1 ..... *35*
Tabla 6. Resultados LL – Reproductibilidad – Proyecto 4 muestra MI *36*
Tabla 7. Resultados LL – Reproductibilidad – Proyecto 5 muestra BT-1 ..... *36*
Tabla 8. Resultados LL – Reproductibilidad – Proyecto 6 muestra MI-2 ..... *37*
Tabla 9. Resultados LL – Reproductibilidad – Proyecto 7 muestra MI *38*
Tabla 10. Resultados LL – Reproductibilidad – Proyecto 8 muestra CPF-R *38*
Tabla 11. Resultados LL – Reproductibilidad – Proyecto 8 muestra CPF-C *39*
Tabla 12. Resumen de Resultados– Reproductibilidad *39*
Tabla 13. Resumen de Resultados– Operador #2 ..... *40*
Tabla 14. Resumen de Resultados– Operador #3 ..... *40*
Tabla 15. Resumen de Resultados– Operador #4 ..... *41*
Tabla 16. Resumen de Resultados– Operador #5 ..... *41*
Tabla 17. Resumen de Resultados– Operador #7 ..... *42*
Tabla 18. Resumen Proyecto 4 – muestra B1 ..... *43*
Tabla 19. Resumen Proyecto 4 – muestra MI *43*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Carta de Plasticidad de Vardanega et. al basado en el índice de flujo BS FC y los parámetros LL *19*
Figura 2. Fotografías de las muestras *23*
Figura 3. Equipo de Casagrande *26*
Figura 4. Equipo de Penetración de Cono *28*
Figura 5. Comparación de resultados de valores de LL (%) del método de Casagrande y el método de penetración del cono *33*

1. CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción

La plasticidad es una característica muy importante de los suelos de grano fino. El término «plasticidad» describe la capacidad de un suelo para sufrir una deformación irrecuperable sin agrietarse ni desmoronarse. (Knappett & Craig n.d.)

En suelos de grano fino que presentan contenido de minerales arcillosos, el suelo puede remodelarse a una determinada humedad sin desmoronarse/colapsar. Estos materiales que son cohesivos tienen la capacidad de adsorber el agua que rodea a las partículas de arcilla.

El científico Albert Mauritz Atterberg, a inicios del siglo XX, desarrolló una metodología para describir la consistencia de los suelos de grano fino a diferentes contenidos de humedad y definió varios límites en los que el comportamiento del suelo cambia. Al tener un contenido de humedad muy bajo, el suelo se comporta más como un sólido, y contrariamente, con un contenido de humedad muy alto, el suelo puede fluir como un líquido. Es decir, en función del contenido de humedad el suelo puede tener diferentes comportamientos, que se dividen en los siguientes estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido.

El contenido de humedad (expresado en porcentaje), en el que se da el cambio del estado sólido al semisólido se establece como el límite de contracción; el contenido de humedad en el punto de transición del estado semisólido al plástico es el límite plástico, y del estado plástico al líquido es el límite líquido. Estos parámetros son más conocidos como límites de Atterberg. (Das 2014)

Tomando como base los límites de Atterberg, se puede definir otras propiedades de los suelos de grano fino. Entre estos parámetros se encuentran el índice de liquidez, el índice de consistencia, el índice de plasticidad, de los que también se puede obtener por ejemplo el valor de actividad de un suelo que se refiere a un índice para identificar el potencial de hinchamiento de los suelos arcillosos. (Das 2014)

Es conclusión, a partir de los porcentajes de límite líquido y límite plástico, y usando correlaciones existentes previamente establecidas de investigaciones anteriores, se pueden definir propiedades mecánicas de los materiales.

1.2. Planteamiento del Problema y Justificación

Es sabido que la región Amazónica del Ecuador tiene una geología compleja y se caracteriza por la presencia de suelos finos (arcillas y limos) con contenidos de humedad elevados y con contenidos de varios minerales.

Para estimar o predecir el comportamiento de un suelo, es necesario contar con la mayor información posible sobre sus propiedades. Conocer las propiedades índice de los suelos nos va a permitir estimar más acertadamente cuál será el comportamiento de cada material ante la aplicación de esfuerzos.

Si bien es cierto que en el Ecuador se ha desarrollado en los últimos años la conciencia de la necesidad de realizar investigación geotécnica para los diferentes tipos de proyectos que se ejecutan, el presupuesto que se asigna para esta etapa del proyecto difícilmente cubre las necesidades técnicas, y en muy pocas ocasiones consideran la realización de ensayos de laboratorio especiales o complejos que permitan determinar adecuadamente las propiedades mecánicas de los suelos. Por lo general estos ensayos tienen un costo elevado, el tiempo que se requiere para su ejecución es mayor y no todos los laboratorios del país están en la capacidad de realizarlos acorde a la normativa que los rige.

Tomando esto como antecedente, los especialistas Geotécnicos en el desarrollo de sus análisis, la gran mayoría de las veces necesitan recurrir al uso de correlaciones para la estimación de los parámetros geomecánicos de los materiales. Varias de estas estas correlaciones se basan en las propiedades índice de los suelos. Es por esto que en esta investigación se establece una importancia especial a definir métodos

confiables para la determinación de las propiedades índice de los suelos. La mayor parte de la literatura y las correlaciones geotécnicas se basan en datos obtenidos principalmente con el método de Casagrande.

En el Ecuador, específicamente para la determinación del límite líquido el método más aplicado es el de Casagrande, que se encuentra normado en la ASTM D4318. Este procedimiento incluye varias etapas que pueden ser subjetivas y que dependen de la experiencia de cada operador. Estas etapas al ser subjetivas y que pueden tener variación dependiendo de la persona que ejecuta el ensayo pueden afectar la precisión de los resultados obtenidos. La norma establece y declara la precisión del ensayo, sin embargo, no existe un valor de referencia aceptable por lo que no se puede determinar el sesgo correspondiente. Este análisis de precisión indicado en la norma se establece con base en la comparación de los resultados realizados por varios laboratorios para una misma muestra.

Sabemos pues que, en el país es muy poco probable que en un proyecto de consultoría se pueda realizar varios ensayos sobre una misma muestra para establecer la precisión de los resultados, pues como ya se mencionó, los presupuestos asignados son muy bajos y no permiten este tipo de análisis en cada caso.

Esta investigación presenta la necesidad de evaluar si las diferencias de los métodos seleccionados (Casagrande vs. Cono) concluyen en resultados con variaciones significativas en los valores obtenidos. Las diferencias considerables podrían llevar a que la clasificación de los materiales sea incorrecta y en consecuencia una mala estimación de otros parámetros que influirán en los resultados de cálculos y diseños posteriores. La intención de esta comparación es la de saber si el procedimiento establecido en la metodología del cono de caída puede considerarse como una alternativa válida para ser aplicada de manera general en los tipos de suelos ensayados y definir si los resultados que se obtienen son comparables con los de la metodología de Casagrande.

1.3. Preguntas de la Investigación

Con el planteamiento del problema, se han establecido las siguientes interrogantes para la investigación:

- ¿Qué factores operativos afectan los resultados en cada método de determinación del límite líquido?
- ¿Cuál de los métodos presenta menor dispersión de resultados?
- ¿Existe una relación lineal entre los valores de límite líquido obtenidos por ambos métodos?

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Comparar los resultados obtenidos experimentalmente de la determinación del límite líquido para suelos de grano fino de la región oriente del Ecuador, con los métodos de penetrómetro de cono BS-1377-2 y el ensayo con el método de Casagrande ASTM D4318.

1.4.2. Específicos

- Obtener los valores de límite líquido en un universo de muestras obtenidas en la región oriente del Ecuador con el método de Casagrande.
- Obtener los valores de límite líquido en el mismo universo de muestras ensayadas con el método de Casagrande, con el método de penetrómetro de cono.
- Establecer la relación entre los resultados obtenidos con los dos métodos e identificar la dispersión de los resultados.
- Establecer la validez de la aplicación del método de penetrómetro de cono para la determinación del límite líquido en suelos de grano fino de la región oriental del Ecuador.
- Evaluar la repetibilidad de cada método de ensayo para el tipo de muestras ensayadas.

2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Estado de Arte

La publicación de los resultados de la plasticidad del suelo se realizó en 1908 por Albert Atterberg y, en 1911, explicó la consistencia de los suelos cohesivos definiendo los límites líquido, plástico y de contracción.

Arthur Casagrande, en 1932, profundizó la investigación de Atterberg y desarrolló el equipo y la metodología para la obtención del límite líquido, que se utiliza en la actualidad en la mayoría de los laboratorios de mecánica de suelos, no solo del país, sino a nivel mundial.

Entre 1914 y 1922 se desarrolló un método alternativo para la obtención de este parámetro, que fue denominado método sueco del cono de caída. Esta metodología se consideró como una alternativa más rápida, simple y precisa para determinar la resistencia al corte sin drenaje, y el límite líquido. Existe una variación del método entre países que principalmente se rige por el tipo de cono utilizado con diferentes masas y ángulos de apertura. El uso de esta metodología tuvo el objeto de reducir los factores o etapas del método de Casagrande que generaban subjetividad y que afectaban negativamente a los resultados obtenidos (Spagnoli, 2012).

Se han realizado varios estudios comparando etas dos metodologías (por ejemplo, Garneau y Le Bihan, 1977; Leroueil y Le Bihan, 1996; Nini, 2014; Spagnoli, 2012; Wood, 1982). Sin embargo, no existe una prueba estandarizada única, ya que hay varios métodos para estimar el límite líquido con el método del cono de caída.

Varios estudios comparativos de los resultados de los dos métodos mencionados en esta investigación se han realizado en varios países con la finalidad de establecer correlaciones y determinar

la dispersión de los resultados obtenidos por cada método, es decir, esta necesidad de mejorar la confiabilidad de los resultados es global y permanente.

En la tabla 1 se mencionan varios de los estudios previos realizados:

Tabla 1.

Detalle de Estudios Previos

Año	Autor(es)	Tema y Enfoque Principal de la Investigación	Hallazgo Clave y Contribución
1991	Christaras	Comparación entre el método de la Copa de Casagrande (CCG) y el Penetrómetro de Cono (Caída).	Validación y Divergencia: Ambos métodos son similares, especialmente en suelos finos. Sugiere que una penetración inferior a 10 mm podría disminuir la divergencia observada (valores de CCG inferiores a los del cono).
1996	Mendoza	Análisis de métodos alternativos en México: Contenido de agua con HMO y Límite Líquido (LL) con el Cono Sueco (CS).	Doble Validación: Ratificó la conveniencia del secado con HMO. Comparó la CCG con el CS en diversos suelos (LL hasta 400%). También mencionó que el Cono Inglés (CI) es sencillo y tan confiable como la CCG.
2000	Orozco y Mendoza (Mencionados en Mendoza, 1996)	Pertinencia del uso de conos de penetración.	Uso Local: A pesar de los resultados que validan su conveniencia, el uso de los conos de penetración no se ha generalizado en México.
2001	Koumoto y Houlsby	Teoría y práctica de la prueba de penetración del cono en arcilla.	Estandarización: Definieron el LL como el contenido de agua (ω) al cual un cono estándar (60° de ápice, 60gr) penetra exactamente 10 mm.
2012	Emami y Monfared	Estudio de los efectos de varios parámetros del cono (ángulo, diámetro, etc.) en la penetración.	Optimización de Diseño: Profundizó en el diseño del cono y sus parámetros de influencia.

Año	Autor(es)	Tema y Enfoque Principal de la Investigación	Hallazgo Clave y Contribución
2012	Spagnoli	Correlación experimental entre CCG y Cono Inglés (CI, norma BS 1377) en arcillas puras.	Aceptación Mundial: Obtuvo correlaciones y destacó que los conos de caída son el estándar aceptado para encontrar el LL en muchos países.
2013	Altintas	Estudio con quince conos diferentes en dos tipos de arcilla.	Influencia del Ángulo: Demostró que, manteniendo el peso constante, la penetración disminuye mientras el ángulo de la punta aumenta.
2016	Hrubesova	Comparación de CCG y Cono de Penetración Inglés (CI) en arcilla bentonítica.	Discrepancia 20mm: Concluyó que el CI con una penetración de 20 mm proporciona un valor de LL significativamente menor que el obtenido por la CCG.
2020	C.W. Clemente	Determination of liquid limit by the Fall Cone method	La comparación de los valores entre el cono de caída y Casagrande muestra que los métodos presentan una buena correlación en los límites líquidos de hasta el 80 % y, por encima de este valor, las diferencias aumentan. Para límite líquido de hasta el 80 %, la diferencia entre los métodos es de aproximadamente el 5 %, por encima del 80 % las diferencias entre los valores de límite de líquido obtenidos aumentan al 8%.
2020	B.Lunackova	Mohajerani method: Tool for determining the liquid limit of soils using fall cone test results with strong correlation with the Casagrande test	Para suelos con un LL superior al 50 %, la relación entre LL_{cono} y LL_{CAS} osciló entre 0,7 y 0,84

De la gran cantidad de estudios realizados a nivel mundial, se han generado varias correlaciones entre los valores del límite líquido obtenido con el método de Casagrande y con el método del Cono. Varios de los estudios incluso relacionan los valores tomando en cuenta la composición química de los materiales analizados.

En la tabla 2 se presentan varias de estas relaciones obtenidas, que son aplicables en función de los valores de límite líquido máximo establecidos.

Tabla 2.

Correlaciones existentes

Año	Autor(es)	Correlación	Limitación
2019	Shimobe and Spagnoli	$LL_{cone} = 0.9505\ (LL_{cas}) - 0.8499$	LL < 150%
2018	O'Kelly	$LL_{cone,BS} = 1.86\ (LL_{cas,BS})^{0.84}$ $LL_{cone,BS} = 1.9\ (LL_{cas,ASTM})^{0.85}$	LL > 100%
1957	Stefanoff	$LL_c = 0.690LL+5.1$	LL ≤ 150%
1958	Uppal and Aggarwal	$LL_c = 0.930LL+3.16$	LL ≤ 150%
1961,1977	Karlsson	$LL_c = 0.85LL+5.02$	LL ≤ 150%
1968,1970	Sherwood and Ryley	$LL_c = 0.909LL + 2.73$ (LL=25-90%) $LL_c = 0.95LL + 0.95$ (LL=30-72%)	LL ≤ 150%
1977	Littleton and Farmilo	$LL_c = 0.97LL+1.6$ $LL_c=1.24LL-4.8–2.6x10^{-3}LL^2+33x10^{-7}LL^3$	LL ≤ 150% LL < 600%
1985	Belviso et al.	$LL_c = 0.999LL + 4.29$ $LL_c = 0.97LL + 1.19$ (d_{LL}=20mm)	LL ≤ 150%
1985	Moon and White	$LL_c = 1.1625LL - 5.0953$	LL ≤ 150%
1985	Sampson and Netterberg	$LL_c = 1.01LL + 4.2$	LL ≤ 150%
1985	Sivapullaiah and Sridharan	$LL_c = 0.671LL + 15.46$	LL < 600%
1987	Wasti	$LL_c = 1.0056LL + 4.92$ $LL_c = 0.587LL + 32.32$	LL ≤ 150% LL < 600%
1992	Koester	$LL_c = 0.955LL + 4.41$	LL ≤ 150%

Año	Autor(es)	Correlación	Limitación
1996	Leroueil and Le Bihan	$LL_c = 0.86LL + 6.34$	LL ≤ 150%
1998	Shibata et al.	$LL_c = 0.79LL + 4.0$ (SScone) $LL_c = 0.85LL + 4.5$ (BScone)	LL ≤ 150%
1999	Campos et. Al	$LL_c = 0.88LL + 8.13$	LL ≤ 150%
2001	Feng	$LL_c = 0.94LL+2.6$	LL ≤ 150%
2001	Mendoza and Orozco	$LL_c = 0.85473LL + 7.10$ $LL_c = 0.77191LL + 10.71$	LL ≤ 150% LL < 600%
2004	Li	$LL_c = 1.013LL-0.683$	LL < 600%
2004	Schmitz et. al	$LL_c = 2.56LL^{0.78}$	LL < 600%
2006	Orhan et. Al	$LL_c = 1.0209LL + 2.1265$	LL ≤ 150%
2008	Dragoni et. Al.	$LL_c = 1.02LL + 2.87$(hardbase) $LL_c = 0.93LL + 1.94$(softbase)	LL ≤ 150%
2009	Fojtová et. Al.	$LL_c = 1.00LL + 2.44$	LL ≤ 150%
2010,2011	Gronbech et al.	$LL_c = 1.0106LL + 3.49$ $LL_c = 0.95LL + 9.4$	LL < 600%
2011	Sousa	$LL_c = 1.414LL-10.076$ $LL_c = 1.104LL-1.235$	LL ≤ 150%
2012	Di Matteo	$LL_c = 1.00LL + 2.20$	LL ≤ 150%
2012	Spagnoli	$LL_c = 0.99LL+1.05$	LL ≤ 150%
2012	Claveau-Mallet et al.	$LL_c = 1.0256LL + 0.8262$ $LL_c = 0.8696LL+8.9835$	LL ≤ 150%
2012	Mishra et al.	$LL_c = 0.8418LL + 11.686$	LL ≤ 150%
2012	Cevallos Luna	$LL_c = 1.1184LL - 6.3077$	LL ≤ 150%
2013	Silva	$LL_c = 1.050LL+0.6066$	LL ≤ 150%
2016	Kayabali et al.	$LL_c \approx LL+2$	LL ≤ 150%

Año	Autor(es)	Correlación	Limitación
2016	Hrubesova et al.	$d=2.48+11.5\log_{10}LL$ ($LL \leqq 150\%$) $d=20.98+3.03\log_{10}LL$ ($150<LL<1{,}000\%$)	$LL \leq 150\%$ $LL < 600\%$
2016	Kollaros	$LL_c = 1.03LL-4.93$	$LL \leq 150\%$
2016	Matusiewicz et al.	$LL_c = 0.86LL + 3.75$ (Swedishcone:60°60g) $LL_c = 0.91LL + 3.20$ (Britishcone:30°80g)	$LL \leq 150\%$
2018	O'Kelly et al.	$LL_c = 1.62LL^{0.88}$ (n=199,R=0.98) $LL_c = 1.45LL^{0.92}$ (n=188,R=0.98) $LL_c = 1.86LL^{0.84}$ (n=216,R=0.99) $LL_c = 1.90LL^{0.85}$(n=199,R=0.98)	$LL \leq 150\%$ $LL \leq 150\%$ $LL < 600\%$ $LL < 600\%$
2018	Karakan and Demir	$LL_c = 0.961LL + 0.3017$ $LL_c = 0.8014LL + 11.251$ $LL_c = 0.8122LL + 4.73$ $LL_c = 0.8555LL + 4.325$	$LL \leq 150\%$

Nota: Adaptado de "A global database considering Atterberg limits with the Casagrande and fall-cone tests". Eng. Geol. 260. Por S. Shimobe, G. Spagnoli, 2019

Donde:

LL límite líquido obtenido con el método de Casagrande

LL_C límite líquido obtenido con el método del cono

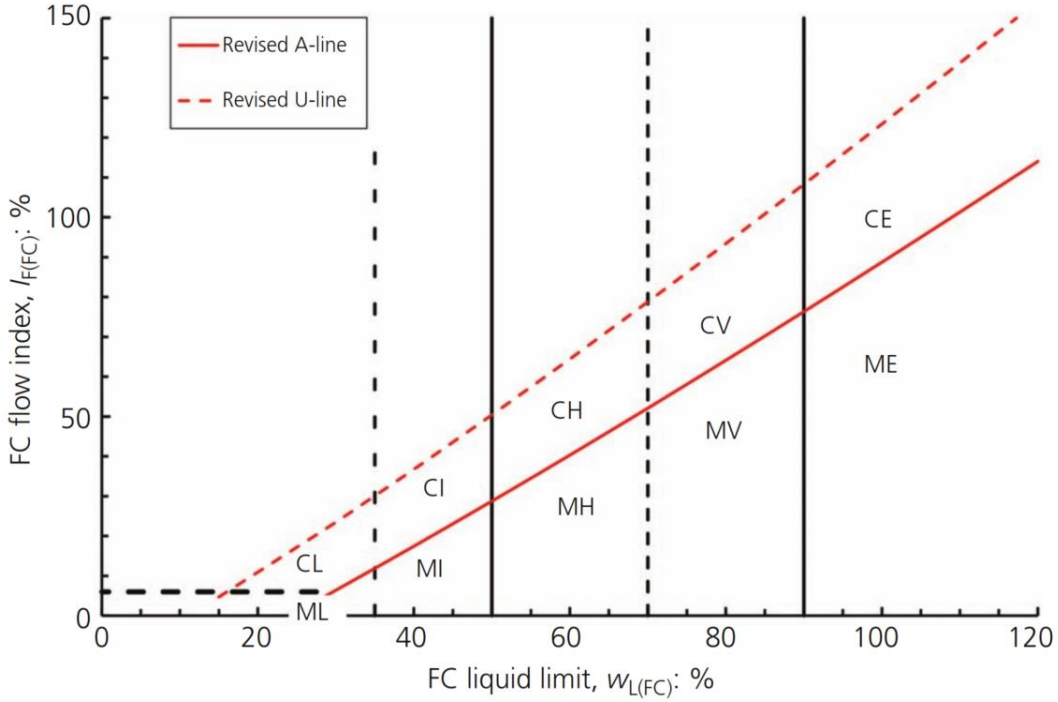
Vardanega et al. (2022) proponen un nuevo gráfico de plasticidad que redefine las líneas A y U utilizando el índice de flujo (IF_{FC}) y el límite líquido del suelo fino (w_{LFC}). La línea A es la que señala el límite en el que un material se clasifica como arcilla o limo, mientras que la línea U se considera como el límite válido para establecer la plasticidad de un material.

La propuesta de Vardanega optimiza la clasificación de suelos de grano fino eliminando la dependencia de la prueba de límite plástico, cuya reproducibilidad suele ser deficiente. El método se basa

en un análisis de regresión de datos obtenidos mediante el cono británico (BS 80 g/30°), permitiendo una clasificación precisa de arcillas y limos a partir de los parámetros de flujo. Esta nueva carta se indica en la figura 1.

Figura 1.

Carta de Plasticidad de Vardanega et. al basado en el índice de flujo BS FC y los parámetros LL



Nota: adoptado de Vardanega et al. (2022)

2.2. Análisis Local

La región oriente del Ecuador se caracteriza por tener una geología compleja y una mineralogía específica, que puede variar de provincia a provincia. Sus formaciones son heterogéneas, con materiales sedimentarios y residuales, producto de los procesos geológicos de miles de años. Los materiales de la región son el resultado de procesos de sedimentación, meteorización y afectados también por los

procesos tectónicos, pues el país se caracteriza por tener una sismicidad elevado por su ubicación geográfica, que coincide con el Cinturón de fuego del Pacífico, fallas geológicas y por encontrarse en la zona de subducción. Todos estos procesos, han provocado la presencia de suelos con una composición mineralógica particular, lo que influye en su comportamiento. Por todo lo mencionado, los materiales presentes en esta región pueden tener un comportamiento que no es necesariamente similar con los materiales de otros sectores del mundo que han sido ampliamente investigados y en base a los que se han establecido modelos y correlaciones. Entonces, se establece la necesidad de poder contar con una correlación local para poder validar la aplicación de estos procedimientos normados internacionalmente.

Se han realizado varias investigaciones en los últimos años a nivel internacional en las que se ha analizado el método de Casagrande y los factores de subjetividad que influyen en los resultados. En todos estos estudios, de manera coincidente, han establecido que el método de penetración del cono es más confiable porque permite tener una repetibilidad y reproductibilidad de los ensayos en mayor porcentaje además de que elimina etapas subjetivas en su proceso de ejecución. Con esta base, lo que se busca en esta investigación es poder comprobar lo señalado en las investigaciones anteriores y analizar la posibilidad de que los laboratorios puedan migrar a este método de ensayo y tener una mayor precisión en los resultados obtenidos y reportados. Además, es muy importante poder contar con una correlación local, para validar todos los datos que históricamente se han generado con el método de Casagrande y poder tener la referencia de la información previa.

También es necesario mencionar otro aspecto muy importante y que se ha considerado en esta investigación. A nivel nacional, se ha observado en los últimos años el desarrollo e incremento de laboratorios de mecánica de suelos, que no necesariamente cuentan con personal calificado y que no cumplen las normativas establecidas. Lamentablemente, este desarrollo muchas veces solo toma en cuenta el lucro sin tener como prioridad un criterio técnico.

A esta situación se añade que en el país no se ha desarrollado planes de capacitación técnica en esta área. Generalmente, el modelo de aprendizaje que rige es empírico y se basa simplemente en el traspaso de los conocimientos de persona a persona. Con este esquema de aprendizaje/enseñanza, lo que sucede es que los procedimientos pueden tener falencias que se dan ante la priorización de una ejecución rápida del ensayo antes que una ejecución técnica que cumpla con lo indicado en la normativa. Incluso puede darse el caso de que muchos operadores desconocen totalmente la existencia de la normativa y sus limitaciones. La consecuencia evidente será que los resultados que se obtengan no serán confiables, y tendrán un rango de variación e incertidumbre mucho mayor.

Con este escenario planteado, se hace más necesario aún poder establecer un método alternativo que sea menos subjetivo y que permita minimizar la incidencia del error humano en los resultados. Así, se podrá tener la certeza de que los análisis de cada proyecto desarrollado sean confiables.

3. METODOLOGÍA

Las muestras de suelo utilizadas en esta investigación fueron obtenidas de diversos proyectos de consultoría geotécnica desarrollados por la empresa Geosuelos Cia. Ltda. Las muestras fueron obtenidas en varios sectores de la región lo que permitió contar con varios tipos de materiales para el análisis. La metodología de muestreo fue definida en función de la necesidad de cada proyecto y de su alcance correspondiente. Los procedimientos que se usaron se indican de manera resumida a continuación:

- Ensayos de Penetración Estándar (SPT): Se obtuvieron muestras alteradas de los diferentes sondeos realizados mediante el uso del muestreador de cuchara partida, según lo indicado en la norma ASTM D1586 que rige este ensayo.
- Muestreo Inalterado en Bloque (Muestras Cúbicas): Este tipo de muestras se obtuvieron de excavaciones realizadas a cielo abierto, a profundidades máximas de 2m. Los bloques fueron tallados en dimensiones aproximadas de 30x30x30 cm. El procedimiento de

obtención de este tipo de muestras fue según lo indicado en la norma ASTM D7015/D7015M-18 que incluye el uso de parafina y liencillo para la adecuada conservación de la humedad del material.

- Muestreo Integral (Alterado): Se realizaron excavaciones a cielo abierto hasta una profundidad de 1.50 metros. De las paredes de la excavación se obtuvo el material, asegurando la cantidad suficiente para la realización de los ensayos programados.

El embalaje y transporte de las muestras se realizó según lo indicado en la norma ASTM D4220.

Para la selección de las muestras se consideró el desarrollo económico actual que se da principalmente por la actividad petrolera. El principal desarrollo está establecido en las provincias de Orellana y Sucumbíos, por lo que se tomó como prioridad estas zonas para el muestreo correspondiente. En estas provincias se encuentran los campos Auca y Shushufindi, bloque 61 y bloque 57, respectivamente. Estos campos se caracterizan por su alta producción. Contratos vigentes de servicios y acuerdos de inversión firmados recientemente dan una garantía para que estos campos se mantengan en producción constante, y en consecuencia se genera un desarrollo económico general, que incluye el aspecto Geotécnico y la necesidad del desarrollo de estudios y análisis para la continuidad de la operación de los campos de producción petrolera.

Para el presente año 2026, el sector hidrocarburífero del país presenta una fase de reactivación. Según el plan estratégico de EP Petroecuador, se ha destinado una inversión de USD 632 millones para actividades de exploración y producción, incluyendo la perforación de 36 pozos nuevos y la intervención en campos maduros como Sacha y Shushufindi. Adicionalmente, el desarrollo de la Ronda Intracampos III en la provincia de Sucumbíos, con una proyección de inversión de USD 360 millones, garantiza la necesidad de investigación continua de los suelos y materiales del sector.

3.1. Preparación de las muestras

La preparación de las muestras tuvo las siguientes etapas:

- Clasificación Manual-visual: el primer paso fue realizar la clasificación manual visual de las muestras según lo indicado en la norma ASTM D2488. Esto permitió registrar las características generales de cada muestra. En la figura 2 se muestran algunas fotografías de varias de las muestras seleccionadas, en las que se puede apreciar su estructura y color.

Figura 2.

Fotografías de las muestras



- Procesamiento del Material: Conforme lo que indican las normas ASTM D4318 y BS 1377-2, el ensayo de límite líquido se realiza sobre la fracción fina del suelo. El material fue tamizado y la porción pasante del tamiz No 40 (0.425mm) fue la utilizada para la determinación del límite líquido con cada metodología.
- Cantidades mínimas y homogenización: Se cumplió con las cantidades mínimas que establece cada una de las normas:
    - Método de Casagrande (ASTM D4318): masa mínima entre 150g y 200 g
    - Método del Cono (BS 1377-2): masa mínima de 300 g

  El material fue mezclado con agua destilada hasta alcanzar una condición uniforme y se dejó en reposo por un periodo mínimo de 16 horas para que el material se hidrate adecuadamente antes del inicio de los ensayos.

3.2. Ensayo de las muestras

Para el análisis de los resultados, se estableció que no solamente se realizarían los ensayos con ambas metodologías con cada muestra. Adicionalmente, y para poder cumplir con los objetivos de la investigación, se planteó realizar varios ensayos con la misma muestra, con varios operadores, para poder evaluar repetibilidad y productibilidad del ensayo.

Evaluación de la Repetibilidad (Un solo operador): La repetibilidad consiste en medir determinado parámetro varias veces bajos las mismas condiciones. En este sentido, y bajo el contexto de la investigación propuesta, se propuso que cada laboratorista elabore varios ensayos sobre la misma muestra, en cada una de las metodologías. Su cuidó que de cada muestra se disponga de la cantidad suficiente para la ejecución de los ensayos planificados. Finalmente se pudo contar con 6 operadores para este análisis.

Evaluación de la Reproducibilidad (Múltiples operadores): De forma complementaria, este análisis permite evaluar la dispersión de los resultados de una misma muestra realizada con varios operadore. Para este análisis también se contó con la participación de 6 laboratoristas que desarrollaron los ensayos sobre un mismo material.

Es importante mencionar que para cada análisis y para cada método de ensayo, se utilizó el mismo equipo de Casagrande y el mismo equipo de penetración de cono. Esto con la finalidad de eliminar la variable relacionada al equipo utilizado en cada caso.

A continuación, se indica de forma resumida el procedimiento de cada método de ensayo aplicado, según lo señalado en la normativa de referencia:

3.2.1. Método Casagrande – Norma ASTM D4318

La base del ensayo es la de determinar el contenido de humedad de una muestra sobre la que se aplicó entre 15 y 35 golpes de caída libre en la copa luego de haber generado una ranura longitudinal. La lectura del cierre de la ranura debe ser de 12.7mm luego de la aplicación de los golpes.

- Colocación de la muestra en la Copa: Se coloca en la copa una porción del material previamente preparado y homogenizado con una espátula. El material se coloca y nivela de tal forma que en el punto más profundo de la copa alcance 10mm. La superficie debe ser horizontal y se debe cuidar que no existan burbujas de aire en el suelo.
- Ranurado: Se realiza una ranura en el suelo utilizando el borde biselado hacia adelante del ranurador, en este proceso la herramienta debe deslizarse de forma perpendicular a la superficie de la copa.
- Aplicación de Golpes: Se acciona la manivela del equipo a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo elevando la copa y dejándola caer libremente. Los golpes se aplican hasta que la ranura en su parte central se haya cerrado una longitud de 13mm (1/2 pulg.) El rango de golpes durante

el ensayo es entre 25 y 35.

- Obtención de Puntos: La metodología indica que se deben obtener al menos 3 puntos con diferentes humedades. Los rangos de humedad deben ser tal que un punto se realice en un rango de entre 25 y 35 golpes, un punto en el rango entre 20 y 30 golpes y un punto en el rango entre 15 y 25 golpes. Para esta investigación, y en base a los procedimientos internos del laboratorio que realizó los ensayos, en cada ensayo se realizaron 4 puntos.
- Obtención de humedad: de cada punto realizado, se debe tomar una muestra de la zona de cierre de la ranura, para la determinación de su contenido de humedad.
- Cálculo del Límite Líquido: La representación gráfica se realiza entre el contenido de humedad y número de golpes de cada punto, en una gráfica semilogarítmica con los valores de humedad en escala aritmética y los golpes en escala logarítmica. Para la determinación del límite líquido se graficó una línea recta que se ajustó de la mejor manera para los 4 puntos realizados. El Límite Líquido se define como la humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la línea de 25 golpes.

Figura 3.

Equipo de Casagrande



3.2.2. Método De Penetración de Cono – Norma BS 1377-2

Este método mide la resistencia al corte no drenado del material que ha sido remoldeado en una cápsula metálica. Según este método el límite líquido es contenido de humedad en el que la muestra permite la penetración de un cono de acero en una profundidad de 20mm luego de un tiempo determinado.

- Llenado de la cápsula: Se coloca con una espátula el material previamente preparado, teniendo cuidado de que no se generen burbujas de aire. Se enrasa la superficie para eliminar el exceso de material. Las dimensiones establecidas para la cápsula son: 55 mm de diámetro por 40 mm de profundidad.
- Ajuste del cono:
    - Bajar el cono hasta que la punta toque exactamente la superficie del suelo. Se puede utilizar una lupa para mejorar la precisión.
    - Una vez que el cono está en la posición indicada se encera el dial de medición. La precisión de medición de penetración es de 0.1mm.
- Penetración: El cono se suelta libremente por un periodo de 5 s ± 1 s. Luego de este tiempo se asegura/bloquea el cono nuevamente para que no penetre más en el suelo. Para el registro del tiempo de penetración se utiliza un cronómetro.
- Medición: Una vez bloqueado el cono se realiza la medición de penetración en el suelo.
- Verificación: EL método establece una verificación o precisión para las lecturas de penetración. Para validar la lectura obtenida se siguen los siguientes pasos:
    - Se repite el proceso para obtener una nueva medición sobre la muestra a la misma humedad. Si la diferencia entre las dos lecturas de penetración es menor a 0.5 mm, el ensayo es válido.
    - Si la segunda medición de penetración difiere de la primera en más de 0,5 mm y

menos de 1 mm, se realiza una nueva medición en el material. Si el rango total no supera 1 mm, se registra la *media* de las tres penetraciones.

- Si el rango general es superior a 1 mm, se debe retirar la muestra, mezclar y realizar todo el proceso nuevamente.

- Contenido de Humedad: Para el registro de la humedad en cada medición, se toma una porción de muestra de la zona en la que penetró el cono.
- Puntos de Ensayo: La norma indica que se deben realizar al menos 4 lecturas de penetración, cada una a una humedad distinta. El rango de penetración que se debe obtener es entre 15 mm y 25 mm.
- Cálculo del límite líquido: Para el cálculo correspondiente se realiza la gráfica de humedad vs. Penetración en escala aritmética. Se grafica la línea recta que mejor se ajuste a los puntos. El límite líquido es el contenido de agua que intercepta la línea en la penetración de 20mm.

Figura 4.

Equipo de Penetración de Cono



3.3. Muestras Ensayadas

En la tabla 3 se indica el detalle de las muestras ensayadas. Se indica el tipo de muestreo utilizado en cada una, la provincia de origen de cada muestra, la profundidad de muestreo, así como sus características de color y clasificación SUCS definida en base a la clasificación manual visual realizada. La cantidad total de muestras ensayadas fue de 72.

Tabla 3.

Muestras Ensayadas

PROYECTO	UBICACIÓN	SONDEO	CANTIDAD MUESTRAS	TIPO DE MUESTREO	PROF. (m)	SUCS	COLOR
1	Sucumbíos	S-1	1	SPT	0.00	MH	CAFÉ
1	Sucumbíos	S-2	1	SPT	0.00	MH	CAFÉ
2	Sucumbíos	P-1	1	SPT	4.50	MH	GRIS
2	Sucumbíos	P-2	1	SPT	2.00	MH	GRIS
3	Pastaza	P-7	1	SPT	3.00	MH	CAFÉ OSCURO
3	Pastaza	P-9	1	SPT	6.00	CH	GRIS VERDOSO
3	Pastaza	P-1	1	SPT	1.00	MH	CAFÉ OSCURO
4	Orellana	B1	7	CÚBICA - INTACTA	1.50	MH	CAFÉ/GRIS/ROJIZO
4	Orellana	MI	11	INTEGRAL - ALTERADA	1.00	CL	ROJIZO/GRIS
5	Orellana	BT-1	11	CÚBICA - INTACTA	1.50	MH	ROJIZO
6	Sucumbíos	MI-2	11	INTEGRAL - ALTERADA	1.00	MH	ROJIZO
7	Sucumbíos	MI	7	INTEGRAL - ALTERADA	1.00	MH	ROJIZO
8	Orellana	CPF-A	3	INTEGRAL - ALTERADA	1.00	MH/ML	AMARILLO/NARANJA
8	Orellana	CPF-R	6	INTEGRAL - ALTERADA	1.00	MH	ROJIZO
8	Orellana	CPF-G	2	INTEGRAL - ALTERADA	1.00	MH	GRIS
8	Orellana	CPF-C	7	INTEGRAL - ALTERADA	1.00	MH	CAFÉ/ROJIZO

3.4. Análisis Estadístico

La investigación considera un universo de 72 muestras. Estas muestras consideran el procedimiento indicado previamente para la evaluación de repetibilidad y reproductibilidad, es decir, de un mismo material se obtuvieron varias muestras. Se ha demostrado de manera empírica que para un

análisis estadístico a partir de una muestra con *n*=30 la distribución de las medias se aproxima a una distribución normal y por lo tanto se pueden aplicar análisis con un margen de error tolerable. En este sentido el tamaño de la muestra de esta investigación (*n=72*) supera el mínimo de 30 observaciones y por lo tanto nos permite establecer un nivel de confianza de los resultados aceptable.

4. CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Resultados Generales

En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos del proceso de comparación realizado de los métodos para la obtención del límite líquido en materiales de grano fino. El procedimiento de cada ensayo fue referido a las normas ASTM D4318 y BS 1377-2.

Como primer resultado, en la tabla 4 se indican los valores de límite líquido obtenidos para cada muestra en cada método aplicado. A continuación, en la figura 5 se presentan los datos de manera gráfica con una correlación lineal frente a la línea de identidad.

Tabla 4.

Resultados LL por ambos métodos analizados

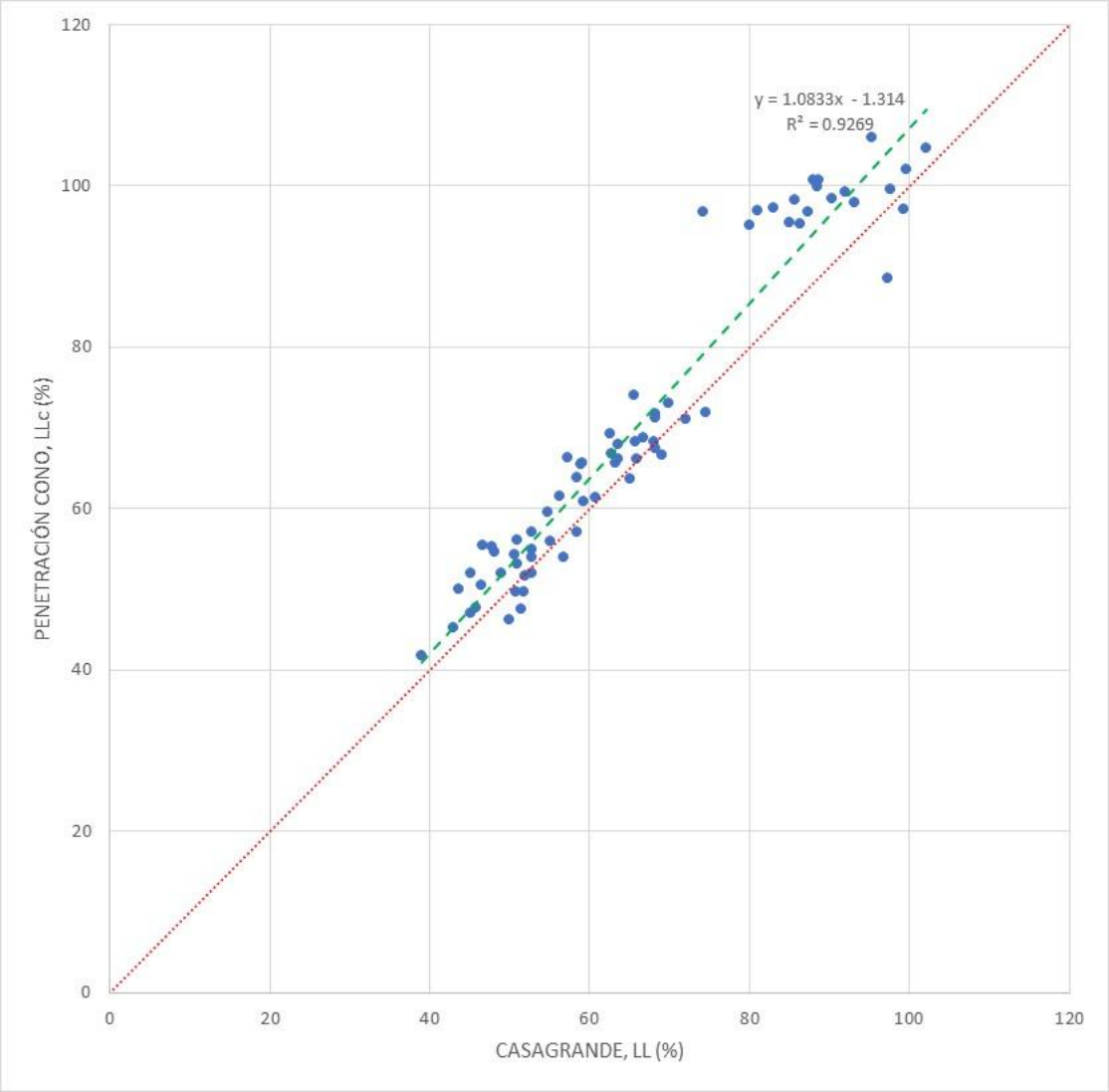
PROYECTO	UBICACIÓN	MUESTRA #	TIPO DE MUESTREO	SUCS	COLOR	OPERADOR	LL CG (%)	LL PC (%)
1	Sucumbíos	S-1	SPT	MH	CAFÉ	5	97.3	88.6
1	Sucumbíos	S-2	SPT	MH	CAFÉ	3	99.7	102
2	Sucumbíos	P-1	SPT	MH	GRIS	2	39	41.7
2	Sucumbíos	P-2	SPT	MH	GRIS	4	52.7	55
3	Pastaza	P-7	SPT	MH	CAFÉ OSCURO	5	55.1	56
3	Pastaza	P-9	SPT	CH	GRIS VERDOSO	7	51.9	51.7
3	Pastaza	P-1	SPT	MH	CAFÉ OSCURO	2	74.5	71.9
4	Orellana	B1-1	CÚBICA - INTACTA	MH	CAFÉ/GRIS/ROJIZO	4	43	45.2
4	Orellana	B1-2	CÚBICA - INTACTA	MH	CAFÉ/GRIS/ROJIZO	3	58.5	57
4	Orellana	B1-4	CÚBICA - INTACTA	MH	CAFÉ/GRIS/ROJIZO	2	50.6	54.3
4	Orellana	B1-5	CÚBICA - INTACTA	MH	CAFÉ/GRIS/ROJIZO	7	50.8	49.7
4	Orellana	B1-6	CÚBICA - INTACTA	MH	CAFÉ/GRIS/ROJIZO	7	51.5	47.6

PROYECTO	UBICACIÓN	MUESTRA #	TIPO DE MUESTREO	SUCS	COLOR	OPERADOR	LL CG (%)	LL PC (%)
4	Orellana	B1-8	CÚBICA - INTACTA	MH	CAFÉ/GRIS/ROJIZO	7	50	46.2
4	Orellana	B1-9	CÚBICA - INTACTA	MH	CAFÉ/GRIS/ROJIZO	2	52.8	53.9
4	Orellana	MI-2	INTEGRAL - ALTERADA	CL	ROJIZO/GRIS	4	45.1	47
4	Orellana	MI-3	INTEGRAL - ALTERADA	CL	ROJIZO/GRIS	5	52.8	51.9
4	Orellana	MI-4	INTEGRAL - ALTERADA	CL	ROJIZO/GRIS	6	43.6	50
4	Orellana	MI-5	INTEGRAL - ALTERADA	CL	ROJIZO/GRIS	4	51.7	49.7
4	Orellana	MI-6	INTEGRAL - ALTERADA	CL	ROJIZO/GRIS	2	51	53.2
4	Orellana	MI-7	INTEGRAL - ALTERADA	CL	ROJIZO/GRIS	3	57.2	66.3
4	Orellana	MI-8	INTEGRAL - ALTERADA	CL	ROJIZO/GRIS	4	56.3	61.5
4	Orellana	MI-9	INTEGRAL - ALTERADA	CL	ROJIZO/GRIS	3	54.7	59.5
4	Orellana	MI-10	INTEGRAL - ALTERADA	CL	ROJIZO/GRIS	2	48.9	52
4	Orellana	MI-11	INTEGRAL - ALTERADA	CL	ROJIZO/GRIS	5	45.8	47.7
4	Orellana	MI-12	INTEGRAL - ALTERADA	CL	ROJIZO/GRIS	5	45.1	51.9
5	Orellana	BT-1-1	CÚBICA - INTACTA	MH	ROJIZO	6	65.9	66.2
5	Orellana	BT-1-2	CÚBICA - INTACTA	MH	ROJIZO	2	68.3	71.2
5	Orellana	BT-1-3	CÚBICA - INTACTA	MH	ROJIZO	1	69.9	73
5	Orellana	BT-1-5	CÚBICA - INTACTA	MH	ROJIZO	4	68	68.3
5	Orellana	BT-1-6	CÚBICA - INTACTA	MH	ROJIZO	3	65.8	68.2
5	Orellana	BT-1-7	CÚBICA - INTACTA	MH	ROJIZO	2	66.8	68.8
5	Orellana	BT-1-8	CÚBICA - INTACTA	MH	ROJIZO	7	68.3	67.5
5	Orellana	BT-1-10	CÚBICA - INTACTA	MH	ROJIZO	3	62.8	66.8
5	Orellana	BT-1-11	CÚBICA - INTACTA	MH	ROJIZO	7	56.7	54
5	Orellana	BT-1-12	CÚBICA - INTACTA	MH	ROJIZO	4	65.1	63.7
5	Orellana	BT-1-13	CÚBICA - INTACTA	MH	ROJIZO	2	68.3	71.8
6	Sucumbíos	MI-2-1	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	7	87.4	96.7
6	Sucumbíos	MI-2-2	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	7	74.2	96.7
6	Sucumbíos	MI-2-3	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	6	81.1	96.9
6	Sucumbíos	MI-2-5	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	6	83.1	97.2
6	Sucumbíos	MI-2-6	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	4	90.4	98.4
6	Sucumbíos	MI-2-7	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	3	85.6	98.3
6	Sucumbíos	MI-2-8	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	4	93.2	97.9
6	Sucumbíos	MI-2-9	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	5	88	100.7
6	Sucumbíos	MI-2-10	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	5	80	95.2
6	Sucumbíos	MI-2-11	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	1	86.3	95.3
6	Sucumbíos	MI-2-12	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	3	85	95.5
7	Sucumbíos	MI-1	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	2	58.5	63.8
7	Sucumbíos	MI-2	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	6	52.7	57.1
7	Sucumbíos	MI-3	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	3	63.3	65.6
7	Sucumbíos	MI-4	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	1	58.9	65.5
7	Sucumbíos	MI-6	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	4	59.3	60.9
7	Sucumbíos	MI-7	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	2	59.1	65.7
7	Sucumbíos	MI-10	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	4	60.8	61.3

PROYECTO	UBICACIÓN	MUESTRA #	TIPO DE MUESTREO	SUCS	COLOR	OPERADOR	LL CG (%)	LL PC (%)
8	Orellana	CPF-A-1	INTEGRAL - ALTERADA	MH/ML	AMARILLO/NARANJA	5	46.7	55.5
8	Orellana	CPF-A-4	INTEGRAL - ALTERADA	MH/ML	AMARILLO/NARANJA	5	48.1	54.6
8	Orellana	CPF-A-6	INTEGRAL - ALTERADA	MH/ML	AMARILLO/NARANJA	6	50.9	56.1
8	Orellana	CPF-R-1	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	1	63.6	68
8	Orellana	CPF-R-3	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	2	63.6	66.1
8	Orellana	CPF-R-4	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	7	69.1	66.6
8	Orellana	CPF-R-5	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	2	72	71.1
8	Orellana	CPF-R-6	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	7	65.6	74.1
8	Orellana	CPF-R-7	INTEGRAL - ALTERADA	MH	ROJIZO	2	62.6	69.3
8	Orellana	CPF-G-4	INTEGRAL - ALTERADA	MH	GRIS	6	47.8	55.3
8	Orellana	CPF-G-6	INTEGRAL - ALTERADA	MH	GRIS	6	46.5	50.5
8	Orellana	CPF-C-1	INTEGRAL - ALTERADA	MH	CAFÉ/ROJIZO	3	95.4	106
8	Orellana	CPF-C-2	INTEGRAL - ALTERADA	MH	CAFÉ/ROJIZO	5	88.6	100.7
8	Orellana	CPF-C-3	INTEGRAL - ALTERADA	MH	CAFÉ/ROJIZO	5	88.5	99.9
8	Orellana	CPF-C-4	INTEGRAL - ALTERADA	MH	CAFÉ/ROJIZO	3	97.6	99.5
8	Orellana	CPF-C-5	INTEGRAL - ALTERADA	MH	CAFÉ/ROJIZO	3	92	99.2
8	Orellana	CPF-C-6	INTEGRAL - ALTERADA	MH	CAFÉ/ROJIZO	1	99.3	97.1
8	Orellana	CPF-C-7	INTEGRAL - ALTERADA	MH	CAFÉ/ROJIZO	4	102.2	104.7

Figura 5.

Comparación de resultados de valores de LL (%) del método de Casagrande y el método de penetración del cono



En el análisis de regresión lineal se obtuvo un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9269. Es decir, al ser el coeficiente de determinación una medida estadística que ayuda a identificar el ajuste del modelo, con el valor obtenido podemos concluir que la correlación entre los dos métodos es alta. Gráficamente es evidente que los valores que arroja el método de penetración del cono son más altos

que los valores obtenidos del método de Casagrande. Esto se hace más evidente y se acrecienta para valores de límite líquido superiores a 80%. Esta tendencia de valores superiores para uno de los métodos concuerda con la ecuación de la recta en donde la pendiente está marcada con un valor mayor a 1.

Este análisis inicial coincide con los resultados obtenidos de otras investigaciones en donde la tendencia a obtener valores ligeramente más altos con el método de penetración del cono se mantiene. En este sentido, se podría considerar la ecuación obtenida como una herramienta para mantener el registro histórico de los ensayos realizados sobre los materiales de la zona que ha sido objeto de estudio: $LL_{cono} = 1.0833 * LL_{casagrande} - 1.314$.

Se realizó una prueba *t de Student* tomando en cuenta que esta herramienta nos ayuda a determinar si la diferencia entre las medias de dos muestras es significativa. Se considera aplicable tomando en cuenta que tenemos un grupo de muestras ensayadas bajo el método de Casagrande y ese mismo grupo de muestras ensayadas bajo el método de penetración del Cono, es decir, dos muestras de resultados obtenidos con dos metodologías distintas.

El resultado del análisis arroja un valor de *t* de -6.62, lo que significa que en efecto existe una diferencia entre los dos métodos confirmando además que los resultados del método de penetración son más altos que el método de Casagrande:

Media método Casagrande: 66 %

Media método Penetración del Cono: 70.19%

Como resultado de este mismo análisis, el valor *p* obtenido es mucho menor a 0.05 (2.85E-09 / una cola; 5.70E-09 / dos colas) lo que confirma que existe una diferencia entre las metodologías.

Adicionalmente se calculó el coeficiente de correlación de Pearson obteniendo un valor de 0.9627. Este valor confirma que aunque los resultados que se obtiene en cada metodología no son exactamente iguales si tienen una relación lineal directa fuerte.

4.2. Reproductibilidad del ensayo

Para poder evaluar la influencia que tiene el operador en cada método aplicado, se realizaron varios ensayos sobre una misma muestra ejecutados por diferentes laboratoristas. Cada operador realizó el ensayo de la muestra bajo las dos metodologías propuestas, usando siempre el mismo equipo.

En las tablas 5 a 11 se presentan los resultados obtenidos en cada muestra ensayada por diferentes laboratoristas, los valores promedio de cada método, la desviación estándar correspondiente y el coeficiente de variación.

Tabla 5.

Resultados LL – Reproductibilidad – Proyecto 4 muestra B1

RESULTADOS: PROYECTO 4 / MUESTRA B1		
OPERADOR	**LL CG (%)**	**LL PC (%)**
4	43	45.2
3	58.5	57
1	0	0
2	50.6	54.3
7	50.8	49.7
7	51.5	47.6
1	0	0
7	50	46.2
2	52.8	53.9
Promedio (media aritmética)	*51.03*	*50.56*
Desviación estándar	*4.56*	*4.54*
Coeficiente de variación (CV)	*8.94*	*8.99*

Tabla 6.

Resultados LL – Reproductibilidad – Proyecto 4 muestra MI

RESULTADOS: PROYECTO 4 / MUESTRA MI		
OPERADOR	**LL CG (%)**	**LL PC (%)**
6	0	0
4	45.1	47
5	52.8	51.9
6	43.6	50
4	51.7	49.7
2	51	53.2
3	57.2	66.3
4	56.3	61.5
3	54.7	59.5
2	48.9	52
5	45.8	47.7
5	45.1	51.9
Promedio (media aritmética)	*50.2*	*53.7*
Desviación estándar	*4.82*	*6.11*
Coeficiente de variación (CV)	*9.61*	*11.38*

Tabla 7.

Resultados LL – Reproductibilidad – Proyecto 5 muestra BT-1

RESULTADOS: PROYECTO 5 / MUESTRA BT-1		
OPERADOR	**LL CG (%)**	**LL PC (%)**
6	65.9	66.2
2	68.3	71.2
1	69.9	73
1	0	0
4	68	68.3
3	65.8	68.2
2	66.8	68.8
7	68.3	67.5
1	0	0
3	62.8	66.8

RESULTADOS: PROYECTO 5 / MUESTRA BT-1		
OPERADOR	**LL CG (%)**	**LL PC (%)**
7	56.7	54
4	65.1	63.7
2	68.3	71.8
Promedio (media aritmética)	*65.99*	*67.23*
Desviación estándar	*3.65*	*5.13*
Coeficiente de variación (CV)	*5.53*	*7.63*

Tabla 8.

Resultados LL – Reproductibilidad – Proyecto 6 muestra MI-2

RESULTADOS: PROYECTO 6 / MUESTRA MI-2		
OPERADOR	**LL CG (%)**	**LL PC (%)**
7	87.4	96.7
7	74.2	96.7
6	81.1	96.9
1	0	0
6	83.1	97.2
4	90.4	98.4
3	85.6	98.3
4	93.2	97.9
5	88	100.7
5	80	95.2
1	86.3	95.3
3	85	95.5
Promedio (media aritmética)	*84.94*	*97.16*
Desviación estándar	*5.23*	*1.63*
Coeficiente de variación (CV)	*6.16*	*1.67*

Tabla 9.

Resultados LL – Reproductibilidad – Proyecto 7 muestra MI

RESULTADOS: PROYECTO 7 / MUESTRA MI		
OPERADOR	**LL CG (%)**	**LL PC (%)**
2	58.5	63.8
6	52.7	57.1
3	63.3	65.6
1	58.9	65.5
1	0	0
4	59.3	60.9
2	59.1	65.7
1	0	0
1	0	0
4	60.8	61.3
6	0	0
Promedio (media aritmética)	*58.94*	*61.84*
Desviación estándar	*3.21*	*3.24*
Coeficiente de variación (CV)	*5.44*	*5.15*

Tabla 10.

Resultados LL – Reproductibilidad – Proyecto 8 muestra CPF-R

RESULTADOS: PROYECTO 8 / MUESTRA CPF-R		
OPERADOR	**LL CG (%)**	**LL PC (%)**
1	63.6	68
1	0	0
2	63.6	66.1
7	69.1	66.6
2	72	71.1
7	65.6	74.1
2	62.6	69.3
Promedio (media aritmética)	*66.08*	*69.20*
Desviación estándar	*3.71*	*3.01*
Coeficiente de variación (CV)	*5.61*	*4.36*

Tabla 11.

Resultados LL – Reproductibilidad – Proyecto 8 muestra CPF-C

RESULTADOS: PROYECTO 8 / MUESTRA CPF-C		
OPERADOR	**LL CG (%)**	**LL PC (%)**
3	95.4	106
5	88.6	100.7
5	88.5	99.9
3	97.6	99.5
3	92	99.2
1	99.3	97.1
4	102.2	104.7
Promedio (media aritmética)	*94.80*	*101.01*
Desviación estándar	*5.31*	*3.18*
Coeficiente de variación (CV)	*5.60*	*3.15*

En la tabla 12 se presenta de forma resumida los resultados obtenidos para las muestras de cada proyecto analizado:

Tabla 12.

Resumen de Resultados– Reproductibilidad

PROYECTO	**LL CG (%)**			**LL PC (%)**		
	Promedio	**Desviación estándar**	**Coeficiente de variación (CV)**	**Promedio**	**Desviación estándar**	**Coeficiente de variación (CV)**
PROYECTO 4 / MUESTRA B1	51.03	4.56	***8.94***	50.56	***4.54***	8.99
PROYECTO 4 / MUESTRA MI	50.2	***4.82***	***9.61***	53.7	6.11	11.38
PROYECTO 5 / MUESTRA BT-1	65.99	***3.65***	***5.53***	67.23	5.13	7.63
PROYECTO 6 / MUESTRA MI-2	84.94	5.23	6.16	97.16	***1.63***	***1.67***
PROYECTO 7 / MUESTRA MI	58.94	***3.21***	5.44	61.84	3.24	***5.15***
PROYECTO 8 / MUESTRA CPF-R	66.08	3.71	5.61	69.20	***3.01***	***4.36***
PROYECTO 8 / MUESTRA CPF-C	94.80	5.31	5.60	101.01	***3.18***	***3.15***

4.3. Repetibilidad del ensayo

Así como se desarrollaron los ensayos sobre una misma muestra con varios laboratoristas, se realizaron varios ensayos sobre una misma muestra por un mismo operador. Con esta información se puede evaluar la repetibilidad del ensayo en cada metodología para una sola persona. En las tablas 13 a 17 se presentan los resultados de desviación estándar y coeficiente de variación de cada laboratorista y para cada muestra.

Tabla 13.

Resumen de Resultados– Operador #2

OPERADOR # 2					
LL CG (%)					
MUESTRA	**B1**	**MI**	**BT-1**	**MI**	**CPF-R**
Promedio (media aritmética)	51.70	49.95	67.80	58.80	66.07
Desviación estándar	1.56	1.48	***0.87***	***0.42***	5.16
Coeficiente de variación (CV)	3.01	2.97	***1.28***	***0.72***	7.81
LL PC (%)					
MUESTRA	**B1**	**MI**	**BT-1**	**MI**	**CPF-R**
Promedio (media aritmética)	54.10	52.60	70.60	64.75	68.83
Desviación estándar	***0.28***	***0.85***	1.59	1.34	***2.53***
Coeficiente de variación (CV)	***0.52***	***1.61***	2.25	2.07	***3.68***

Tabla 14.

Resumen de Resultados– Operador #3

OPERADOR # 3				
LL CG (%)				
MUESTRA	**MI**	**BT-1**	**MI-2**	**CPF-C**
Promedio (media aritmética)	55.95	64.30	85.30	95.00
Desviación estándar	***1.77***	2.12	***0.42***	***2.82***
Coeficiente de variación (CV)	***3.16***	3.30	***0.50***	***2.97***
LL PC (%)				

MUESTRA	MI	BT-1	MI-2	CPF-C
Promedio (media aritmética)	62.90	67.50	96.90	101.57
Desviación estándar	4.81	***0.99***	1.98	3.84
Coeficiente de variación (CV)	7.64	***1.47***	2.04	3.78

Tabla 15.

Resumen de Resultados– Operador #4

OPERADOR # 4				
LL CG (%)				
MUESTRA	**MI**	**BT-1**	**MI-2**	**MI**
Promedio (media aritmética)	51.03	66.55	91.80	60.05
Desviación estándar	***5.63***	***2.05***	1.98	1.06
Coeficiente de variación (CV)	***11.03***	***3.08***	2.16	1.77
LL PC (%)				
MUESTRA	**MI**	**BT-1**	**MI-2**	**MI**
Promedio (media aritmética)	52.73	66.00	98.15	61.10
Desviación estándar	7.71	3.25	***0.35***	***0.28***
Coeficiente de variación (CV)	14.62	4.93	***0.36***	***0.46***

Tabla 16.

Resumen de Resultados– Operador #5

OPERADOR # 5				
LL CG (%)				
MUESTRA	**MI**	**MI-2**	**CPF-A**	**CPF-C**
Promedio (media aritmética)	47.90	84.00	47.40	88.55
Desviación estándar	4.26	5.66	0.99	***0.07***
Coeficiente de variación (CV)	8.89	6.73	2.09	***0.08***
LL PC (%)				
MUESTRA	**MI**	**MI-2**	**CPF-A**	**CPF-C**
Promedio (media aritmética)	50.50	97.95	55.05	100.30
Desviación estándar	***2.42***	***3.89***	***0.64***	0.57
Coeficiente de variación (CV)	***4.80***	***3.97***	***1.16***	0.56

Tabla 17.

Resumen de Resultados– Operador #7

OPERADOR # 7				
LL CG (%)				
MUESTRA	**B1**	**BT-1**	**MI-2**	**CPF-R**
Promedio (media aritmética)	50.77	62.50	80.80	67.35
Desviación estándar	***0.75***	***8.20***	9.33	***2.47***
Coeficiente de variación (CV)	***1.48***	***13.12***	11.55	***3.67***
LL PC (%)				
MUESTRA	**B1**	**BT-1**	**MI-2**	**CPF-R**
Promedio (media aritmética)	47.83	60.75	96.70	70.35
Desviación estándar	1.76	9.55	***0.00***	5.30
Coeficiente de variación (CV)	3.68	15.71	***0.00***	7.54

5. CONCLUSIONES

Los ensayos se realizaron bajo lo estipulado en las normativas referidas para cada procedimiento: ASTM D4318 y BS 1377-2. Al comparar el criterio de aceptación que indica cada normativa, se puede ver que la norma Británica para el ensayo de penetración de cono es más exigente y el control de calidad y precisión que solicita durante el proceso da un nivel de confianza mayor para poder aceptar los resultados del ensayo. Para el caso de la norma ASTM D318 que rige el método de Casagrande, la restricción indicada es con relación a la humedad indicando un margen del 2% al 4%, ya sea la comparación de un mismo operador o entre varios laboratorios. Se concluye que en el método de la norma BS 1377 el control es mayor pues durante el proceso del ensayo no admite diferencias mayores a 0.5mm en las mediciones.

Una ventaja que presenta el método de penetración del cono es que se puede validar o invalidar un resultado durante el proceso de la ejecución del ensayo sin tener que esperar al resultado final luego del proceso de la información completa y cálculo de la humedad en cada punto. En contraste, para una validación del método de Casagrande, se debería poder realizar más de un ensayo sobre la misma muestra

a fin de poder verificar si se cumple con la precisión establecida para cada tipo de material. Sabiendo que en el contexto del desarrollo de los proyectos esto es muy improbable, no se puede verificar si cada ensayo cumple o no con la precisión que pide la norma.

De los resultados obtenidos en muestras de plasticidad media, cuyo límite líquido es cercano a 50%, se pudo ver claramente que existe variación entre los resultados obtenidos de cada operador que podría llevar a que la una misma muestra se clasifique como ML o MH, Cl o CH con lo que se podría interpretar un comportamiento diferente para el mismo material. En las tablas 18 y 19 se indican los resultados mencionados:

Tabla 18.

Resumen Proyecto 4 – muestra B1

RESULTADOS: PROYECTO 4 / MUESTRA B1		
OPERADOR	**LL CG (%)**	**LL PC (%)**
4	43	45.2
3	58.5	57
2	50.6	54.3
7	50.8	49.7
7	51.5	47.6
7	50	46.2
2	52.8	53.9

Tabla 19.

Resumen Proyecto 4 – muestra MI

RESULTADOS: PROYECTO 4 / MUESTRA MI		
OPERADOR	**LL CG (%)**	**LL PC (%)**
4	45.1	47
5	52.8	51.9
6	43.6	50

RESULTADOS: PROYECTO 4 / MUESTRA MI		
OPERADOR	**LL CG (%)**	**LL PC (%)**
4	51.7	49.7
2	51	53.2
3	57.2	66.3
4	56.3	61.5
3	54.7	59.5
2	48.9	52
5	45.8	47.7
5	45.1	51.9

De los análisis realizados y de la comparación de resultados obtenidos por ambos métodos, se concluye que existe una diferencia en los resultados de cada método, y por lo tanto no es factible simplemente reemplazar un valor por otro. Se verifica la necesidad de establecer una correlación entre ambos métodos. Además, se ha podido verificar que con el método de penetración del cono se obtienen valores de límite líquido mayores a los que se generan con el método de Casagrande.

Sabiendo que el número de muestras ensayadas es aceptable para el análisis realizado, y que el coeficiente de determinación obtenido de 0.9269 señala que la relación lineal es fuerte entre los dos métodos, se puede concluir que la correlación $LL_{cono} = 1.0833 * LL_{casagrande} - 1.314$ se puede aplicar para los suelos de grano fino de la región oriental del Ecuador.

Con relación a los resultados obtenidos en el análisis de reproductibilidad, los resultados no han sido contundentes para ningún método. De las 7 muestras diferentes de las que se realizaron varios ensayos por los diferentes operadores, en 2 de ellas se registran valores de desviación estándar y coeficiente de variación menor con el método de Casagrande. Así mismo, en otras 3 muestras se registran valores de desviación estándar y coeficiente de variación menor con el método de Penetración del Cono. Aunque los resultados no son contundentes, si se puede ver una inclinación a que el método de Penetración del Cono tenga una menor desviación estándar en sus resultados. Se puede ver que para los

suelos con valores de límite líquido mayores a 80% el método del cono ofrece mejores resultados. Para suelos de plasticidad media, entre 50% y 66%, se puede observar que los dos métodos tienen concordancia y los valores de desviación estándar y coeficiente de variación son similares. Sin embargo, observando los datos de la muestra CPF-R del proyecto 8, el método de penetración del Cono registra valores menores.

De igual manera, en el análisis de repetibilidad de los ensayos para los laboratoristas que ensayaron las muestras con cada metodología, no se obtienen datos contundentes con relación a ningún método. Los resultados varían de operador a operador:

- Operador #2: registra una mayor repetibilidad en el ensayo con el método del cono al obtener valores menores de desviación estándar y coeficiente de variación en 3 muestras.
- Operador #3: registra una mayor repetibilidad en el ensayo con el método de Casagrande al obtener valores menores de desviación estándar y coeficiente de variación en 3 muestras.
- Operador #4: realizó varios ensayos sobre 4 muestras diferentes, y se obtienen valores menores de desviación estándar y coeficiente de variación en 2 muestras para cada método aplicado.
- Operador #5: registra una mayor repetibilidad en el ensayo con el método del cono al obtener valores menores de desviación estándar y coeficiente de variación en 3 muestras.
- método aplicado.
- Operador #7: registra una mayor repetibilidad en el ensayo con el método de Casagrande al obtener valores menores de desviación estándar y coeficiente de variación en 3 muestras.

Si bien es cierto que no se ha podido verificar de manera clara qué método brinda una mayor reproductibilidad y repetibilidad en los ensayos, si ha sido factible relacionar los dos métodos, comprobar que nos resultados no son intercambiables y definir una correlación válida para los registros históricos que se tiene en la zona que ha sido objeto de análisis.

Durante el desarrollo de los ensayos se pudo evidenciar que el proceso del ensayo de penetración del cono elimina etapas subjetivas que se presentan en la metodología de Casagrande y que, con un mayor tiempo de adaptación el personal podrá tener la confianza en la aplicación de esta metodología.

El factor humano influye en varios aspectos. Para el caso puntual de esta investigación, si fue necesario realizar varios acercamientos con los laboratoristas para romper la barrera que existía hacia la aplicación de un método nuevo que no dominan. Que el personal salga de su zona de confort y que abran la mentalidad a un nuevo aprendizaje implica un arduo trabajo y constancia que difícilmente se consigue a corto plazo.

Finalmente, como conclusión general de esta investigación, se propone la continuidad en la aplicación de los dos métodos para la obtención del límite líquido, acompañada de capacitación continua en cada normativa a fin de que los operadores tengan la destreza de realizar los ensayos bajo cualquiera de los dos procedimientos. Incrementar la muestra de análisis permitirá definir claramente qué metodología genera resultados más precisos y podrá dar paso a una clara migración a un método de penetración de cono para la determinación del límite líquido en suelos de grano fino, en caso de que estos resultados iniciales se verifiquen.

6. REFERENCIAS

ASTM D 4318-17. (2017). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. ASTM International, West Conshohocken, PA. https://doi.org/10.1520/D4318-17E01

ASTM D4220/D4220M-14. (2014). *Standard practices for preserving and transporting soil samples*. ASTM International, West Conshohocken, PA.

https://www.astm.org/d4220_d4220m-14.html

ASTM D2488-17. (2017). *Standard practice for description and identification of soils (visual-manual procedure)*

ASTM International, West Conshohocken, PA.

https://www.astm.org/d2488-17.html

British Standards Institution. (1990). *Methods of test for soils for civil engineering purposes. Classification tests* (BS 1377-2:1990). BSI Standards Publication.

B. Lunackova. Mohajerani method: Tool for determining the liquid limit of soils using fall cone test results with strong correlation with the Casagrande test. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105852

C.W. Clemente, V.P. Faro, M.P.H. Moncada. (2020). Determination of liquid limit by the Fall Cone method. | Soils and Rocks. An International Journal of Geothechnical and Geoenvironmental Engineering. https://doi.org/10.28927/SR.434661

Crevelin LG, Bicalho KV. Comparison of the Casagrande and Fall Cone methods for liquid limit determinations in different clay soils. Rev Bras Cienc Solo. 2019;43:e0180105.

https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20180105

O'Kelly BC (2024) Theory of liquid and plastic limits for fine soils, methods of determination and outlook. Geotechnical Research 11(1):43–61.

https://doi.org/10.1680/jgere.23.00038

Shimobe, S., Spagnoli, G., 2019. A global database considering Atterberg limits with the Casagrande and fall-cone tests. Eng. Geol. 260. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105201

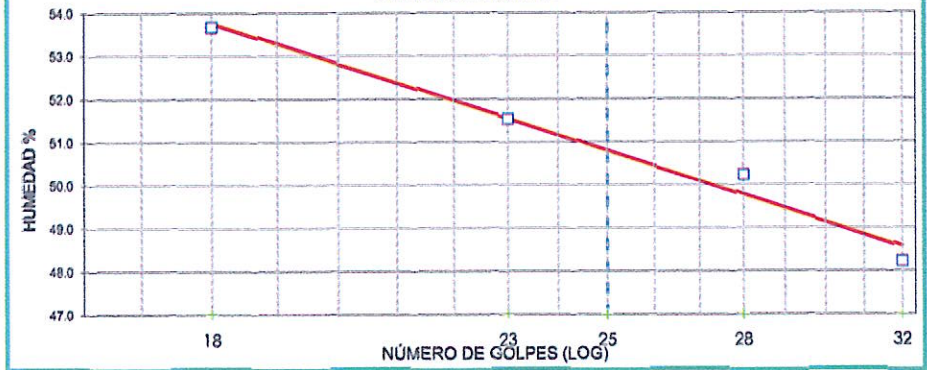
ANEXOS

PROYECTO:	4	MUESTRA:	B1-5
OPERADOR:	7		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
32	17.86	14.21	6.64	48.22	
28	19.64	15.31	6.69	50.23	
23	20.88	16.00	6.53	51.53	
18	21.26	16.15	6.63	53.68	**50.8**

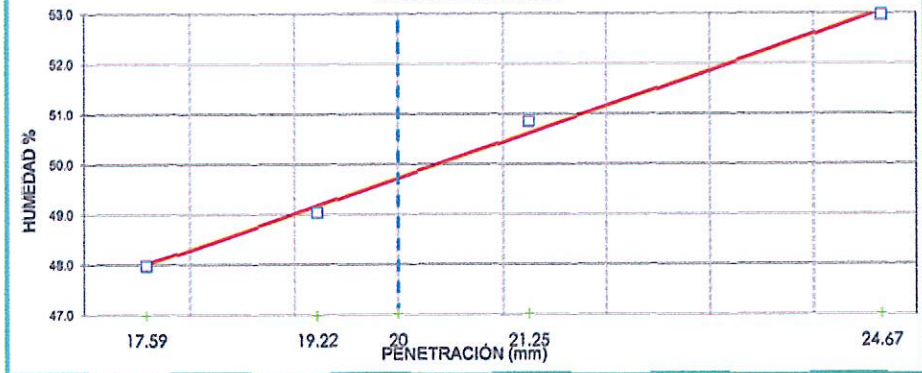
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
17.59	21.23	16.49	6.61	47.98	
19.22	19.16	15.05	6.67	49.05	
21.25	17.98	14.10	6.47	50.85	
24.67	18.89	14.69	6.76	52.96	**49.7**

CURVA DE FLUIDEZ

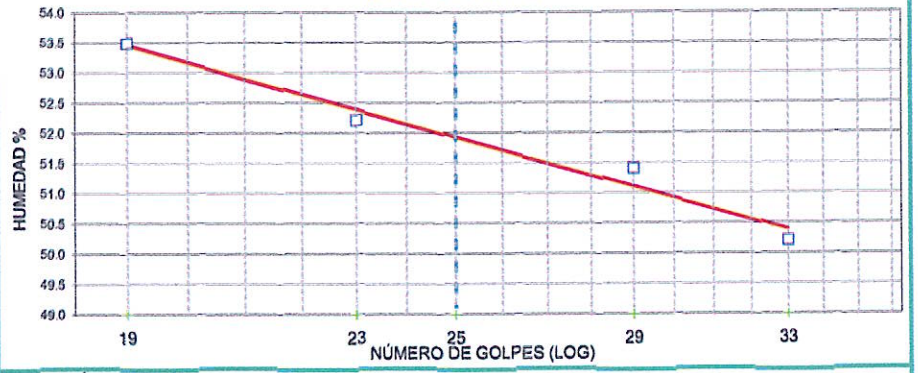


PROYECTO:	3	MUESTRA:	P-09
OPERADOR:	7		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
33	17.10	13.51	6.36	50.21	
29	19.78	15.23	6.38	51.41	
23	20.32	15.60	6.56	52.21	
19	20.87	15.89	6.58	53.49	**51.9**

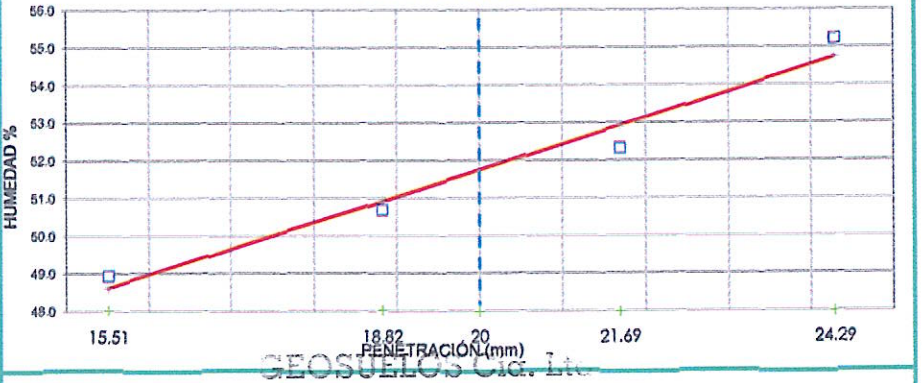
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.51	16.88	13.43	6.38	48.94	
18.82	18.44	14.39	6.40	50.69	
21.69	19.37	14.98	6.59	52.32	
24.29	25.17	18.55	6.56	55.21	**51.7**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

GEOSUELOS Cía. Ltda.

FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

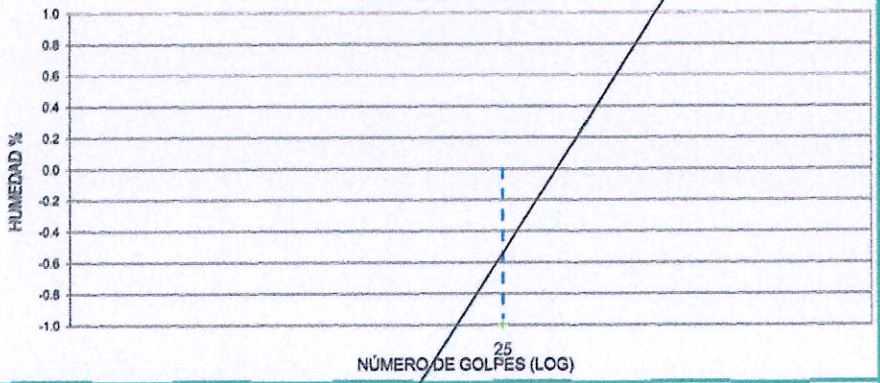
FECHA: 11/3/2026

PROYECTO:		MUESTRA:	
OPERADOR:			

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)

CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)

CURVA DE FLUIDEZ

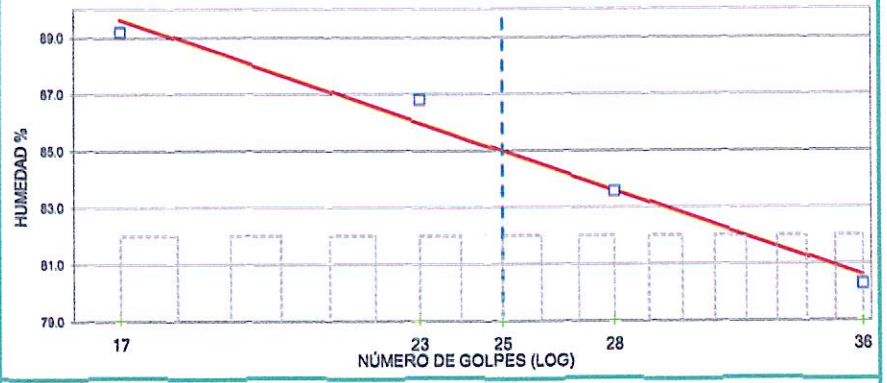


PROYECTO:	6	MUESTRA:	MI-2-12
OPERADOR:	3		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
36	15.59	11.68	6.81	80.29	
28	15.63	11.51	6.58	83.57	
23	15.89	11.42	6.27	86.80	
17	15.58	11.29	6.48	89.19	**85.0**

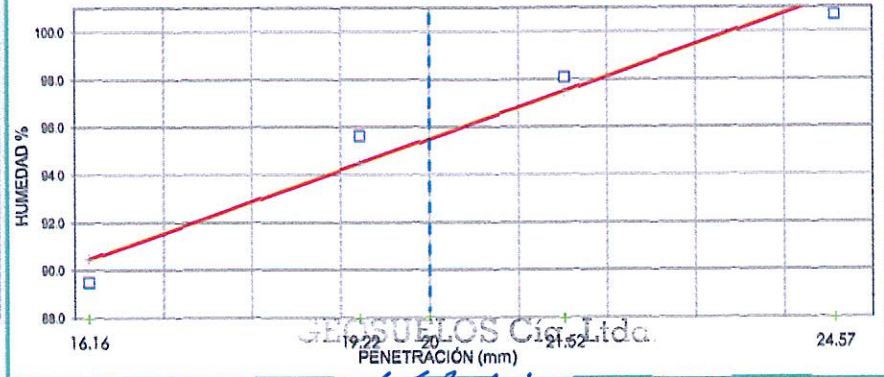
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.16	20.48	13.92	6.59	89.50	
19.22	18.34	12.43	6.25	95.63	
21.52	21.17	13.97	6.63	98.09	
24.57	23.84	15.14	6.50	100.69	**95.5**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS Cía. Ltda.

GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA

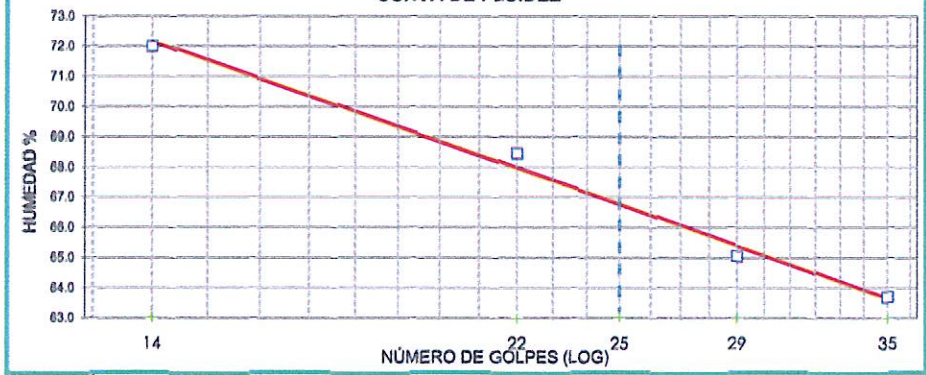
FECHA: 12/3/2026

FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

PROYECTO:	5	**MUESTRA:**	BT-1-7
OPERADOR:	2		

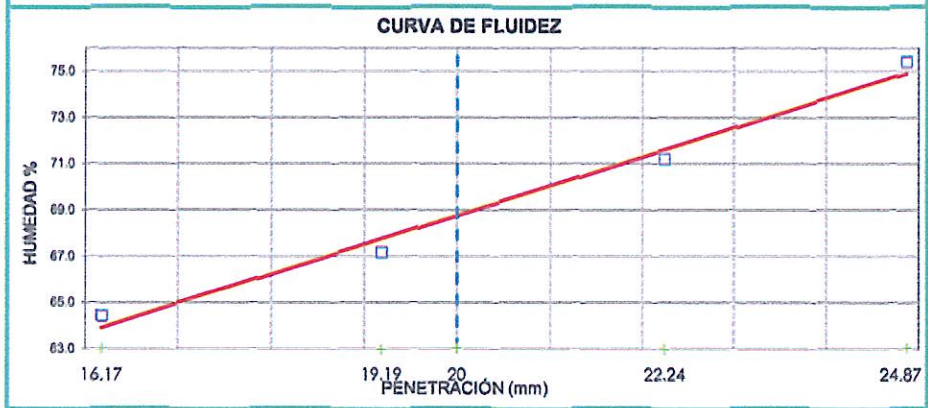
1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
35	16.96	12.89	6.50	63.69	
29	15.81	12.20	6.65	65.05	
22	16.64	12.56	6.60	68.46	
14	16.10	12.14	6.64	72.00	**66.8**



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.17	18.16	13.58	6.47	64.42	
19.19	16.70	12.65	6.62	67.16	
22.24	18.01	13.24	6.54	71.19	
24.87	21.01	14.82	6.61	75.40	**68.8**



PROYECTO:	7	**MUESTRA:**	MI-1-1
OPERADOR:	2		

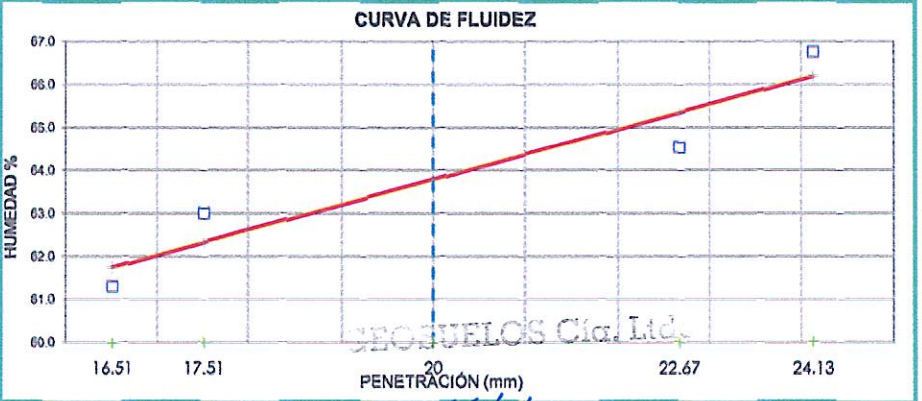
1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	15.42	12.34	6.86	56.20	
28	13.22	10.80	6.64	58.17	
22	15.51	12.20	6.65	59.64	
14	17.37	13.25	6.60	61.95	**58.5**



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.51	16.00	12.42	6.58	61.30	
17.51	19.81	14.70	6.59	63.01	
22.67	16.64	12.69	6.57	64.54	
24.13	19.29	14.23	6.65	66.75	**63.8**



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

ING. MARCELO TORRES

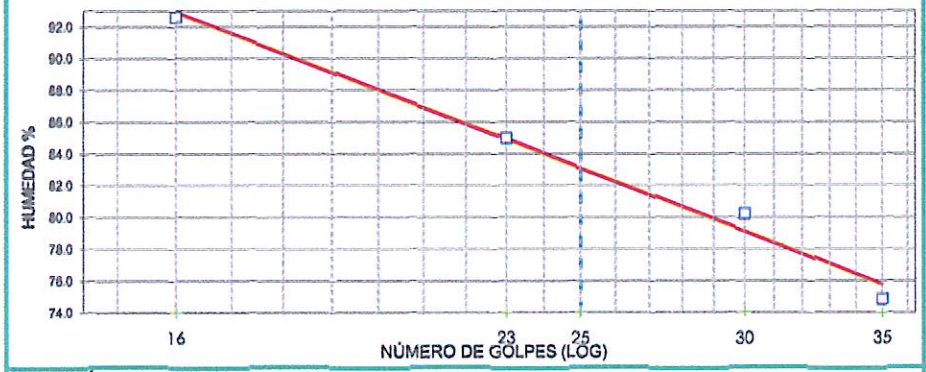
FECHA: 11/3/2026

PROYECTO:	6	**MUESTRA:**	MI-2-5
OPERADOR:	6		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
35	17.44	14.05	9.52	74.83	
30	17.97	14.36	9.86	80.22	
23	21.33	17.76	13.56	85.00	
16	23.71	19.05	14.02	92.64	**83.1**

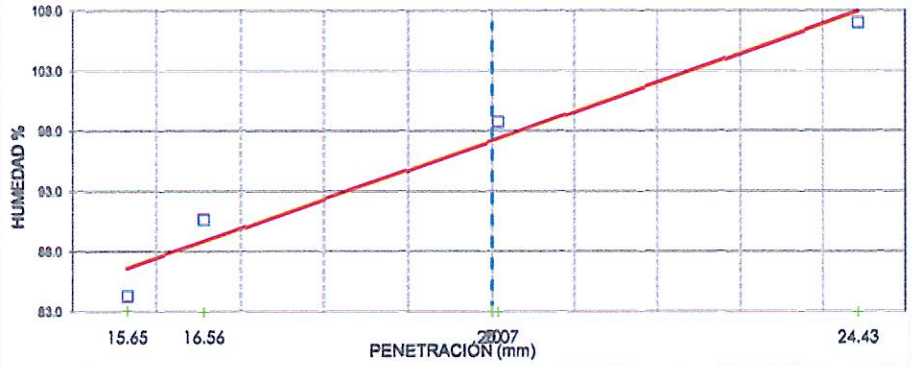
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.65	17.03	12.15	6.36	84.28	
16.56	17.13	12.10	6.55	90.63	
20.07	17.57	12.08	6.52	98.74	
24.43	17.37	11.71	6.42	106.99	**97.2**

CURVA DE FLUIDEZ

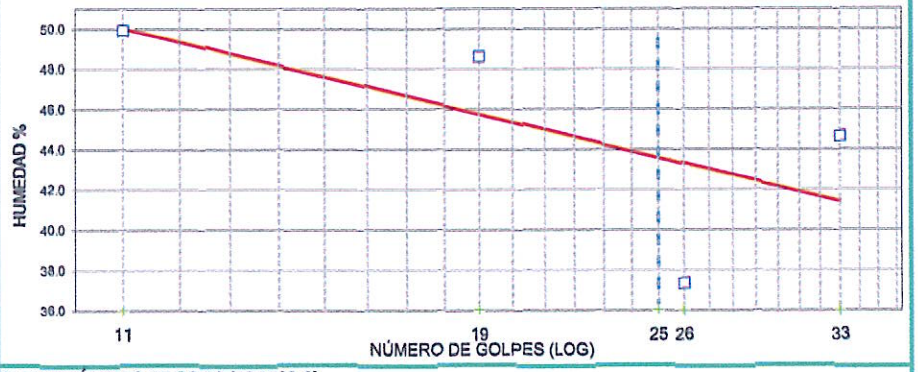


PROYECTO:	4	**MUESTRA:**	MI-4
OPERADOR:	6		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
33	24.67	21.32	13.82	44.67	
26	24.00	21.28	14.00	37.36	
19	26.24	22.40	14.50	48.61	
11	26.87	23.36	16.33	49.93	**43.6**

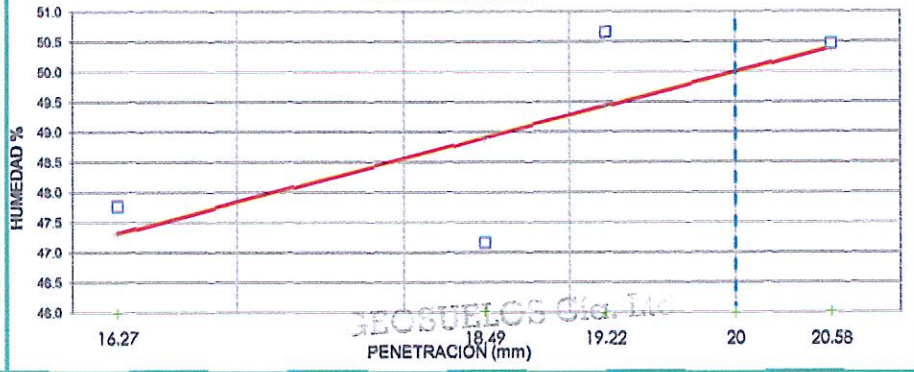
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.27	17.35	13.82	6.43	47.77	
18.49	18.50	14.68	6.58	47.16	
19.22	17.01	13.53	6.66	50.66	
20.58	17.67	13.87	6.34	50.46	**50.0**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS Cía. Ltda.

GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

FIRMA AUTORIZADA

ING. MARCELO TORRES

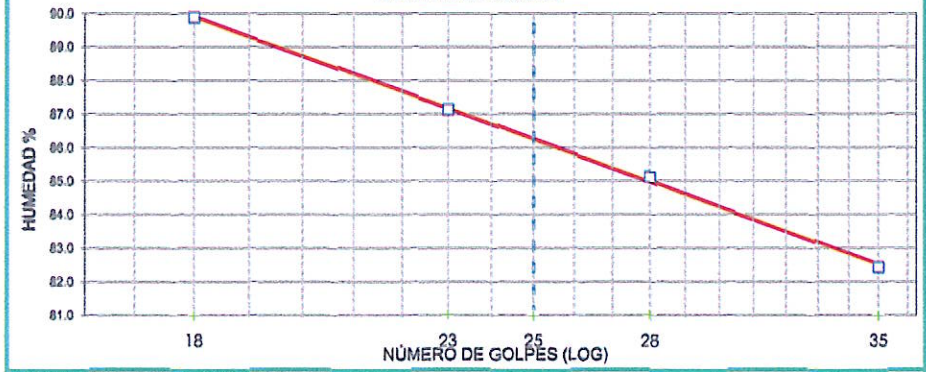
FECHA: 16/3/2026

PROYECTO:	6	**MUESTRA:**	MI-2-11
OPERADOR:	1		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
35	16.97	12.37	6.79	82.44	
28	16.43	11.85	6.47	85.13	
23	18.43	13.01	6.79	87.14	
18	16.56	11.76	6.42	89.89	**86.3**

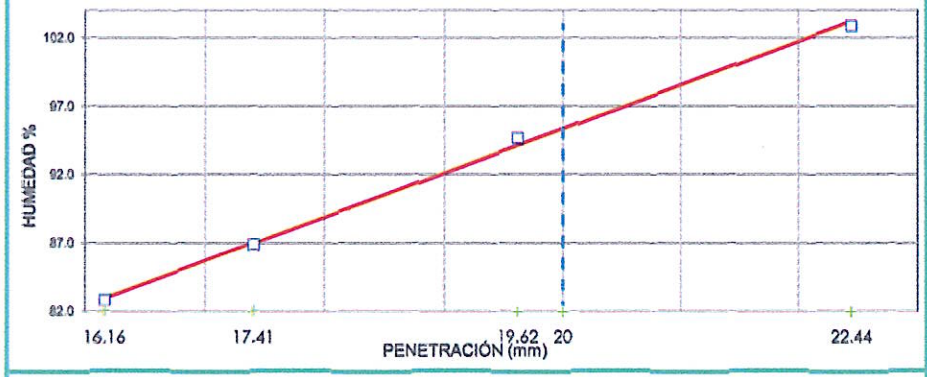
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.16	18.15	13.00	6.78	82.80	
17.41	18.32	12.83	6.51	86.87	
19.62	18.41	12.75	6.77	94.65	
22.44	19.61	13.12	6.81	102.85	**95.3**

CURVA DE FLUIDEZ

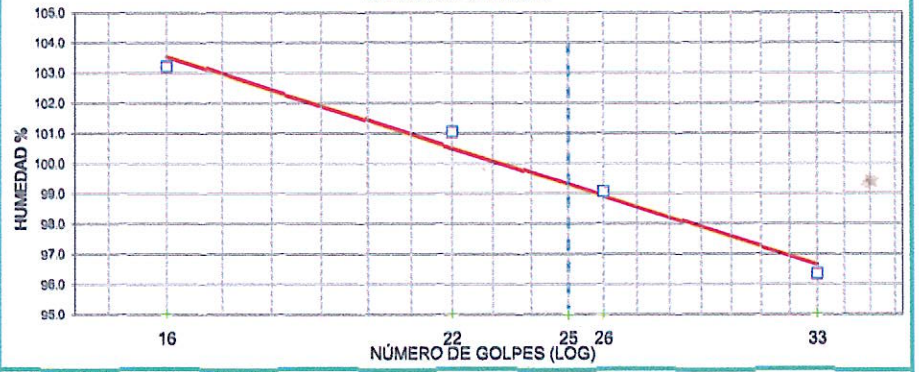


PROYECTO:	8	**MUESTRA:**	CPF-C-6
OPERADOR:	1		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
33	17.33	12.06	6.59	96.34	
26	17.28	12.04	6.75	99.05	
22	17.96	12.19	6.48	101.05	
16	17.27	11.80	6.50	103.21	**99.3**

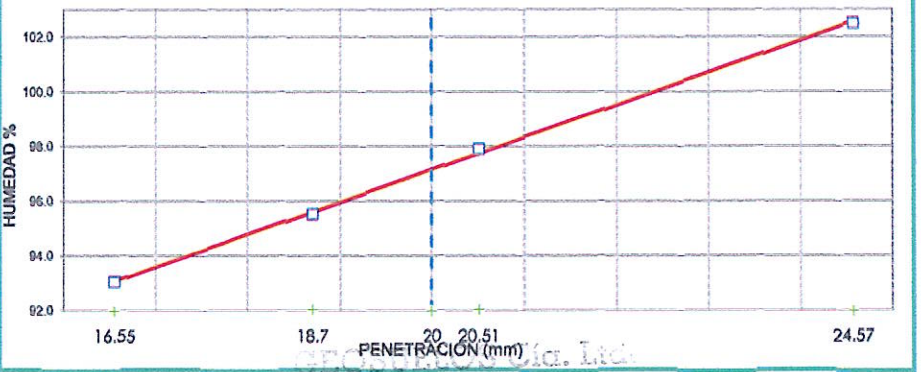
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.55	18.78	12.90	6.58	93.04	
18.7	18.83	12.86	6.61	95.52	
20.51	17.78	12.19	6.48	97.90	
24.57	18.13	12.37	6.75	102.49	**97.1**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

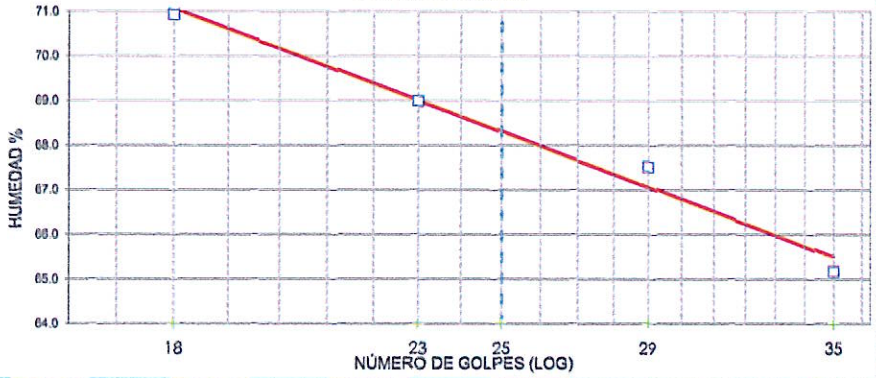
FECHA: 19/3/2026

PROYECTO:	5	**MUESTRA:**	BT-1-8
OPERADOR:	7		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
35	16.96	12.88	6.62	65.18	
29	17.52	13.07	6.48	67.53	
23	19.33	14.17	6.69	68.98	
18	20.24	14.65	6.77	70.94	**68.3**

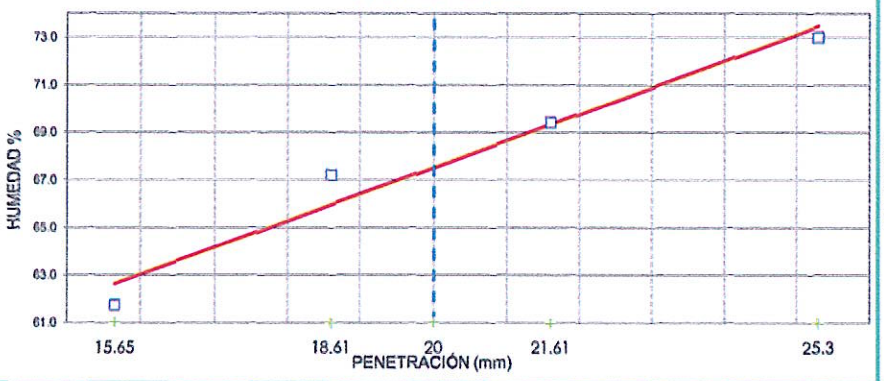
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.65	17.58	13.32	6.42	61.74	
18.61	17.75	13.22	6.48	67.21	
21.61	17.11	12.82	6.64	69.42	
25.3	19.29	13.80	6.28	73.01	**67.5**

CURVA DE FLUIDEZ

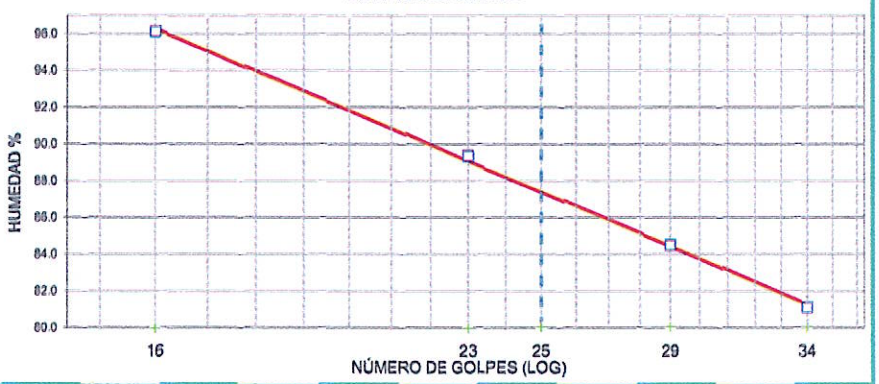


PROYECTO:	6	**MUESTRA:**	MI-2-1
OPERADOR:	7		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	16.30	11.88	6.43	81.10	
29	16.60	11.97	6.49	84.49	
23	17.16	12.20	6.65	89.37	
16	16.42	11.46	6.30	96.12	**87.4**

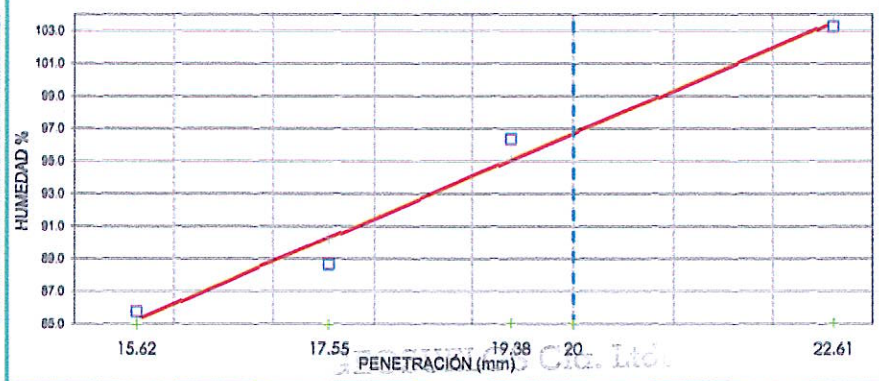
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.62	16.44	11.86	6.52	85.77	
17.55	16.84	12.15	6.86	88.66	
19.38	19.66	13.33	6.76	96.35	
22.61	25.26	15.77	6.58	103.26	**96.7**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

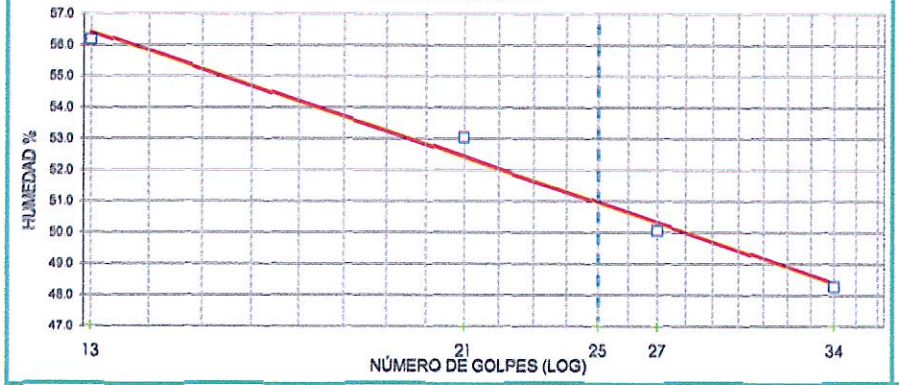
FECHA: 11/3/2026

PROYECTO:	4	MUESTRA:	MI-6
OPERADOR:	2		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	17.79	14.16	6.64	48.27	
27	17.27	13.72	6.63	50.07	
21	17.13	13.47	6.57	53.04	
13	16.98	13.21	6.50	56.18	**51.0**

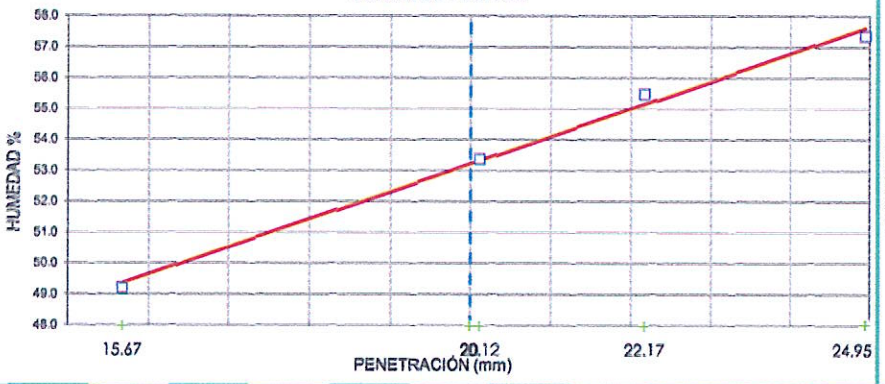
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.67	25.22	19.08	6.60	49.20	
20.12	21.39	16.33	6.85	53.38	
22.17	20.83	15.77	6.65	55.48	
24.95	21.62	16.16	6.64	57.35	**53.2**

CURVA DE FLUIDEZ



PROYECTO:	6	MUESTRA:	MI-2-2
OPERADOR:	7		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
32	17.01	12.68	6.61	71.33	
27	18.29	13.35	6.67	73.95	
21	18.15	13.10	6.46	76.05	
17	19.28	13.80	6.74	77.62	**74.2**

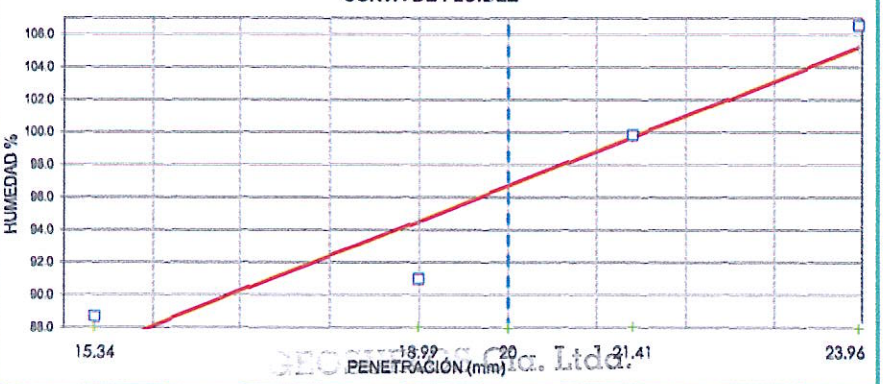
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.34	13.94	10.50	6.62	88.66	
18.99	15.17	11.03	6.48	90.99	
21.41	17.71	12.21	6.70	99.82	
23.96	18.47	12.32	6.55	106.59	**96.7**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

ING. MARCELO TORRES

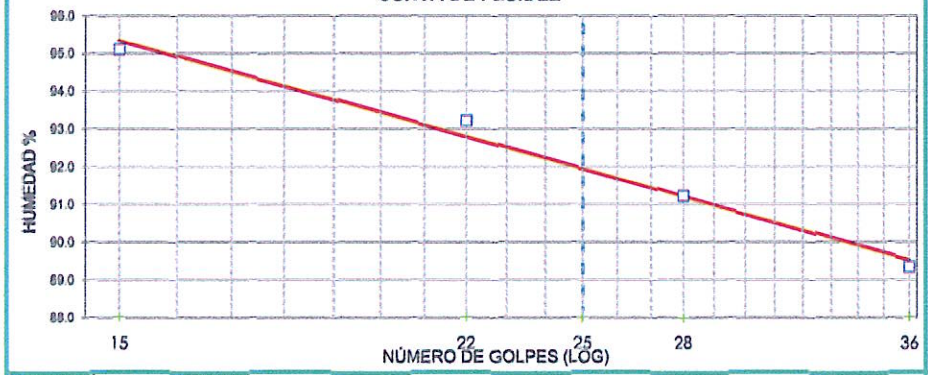
FECHA: 11/3/2026

PROYECTO:	8	**MUESTRA:**	CPF-C-5
OPERADOR:	3		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
36	16.27	11.66	6.50	89.34	
28	16.21	11.64	6.63	91.22	
22	16.48	11.67	6.51	93.22	
15	16.23	11.56	6.65	95.11	**92.0**

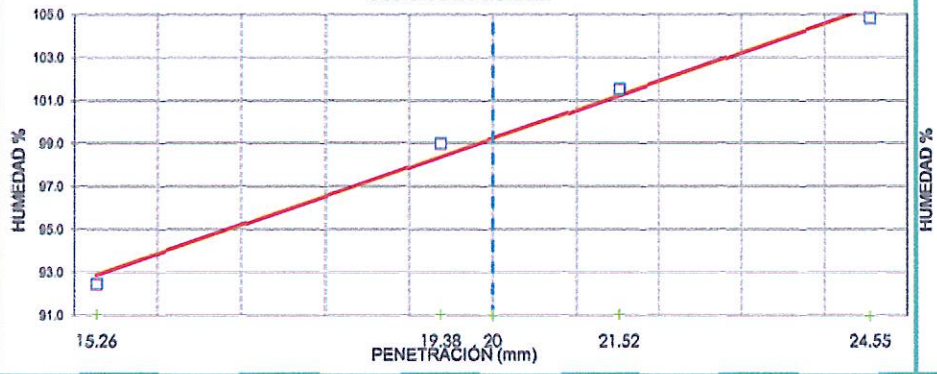
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.26	19.57	13.33	6.58	92.44	
19.38	19.65	12.87	6.02	98.98	
21.52	19.71	13.05	6.49	101.52	
24.55	20.64	13.47	6.63	104.82	**99.2**

CURVA DE FLUIDEZ

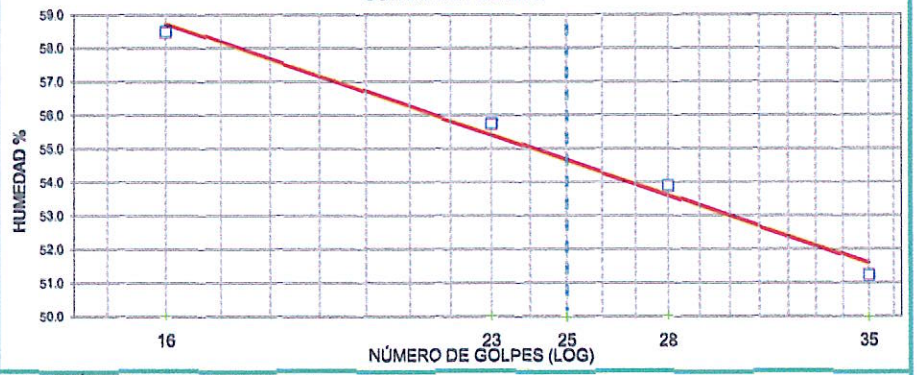


PROYECTO:	4	**MUESTRA:**	MI-9
OPERADOR:	3		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
35	17.14	13.38	6.04	51.23	
28	17.46	13.65	6.58	53.89	
23	17.20	13.37	6.50	55.75	
16	17.39	13.43	6.66	58.49	**54.7**

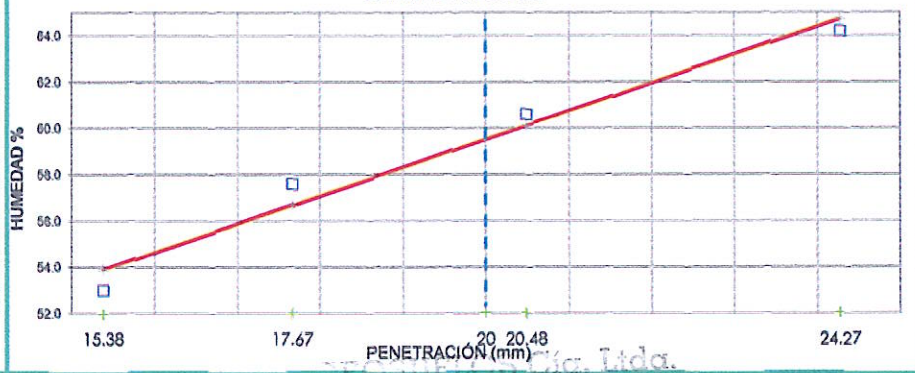
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.38	20.70	15.74	6.38	52.99	
17.67	20.84	15.56	6.39	57.58	
20.48	20.80	15.46	6.65	60.61	
24.27	21.31	15.52	6.50	64.19	**59.5**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

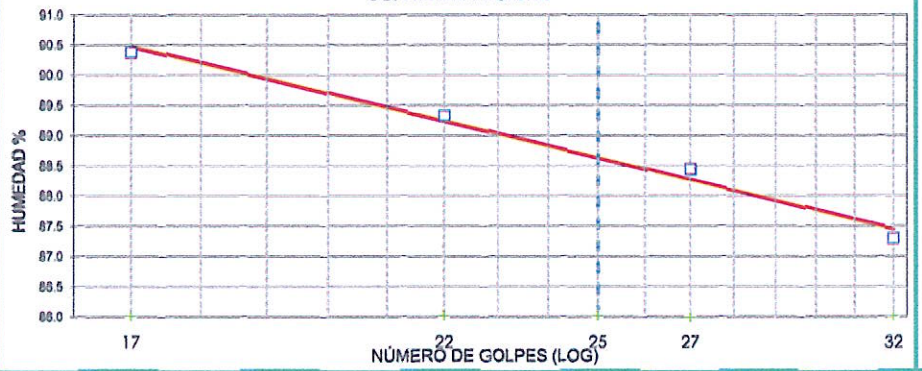
FECHA: 11/3/2026

PROYECTO:	8	**MUESTRA:**	CPF-C-2
OPERADOR:	5		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
32	19.05	13.21	6.52	87.29	
27	19.14	13.17	6.42	88.44	
22	18.33	12.89	6.80	89.33	
17	19.56	13.36	6.50	90.38	**88.6**

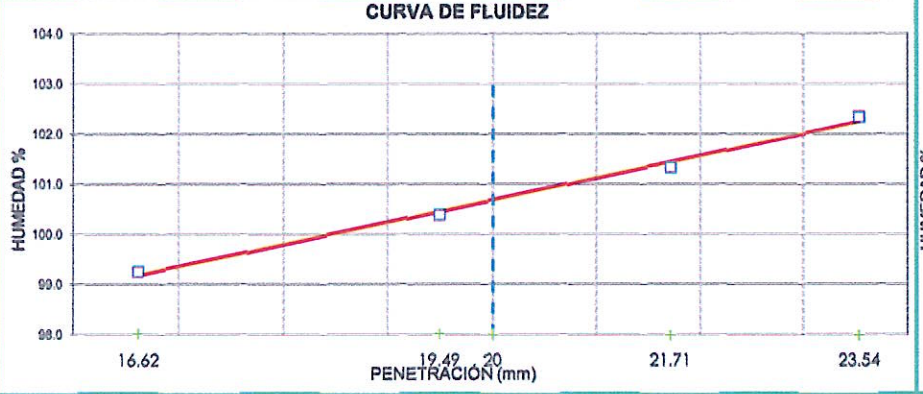
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.62	22.88	14.88	6.82	99.26	
19.49	22.36	14.47	6.61	100.38	
21.71	21.74	14.12	6.60	101.33	
23.54	20.36	13.36	6.52	102.34	**100.7**

CURVA DE FLUIDEZ

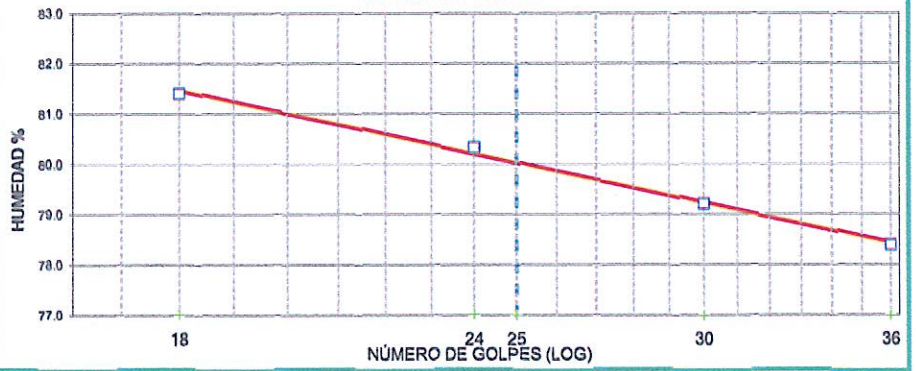


PROYECTO:	6	**MUESTRA:**	MI-2-10
OPERADOR:	5		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
36	19.96	14.30	7.08	78.39	
30	19.62	13.79	6.43	79.21	
24	19.68	13.88	6.66	80.33	
18	19.13	13.57	6.74	81.41	**80.0**

CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.54	18.65	12.86	6.67	93.54	
18.59	17.08	11.67	5.94	94.42	
20.58	19.01	12.94	6.59	95.59	
22.87	20.07	13.48	6.66	96.63	**95.2**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

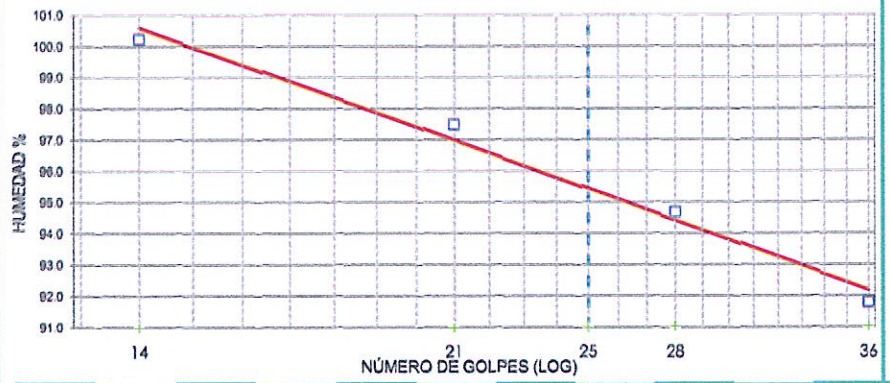
FECHA: 19/3/2026

PROYECTO:	8	**MUESTRA:**	CPF-C-1		
OPERADOR:	3				

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
36	15.26	11.12	6.61	91.80	
28	15.43	11.16	6.65	94.68	
21	15.32	11.05	6.67	97.49	
14	15.64	11.20	6.77	100.23	**95.4**

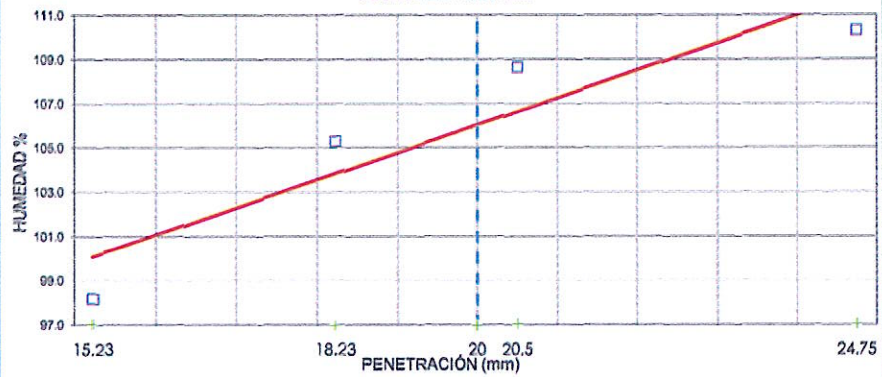
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.23	18.52	12.60	6.57	98.18	
18.23	20.36	13.39	6.77	105.29	
20.5	20.55	13.27	6.57	108.66	
24.75	23.68	14.80	6.75	110.31	**106.0**

CURVA DE FLUIDEZ

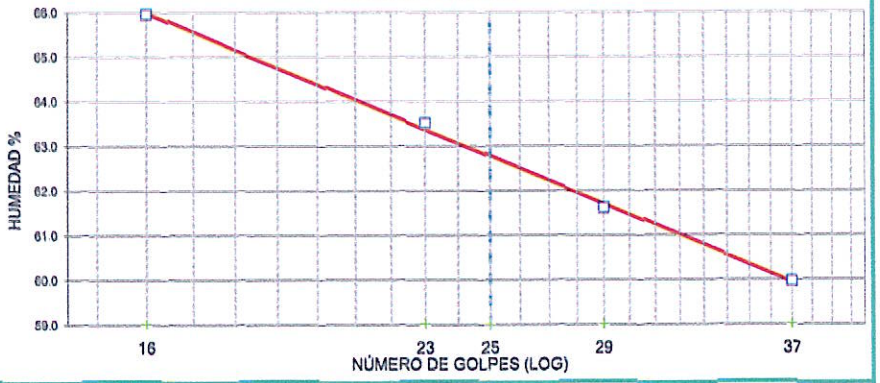


PROYECTO:	5	**MUESTRA:**	BT-1-10		
OPERADOR:	3				

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
37	16.61	12.82	6.50	59.97	
29	16.86	12.96	6.63	61.61	
23	16.30	12.40	6.26	63.52	
16	16.65	12.62	6.51	65.96	**62.8**

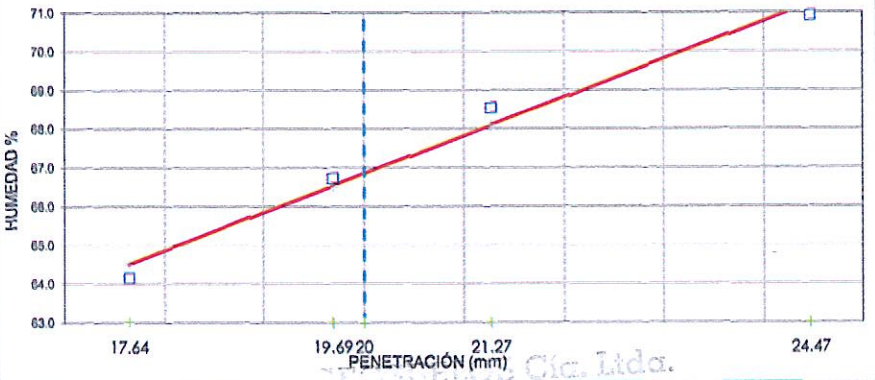
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
17.64	22.65	16.46	6.81	64.15	
19.69	22.45	16.11	6.61	66.74	
21.27	20.97	15.04	6.39	68.55	
24.47	24.24	16.92	6.60	70.93	**66.8**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

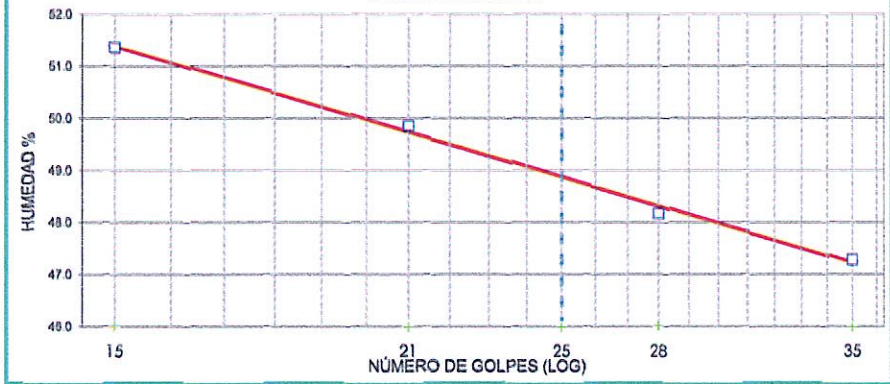
FECHA: 12/3/2026

PROYECTO:	4	**MUESTRA:**	MI-10
OPERADOR:	2		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
35	17.16	13.77	6.60	47.28	
28	16.58	13.29	6.46	48.17	
21	17.59	14.02	6.86	49.86	
15	16.67	13.26	6.62	51.36	**48.9**

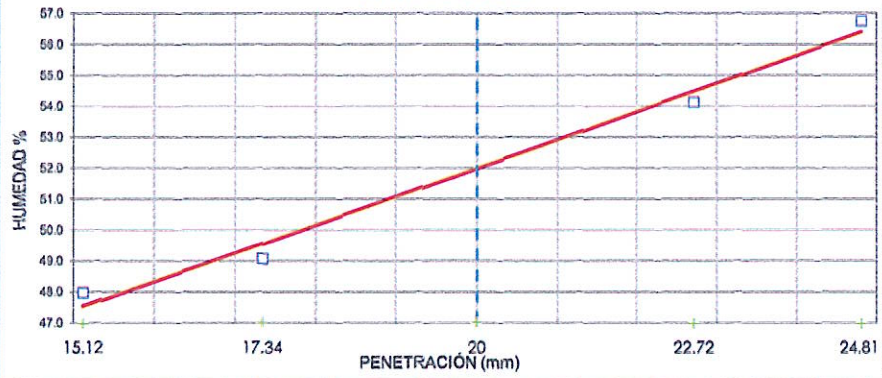
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.12	23.83	18.27	6.68	47.97	
17.34	20.82	16.10	6.48	49.06	
22.72	22.82	17.19	6.79	54.13	
24.81	24.95	18.27	6.50	56.75	**52.0**

CURVA DE FLUIDEZ

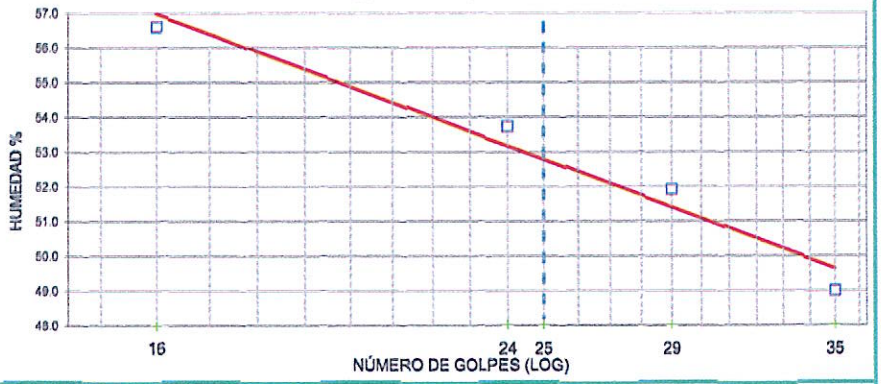


PROYECTO:	4	**MUESTRA:**	B1-9
OPERADOR:	2		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
35	16.97	13.55	6.57	49.00	
29	15.81	12.69	6.68	51.91	
24	16.63	13.10	6.53	53.73	
16	17.69	13.79	6.90	56.60	**52.8**

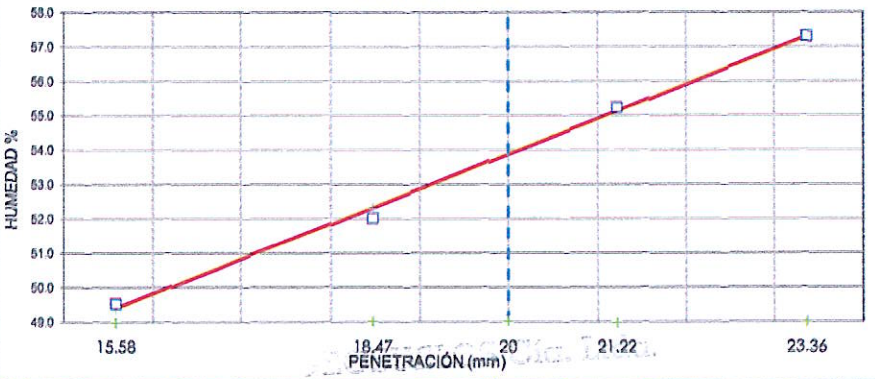
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.58	17.65	13.92	6.39	49.54	
18.47	20.08	15.57	6.90	52.02	
21.22	21.21	15.99	6.54	55.24	
23.36	21.07	15.81	6.63	57.30	**53.9**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

FECHA: 11/3/2026

PROYECTO:	7	**MUESTRA:**	MI-6		
OPERADOR:	4				

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	17.05	13.23	6.57	57.36	
28	17.01	13.16	6.60	58.69	
20	17.09	13.05	6.43	61.03	
12	17.84	13.49	6.58	62.95	**59.3**

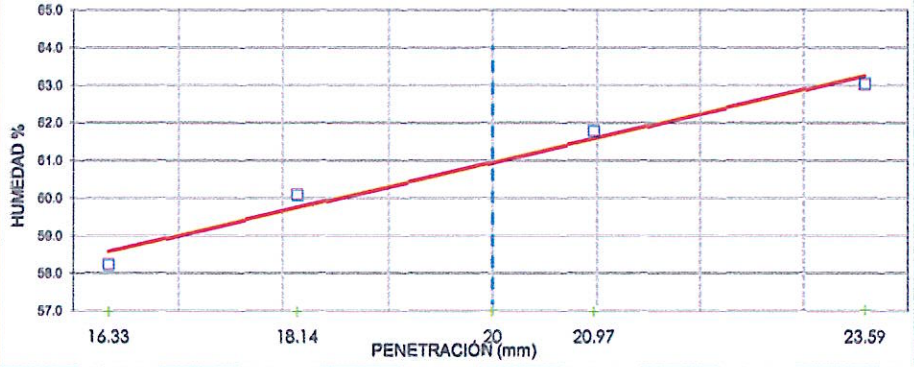
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.33	21.99	16.33	6.61	58.23	
18.14	21.33	15.79	6.57	60.09	
20.97	21.96	16.01	6.38	61.79	
23.59	21.70	15.85	6.57	63.04	**60.9**

CURVA DE FLUIDEZ

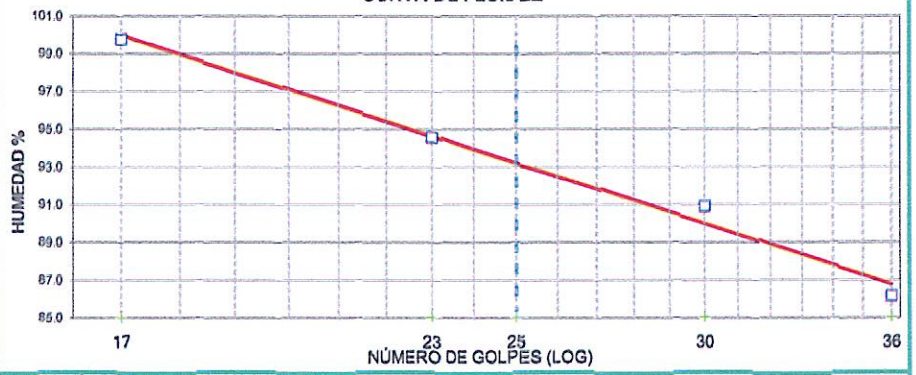


PROYECTO:	6	**MUESTRA:**	MI-2-8		
OPERADOR:	4				

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
36	16.09	11.73	6.67	86.17	
30	16.56	11.96	6.90	90.91	
23	15.41	11.04	6.42	94.59	
17	15.26	10.97	6.67	99.77	**93.2**

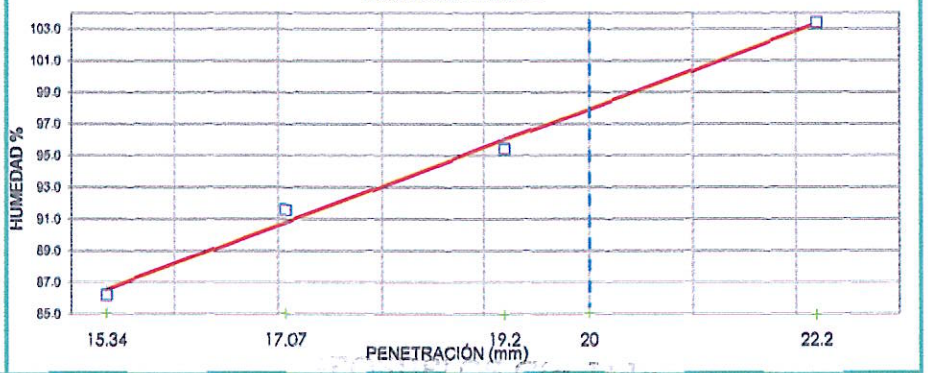
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.34	22.17	15.06	6.81	86.18	
17.07	22.54	14.91	6.58	91.60	
19.2	22.84	14.91	6.60	95.43	
22.2	22.47	14.28	6.36	103.41	**97.9**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

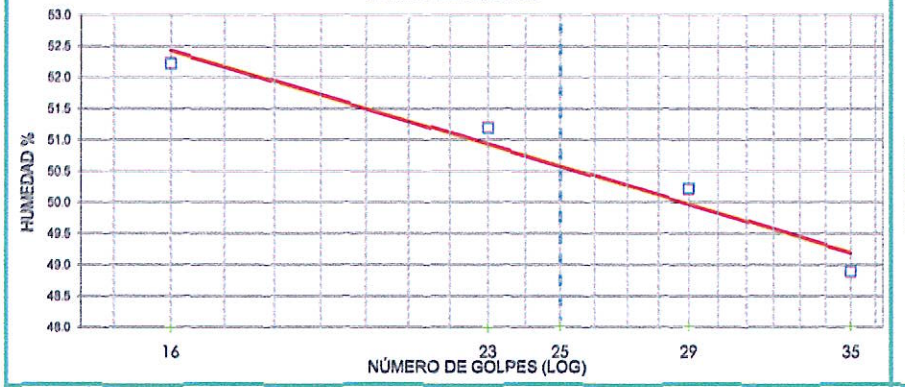
FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

FECHA: 19/3/2026

PROYECTO:	4	MUESTRA:	BI-4
OPERADOR:	2		

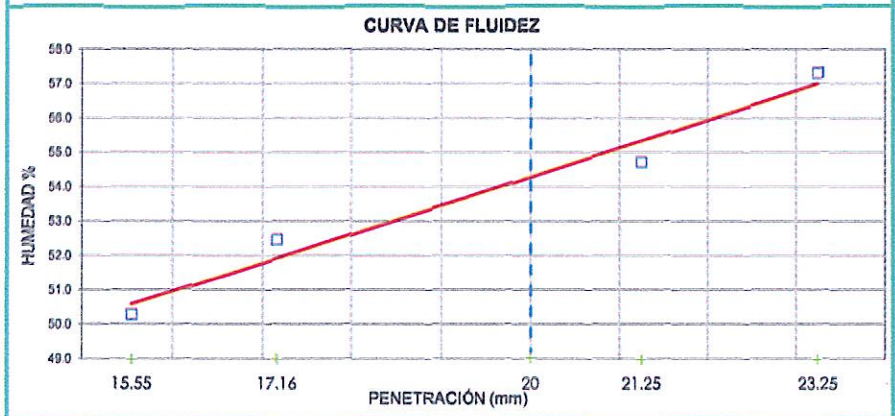
1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
35	16.03	12.94	6.62	48.89	
29	17.18	13.67	6.68	50.21	
23	16.92	13.48	6.76	51.19	
16	16.53	13.12	6.59	52.22	**50.6**



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

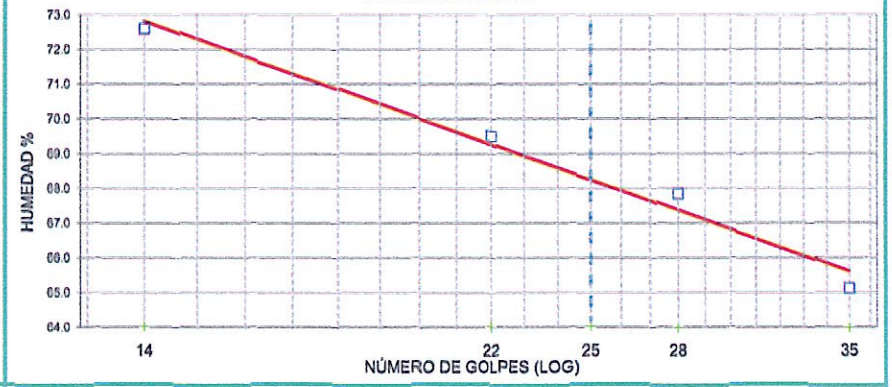
PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.55	19.85	15.42	6.61	50.28	
17.16	17.01	13.40	6.52	52.47	
21.25	15.71	12.52	6.69	54.72	
23.25	17.12	13.24	6.47	57.31	**54.3**



PROYECTO:	5	MUESTRA:	BT-1-13
OPERADOR:	2		

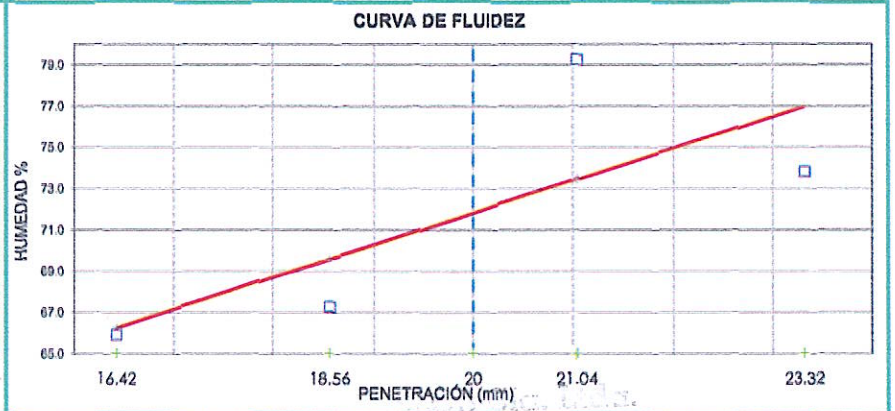
1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
35	16.27	12.48	6.66	65.12	
28	16.30	12.44	6.75	67.84	
22	16.39	12.40	6.66	69.51	
14	16.67	12.43	6.59	72.60	**68.3**



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.42	17.61	13.18	6.46	65.92	
18.56	17.45	13.11	6.66	67.29	
21.04	17.40	12.55	6.43	79.25	
23.32	20.19	14.41	6.58	73.82	**71.8**



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

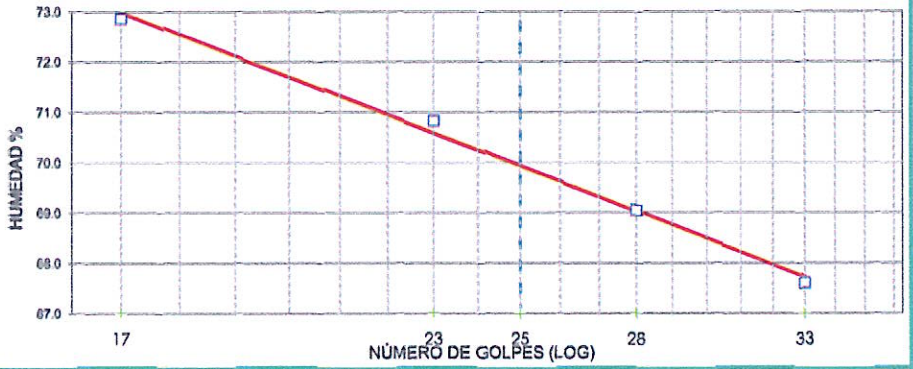
FECHA: 12/3/2026

PROYECTO:	5	MUESTRA:	BT-1-3
OPERADOR:	1		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
33	16.71	12.64	6.62	67.61	
28	17.77	13.24	6.68	69.05	
23	17.64	13.05	6.57	70.83	
17	18.12	13.26	6.59	72.86	69.9

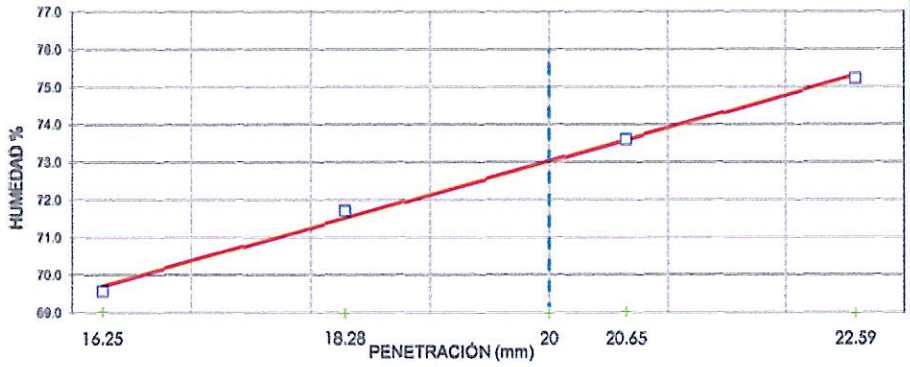
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.25	17.70	13.22	6.78	69.57	
18.28	17.86	13.07	6.39	71.71	
20.65	18.16	13.45	7.05	73.59	
22.59	19.92	14.18	6.55	75.23	73.0

CURVA DE FLUIDEZ

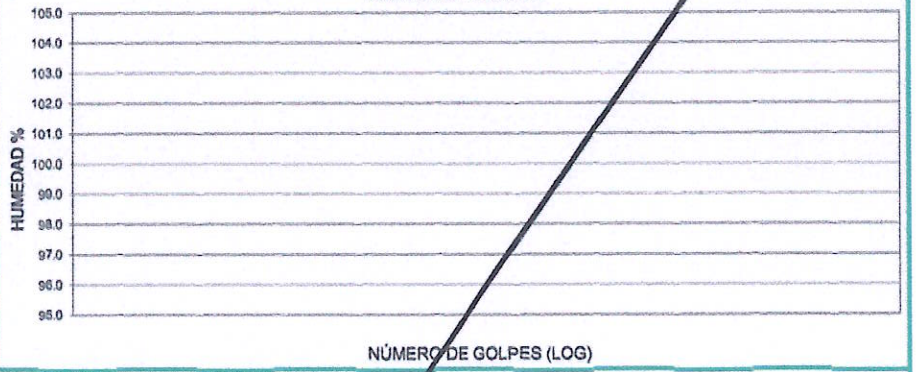


PROYECTO:	8	MUESTRA:	CPF-C-6
OPERADOR:	1		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)

CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

ING. MARCELO TORRES

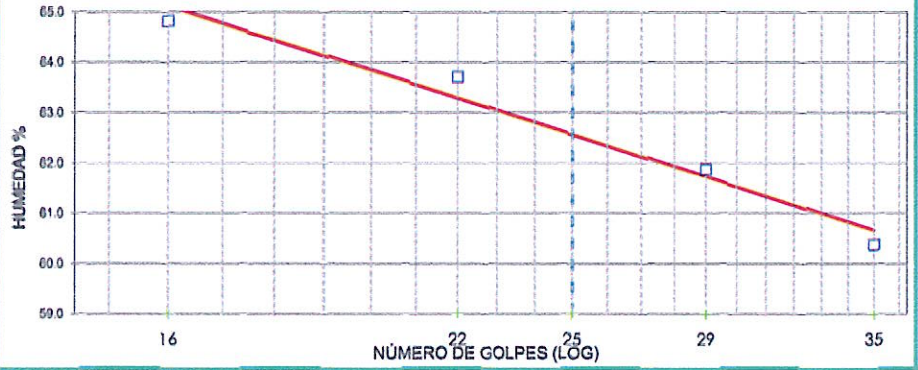
FECHA: 19/3/2026

PROYECTO:	8	**MUESTRA:**	CPF-R-7
OPERADOR:	2		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
35	15.91	12.39	6.56	60.38	
29	16.60	12.77	6.58	61.87	
22	16.64	12.76	6.67	63.71	
16	15.96	12.31	6.68	64.83	**62.6**

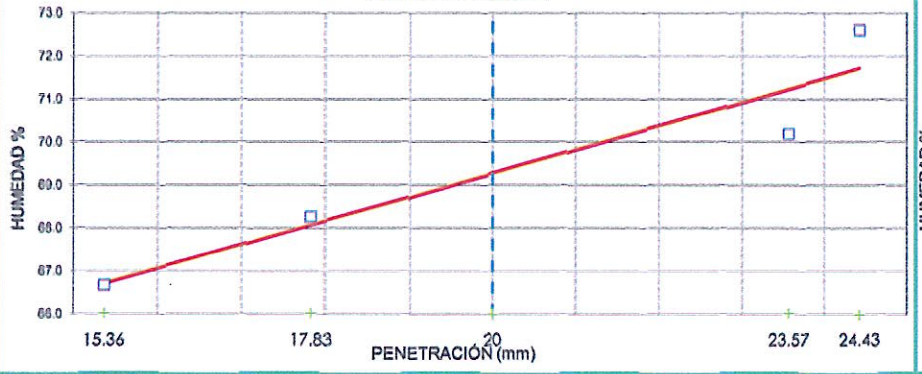
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.36	17.90	13.30	6.40	66.67	
17.83	17.82	13.26	6.58	68.26	
23.57	19.58	14.26	6.68	70.18	
24.43	18.22	13.37	6.69	72.60	**69.3**

CURVA DE FLUIDEZ

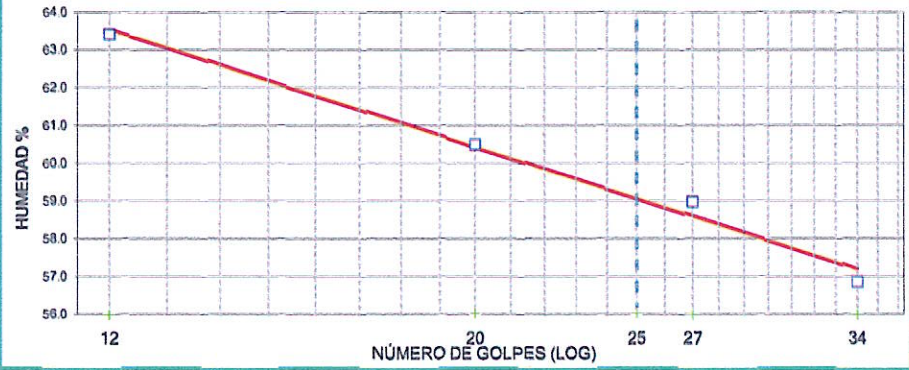


PROYECTO:	7	**MUESTRA:**	MI-1-7
OPERADOR:	2		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	16.77	13.08	6.59	56.86	
27	15.26	12.04	6.58	58.97	
20	15.87	12.47	6.85	60.50	
12	18.32	13.83	6.75	63.42	**59.1**

CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.51	16.38	12.58	6.45	61.99	
18.3	18.95	14.25	6.91	64.03	
21.49	18.96	13.98	6.61	67.57	
24.13	17.14	12.83	6.63	69.52	**65.7**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

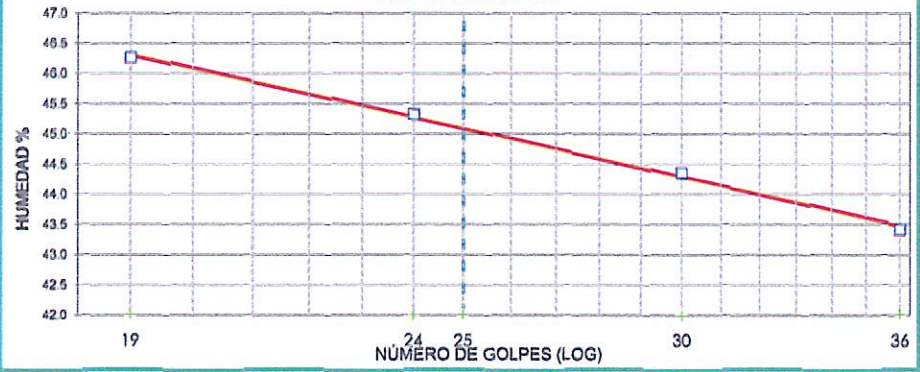
FECHA: 11/3/2026

PROYECTO:	4	**MUESTRA:**	MI-12
OPERADOR:	5		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
36	19.37	15.48	6.52	43.42	
30	21.49	16.97	6.78	44.36	
24	21.38	16.73	6.47	45.32	
19	19.96	15.69	6.46	46.26	**45.1**

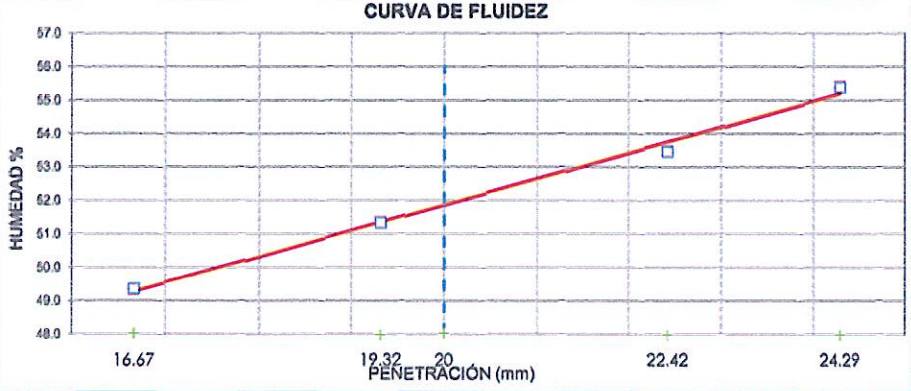
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.67	21.40	16.48	6.51	49.35	
19.32	21.17	16.00	5.93	51.34	
22.42	20.81	15.79	6.40	53.46	
24.29	20.29	15.46	6.74	55.39	**51.9**

CURVA DE FLUIDEZ

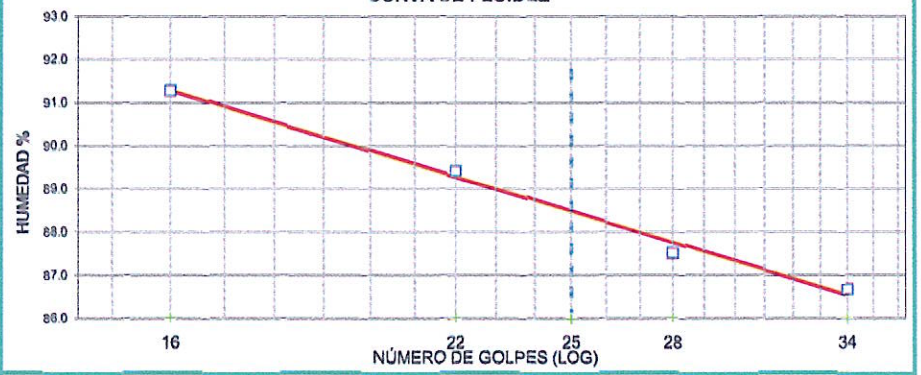


PROYECTO:	8	**MUESTRA:**	CPF-C-3
OPERADOR:	5		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	20.22	13.91	6.63	86.68	
28	20.24	13.86	6.57	87.52	
22	20.52	13.93	6.56	89.42	
16	19.65	13.37	6.49	91.28	**88.5**

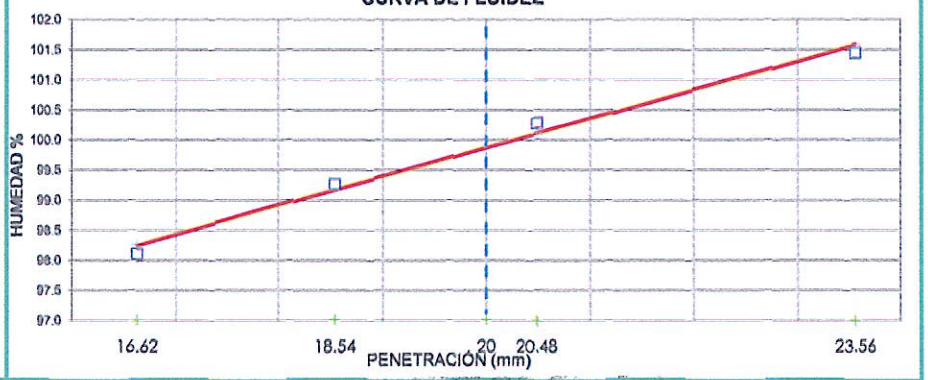
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.62	20.29	13.56	6.70	98.10	
18.54	19.90	13.17	6.39	99.26	
20.48	20.53	13.54	6.57	100.29	
23.56	21.96	14.25	6.65	101.45	**99.9**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

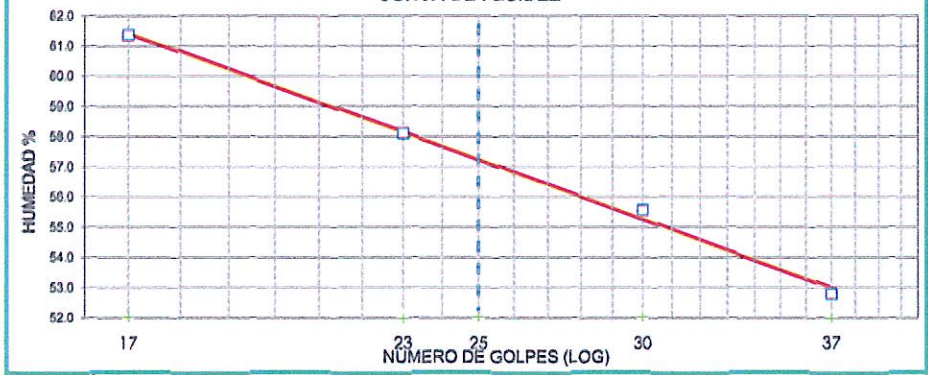
ING. MARCELO TORRES

FECHA: 19/3/2026

PROYECTO:	4	**MUESTRA:**	MI-7
OPERADOR:	3		

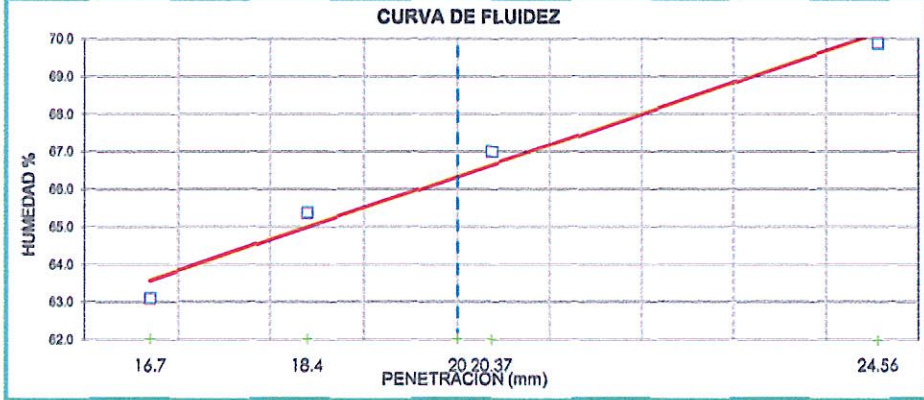
1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
37	17.95	14.08	6.75	52.80	
30	17.64	13.64	6.44	55.56	
23	17.50	13.49	6.59	58.12	
17	17.63	13.42	6.56	61.37	**57.2**



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.7	21.09	15.50	6.64	63.09	
18.4	21.88	15.80	6.50	65.38	
20.37	22.44	15.86	6.04	67.01	
24.56	21.65	15.48	6.65	69.88	**66.3**



PROYECTO:	6	**MUESTRA:**	MI-2-7
OPERADOR:	3		

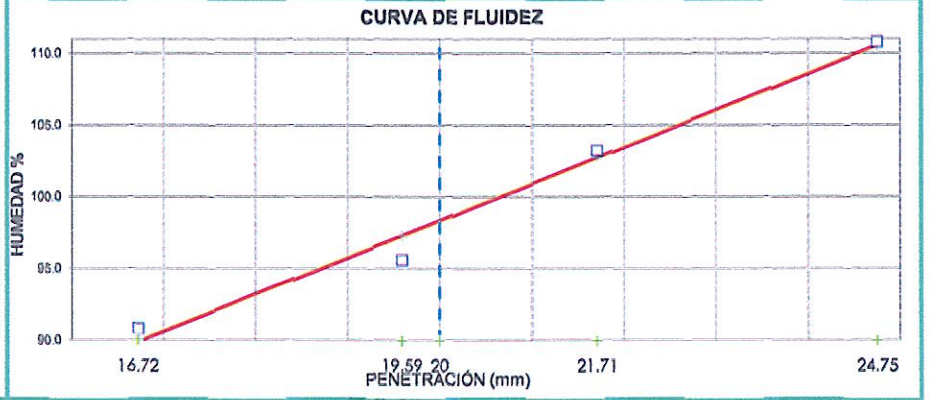
1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	15.14	11.27	6.50	81.13	
27	15.42	11.39	6.60	84.13	
22	15.02	11.07	6.58	87.97	
17	15.31	11.18	6.64	90.97	**85.6**



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.72	19.83	13.54	6.61	90.76	
19.59	19.50	13.23	6.67	95.58	
21.71	20.50	13.47	6.66	103.23	
24.75	20.26	12.97	6.39	110.79	**98.3**



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

ING. MARCELO TORRES

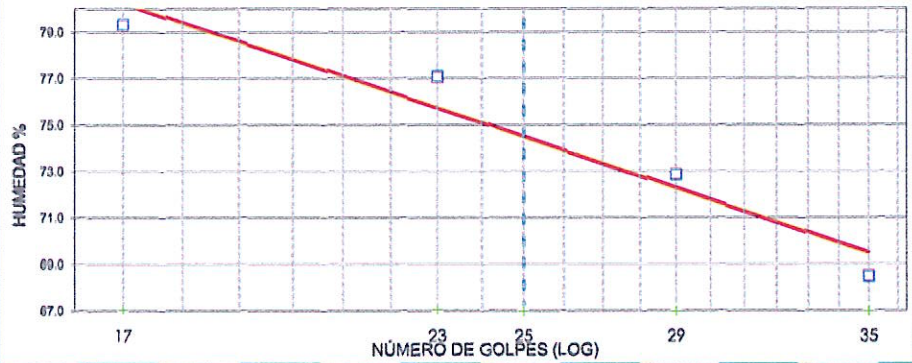
FECHA: 12/3/2026

PROYECTO:	3	**MUESTRA:**	P-01		
OPERADOR:	2				

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
35	17.07	12.92	6.86	68.48	
29	16.99	12.64	6.67	72.86	
23	16.69	12.32	6.65	77.07	
17	16.08	11.90	6.63	79.32	**74.5**

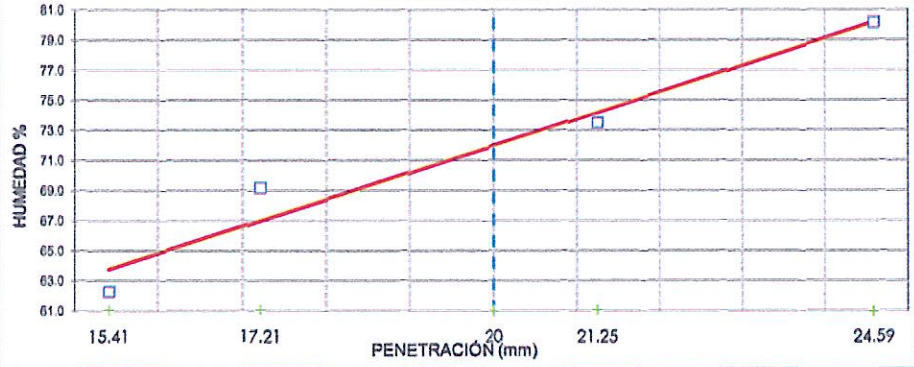
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.41	23.05	17.97	9.81	62.25	
17.21	16.04	12.16	6.55	69.16	
21.25	17.52	12.81	6.40	73.48	
24.59	18.86	13.41	6.61	80.15	**71.9**

CURVA DE FLUIDEZ

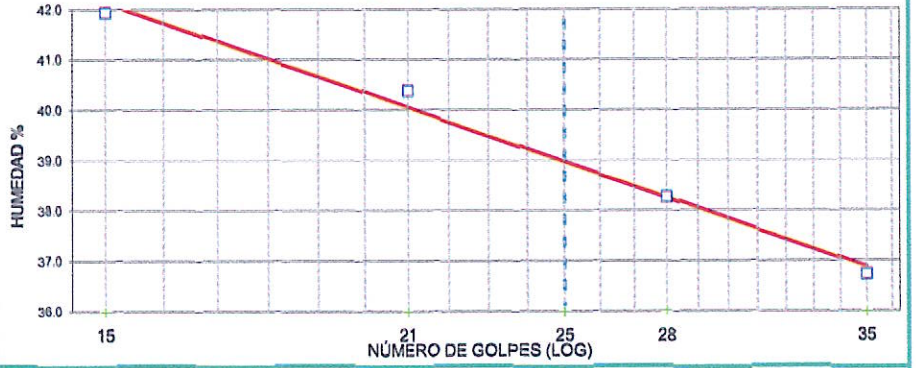


PROYECTO:	2	**MUESTRA:**	P-1		
OPERADOR:	2				

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
35	17.28	14.40	6.56	36.73	
28	15.81	13.20	6.38	38.27	
21	16.93	13.97	6.64	40.38	
15	17.45	14.25	6.62	41.94	**39.0**

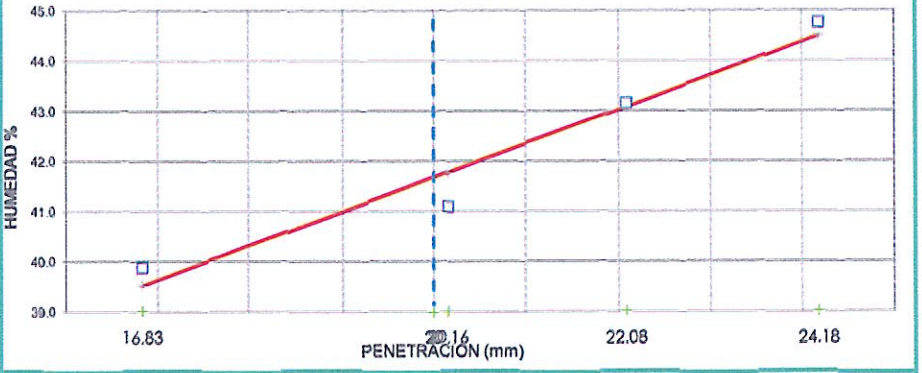
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.83	18.03	14.78	6.63	39.88	
20.16	18.28	14.89	6.64	41.09	
22.08	20.39	16.26	6.69	43.16	
24.18	21.86	17.12	6.53	44.76	**41.7**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

ING. MARCELO TORRES

FECHA: 12/3/2026

PROYECTO:	5	**MUESTRA:**	BT-1-6
OPERADOR:	3		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	16.54	12.71	6.71	63.83	
27	16.24	12.37	6.47	65.59	
20	16.65	12.54	6.44	67.38	
13	17.18	12.80	6.48	69.30	**65.8**

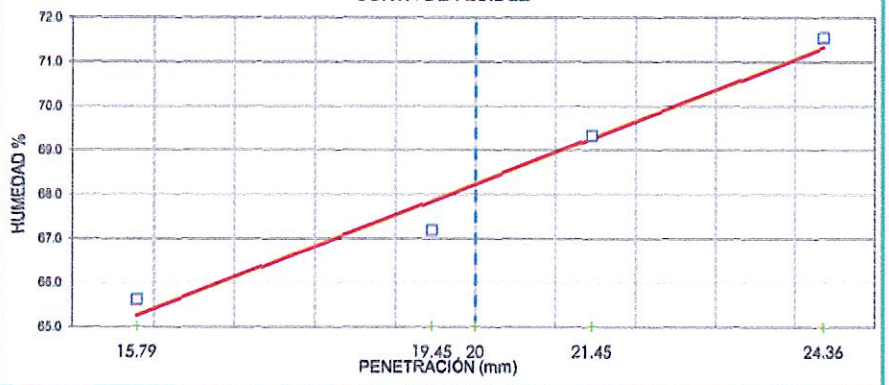
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.79	22.42	16.16	6.62	65.62	
19.45	20.40	14.87	6.64	67.19	
21.45	21.79	15.62	6.72	69.33	
24.36	22.50	15.91	6.70	71.55	**68.2**

CURVA DE FLUIDEZ



PROYECTO:	8	**MUESTRA:**	CPF-C-4
OPERADOR:	3		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
35	15.54	11.28	6.63	91.61	
27	15.18	11.03	6.71	96.06	
21	15.98	11.28	6.66	101.73	
15	16.07	11.20	6.59	105.64	**97.6**

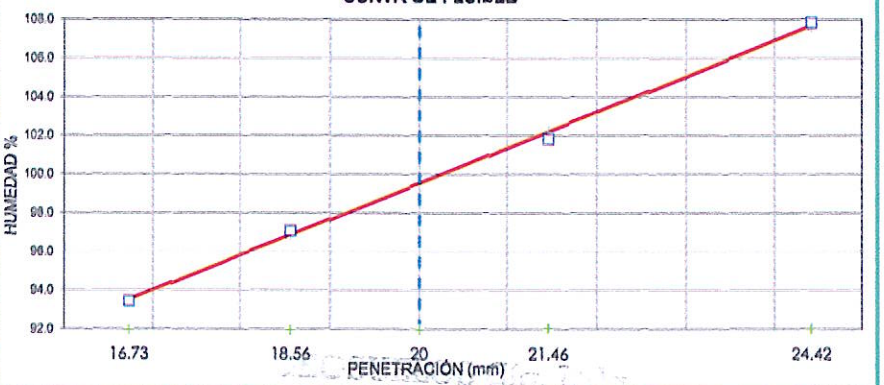
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.73	20.58	13.74	6.42	93.44	
18.56	20.68	13.64	6.39	97.10	
21.46	21.08	13.81	6.67	101.82	
24.42	21.10	13.53	6.51	107.83	**99.5**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

FECHA: 11/3/2026

PROYECTO:	8	MUESTRA:	CPF-R-3
OPERADOR:	2		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	16.90	13.01	6.65	61.16	
27	17.09	12.98	6.50	63.43	
21	17.15	12.95	6.52	65.32	
14	15.42	11.92	6.67	66.67	**63.6**

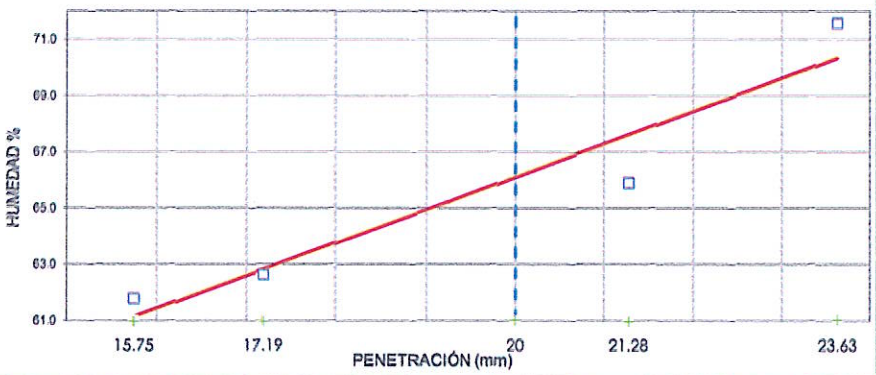
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.75	24.84	19.10	9.81	61.79	
17.19	18.83	14.12	6.60	62.63	
21.28	16.65	12.65	6.58	65.90	
23.63	18.97	13.81	6.60	71.57	**66.1**

CURVA DE FLUIDEZ

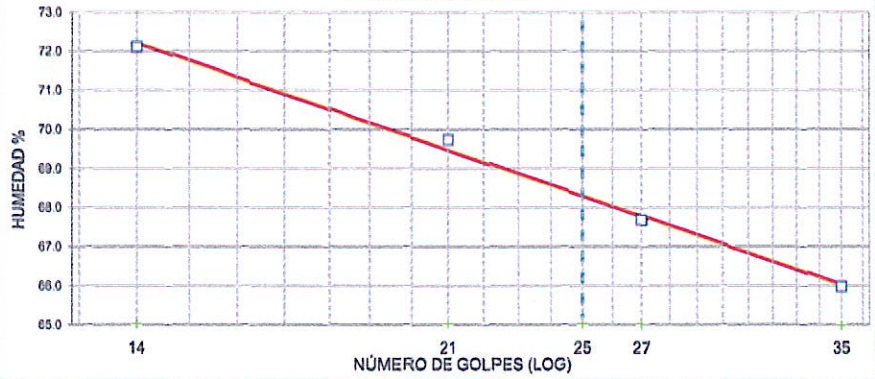


PROYECTO:	5	MUESTRA:	BT-1-2
OPERADOR:	2		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
35	16.27	12.43	6.61	65.98	
27	16.42	12.44	6.56	67.69	
21	16.73	12.56	6.58	69.73	
14	16.99	12.62	6.56	72.11	**68.3**

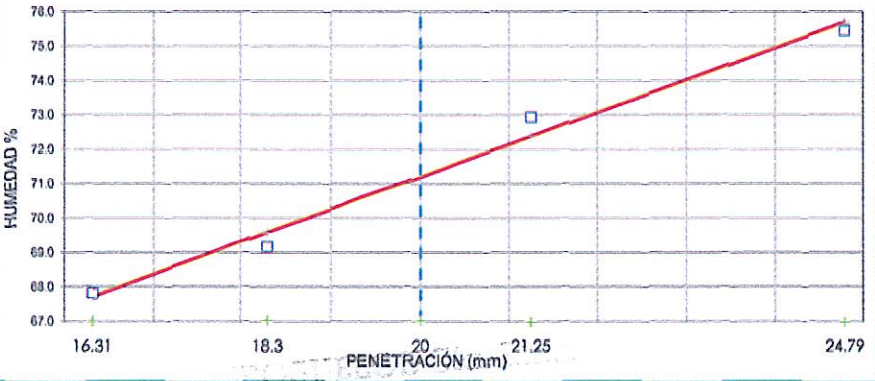
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.31	20.40	14.86	6.69	67.81	
18.3	17.01	12.77	6.64	69.17	
21.25	19.62	14.15	6.65	72.93	
24.79	24.89	17.05	6.66	75.46	**71.2**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

ING. MARCELO TORRES

FECHA: 11/3/2026

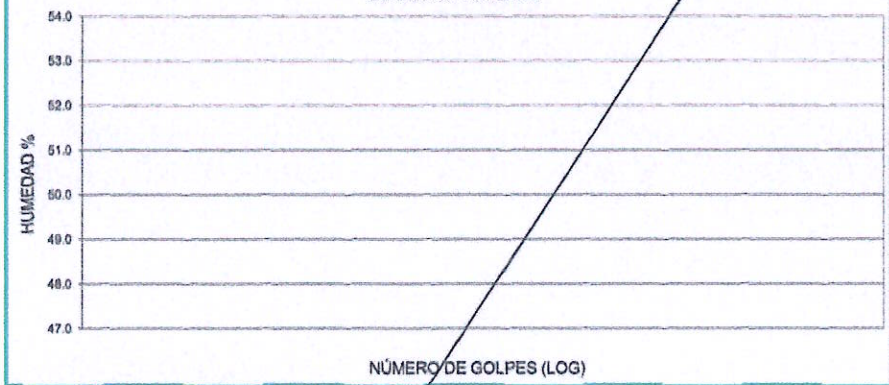
PROYECTO: MUESTRA:

OPERADOR:

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)

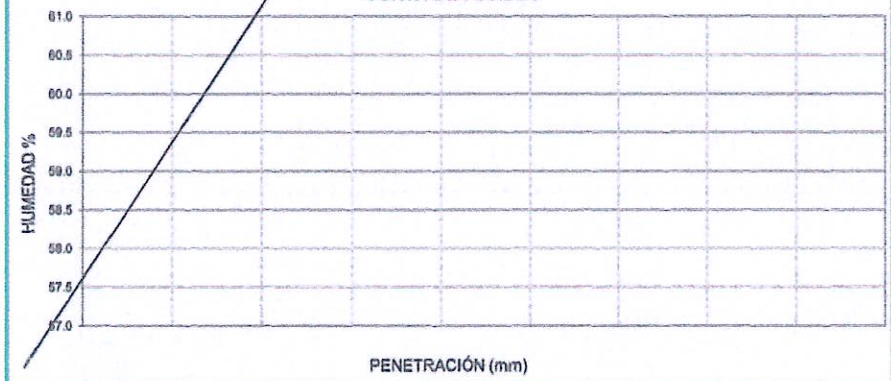
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)

CURVA DE FLUIDEZ



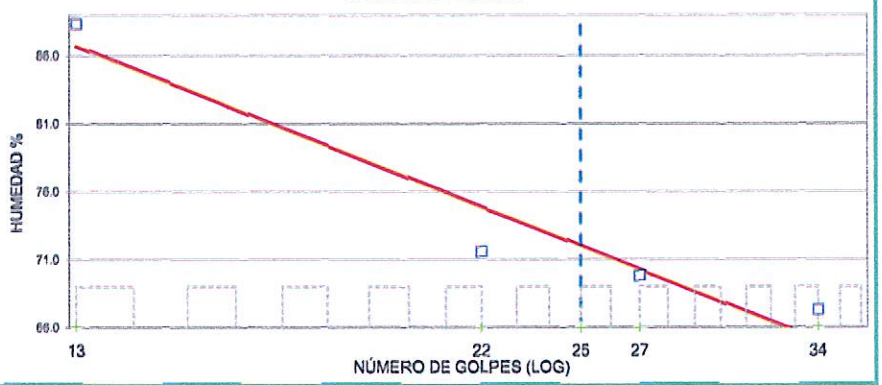
PROYECTO: 8 MUESTRA: CPF-R-5

OPERADOR: 2

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	16.63	12.60	6.61	67.28	
27	16.54	12.36	6.37	69.78	
22	17.43	13.03	6.88	71.54	
13	17.28	12.27	6.60	88.36	**72.0**

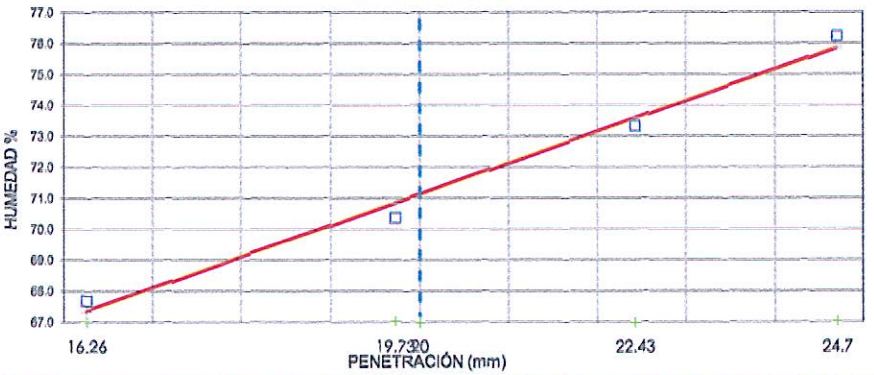
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.26	16.47	12.49	6.61	67.69	
19.73	20.54	14.77	6.57	70.37	
22.43	20.30	14.58	6.78	73.33	
24.7	18.15	13.15	6.59	76.22	**71.1**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

ING. MARCELO TORRES

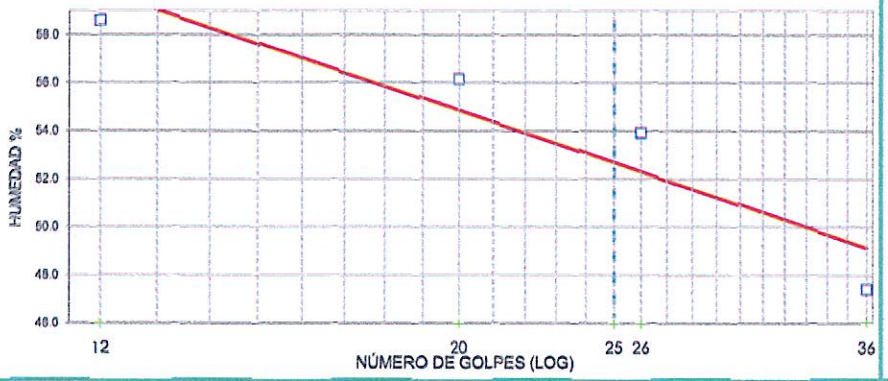
FECHA: 11/3/2026

PROYECTO:	4	**MUESTRA:**	MI-2
OPERADOR:	6		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
36	20.74	17.72	11.35	47.41	
26	20.09	16.65	10.27	53.92	
20	21.37	18.63	13.75	56.15	
12	19.43	16.13	10.50	58.61	**52.7**

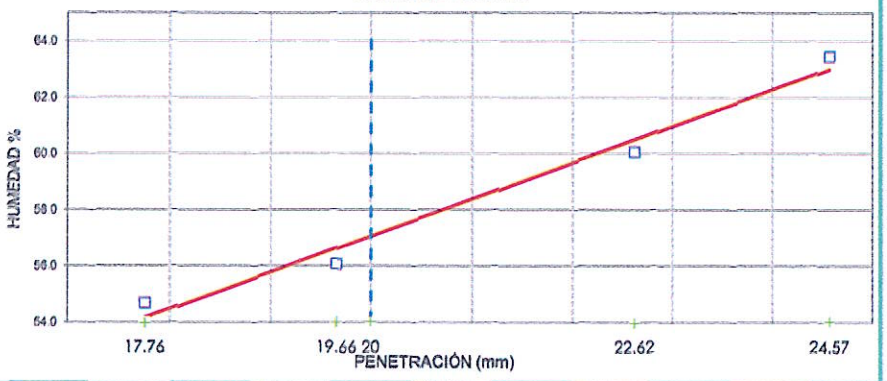
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
17.76	16.18	12.79	6.59	54.68	
19.66	15.95	12.62	6.68	56.06	
22.62	17.06	13.12	6.56	60.06	
24.57	16.44	12.55	6.42	63.46	**57.1**

CURVA DE FLUIDEZ



PROYECTO:		**MUESTRA:**	
OPERADOR:			

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)

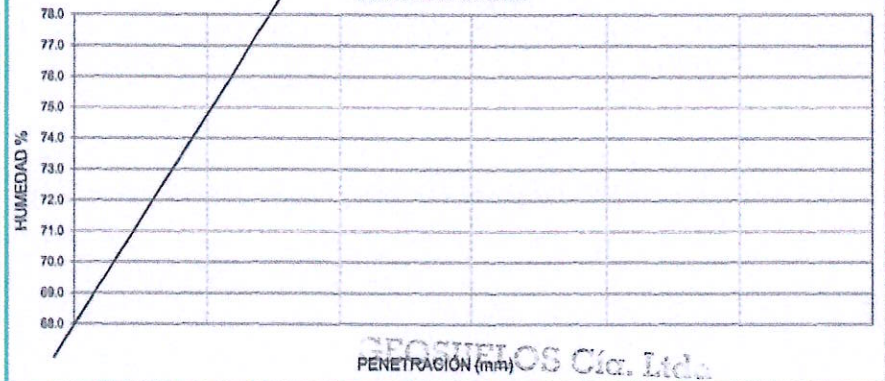
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

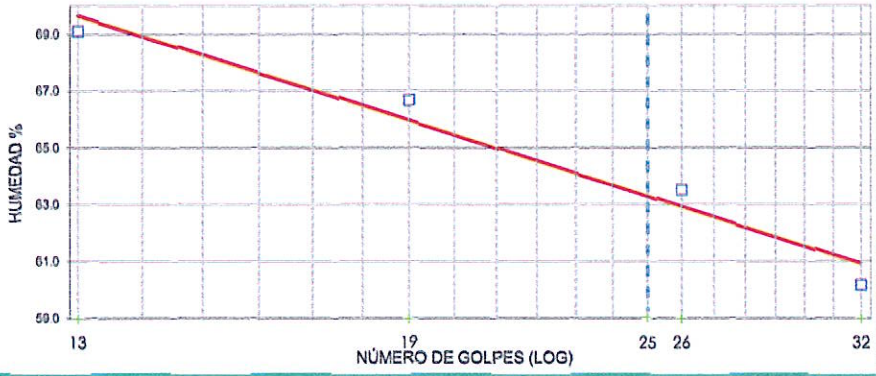
FECHA: 16/3/2026

PROYECTO:	7	**MUESTRA:**	MI-1-3
OPERADOR:	3		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
32	15.89	12.19	6.04	60.16	
26	15.98	12.36	6.66	63.51	
19	15.66	12.04	6.61	66.67	
13	16.30	12.52	7.05	69.10	**63.3**

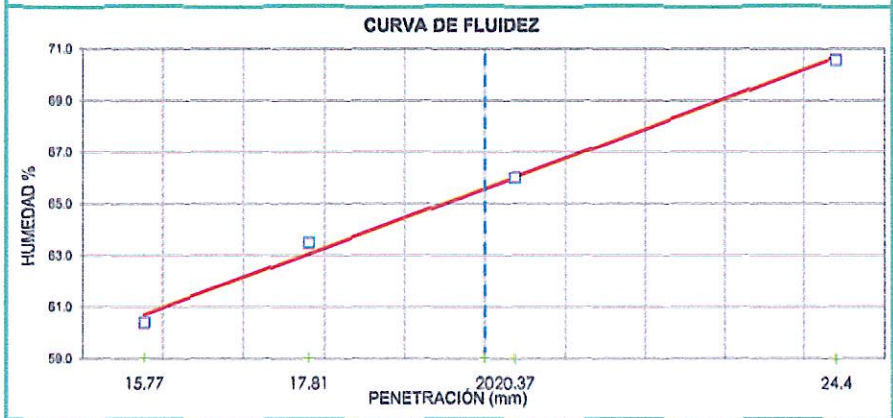
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.77	22.97	16.75	6.45	60.39	
17.81	22.08	16.08	6.63	63.49	
20.37	22.10	16.00	6.76	66.02	
24.4	22.27	15.51	5.93	70.56	**65.6**

CURVA DE FLUIDEZ

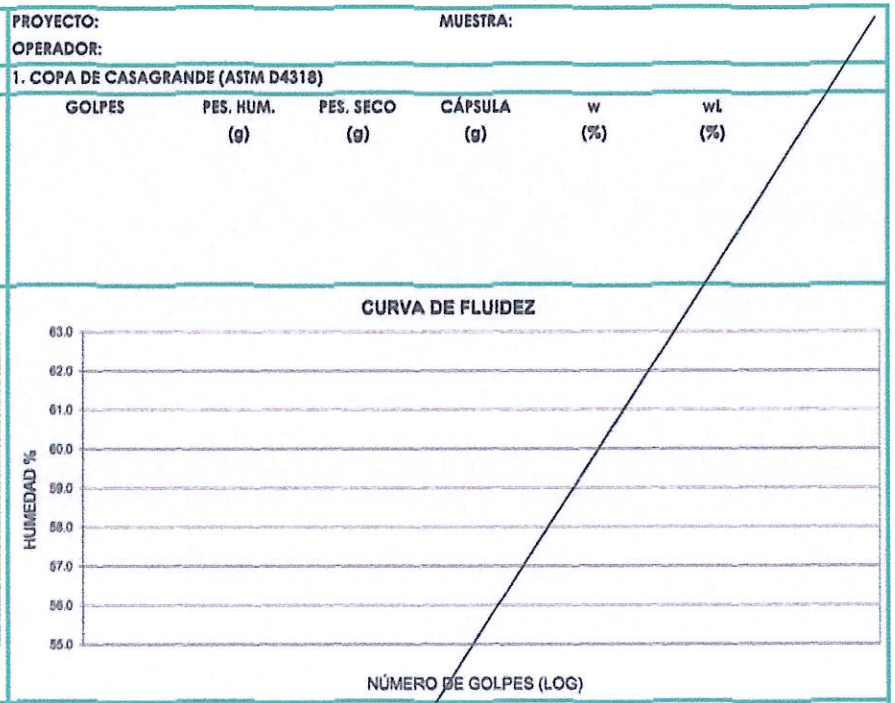


PROYECTO:		**MUESTRA:**	
OPERADOR:			

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)

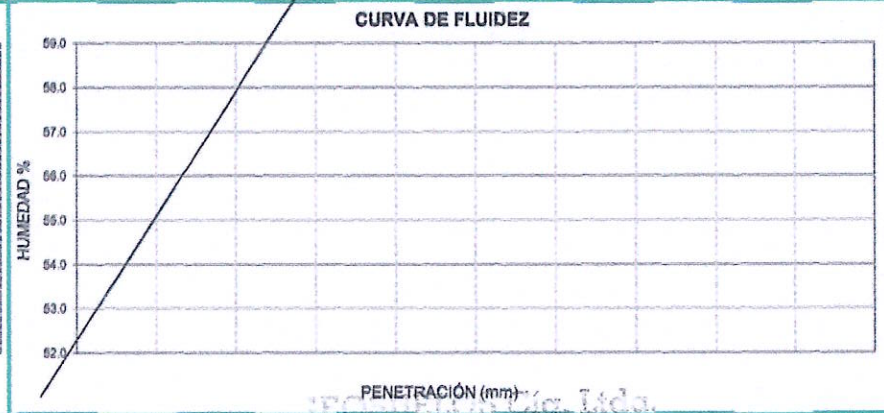
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

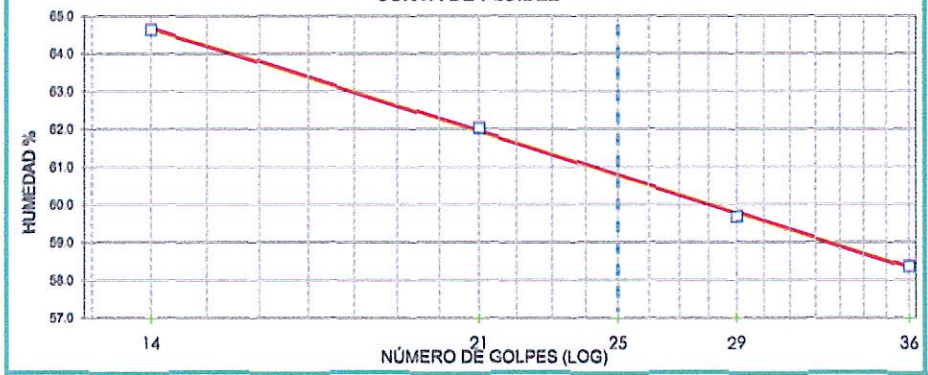
FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

FECHA: 11/3/2026

PROYECTO:	7	**MUESTRA:**	MI-10
OPERADOR:	4		

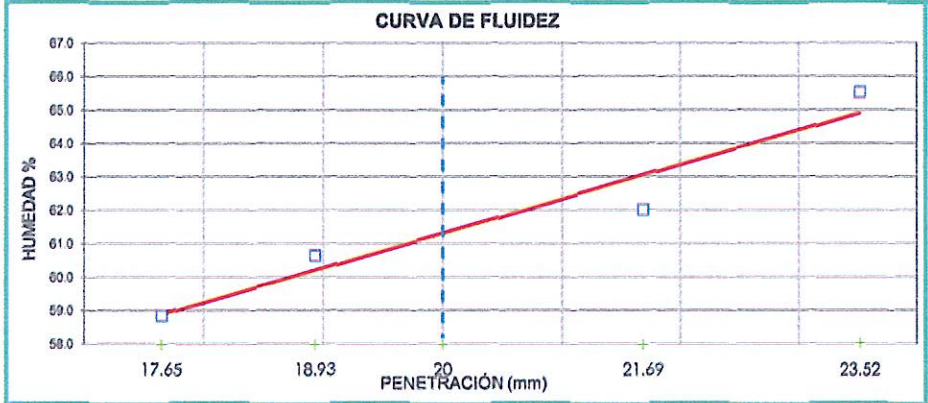
1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
36	15.50	12.15	6.41	58.36	
29	15.64	12.25	6.57	59.68	
21	15.57	12.09	6.48	62.03	
14	15.68	12.06	6.46	64.64	**60.8**



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

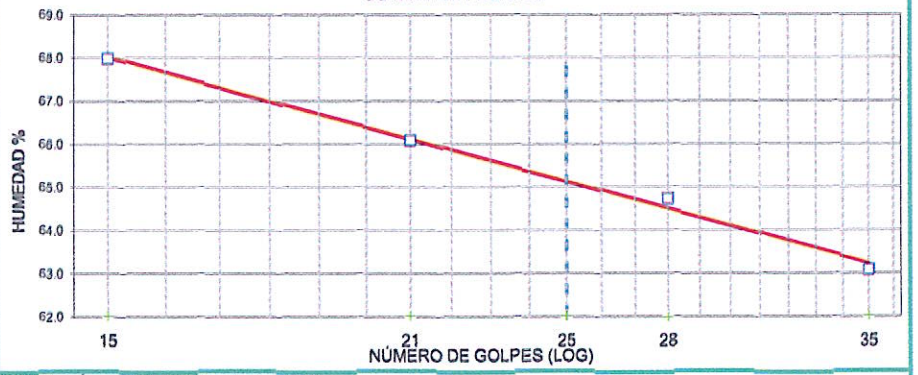
PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
17.65	21.81	16.12	6.45	58.84	
18.93	21.02	15.49	6.37	60.64	
21.69	21.86	16.00	6.55	62.01	
23.52	21.55	15.62	6.57	65.52	**61.3**



PROYECTO:	5	**MUESTRA:**	BT-1-12
OPERADOR:	4		

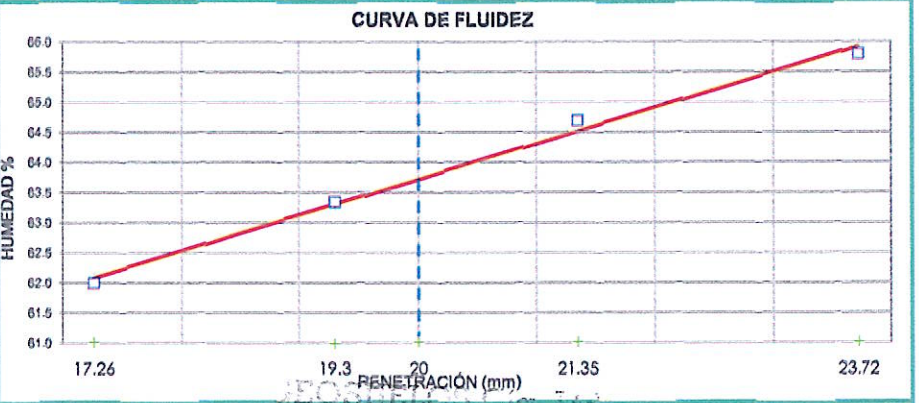
1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
35	15.33	11.98	6.67	63.09	
28	14.67	11.44	6.45	64.73	
21	16.56	12.76	7.01	66.09	
15	17.90	13.42	6.83	67.98	**65.1**



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
17.26	22.19	16.22	6.59	61.99	
19.3	22.16	16.13	6.61	63.34	
21.35	24.12	18.11	8.82	64.69	
23.72	22.48	16.19	6.63	65.79	**63.7**



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

ING. MARCELO TORRES

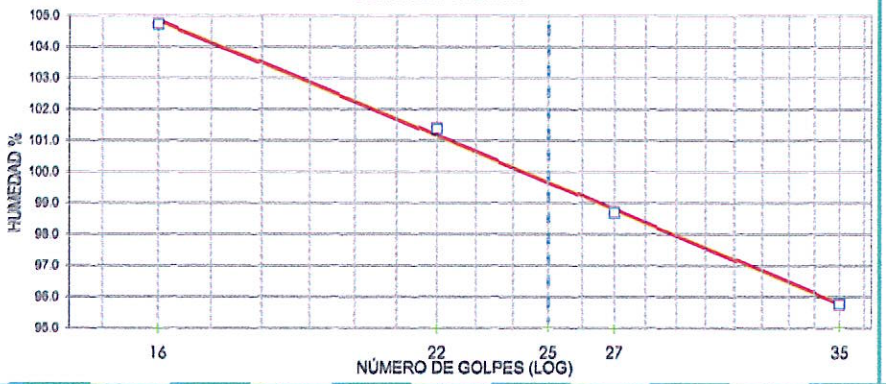
FECHA: 19/3/2026

PROYECTO:	1	**MUESTRA:**	S-2
OPERADOR:	3		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
35	15.84	11.31	6.58	95.77	
27	15.74	11.19	6.58	98.70	
22	15.52	11.11	6.76	101.38	
16	16.15	11.29	6.65	104.74	**99.7**

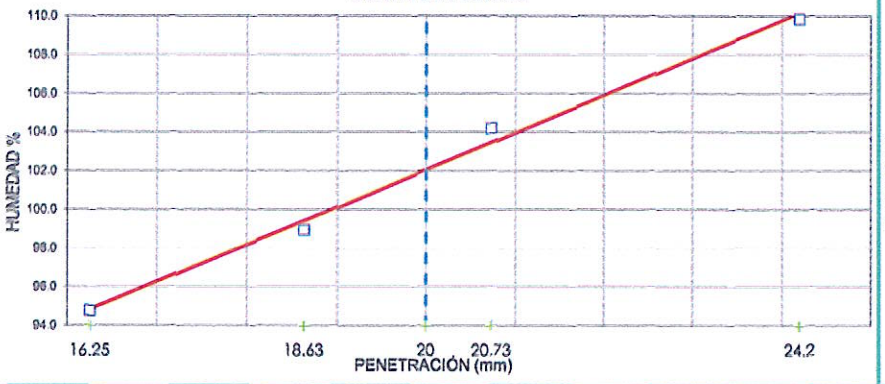
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.25	19.75	13.57	7.05	94.79	
18.63	19.79	13.17	6.48	98.95	
20.73	21.30	13.81	6.62	104.17	
24.2	22.42	14.05	6.43	109.84	**102.0**

CURVA DE FLUIDEZ

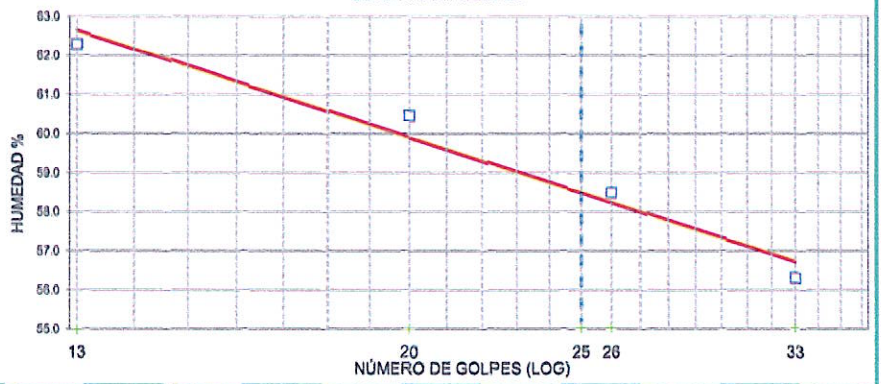


PROYECTO:	4	**MUESTRA:**	B1-2
OPERADOR:	3		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
33	17.54	13.61	6.63	56.30	
26	17.60	13.60	6.76	58.48	
20	17.98	13.70	6.62	60.45	
13	17.20	13.12	6.57	62.29	**58.5**

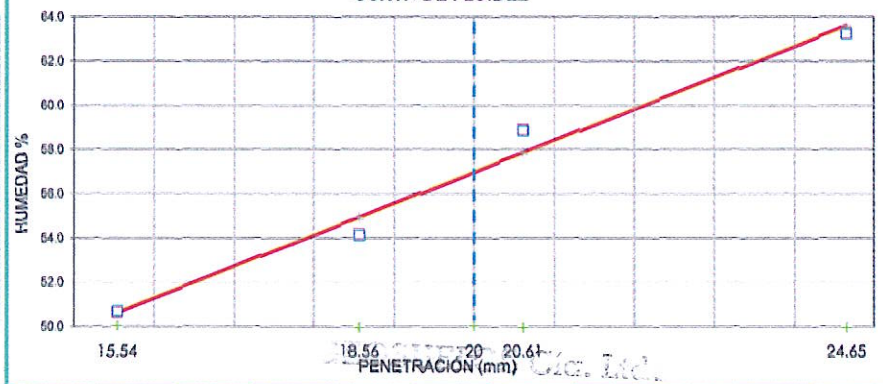
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.54	23.49	17.80	6.57	50.67	
18.56	21.50	16.22	6.47	54.15	
20.61	23.05	16.92	6.51	58.89	
24.65	23.19	16.70	6.44	63.26	**57.0**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

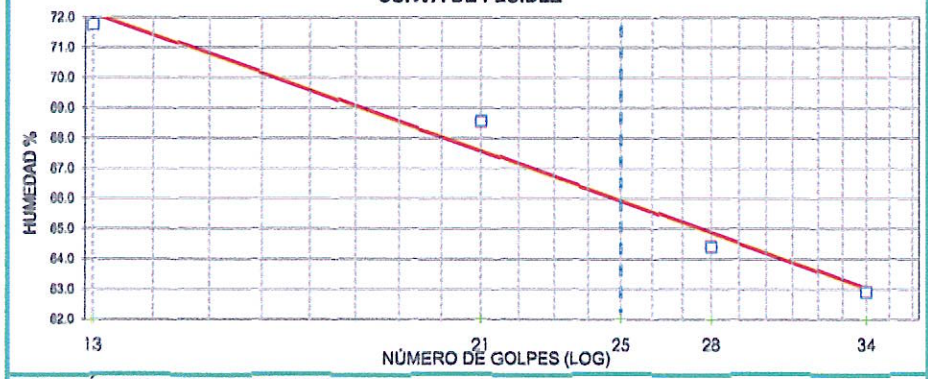
FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

FECHA: 11/3/2026

PROYECTO:	5	**MUESTRA:**	BT-1-1
OPERADOR:	6		

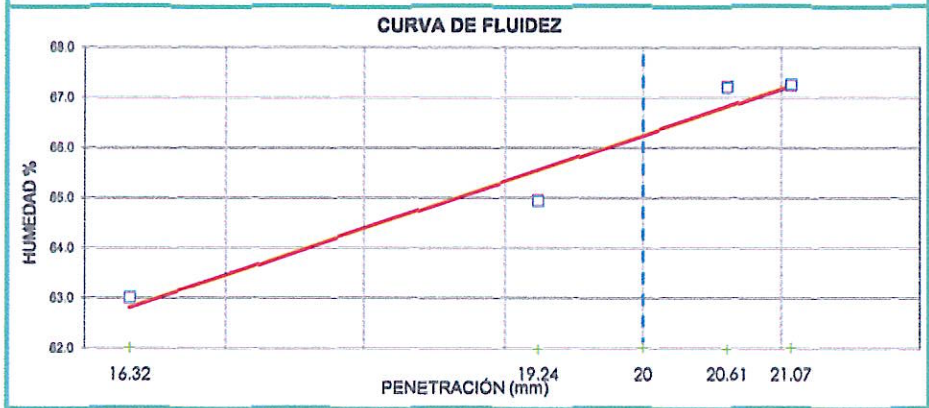
1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	16.93	12.86	6.39	62.91	
28	18.75	14.01	6.65	64.40	
21	18.18	13.47	6.60	68.56	
13	17.79	13.14	6.66	71.76	**65.9**



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

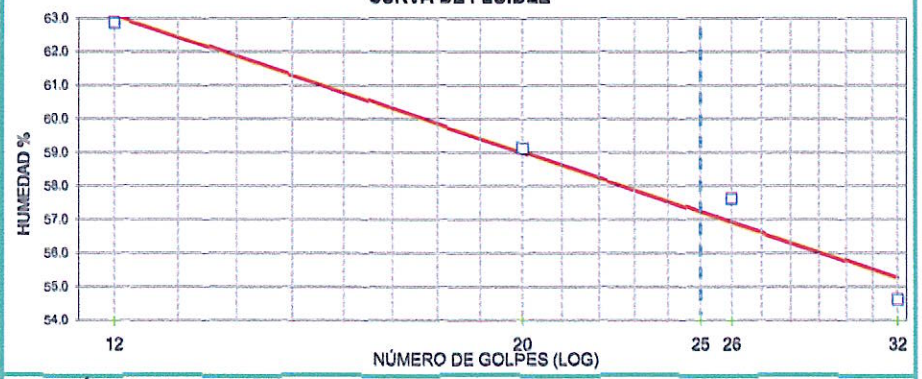
PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.32	17.83	13.52	6.68	63.01	
19.24	18.06	13.54	6.58	64.94	
20.61	17.96	13.39	6.59	67.21	
21.07	17.94	13.40	6.65	67.26	**66.2**



PROYECTO:	7	**MUESTRA:**	MI-1-2
OPERADOR:	6		

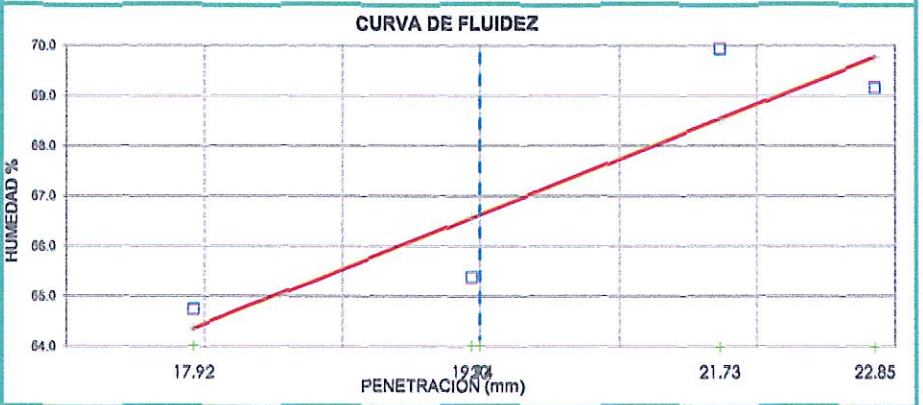
1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
32	27.31	22.59	13.95	54.63	
26	20.02	16.05	9.16	57.62	
20	25.81	21.41	13.97	59.14	
12	24.07	20.09	13.76	62.88	**57.2**



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
17.92	18.05	13.57	6.65	64.74	
19.94	17.83	13.41	6.65	65.38	
21.73	19.17	14.03	6.68	69.93	
22.85	20.83	15.00	6.57	69.16	**66.6**



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

ING. MARCELO TORRES

GEOSUELOS Cía. Ltda.
FIRMA AUTORIZADA

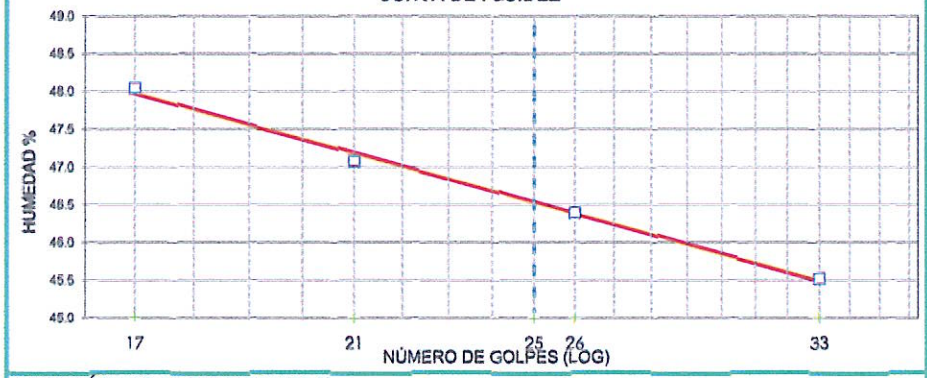
FECHA: 11/3/2026

PROYECTO:	8	**MUESTRA:**	CPF-G-6		
OPERADOR:	6				

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
33	21.60	19.21	13.96	45.52	
26	22.96	20.07	13.84	46.39	
21	26.57	22.37	13.45	47.09	
17	26.73	23.17	15.76	48.04	**46.5**

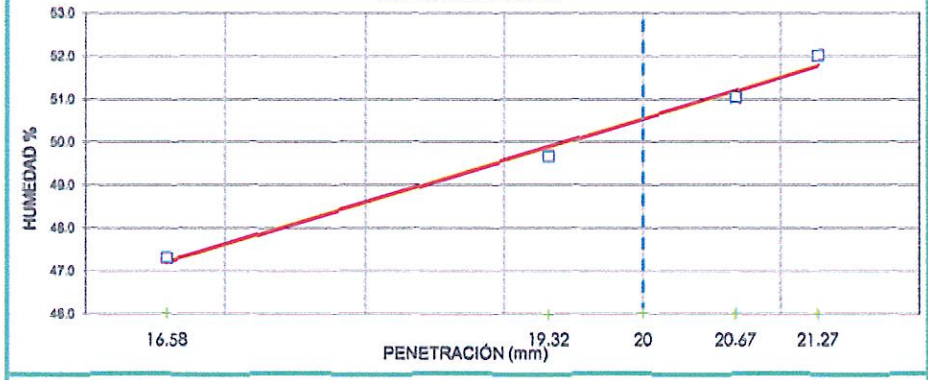
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.58	18.38	14.51	6.33	47.31	
19.32	17.96	14.21	6.66	49.67	
20.67	17.30	13.63	6.44	51.04	
21.27	17.01	13.54	6.87	52.02	**50.5**

CURVA DE FLUIDEZ

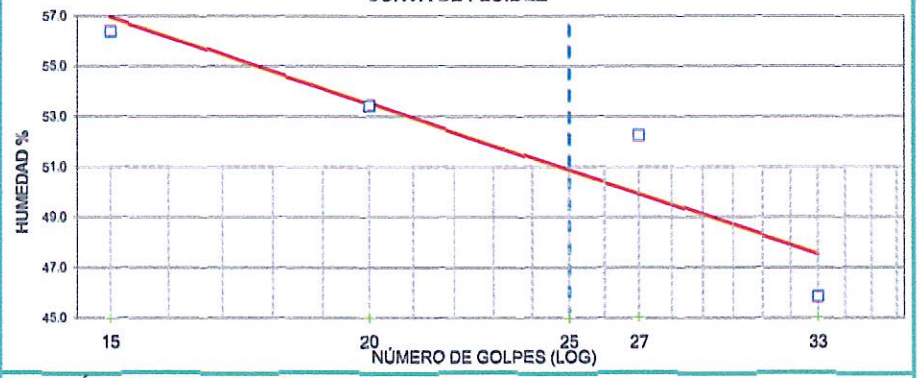


PROYECTO:	8	**MUESTRA:**	CPF-A-6		
OPERADOR:	6				

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
33	18.71	15.00	6.91	45.86	
27	18.75	14.60	6.66	52.27	
20	17.18	13.30	6.04	53.44	
15	17.98	13.75	6.25	56.40	**50.9**

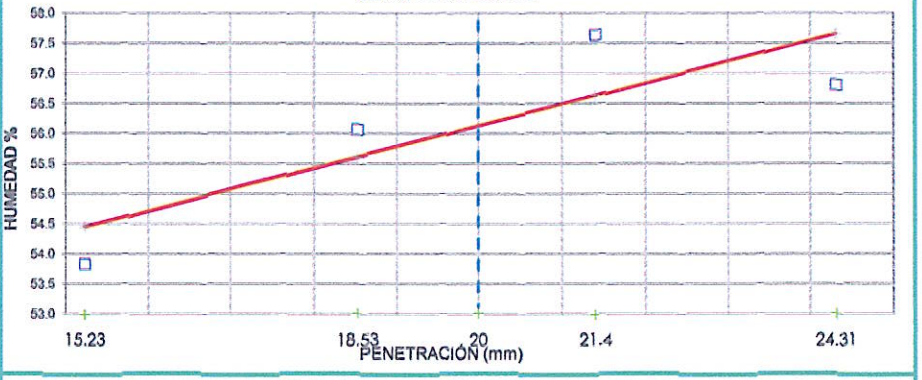
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.23	25.47	21.46	14.01	53.83	
18.53	24.83	20.95	14.03	56.07	
21.4	21.50	17.31	10.04	57.63	
24.31	22.18	17.76	9.98	56.81	**56.1**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

ING. MARCELO TORRES

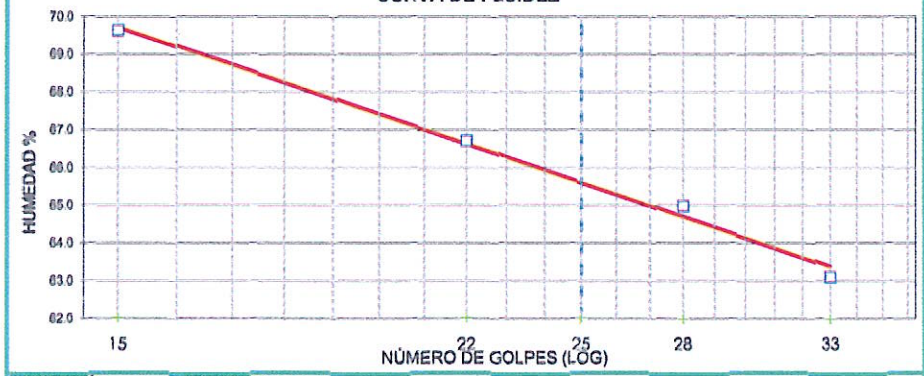
FECHA: 16/3/2026

PROYECTO:	8	**MUESTRA:**	CPF-R-6		
OPERADOR:	7				

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
33	15.98	12.32	6.52	63.10	
28	19.26	14.38	6.87	64.98	
22	20.07	14.66	6.55	66.71	
15	19.50	14.18	6.54	69.63	**65.6**

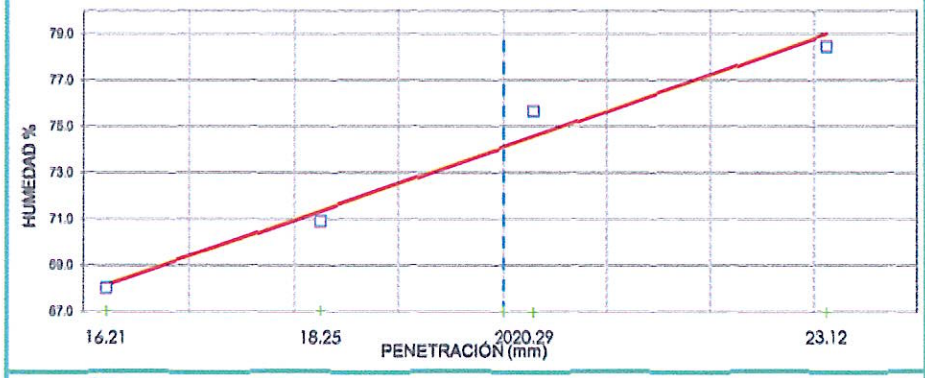
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.21	16.92	12.71	6.52	68.01	
18.25	20.37	14.69	6.68	70.91	
20.29	19.98	14.20	6.56	75.65	
23.12	25.30	17.11	6.67	78.45	**74.1**

CURVA DE FLUIDEZ

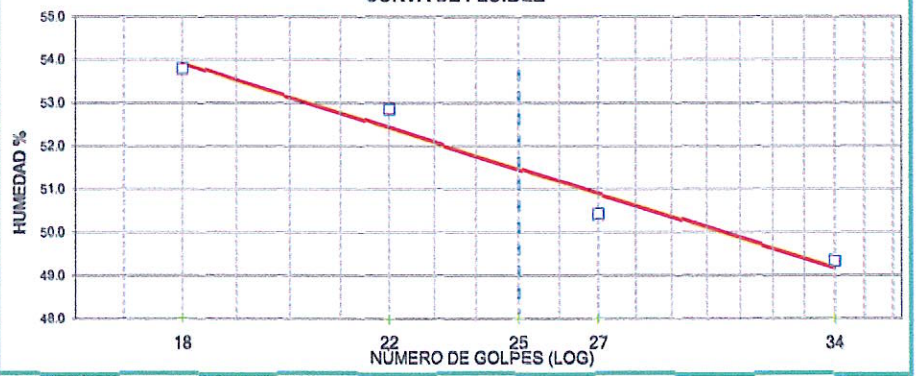


PROYECTO:	4	**MUESTRA:**	B1-6		
OPERADOR:	7				

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	16.61	13.20	6.29	49.35	
27	19.14	14.95	6.64	50.42	
22	18.54	14.38	6.51	52.86	
18	18.97	14.79	7.02	53.80	**51.5**

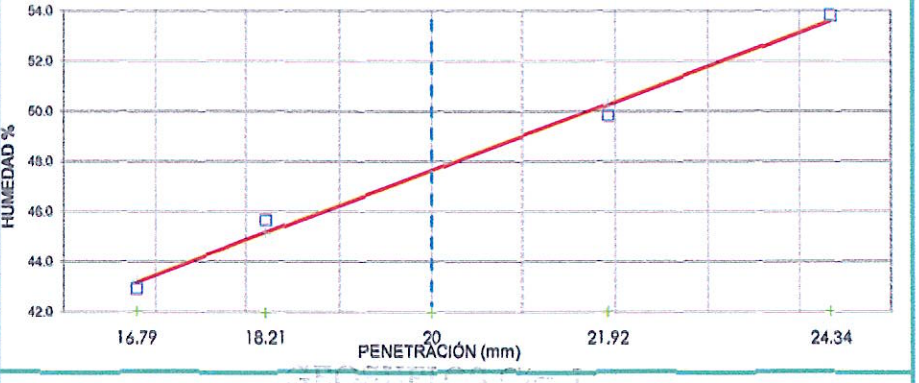
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.79	16.81	13.72	6.52	42.92	
18.21	21.19	16.61	6.58	45.66	
21.92	27.86	20.77	6.54	49.82	
24.34	22.08	16.73	6.79	53.82	**47.6**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

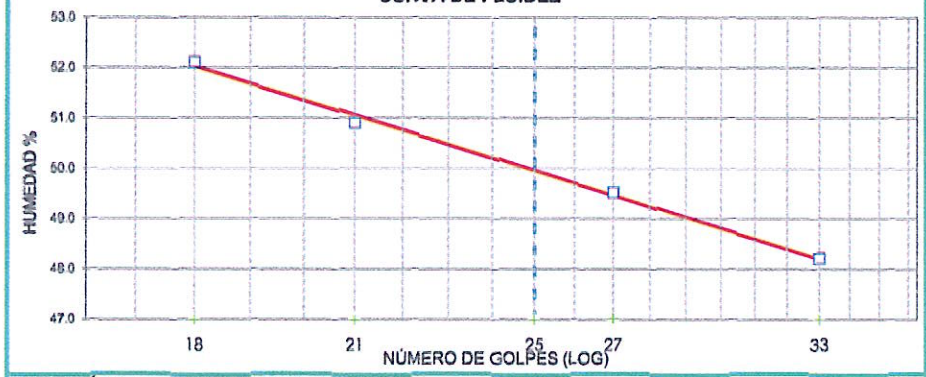
ING. MARCELO TORRES

FECHA: 16/3/2026

PROYECTO:	4	MUESTRA:	B1-8		
OPERADOR:	7				

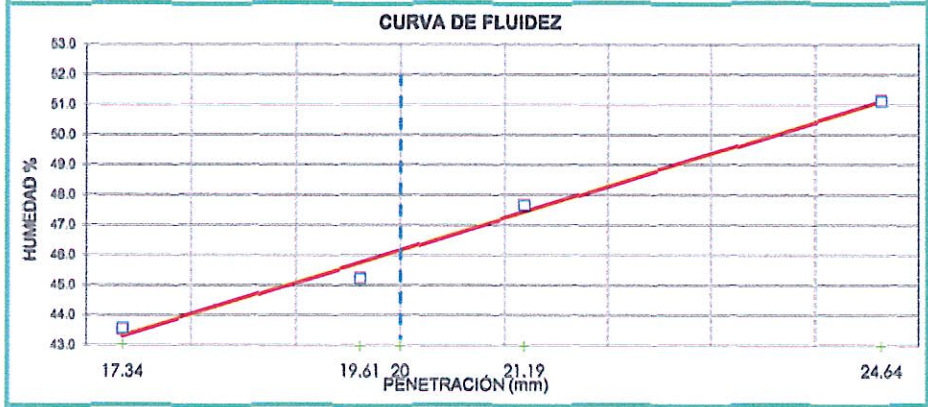
1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
33	17.36	13.84	6.54	48.22	
27	18.94	14.84	6.56	49.52	
21	19.80	15.31	6.49	50.91	
18	19.78	15.33	6.79	52.11	**50.0**



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

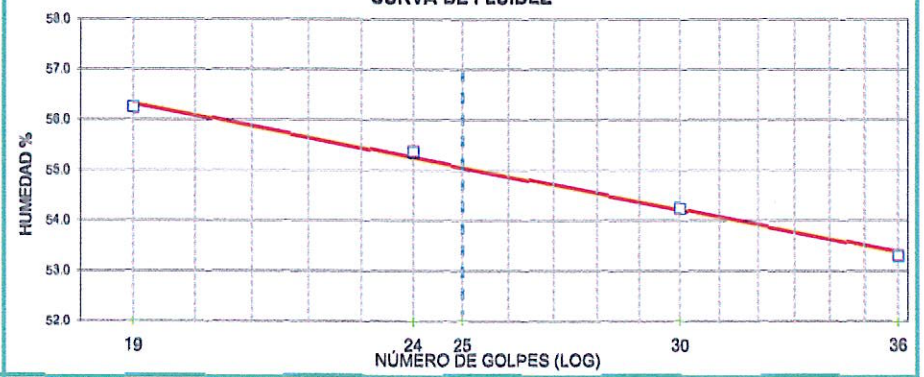
PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
17.34	17.38	14.07	6.47	43.55	
19.61	20.41	16.05	6.41	45.23	
21.19	22.02	16.94	6.28	47.65	
24.64	26.73	19.95	6.69	51.13	**46.2**



PROYECTO:	3	MUESTRA:	P7		
OPERADOR:	5				

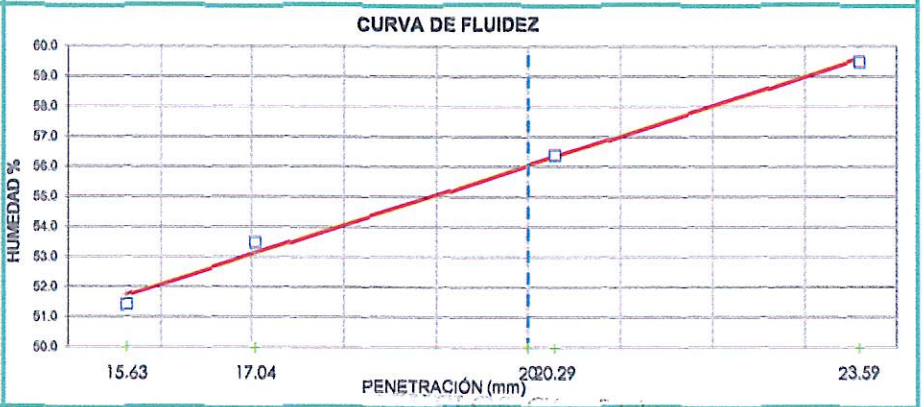
1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
36	23.51	17.62	6.57	53.30	
30	20.83	15.59	5.93	54.24	
24	22.73	17.01	6.68	55.37	
19	23.21	17.22	6.57	56.24	**55.1**



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.63	20.57	15.80	6.52	51.40	
17.04	21.68	16.38	6.47	53.48	
20.29	21.92	16.35	6.47	56.38	
23.59	22.43	16.47	6.45	59.48	**56.0**



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

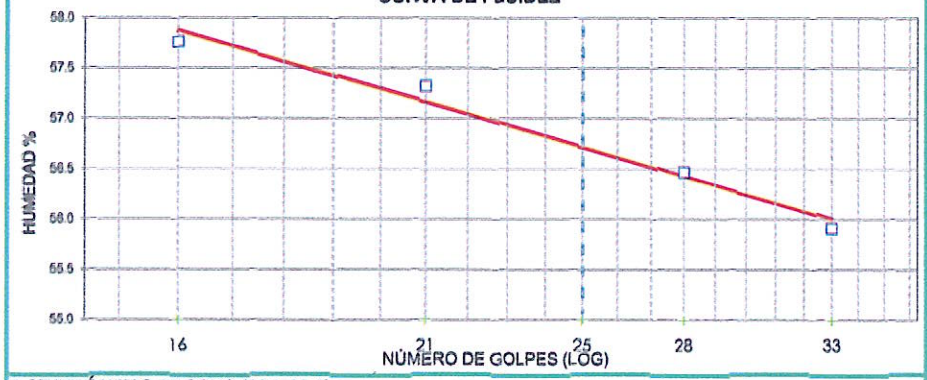
FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

FECHA: 18/3/2026

PROYECTO:	5	**MUESTRA:**	BT-1-11
OPERADOR:	7		

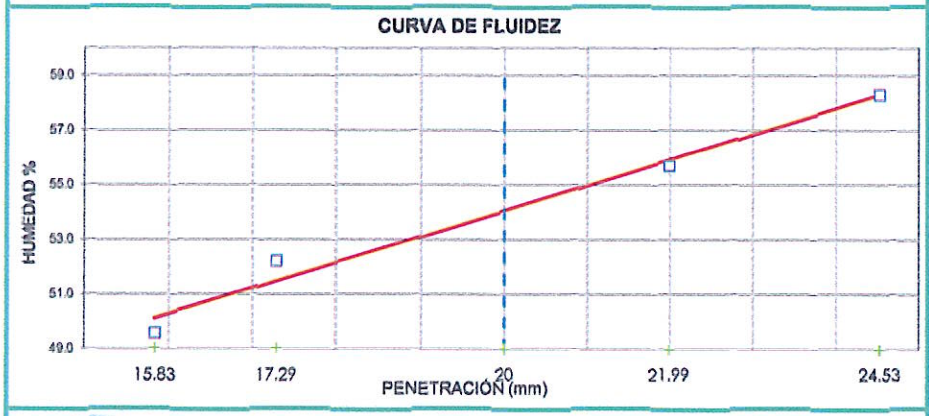
1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
33	16.34	12.84	6.58	55.91	
28	16.95	13.24	6.67	56.47	
21	16.77	13.13	6.78	57.32	
16	14.87	11.82	6.54	57.77	**56.7**



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

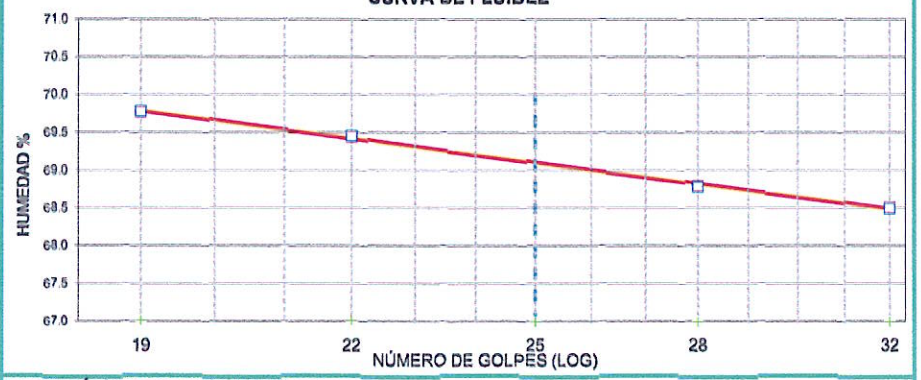
PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.83	18.49	14.48	6.39	49.57	
17.29	18.67	14.55	6.66	52.22	
21.99	23.85	17.74	6.77	55.70	
24.53	20.66	15.46	6.54	58.30	**54.0**



PROYECTO:	8	**MUESTRA:**	CPF-R-4
OPERADOR:	7		

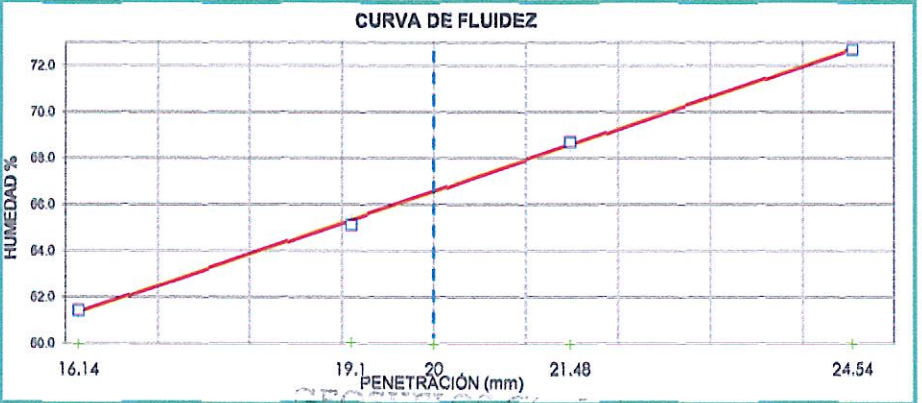
1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
32	15.61	11.87	6.41	68.50	
28	19.29	14.09	6.53	68.78	
22	16.83	12.67	6.68	69.45	
19	16.52	12.48	6.69	69.78	**69.1**



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.14	17.58	13.36	6.49	61.43	
19.1	21.87	15.86	6.63	65.11	
21.48	23.10	16.34	6.50	68.70	
24.54	22.88	16.20	7.01	72.69	**66.6**



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

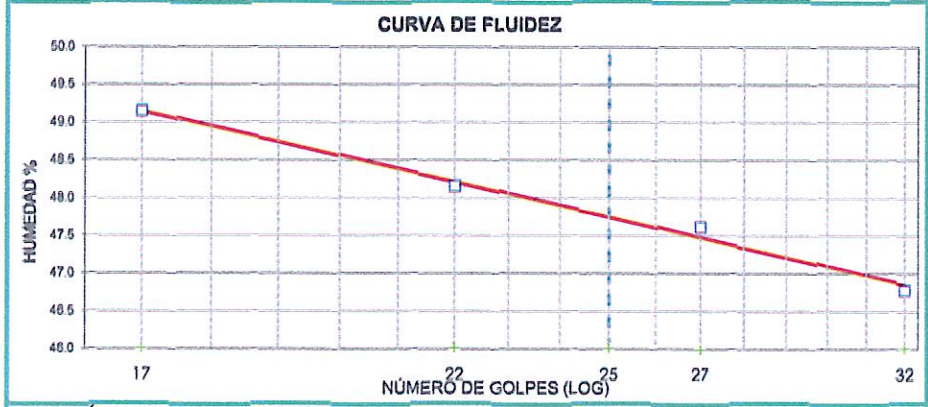
ING. MARCELO TORRES

FECHA: 16/3/2026

PROYECTO:	8	**MUESTRA:**	CPF-G-4
OPERADOR:	6		

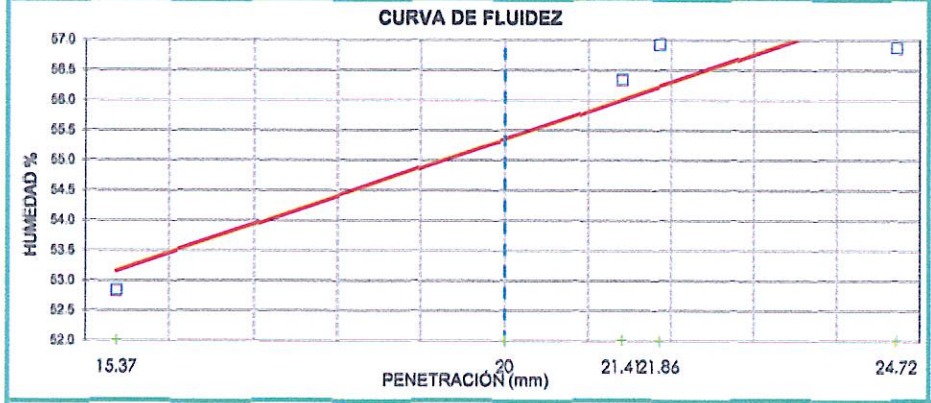
1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
32	26.01	22.16	13.93	46.78	
27	24.60	21.21	14.09	47.61	
22	27.34	23.42	15.28	48.16	
17	21.97	17.64	8.83	49.15	**47.8**



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

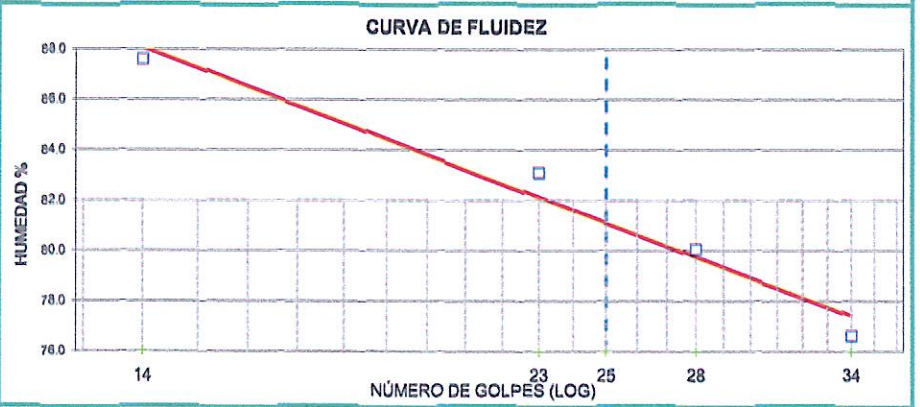
PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.37	16.62	13.17	6.64	52.83	
21.86	18.00	13.81	6.45	56.93	
21.41	17.66	13.66	6.56	56.34	
24.72	20.40	15.39	6.58	56.87	**55.3**



PROYECTO:	6	**MUESTRA:**	MI-2-3
OPERADOR:	6		

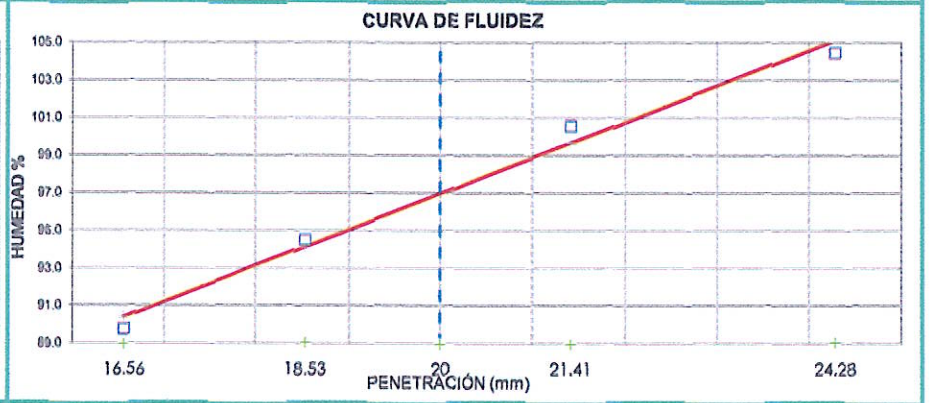
1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	20.74	17.79	13.94	76.62	
28	16.71	13.42	9.31	80.05	
23	22.84	19.40	15.26	83.09	
14	21.98	18.23	13.95	87.62	**81.1**



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.56	17.32	12.24	6.58	89.75	
18.53	17.69	12.36	6.72	94.50	
21.41	17.11	11.86	6.64	100.57	
24.28	17.89	12.01	6.38	104.44	**96.9**



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

ING. MARCELO TORRES
FIRMA AUTORIZADA

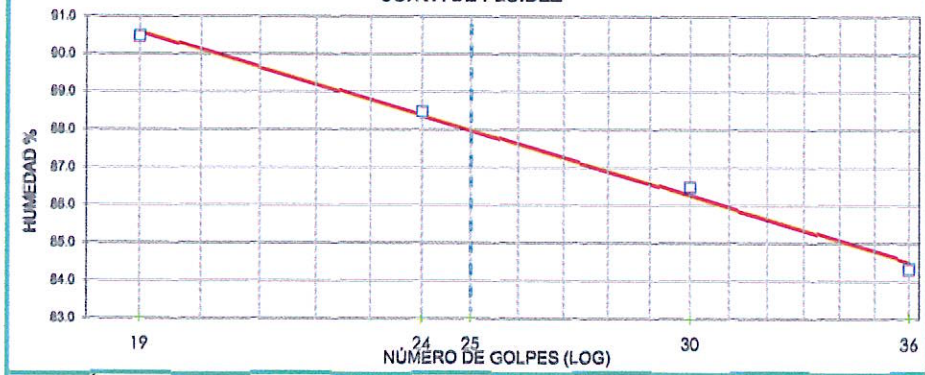
FECHA: 16/3/2026

PROYECTO:	6	**MUESTRA:**	MI-2-9
OPERADOR:	5		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
36	22.43	15.17	6.56	84.32	
30	21.18	14.46	6.69	86.49	
24	20.89	14.14	6.51	88.47	
19	20.50	14.04	6.90	90.48	**88.0**

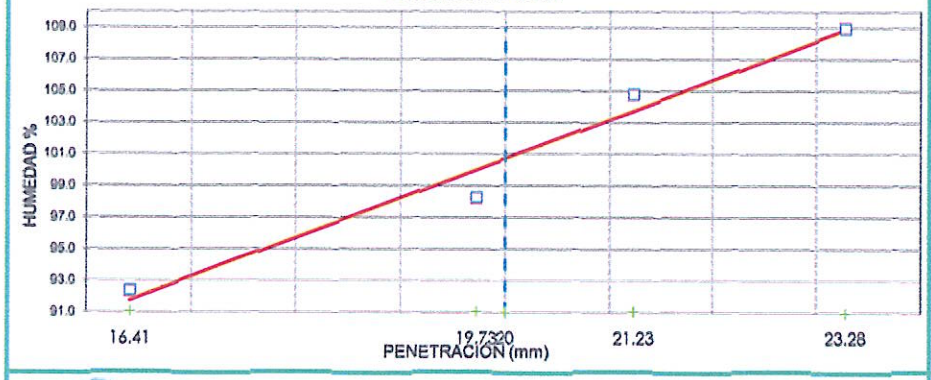
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.41	19.90	13.73	7.05	92.37	
19.73	20.05	13.28	6.39	98.26	
21.23	19.55	12.99	6.73	104.79	
23.28	20.27	13.09	6.50	108.95	**100.7**

CURVA DE FLUIDEZ

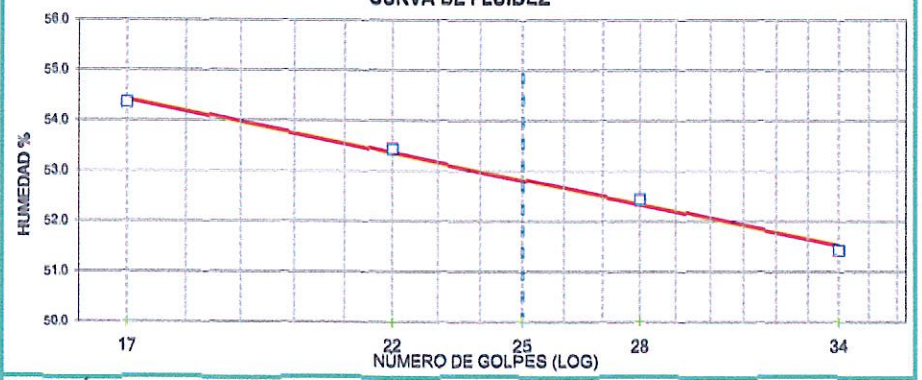


PROYECTO:	4	**MUESTRA:**	MI-3
OPERADOR:	5		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	22.77	17.22	6.43	51.44	
28	22.67	17.07	6.39	52.43	
22	20.34	15.52	6.50	53.44	
17	21.61	16.43	6.90	54.35	**52.8**

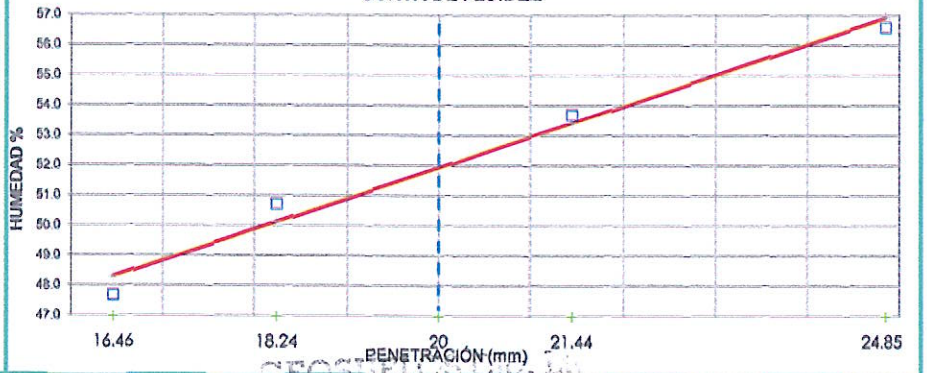
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.46	20.82	16.20	6.51	47.68	
18.24	21.31	16.36	6.60	50.72	
21.44	19.84	15.18	6.50	53.69	
24.85	21.11	15.79	6.39	56.60	**51.9**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

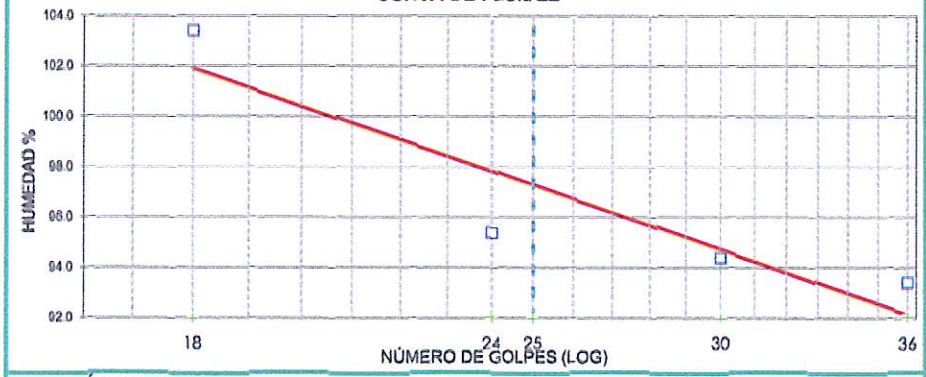
FECHA: 18/3/2026

PROYECTO:	1	MUESTRA:	S1
OPERADOR:	5		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
36	18.78	12.82	6.44	93.42	
30	20.12	13.55	6.59	94.40	
24	20.94	13.90	6.52	95.39	
18	20.74	13.47	6.44	103.41	**97.3**

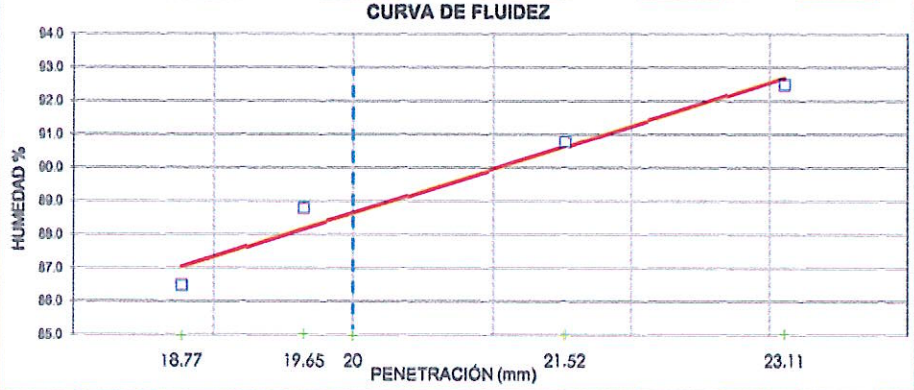
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
18.77	18.42	12.92	6.56	86.48	
19.65	17.18	12.19	6.57	88.79	
21.52	18.80	13.00	6.61	90.77	
23.11	16.50	11.70	6.51	92.49	**88.6**

CURVA DE FLUIDEZ

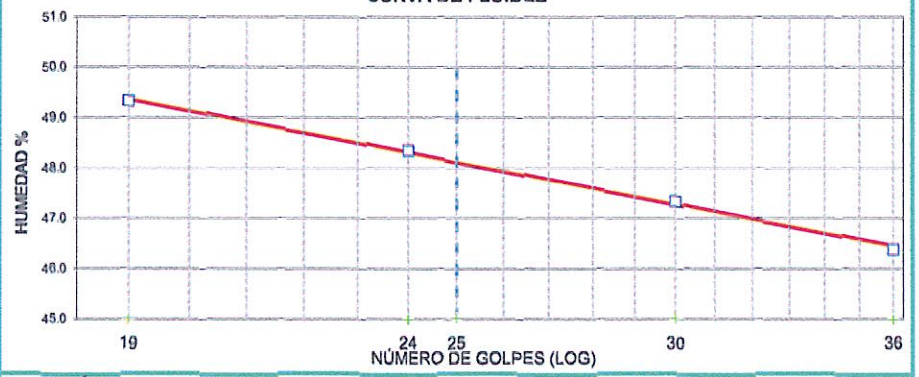


PROYECTO:	8	MUESTRA:	CPF-A-4
OPERADOR:	5		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
36	19.33	15.29	6.58	46.38	
30	19.57	15.39	6.56	47.34	
24	20.10	15.71	6.63	48.35	
19	20.88	16.10	6.41	49.33	**48.1**

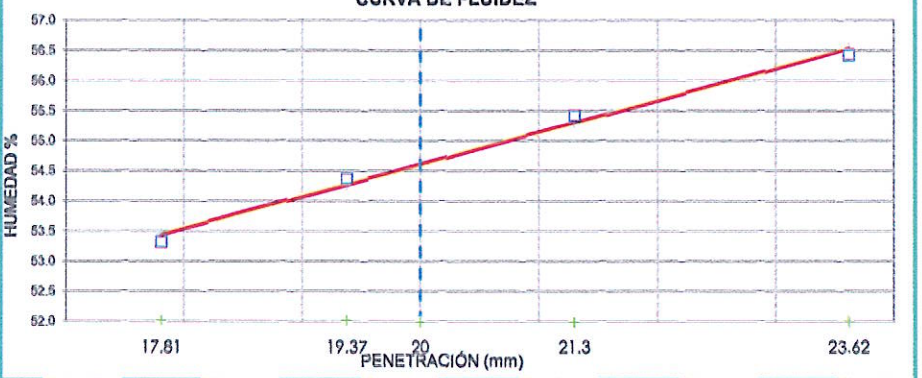
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
17.81	20.18	15.52	6.78	53.32	
19.37	20.64	15.66	6.50	54.37	
21.3	20.54	15.58	6.63	55.42	
23.62	19.86	15.03	6.47	56.43	**54.6**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

GEOSUELOS S.R.L.
ING. MARCELO TORRES
FIRMA AUTORIZADA

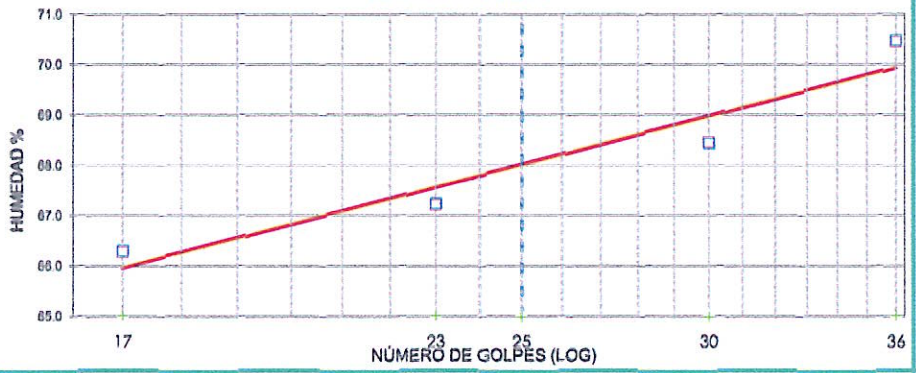
FECHA: 18/3/2026

PROYECTO:	5	MUESTRA:	BT-1-5
OPERADOR:	4		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
36	14.49	11.22	6.58	70.47	
30	16.68	12.71	6.91	68.45	
23	15.29	11.72	6.41	67.23	
17	15.45	11.89	6.52	66.29	**68.0**

CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
17.51	22.27	16.16	6.79	65.21	
19.49	22.70	16.09	6.47	68.71	
22.63	22.10	16.59	8.82	70.91	
24.2	22.03	15.57	6.64	72.34	**68.3**

CURVA DE FLUIDEZ



PROYECTO:	6	MUESTRA:	MI-2-6
OPERADOR:	4		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
33	14.95	10.96	6.42	87.89	
27	15.09	11.02	6.48	89.65	
20	14.74	10.86	6.67	92.60	
13	14.12	10.47	6.67	96.05	**90.4**

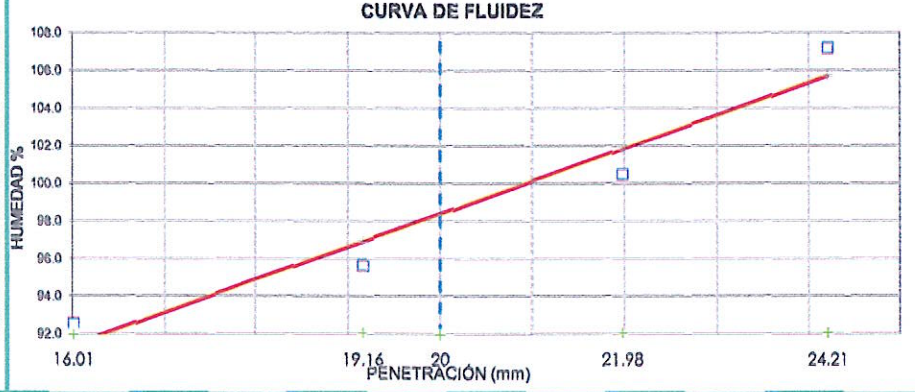
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.01	23.41	15.22	6.37	92.54	
19.16	23.18	15.05	6.55	95.65	
21.98	23.51	14.96	6.45	100.47	
24.21	23.88	14.93	6.58	107.19	**98.4**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

GEOSUELOS C.A., LTDA.

ING. MARCELO TORRES
FIRMA AUTORIZADA

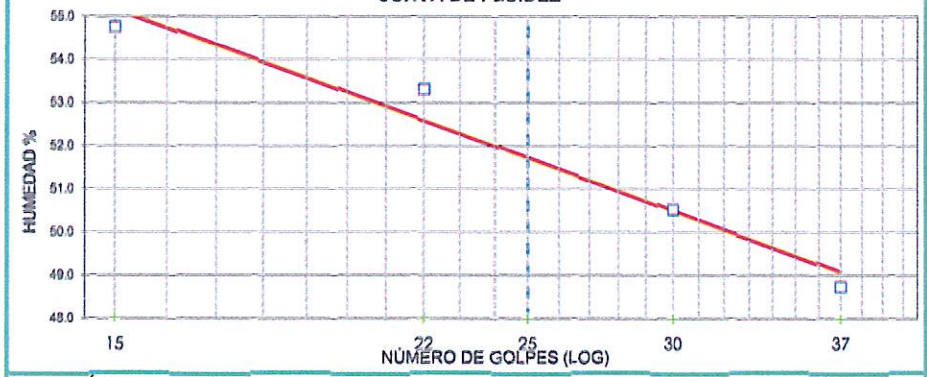
FECHA: 19/3/2026

PROYECTO:	4	**MUESTRA:**	MI-5
OPERADOR:	4		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
37	18.80	15.53	8.82	48.73	
30	16.58	13.20	6.51	50.52	
22	18.45	14.34	6.63	53.31	
15	17.36	13.62	6.79	54.76	**51.7**

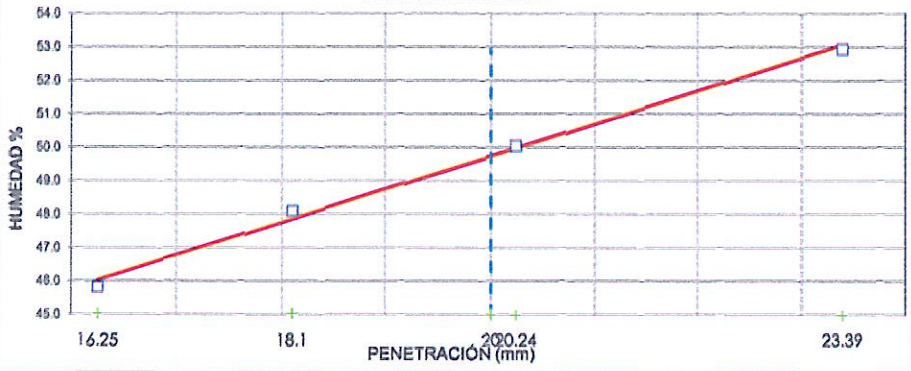
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.25	23.63	18.21	6.38	45.82	
18.1	23.82	18.15	6.36	48.09	
20.24	23.36	17.76	6.57	50.04	
23.39	23.52	17.66	6.59	52.94	**49.7**

CURVA DE FLUIDEZ

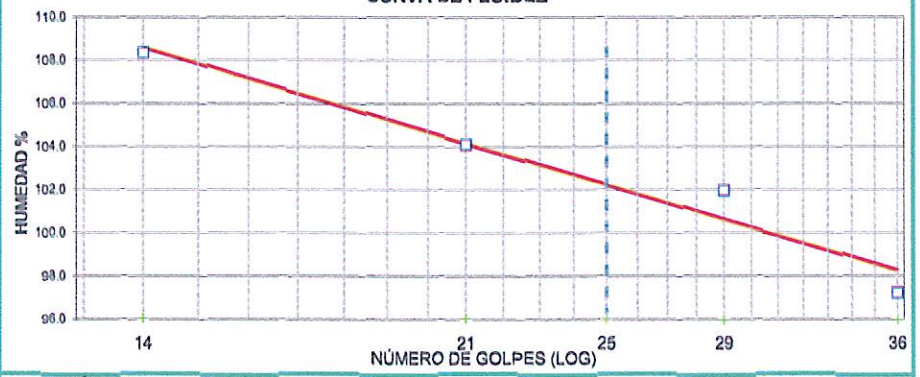


PROYECTO:	8	**MUESTRA:**	CPF-C-7
OPERADOR:	4		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
36	16.71	11.80	6.75	97.23	
29	15.60	10.94	6.37	101.97	
21	16.08	11.26	6.63	104.10	
14	16.57	11.37	6.57	108.33	**102.2**

CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
17.46	22.05	14.37	6.62	99.10	
19.44	22.49	14.46	6.79	104.69	
21.39	22.32	14.23	6.71	107.58	
23.34	22.08	13.88	6.47	110.66	**104.7**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

ING. MARCELO TORRES

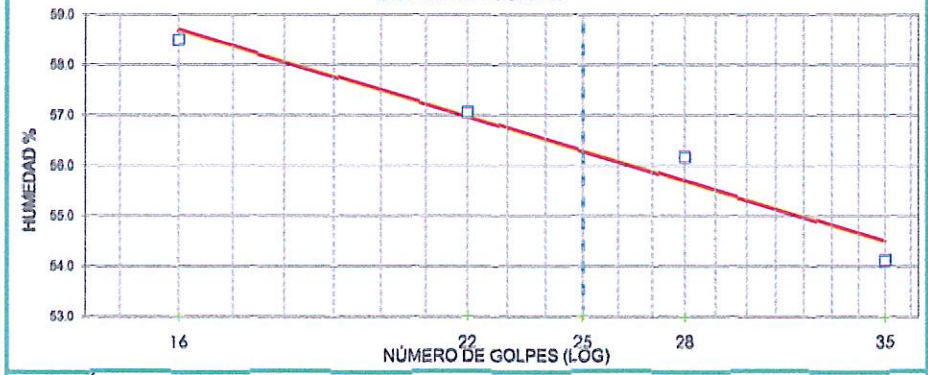
FECHA: 19/3/2026

PROYECTO:	4	**MUESTRA:**	MI-8
OPERADOR:	4		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
35	17.61	13.73	6.56	54.11	
28	15.20	12.06	6.47	56.17	
22	17.67	13.71	6.77	57.06	
16	15.84	12.54	6.90	58.51	**56.3**

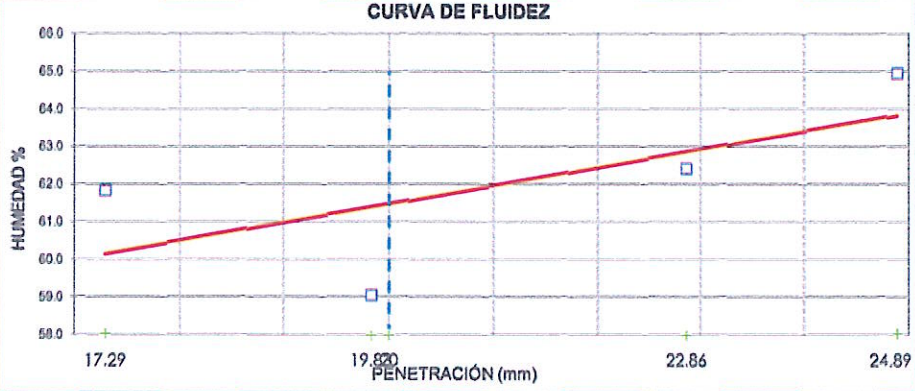
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
17.29	21.96	16.08	6.57	61.83	
19.83	21.57	16.02	6.62	59.04	
22.86	21.74	15.93	6.62	62.41	
24.89	21.25	15.47	6.57	64.94	**61.5**

CURVA DE FLUIDEZ

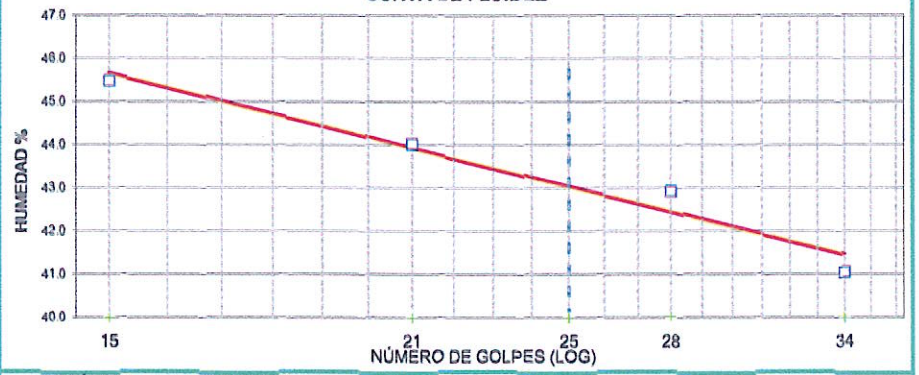


PROYECTO:	4	**MUESTRA:**	B-1-1
OPERADOR:	4		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	17.30	14.18	6.58	41.05	
28	16.13	13.25	6.54	42.92	
21	16.07	13.16	6.55	44.02	
15	19.82	16.60	9.52	45.48	**43.0**

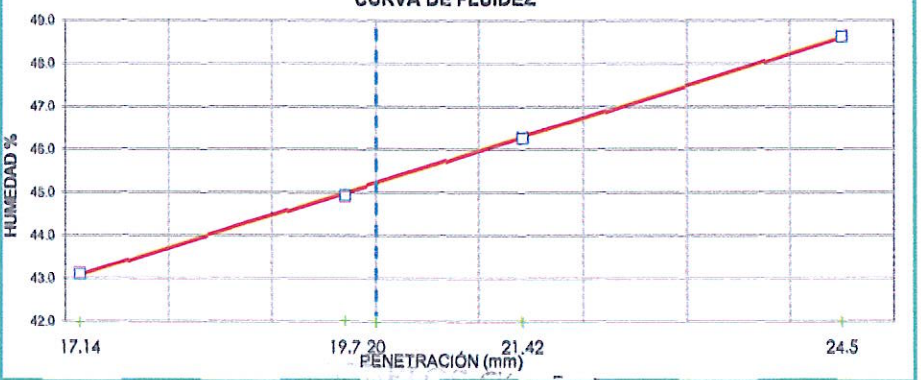
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
17.14	21.30	16.79	6.33	43.12	
19.7	21.54	16.94	6.70	44.92	
21.42	21.76	16.98	6.65	46.27	
24.5	21.70	16.70	6.42	48.64	**45.2**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

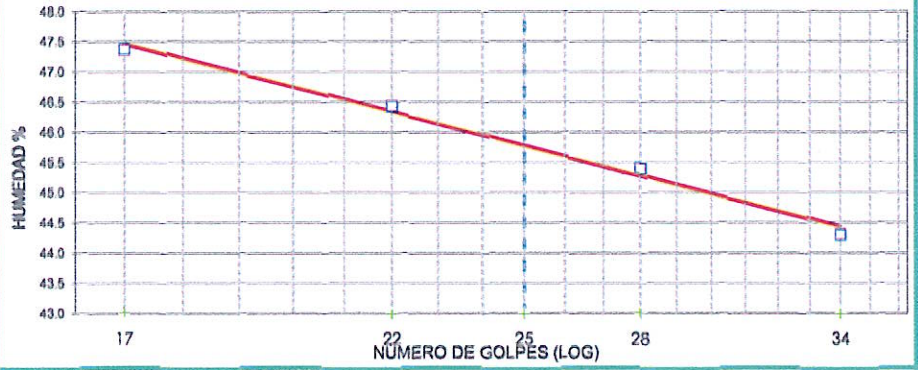
FECHA: 19/3/2026

PROYECTO:	4	**MUESTRA:**	MI-11
OPERADOR:	5		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	19.03	15.22	6.62	44.30	
28	20.62	16.22	6.53	45.41	
22	21.23	16.54	6.44	46.44	
17	21.73	16.86	6.58	47.37	**45.8**

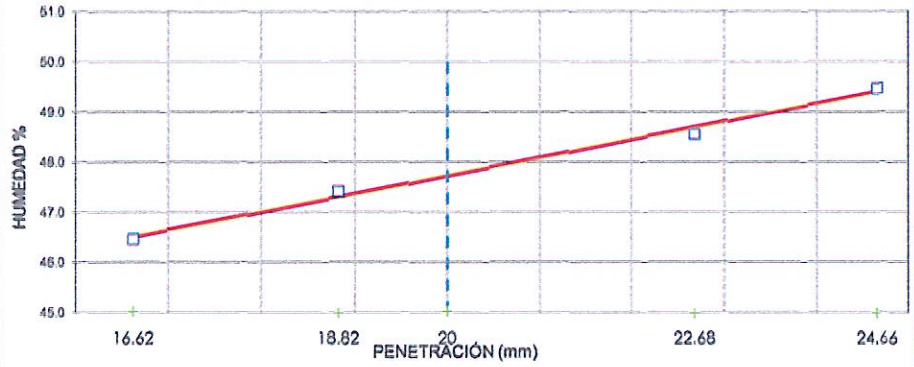
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.62	19.86	15.59	6.40	46.46	
18.82	21.02	16.44	6.78	47.41	
22.68	20.95	16.24	6.54	48.56	
24.66	20.71	16.09	6.75	49.46	**47.7**

CURVA DE FLUIDEZ

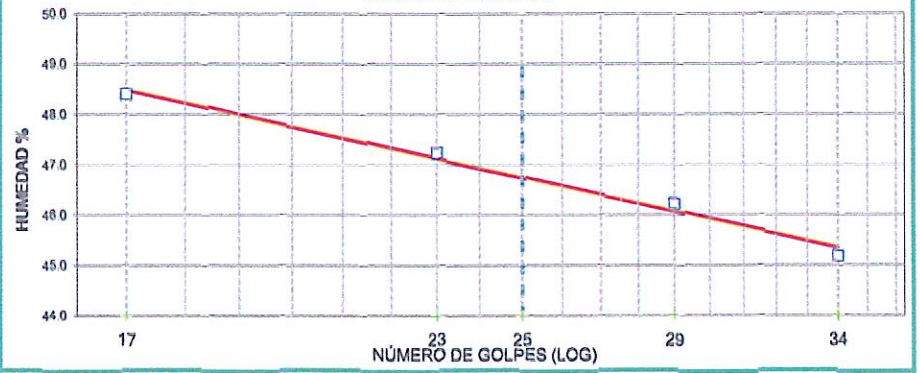


PROYECTO:	8	**MUESTRA:**	CPF-A-1
OPERADOR:	5		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	19.29	15.34	6.60	45.19	
29	19.01	15.09	6.61	46.23	
23	19.69	15.50	6.63	47.24	
17	19.03	14.80	6.06	48.40	**46.7**

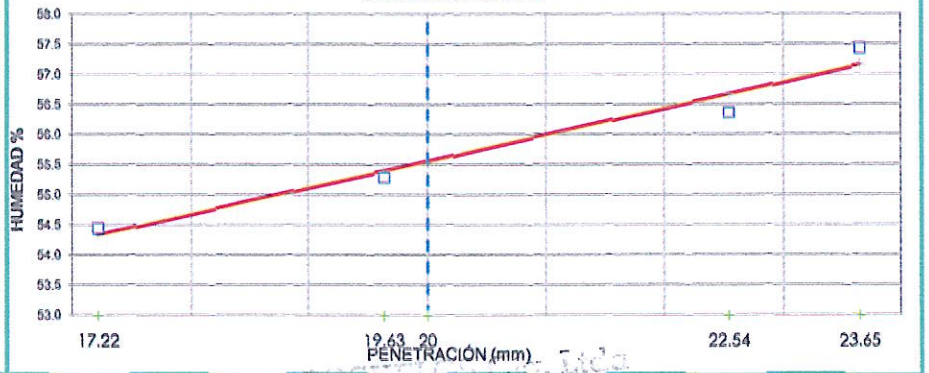
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
17.22	17.83	14.03	7.05	54.44	
19.63	18.77	14.43	6.58	55.29	
22.54	19.50	14.85	6.60	56.36	
23.65	22.09	16.41	6.52	57.43	**55.5**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

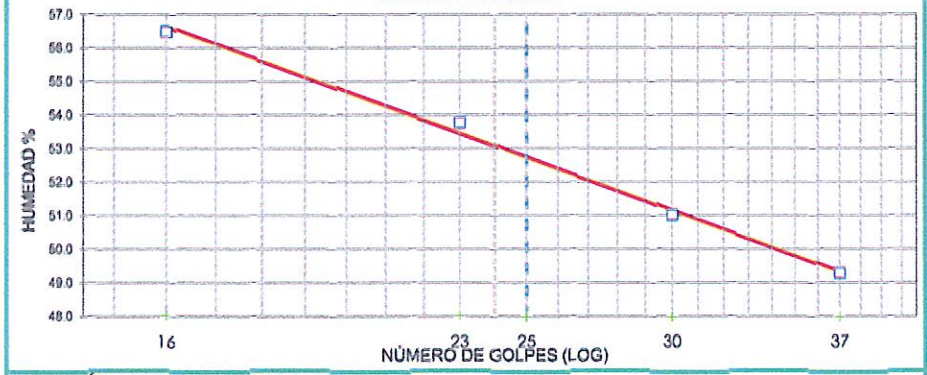
FECHA: 19/3/2026

PROYECTO:	2	MUESTRA:	P-2
OPERADOR:	4		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
37	17.02	13.57	6.57	49.29	
30	15.44	12.44	6.56	51.02	
23	16.15	12.87	6.77	53.77	
16	16.99	13.25	6.63	56.50	**52.7**

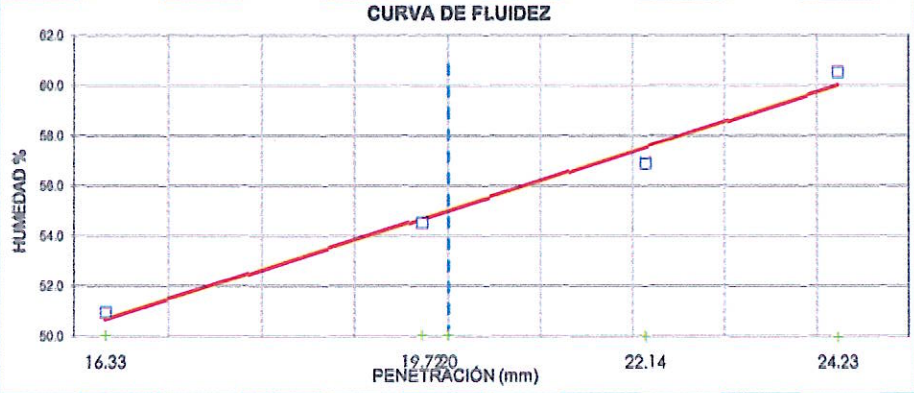
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.33	22.53	17.15	6.59	50.95	
19.72	22.76	17.15	6.86	54.52	
22.14	22.42	16.68	6.59	56.89	
24.23	22.94	16.82	6.71	60.53	**55.0**

CURVA DE FLUIDEZ

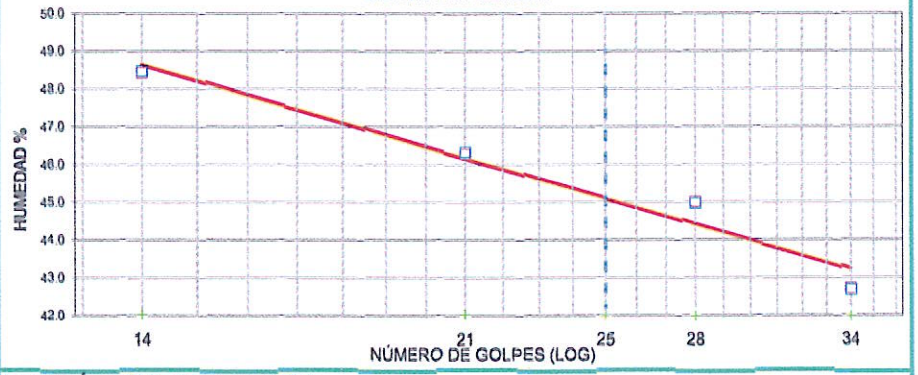


PROYECTO:	4	MUESTRA:	MI-2
OPERADOR:	4		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
34	15.91	13.13	6.62	42.70	
28	15.29	12.64	6.75	44.99	
21	16.10	13.03	6.40	46.30	
14	16.03	12.91	6.47	48.45	**45.1**

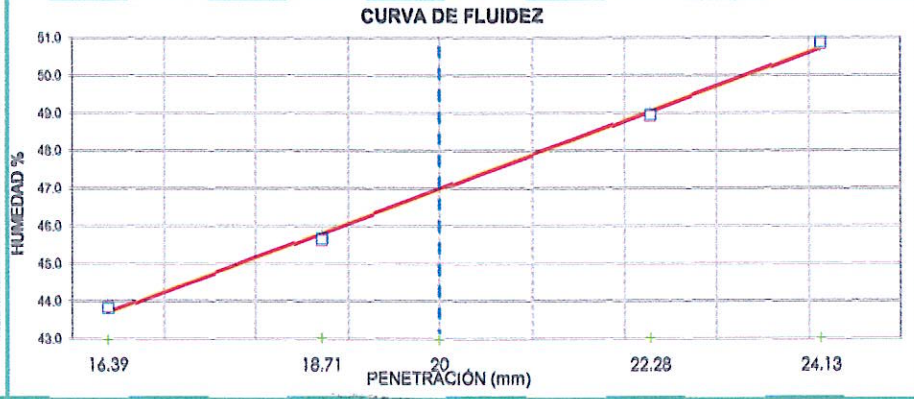
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.39	22.80	17.86	6.59	43.83	
18.71	22.75	17.62	6.38	45.64	
22.28	22.80	17.48	6.61	48.94	
24.13	22.20	16.86	6.36	50.86	**47.0**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA: ING. MARCELO TORRES

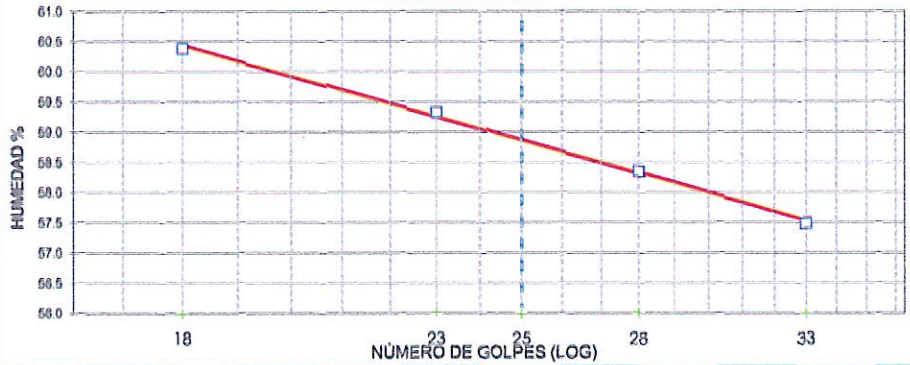
FECHA: 19/3/2026

PROYECTO:	7	**MUESTRA:**	MI-4
OPERADOR:	1		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
33	17.69	13.66	6.65	57.49	
28	16.49	12.86	6.64	58.36	
23	15.64	12.30	6.67	59.33	
18	15.68	12.22	6.49	60.38	**58.9**

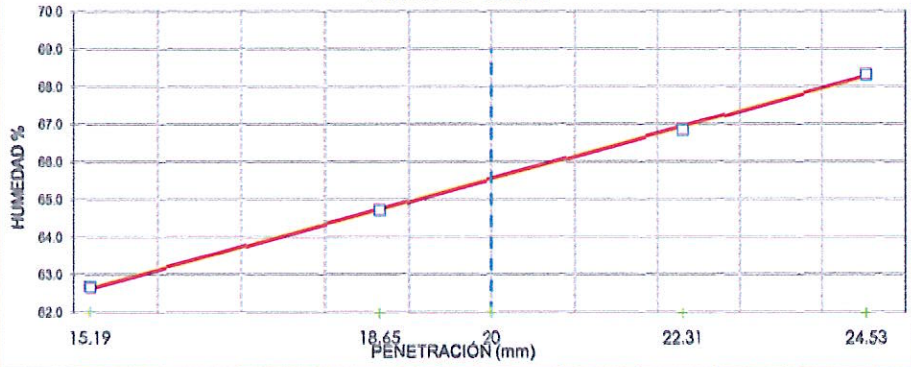
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
15.19	17.07	13.06	6.66	62.66	
18.65	18.72	13.97	6.63	64.71	
22.31	18.67	13.77	6.44	66.85	
24.53	19.68	14.31	6.45	68.32	**65.5**

CURVA DE FLUIDEZ

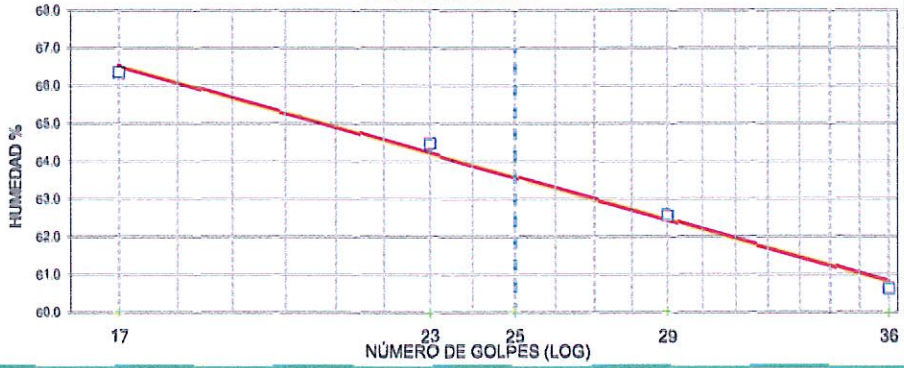


PROYECTO:	8	**MUESTRA:**	CPF-R-1
OPERADOR:	1		

1. COPA DE CASAGRANDE (ASTM D4318)

GOLPES	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	w (%)	wL (%)
36	17.80	13.58	6.62	60.63	
29	17.70	13.37	6.45	62.57	
23	15.82	12.30	6.84	64.47	
17	19.05	14.97	8.82	66.34	**63.6**

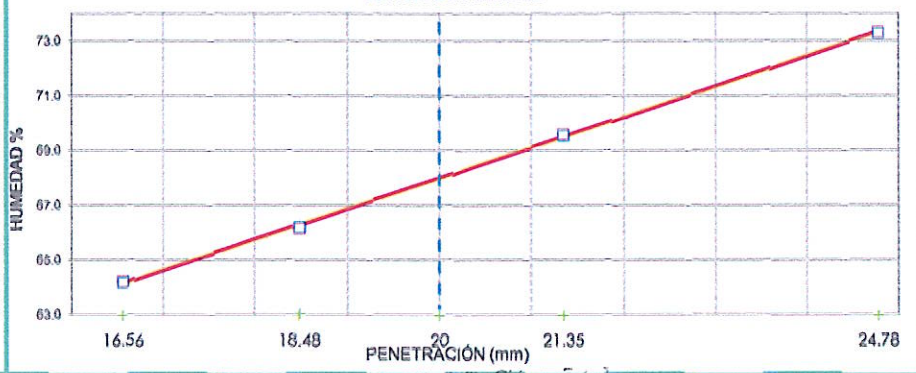
CURVA DE FLUIDEZ



2. PENETRÓMETRO DE CONO (BS 1733-2)

PENETRACIÓN (mm)	PES. HUM. (g)	PES. SECO (g)	CÁPSULA (g)	W% (%)	wL% (%)
16.56	17.39	13.18	6.62	64.18	
18.48	18.69	13.78	6.36	66.17	
21.35	18.36	13.56	6.66	69.57	
24.78	18.32	13.38	6.64	73.29	**68.0**

CURVA DE FLUIDEZ



GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

FIRMA AUTORIZADA:

ING. MARCELO TORRES

FECHA: 19/3/2026