



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Influencia de la adición de ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca en las propiedades mecánicas de la subrasante, Puno 2022**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

**AUTOR:**

Mamani Aracayo, Max Abelardo ([orcid.org/0000-0003-3994-5282](https://orcid.org/0000-0003-3994-5282))

Mamani Rodrigo, Wilson ([orcid.org/0000-0003-3901-0268](https://orcid.org/0000-0003-3901-0268))

**ASESOR:**

Mg. Medina Carbajal, Lucio Sigifredo ([orcid.org/0000-0001-5207-4421](https://orcid.org/0000-0001-5207-4421))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA — PERÚ

2023

## **Dedicatoria**

A Dios todopoderoso, pues en mis peores momentos me da fuerzas para continuar con el cumplimiento de mis metas y sueños, sobre todo cuando he estado a punto de caer, por ello con toda humildad, primeramente, dedico este trabajo a Dios nuestro creador.

Igualmente dedico esta tesis a mis padres Antonio y Cristina, que descansan en paz, debido a que gracias a ellos he sido formado con buenos sentimientos.

A mis hijas Diana y Ruby.

**Wilson Mamani Rodrigo**

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a nuestra familia, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

**Max Abelardo Mamani Aracayo**

## **Agradecimiento**

Mi más sincero agradecimiento a nuestro asesor, Mg. Medina Carbajal, Lucio, quien, tuvo a bien guiarnos a través de cada una de las etapas de esta tesis para alcanzar los resultados que buscaba.

Quero reconocer la ayuda incondicional por sus recomendaciones al Dr. Edy Larico Mamani por su apoyo en la elaboración de la presente tesis.

A mi hija Diana y Ruby por haber estado siempre muy pendiente de mis necesidades durante la elaboración de la presente tesis.

**Wilson Mamani Rodrigo**

En estas líneas quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible esta investigación y que de alguna manera estuvieron conmigo en los momentos difíciles, alegres, y tristes. Estas palabras son para ustedes.

**Max Abelardo Mamani Aracayo**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	10
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	10
3.1.1. Enfoque de la investigación .....	10
3.1.2. Tipo de investigación .....	10
3.1.3. Diseño de investigación .....	10
3.2. Variable y operacionalización .....	10
3.3. Población, muestra y muestreo .....	12
3.3.1. Población .....	12
3.3.2. Muestra .....	12
3.3.3. Muestreo .....	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	12
3.5. Procedimientos .....	13
3.5.1. Procedimiento de recolección de la información .....	13
3.5.2. Procedimiento metodológico .....	14
3.6. Método de análisis de datos .....	14
3.7. Aspectos éticos .....	14
IV. RESULTADOS .....	15
4.1. Zona de estudio .....	15
4.2. Ensayos con muestra sin alterar M0 .....	16
4.2.1. Clasificación de los suelos .....	16
4.2.2. Ensayo de proctor modificado .....	17
4.2.3. Ensayo de compresión simple y CBR .....	17

4.3. Ensayo de muestras con adiciones de ceniza de ichu	18
4.3.1. Ensayo de proctor modificado con adiciones de 0%, 3%, 6% y 9% de ceniza de ichu. ....	18
4.3.2. Ensayo de proctor modificado con adiciones de 0%, 3%, 6% y 9% de ceniza de hoja de coca. ....	23
4.3.3. Influencia de la adición de ceniza de ichu en la compresión simple de la subrasante.....	27
4.3.4. Influencia de la adición de ceniza de hoja de coca en la compresión simple de la subrasante .....	29
4.3.5. Influencia de la adición de ceniza de ichu en la Resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante .....	32
4.3.6. Influencia de la adición de ceniza de hoja de coca en la Resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante.....	35
4.4. Dosificación óptima de la CI y CHC según CBR	37
4.4.1. Dosificación óptima de la CI según CBR .....	37
4.4.2. Dosificación óptima de la CHC según CBR .....	37
4.5. Dosificación óptima de la CI y CHC según RCS	38
4.5.1. Dosificación óptima de la CI según RCS .....	38
4.5.2. Dosificación óptima de la CHC según RCS .....	38
4.6. Material idóneo en la estabilización de subrasante	39
4.6.1. Análisis técnico de los materiales estabilizantes de la subrasante	39
4.7. Prueba de hipótesis	42
4.7.1. La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de ichu influye en la resistencia de compresión simple de la subrasante.....	42
4.7.2. La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de hoja de coca influye en la resistencia de compresión simple de la subrasante.....	44
4.7.3. La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de ichu influye en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante.....	45
4.7.4. La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de hoja de coca influye en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante.....	47
4.8. DISCUSIÓN	49
V. CONCLUSIONES .....	52
VI. RECOMENDACIONES .....	54
REFERENCIAS .....	55
ANEXOS .....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> CBR en estado natural.....	16
<b>Tabla 2</b> Propiedades de los suelos en estado natural .....	17
<b>Tabla 3</b> Ensayo proctor modificado.....	17
<b>Tabla 4</b> Compresión simple y CBR M0 .....	18
<b>Tabla 5</b> Proctor modificado C1 con agregado de ceniza de ichu .....	18
<b>Tabla 6</b> Proctor modificado C3 con agregado de ceniza de ichu .....	20
<b>Tabla 7</b> Proctor modificado C4 con agregado de ceniza de ichu .....	21
<b>Tabla 8</b> Proctor modificado C1 con agregado de ceniza de hoja de coca .....	23
<b>Tabla 9</b> Proctor modificado C3 con agregado de ceniza de hoja de coca .....	24
<b>Tabla 10</b> Proctor modificado C4 con agregado de ceniza de hoja de coca .....	26
<b>Tabla 11</b> Ensayo de compresión simple C1 - Ceniza de ichu .....	27
<b>Tabla 12</b> Ensayo de compresión simple C3 - Ceniza de ichu .....	28
<b>Tabla 13</b> Ensayo de compresión simple C4 - Ceniza de ichu .....	29
<b>Tabla 14</b> Ensayo de compresión simple C1 - Ceniza de hoja de coca .....	30
<b>Tabla 15</b> Ensayo de compresión simple C3 - Ceniza de hoja de coca .....	30
<b>Tabla 16</b> Ensayo de compresión simple C4 - Ceniza de hoja de coca .....	31
<b>Tabla 17</b> CBR con adición de CI - C1 .....	32
<b>Tabla 18</b> CBR con adición de CI - C3.....	33
<b>Tabla 19</b> CBR con adición de CI - C4 .....	34
<b>Tabla 20</b> CBR con adición de CHC - C1.....	35
<b>Tabla 21</b> CBR con adición de CHC - C3.....	36
<b>Tabla 22</b> CBR con adición de CHC - C4.....	36
<b>Tabla 23</b> Resumen de CBR al 95% CI.....	37
<b>Tabla 24</b> Resumen de CBR al 95% CHC .....	38
<b>Tabla 25</b> Resumen de RCS de CI.....	38
<b>Tabla 26</b> Resumen de RCS de CHC .....	39
<b>Tabla 27</b> Prueba de normalidad H1 .....	42
<b>Tabla 28</b> Prueba de homogeneidad de varianzas.....	43
<b>Tabla 29</b> Nivel de significancia H1 .....	43
<b>Tabla 30</b> Prueba de normalidad H2 .....	44
<b>Tabla 31</b> Prueba de homogeneidad de varianzas.....	44

<b>Tabla 32</b> Nivel de significancia H2 .....	45
<b>Tabla 33</b> Prueba de normalidad H3 .....	46
<b>Tabla 34</b> Prueba de homogeneidad de varianzas.....	46
<b>Tabla 35</b> Nivel de significancia H3.....	47
<b>Tabla 36</b> Prueba de normalidad H4 .....	47
<b>Tabla 37</b> Prueba de homogeneidad de varianzas.....	48
<b>Tabla 38</b> Nivel de significancia H4 .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Estratos de un suelo.....	6
<b>Figura 2</b> Ichu.....	8
<b>Figura 3</b> Hoja de coca .....	8
<b>Figura 4</b> Zona de estudio parte 1.....	15
<b>Figura 5</b> Zona de estudio parte 2.....	15
<b>Figura 6</b> Comportamiento de la MDS con el % de ceniza de ichu C1 .....	19
<b>Figura 7</b> Comportamiento del OCH con el % de ceniza de ichu C1 .....	19
<b>Figura 8</b> Comportamiento de la MDS con el % de ceniza de ichu C3 .....	20
<b>Figura 9</b> Comportamiento del OCH con el % de ceniza de ichu C3 .....	21
<b>Figura 10</b> Comportamiento de la OCH con el % de ceniza de ichu C4 .....	22
<b>Figura 11</b> Comportamiento de la MDS con el % de ceniza de hoja de coca C1..	23
<b>Figura 12</b> Comportamiento de la OCH con el % de ceniza de coca C1 .....	24
<b>Figura 13</b> Proctor modificado C3 con agregado de ceniza de hoja de coca.....	25
<b>Figura 14</b> Comportamiento de la OCH con el % de ceniza de hoja de coca C3..	25
<b>Figura 15</b> Proctor modificado C4 con agregado de ceniza de hoja de coca.....	26
<b>Figura 16</b> Comportamiento de la OCH con el % de ceniza de hoja de coca C4..	27
<b>Figura 17</b> Comportamiento de la compresión simple de la C1 - Ceniza de Ichu .	28
<b>Figura 18</b> Comportamiento de la compresión simple de la C3 - Ceniza de Ichu .	28
<b>Figura 19</b> Comportamiento de la compresión simple de la C4 - Ceniza de Ichu .	29
<b>Figura 20</b> Comportamiento de la compresión simple de la C1 - Ceniza de hoja de coca.....	30
<b>Figura 21</b> Comportamiento de la compresión simple de la C3 - Ceniza de hoja de coca.....	31
<b>Figura 22</b> Comportamiento de la compresión simple de la C4 - Ceniza de hoja de coca.....	32
<b>Figura 23</b> Comportamiento CBR con CI - C1 .....	33
<b>Figura 24</b> Comportamiento CBR con CI - C3 .....	34
<b>Figura 25</b> Comportamiento CBR con CI - C4 .....	34
<b>Figura 26</b> Comportamiento CBR con CHC - C1 .....	35
<b>Figura 27</b> Comportamiento CBR con CHC - C3 .....	36
<b>Figura 28</b> Comportamiento CBR con CHC - C4 .....	37

<b>Figura 29</b> Comparación del CBR al 95% de CI y CHC – C1 .....	40
<b>Figura 30</b> Comparación del CBR al 95% de CI y CHC – C3 .....	40
<b>Figura 31</b> Comparación del CBR al 95% de CI y CHC – C4 .....	41

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad evaluar en qué medida influye la adición de ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca en las propiedades mecánicas de la subrasante, Puno 2022. La metodología empleada fue de tipo cuantitativa, diseño cuasi experimental y alcance explicativo. La población es el camino vecinal Maravillas – Vilcapata del distrito de San Miguel, Provincia de San Román, la muestra en este estudio fueron 4 calicatas de 1.5 m de profundidad en los kilómetros 2+750, 3+250 4+500, 5+750. Para su desarrollo se realizaron los ensayos de granulometría, límites de consistencia, proctor modificado, resistencia a la compresión simple y CBR de las muestras extraídas, así como grupos de control con adiciones de ceniza de Ichu y ceniza de hoja de coca en 0%, 3%, 6% y 9% respectivamente. Los resultados de la investigación mostraron que a medida que aumenta la dosificación de ceniza de Ichu y la ceniza de hoja de coca respectivamente se observa incrementos en la resistencia a la compresión simple y en la resistencia de la capacidad de soporte CBR, así también se observó un aumento en el óptimo contenido de humedad y finalmente presentó una disminución en la máxima densidad seca conforme se iban adicionando los porcentajes de dichos materiales. Finalmente se concluye que se puede mejorar física y mecánicamente la subrasante con la adición óptima del 9% de ceniza de Ichu o ceniza de hoja de coca respectivamente, considerando como mejor material estabilizante desde un punto de vista técnico a la ceniza de hoja de coca.

**Palabras clave:** Estabilización de suelos, ceniza de Ichu, ceniza de hoja de coca, capacidad de soporte, resistencia a la compresión, subrasante.

## ABSTRACT

The purpose of this investigation was to evaluate to what extent the addition of ichu ash and coca leaf ash influence the mechanical properties of the subgrade, Puno 2022. The methodology used was quantitative, quasi-experimental design and explanatory scope. The population is the Maravillas - Vilcapata neighborhood road of the district of San Miguel, Province of San Román, the sample in this study were 4 pits of 1.5 m depth at kilometers 2+750, 3+250 4+500, 5+750 . For its development, the tests of granulometry, consistency limits, modified proctor, resistance to simple compression and CBR of the extracted samples were carried out, as well as control groups with additions of Ichu ash and coca leaf ash at 0%, 3%, 6% and 9% respectively. The results of the investigation showed that as the dosage of Ichu ash and coca leaf ash increases, respectively, increases in the resistance to simple compression and in the resistance of the CBR support capacity are observed, as well as an increase in the optimal moisture content and finally presented a decrease in the maximum dry density as the percentages of said materials were added. Finally, it is concluded that the subgrade can be physically and mechanically improved with the optimal addition of 9% of Ichu ash or coca leaf ash respectively, considering coca leaf ash as the best stabilizing material from a technical point of view.

**Keywords:** Soil stabilization, Ichu ash, coca leaf ash, bearing capacity, compressive strength, subgrade.

## I. INTRODUCCIÓN

El distrito de San Miguel forma parte de la provincia de San Román, Puno, y se encuentra en pleno crecimiento, tiene una población de 62463 habitantes y se encuentra a 3842 m.s.n.m. El suelo presenta algunas áreas con hundimientos o deformaciones, esto debido a las temperaturas cambiantes y la lluvia. En tal sentido, el ingeniero debe asegurarse que el suelo sea estable.

En nuestro **continente** los ingenieros se encuentran investigando sobre cómo mejorar las propiedades de la subrasante. Según *Firoozi et al. (2017)*, existe suelo inadecuado en todas partes, las técnicas de mejoramiento del suelo se concentran en reemplazar el suelo problemático con un suelo adecuado. Sin embargo, debido al alto costo asociado con esta práctica, es necesario considerar otras opciones.

En nuestro **país** tenemos variedades de suelos, como lo son la selva, la sierra y la costa, cada una con diferentes propiedades en sus suelos. Peor aún la región de Puno cuenta con zonas de altura y selva, y en nuestro estudio es en zona alta con suelos inestables y deficientes. Para solucionar este problema se propone el uso de materiales para mejorar esta condición del suelo.

Un suelo puede estabilizarse para aumentar su estabilidad volumétrica, su resistencia, permeabilidad, durabilidad y sensibilidad al agua. Es necesario evaluar el rendimiento de la técnica en el laboratorio y sobre el terreno. Aprovechar los suelos de mala calidad evitando su extracción y transporte a vertederos, mejorando su resistencia a fuerzas erosivas como las heladas, permitiendo transitar por terrenos intransitables y obteniendo una base sólida para el firme de las infraestructuras lineales que trabajan estructuralmente con él.

Según el Ministerio de economía y finanzas (2015), la superficie acabada de la carretera en el nivel de desmonte y terraplenado se conoce como subrasante, y es sobre esta superficie sobre la que se fija la estructura del firme, que luego se cubre con la construcción del pavimento, que se apoya directamente en la subrasante, que también es un componente de la misma.

En tierras cercanas a nuestra población de estudio podemos encontrar bastante ichu y coca. El ichu es abundante en esta zona y es utilizado para la elaboración de adobes, pues les otorga mayor resistencia, estos adobes son comunes en

nuestra localidad, y la coca es propia de nuestra región, la cual también posee atributos como la presencia de calcio en sus propiedades.

Actualmente no existen investigaciones sobre la adición de ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca y su efecto en las subrasantes, por lo que existe una iniciativa que permita agregar estos elementos naturales para el mejoramiento de los suelos, con el fin de conocer el comportamiento de esta, en las características mecánicas de la subrasante que se evaluará en la vía Maravillas - Vilcapata en el distrito de San Miguel provincia de San Román.

Sobre la base de lo anterior, podemos identificar el **problema general** ¿De qué manera influye la adición de ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca en la subrasante, Puno 2022? De igual forma se formula los **problemas específicos**: PE1: ¿Cómo influye la adición de ceniza de ichu de 3%, 6% y 9% en la resistencia a la compresión simple de la subrasante?; PE2: ¿Cómo influye la adición de ceniza de hoja de coca de 3%, 6% y 9% en la resistencia a la compresión simple de la subrasante?; PE3 : ¿Cómo influye la adición de ceniza de ichu de 3%, 6% y 9% en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante?; PE4: ¿Cómo influye la adición de ceniza de hoja de coca de 3%, 6% y 9% en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante?

**Teóricamente** la adición de CI y CHC mejora la subrasante y garantiza el espesor de la carpeta de rodadura, **Técnicamente** hablando, nuestra investigación analiza los efectos de la adición de ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca al suelo de la subrasante para su uso en infraestructuras viales en la ciudad de Puno. **Socialmente**, la población requiere de carreteras para transportar sus productos agrícolas, en la actualidad hacen uso de burros y llamas para el transporte de sus productos hacia la ciudad. En términos **ambientales** debemos de mencionar que el cultivo de coca produce cansancio en la tierra y hace que esa zona de cultivo sea pobre o tierra mala, y el ichu impide el crecimiento de otras plantas, por lo tanto, el uso de este agregado beneficia la subrasante.

Como **objetivo general** se tiene: Determinar de qué manera influye la adición de ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca en la subrasante, Puno 2022. Asimismo, como **objetivos específicos**: OE1: Determinar la influencia de la adición de ceniza

de ichu de 3%, 6% y 9% en la resistencia de compresión simple de la subrasante; OE2: Determinar la influencia de la adición de ceniza de hoja de coca de 3%, 6% y 9% en la resistencia de compresión simple de la subrasante; OE3: Determinar la influencia de la adición de ceniza de ichu de 3%, 6% y 9% en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante; OE4: Determinar la influencia de la adición de ceniza de hoja de coca de 3%, 6% y 9% en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante.

Con lo mencionado líneas arriba se propuso como **hipótesis general**: La adición de ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca influye positivamente en la subrasante. Así como, las **hipótesis específicas**, H1: La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de ichu influye en la resistencia de compresión simple de la subrasante; H2: La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de hoja de coca influye en la resistencia de compresión simple de la subrasante; H3: La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de ichu influye en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante; H4: La adición de 3%, 6% y 9% de ceniza de hoja de coca influye en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante.

## II. MARCO TEÓRICO

La variable ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca poseen propiedades como la presencia de calcio en la coca y el ichu tiene presencia en la construcción de adobe, por lo que se asume que puede mejorar las propiedades mecánicas de la subrasante, es por ello que analizamos los siguientes antecedentes:

En Ecuador localidad de Ambato, Cañar (2017) realizó un análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos utilizando ceniza de carbón, cuyo **objetivo** fue estabilizar dos suelos mediante el uso de ceniza de carbón. Añadió ceniza de carbón para estabilizar un suelo arcilloso cuyos resultados fueron, con un agregado de 25% de ceniza de carbón se obtuvo un CBR de 10.90%, **la metodología de investigación** fue de tipo experimental, descriptivo y explicativo, y concluye que el agregado mejora la resistencia pero que no es suficiente la mejora y que se tendrá que buscar otros medios para estabilizar un suelo.

En Colombia, López y Rivera (2019), en su tesis evaluaron el mejoramiento de la subrasante con la ceniza de cascarilla de arroz, en el área de la ciudad de Ibagué para ver su resistencia al corte sin drenaje, teniendo como **objetivo** evaluar la resistencia al corte no drenada de un suelo fino tratado con adición de diferentes contenidos de ceniza de cascarilla de arroz, cuyos resultados mostraron que en una dosificación de 6% y 10% tienen una resistencia a la compresión simple de 5.21 kg/cm<sup>2</sup>. A 56 golpes, con aumento del 247%. **Metodología de la investigación** usada fue de tipo experimental, y concluyo que las propiedades de la subrasante mejoran cuando se agrega el compuesto en cantidad adecuada.

En Perú en la ciudad de Cusco Delgado y Mormontoy (2021) en su tesis "Estabilización de suelos arcillosos con adición de ceniza de mazorca de maíz y cal". Cuyo **objetivo** fue Determinar la medida en que influye la adición de cal y ceniza de mazorca de maíz en la estabilización de suelos, en donde en su experimento optimo añade un 5% de cal y un 3% de CMM, cuyo resultado muestra un CBR de 12.84% en donde se observa un aumento del 30% de incremento con respecto al suelo en estado inicial. **La Metodología de investigación**, considerada fue el enfoque cuantitativo, de tipo experimental, de nivel descriptivo correlacional.

En Perú en la ciudad en Cajamarca Gálvez y Santoyo (2019) en su tesis

“Estabilización de suelos cohesivos a nivel de subrasante con ceniza de cáscara de arroz” plantea como **objetivo** determinar la influencia de la adición de ceniza cascara de arroz en la subrasante y la **metodología de investigación** que realiza es experimental, los investigadores añaden ceniza de cascara de arroz que permita una estabilización de un suelo, en la cual hizo análisis al suelo se obtiene resultado de que con una adición de ceniza al 3% obtiene CBR de 6.68%, al 10% obtiene un CBR de 10.93%, y para el 15% un CBR de 13.77%, se concluye que con la adición de este material se puede mejorar un suelo.

En la región Puno, distrito de san Miguel, Yucra (2022) en su tesis “Estabilización de suelos con ceniza de cañihua para subrasantes de vías no pavimentadas” plantea como **objetivo** estabilizar los suelos con cenizas de cañihua, **metodología** utilizada es experimental, utiliza ceniza de cañihua para estabilizar suelos en donde realiza raciones al 4%, 8% y 12% obteniendo resultado de CBR de 10.20%, 11.50% y 14.70% respectivamente, concluye como la mejor dosis a un agregado al 12% de ceniza de cañihua mejora la subrasante.

En la región Puno, distrito de Caracoto, Almanza y Eros (2022) en su tesis “Ceniza de ichu en la estabilización del suelo de una trocha carrozable a nivel de subrasante, Caracoto 2022”, tiene como **objetivo** mejorar la estabilidad del suelo en una trocha carrozable adicionando cenizas de ichu en 4%, 7% y 10%. Como **metodología de investigación** utiliza la investigación experimental, añade ceniza ichu como material para estabilizar un suelo, dio como resultado que al agregar 4% de ceniza de ichu se obtiene un CBR de 5.7%, con una adición del 7% se tiene un CBR de 14.63%, con adición del 10% un CBR de 12.86%. en conclusión, la adición de ceniza de ichu contribuye positivamente en la estabilización de un suelo.

Para la fundamentación teórica se utilizarán las siguientes definiciones: Limite líquido en adelante (LL), Limite plástico (LP), Índice de plasticidad (IP), granulometría, proctor modificado, máxima densidad seca (MDS), contenido óptimo de humedad (OCH), resistencia a la compresión simple (RCS), Resistencia a la capacidad de soporte (CBR), subrasante, propiedades mecánicas de la subrasante, ichu y hoja de coca.

Según Afrin (2017) menciona que se puede estabilizar un suelo mediante el agregado de sustancias y así el suelo obtenga mayor utilidad.

Por otro lado, Budhu (2020) habla sobre la estabilización de un suelo y que realizarlo es un beneficio pues permite disminuir el IP y que la resistencia se incremente.

Por consiguiente, el uso de material orgánico influye en la resistencia de ciertos materiales empleados en la construcción por lo que iniciamos investigación con la adición ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca para mejorar la calidad de un elemento como lo es la subrasante.

Gámez (2017) en su tesis define que el suelo es un material poroso formado por partículas minerales de naturaleza variada, y por consiguiente de tamaños variados, esta distribución de tamaños determina sus propiedades, y la existencia de poros en un suelo posibilita un alto grado de humedad en ese suelo. Cuantitativamente en función del tamaño las partículas del suelo se dividen en gravas con un diámetro  $d \geq 2\text{mm}$ ., arenas con  $D \geq 0.07\text{ mm}$  y  $D < 2\text{ mm}$ ., limos para partículas con  $D \geq 0.002\text{mm}$  y  $d < 0.07\text{mm}$ . y arcillas con  $D < 0.002\text{ mm}$ .

La presencia o no de estos elementos determina las propiedades de los suelos, por ejemplo, la presencia de arcillas determina si un suelo es cohesivo o no, la cantidad de limos y arcillas muestra las propiedades plásticas. En función de la humedad que pueda tener un suelo se define su estado de consistencia

**Figura 1.** Estratos de un suelo



*Nota. La imagen representa los estratos del suelo, proporcionada por (geoplaneta, 2022)*

Leal y Gámez (2017) define al límite líquido como el contenido de humedad cuando a partir del cual un suelo se comporta como un suelo viscoso, y se determina con el ensayo de casa grande empleando la cuchara de casa grande, por otro lado, el

límite plástico es el contenido de humedad por debajo de la cual un suelo se comporta como un sólido, se realiza haciendo cilindros con el material y el índice de plasticidad es la diferencia entre el LL y el LP.

Sobre la mejora de un suelo Hall y Keikhaei (2012) menciona: un suelo mejorado acelera el trabajo y disminuye la cantidad de materiales, el suelo obtiene resistencia, con esta tecnología los tratamientos superficiales renderizados pueden reducirse o eliminarse, el uso del cemento como estabilizador es muy costoso, en algunos lugares puede ser difícil encontrar o costoso en transporte.

Las consideraciones para mejorar un suelo según Leal et al. (2012) dice que se debe utilizar materiales de la zona para estabilizar un suelo para evitar gastos de transporte. El material se puede mantener sin dejar espacio para el deterioro a pesar de influir en los factores ambientales gracias a todos los procesos de estabilización, que se consideran resistencias con condiciones establecidas. Por último, pero no menos importante, discutiremos los diferentes tipos de mejoramiento del suelo que son factibles si se llevan a cabo de manera exitosa.

Leal et al. (2012) dice que los conceptos elegidos en estabilización, plasticidad, distribución granulométrica, rozamiento interno o colapso y aglomeración de partículas dependen de otros materiales agregados al terreno.

Para un mejoramiento de suelo térmico – eléctrico se produce mediante tratamientos eléctricos y térmicos específicos, son simplemente demasiado caros para ser prácticos y no se pueden especificar con productos adicionales.

Leal et al. (2012) dice que generalmente, los vacíos y el agua en los suelos afectan a los dos primeros (fricción interna y cohesión), que esencialmente ayudan a resistir fracturas y desplazamientos. Demasiados vacíos dan como resultado una pérdida de estabilidad en los suelos. En todos los tipos de suelo donde ocurre este proceso, la estabilización es un proceso que contribuye a la fricción interna, la cohesión, la plasticidad, la inteligibilidad o la retención

Según MTC (2014) la subrasante debe tener excelentes condiciones para soportar peso y se hace a partir de un suelo que ha sido elegido por sus cualidades y compactado en capas.

Montejo (1998) expresa que la subrasante es una capa que debe tenerse en cuenta

para determinar el espesor del pavimento.

Para Font (1982) el ichu es el término para la formación de pastos de la puna y otras planicies altiplánicas, principalmente *stipa ichu*. Es de Perú y Bolivia y las cadenas montañosas que también se incluyen en los tipos de vegetación.

**Figura 2.** *Ichu*



*Nota.* La imagen representa al ichu, proporcionada por (olasperú, 2022)

Según Academia de la lengua quechua (2005) ichu es una gramínea que se encuentra en las praderas andinas.

El ichu es conocido en nuestra zona como un material que permite endurecer la tierra, claro ejemplo tenemos al adobe.

De innovación (2018) dice que *erythroxyllum* es el nombre científico de la coca, solo crece en las selvas amazónicas del interior de este continente. Debido a su larga historia de uso en las culturas andinas como medicina comercial, analgesia otras formas.

**Figura 3.** *Hoja de coca*



*Nota.* La imagen representa la hoja de coca, proporcionada por (andeanwingshotel, 2022)

Las características físicas determinan la resistencia de un suelo, el estado físico de

un suelo también afecta que tan bien drena y puede retener agua.

Whitlow (1994) menciona que la resistencia al suelo es el responsable de cuando se carga un elemento, este suelo no debe alterarse.

Braja (1985) dice que la clasificación de suelos, debido a nuestra ingeniería, hemos desarrollado nuevos sistemas de clasificación para ellos, y cada uno de estos sistemas tiene una plétora de aplicaciones y justificaciones. Los siguientes AASHTO SUCS y por tamaño de partícula son sistemas de clasificación de suelos actualmente utilizados.

La resistencia a la compresión simple permite obtener un valor de carga última del suelo, es una prueba análoga al ensayo de compresión triaxial en condiciones no drenada y no consolidada, ayuda a predecir con bastante aproximación el comportamiento de una arcilla ante el efecto de las cargas, las normas que rigen el ensayo son las ASTM D-2166 y AASHTO T-208, permite determinar el parámetro de resistencia no drenada.

Resistencia a la capacidad de soporte, se refiere al ensayo CBR para medir la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo para evaluar la calidad de un terreno.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **3.1.1. Enfoque de la investigación**

El enfoque de investigación es cuantitativo, según Ñaupas et al. (2014) se usan datos numéricos para el contraste de hipótesis.

##### **3.1.2. Tipo de investigación**

La presente es una investigación aplicada, Según Neill y Cortez (2017) considera las aplicaciones prácticas a partir de los conocimientos que se prevé adquirir, y porque está íntimamente relacionado con la investigación básica, cuyos resultados teóricos permiten el surgimiento de una variedad de aplicaciones prácticas.

También es de tipo experimental porque permite obtener el efecto de la adición de ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca las propiedades mecánicas de la subrasante con la pretensión de solucionar un problema.

##### **3.1.3. Diseño de investigación**

El diseño es cuasiexperimental, según Rodríguez, Jordi y Roquet (2009) dice que es experimental por la elección de agentes de estudio no es al azar, sino que se determinan en función del cumplimiento de criterios específicos.

Para los ensayos se ha determinado el CBR mediante la prueba PDC cada 250 metros, obteniéndose 17 CBRs de las cuales se extrae 4 CBRs más bajos para fines de investigación con adiciones de ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca con dosificaciones variadas.

#### **3.2. Variable y operacionalización**

**VI 1:** Ceniza de ichu (CI)

**Definición conceptual:** Es el termino para la formación de pastos en la puna y otras planicies altiplánicas, principalmente Stipa ichu. Es de Perú y Bolivia, y las cadenas montañosas, también se incluyen en los tipos de vegetación.

**Definición operacional:** La cantidad de ceniza de ichu que se agrega al suelo como suplemento tiene como objetivo mejorarlo.

**Dimensión:** dosificación.

**Indicadores:** 0%, 3%, 6% y 9% de CI

**Escala de medición:** Razón.

**VI 2:** Ceniza de hoja de coca (CHC)

**Definición conceptual:** La hoja de coca ha sido venerado durante mucho tiempo en las culturas andinas, así como para la salud, la civilización del imperio inca que era más poderosa en Perú dependería de él para el poder y el control

**Definición operacional:** La cantidad de ceniza de hoja de coca añadida como aditivo del suelo, que tiene como objetivo mejorarlo, es lo que determina qué tan bueno será el suelo.

**Dimensión:** dosificación.

**Indicadores:** 0%, 3%, 6% y 9% de CHC

**Escala de medición:** Razón.

**VD:** Subrasante.

**Definición conceptual:** Se conoce como mejora geomecánica cuando se mejoran las características del suelo.

**Definición operacional:** Ensayo RCS y CBR

**Dimensión:** resistencia a la compresión simple (RCS). Y resistencia a la capacidad de soporte (CBR)

**Indicadores:** Proctor modificado (MDS y OCH)

**Escala de medición:** Razón.

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

#### **3.3.1. Población**

La población de estudio corresponde al camino Maravillas – Vilcapata de San Miguel.

#### **3.3.2. Muestra**

La muestra corresponde a la progresiva 2+000 al 6+000, y con 4 calicatas para su estudio las cuales son las más críticas del tramo, y están en la progresiva 2+750, 3+250, 4+500 y 5+750.

#### **3.3.3. Muestreo**

Para el muestreo se utilizó el ensayo de penetración dinámica de cono (PDC) para determinar las progresivas donde se realizó las calicatas. El muestreo es no probabilístico, se recogió 4 muestras de las zonas más afectadas, como se muestra en la tabla 1, cada muestra tenía un peso superior a los 60 kg.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Neill y Cortez (2017) hacen referencia a ellos como una herramienta para que el investigador recopile y almacene datos pertinentes sobre las variables. Se emplearon fichas técnicas estandarizadas de laboratorio como instrumento de recolección de datos para probar la resistencia.

La técnica utilizada fue la observación directa que consiste en obtener datos a partir de observaciones porque el objeto de estudio es inanimado, no sabe que se le está observando. Esta observación nos permite obtener datos de los ensayos como la RCS y CBR para el análisis documental.

Los instrumentos son las fichas técnicas estandarizadas como CBR de suelos, proctor modificado, ensayos de granulometría, ensayos de resistencia a la compresión simple, LC, LP e IP, utilizadas por la empresa A & V Construcción e ingeniería avanzada con RUC N° 20608554804.

Para la validez del instrumento, Cabezas, Andrade y Torres (2018) dicen que las investigaciones de campo y las pruebas de laboratorio realizadas bajo las regulaciones actuales sirvieron para validar el estudio.

Se realizó una evaluación exhaustiva de los criterios por parte del juicio de expertos, para darle mayor validez. Además, se adjunta un panel fotográfico detallado de los desarrollos, procesos y pruebas.

### **3.5. Procedimientos**

#### **3.5.1. Procedimiento de recolección de la información.**

Se procede con la ubicación del terreno y el desarrollo del ensayo PDC cada 250 m. desde la progresiva 2+000 hasta la 6+000, de las cuales se obtiene 4 puntos críticos.

Se realizó 4 calicatas de 1.5 m. de profundidad y el ancho y largo de 1.20 m. en las 4 progresivas 2+750, 3+500, 4+500 y 5+750.

Se obtuvo 4 sacos de muestra, cada saco tenía un peso aproximado de 60 kg. El cual se llevó al laboratorio.

Se compra 60 kg de coca y se saca otros 60 kg. de ichu de los alrededores de la zona de estudio.

Según MTC E 107 Se procede con el análisis granulométrico para la clasificación de suelos, luego hacemos el cálculo del LL, LP e IP del suelo en estado natural.

Se obtiene el OCH y la MDS de la muestra sin alterar.

Se obtiene la RCS y CBR

Luego, se quema el ichu y la hoja de coca y se anota el peso de la ceniza.

Se pesa la ceniza en función a las dosificaciones y se agrega al material subrasante y se analiza la RCS y CBR con dosificaciones diferentes.

Se lleva al Excel el resumen de resultados para análisis de datos.

### **3.5.2. Procedimiento metodológico.**

En nuestro caso para el contraste de hipótesis hemos realizado el análisis de varianza ANOVA, que consiste en el análisis de niveles de diferentes factores, en este caso los factores serían la ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca de las calicatas al 0%, 3%, 6% y 9%.

### **3.6. Método de análisis de datos**

El procesamiento y análisis se realizó en formato. Se utilizaron procedimientos que habían sido aprobados por estándares nacionales e internacionales, y los resultados se examinaron comparándolos con los requisitos técnicos más recientes.

De manera similar a como se contrastó la hipótesis, se utilizó el análisis de varianza ANOVA luego de medir la normalidad de los datos de las variables mediante SPSS.

### **3.7. Aspectos éticos**

Se recopiló información de acuerdo a las especificaciones técnicas NTP y ASTM con la supervisión y aprobación de 3 ingenieros consultores que revisaron el calibre de la información recopilada. Adicionalmente, ningún miembro o participante de la investigación fue perjudicado y se cumplieron con las normas establecidas.

Se respetó la confidencialidad de los datos de otras investigaciones.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Zona de estudio

En la zona de investigación se realizó el ensayo de penetración dinámica de cono, en adelante PDC en las progresivas 2+000 al 6+000 cada 250 metros.

Figura 4. Zona de estudio parte 1

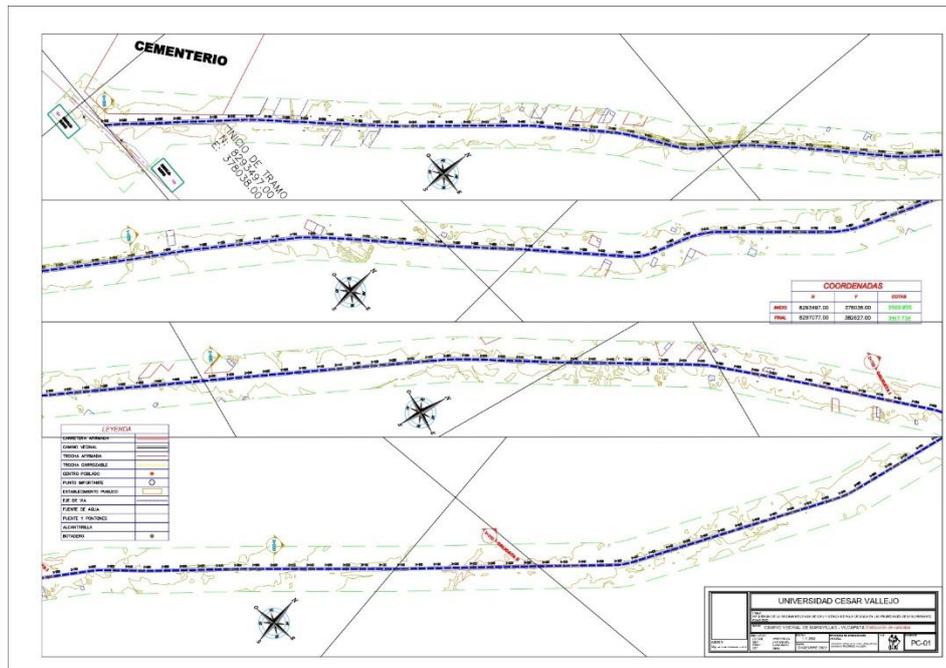
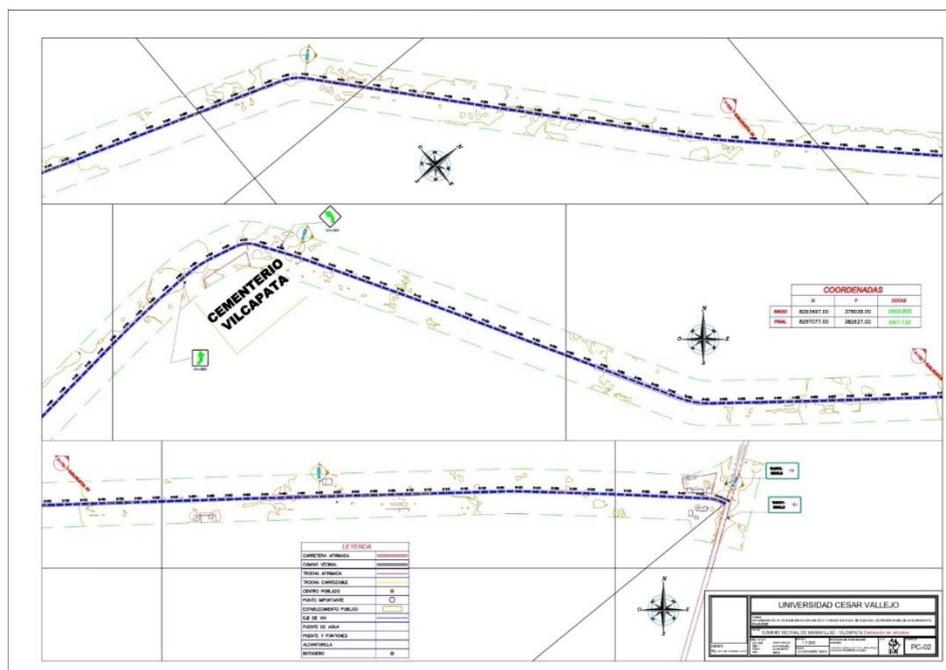


Figura 5. Zona de estudio parte 2



La figura 4 y 5 muestra el camino vecinal Maravillas – Vilcapata materia de estudio de nuestra tesis, y consta de 6.448 km. en donde se visualiza las progresivas cada 20 m. iniciando en las coordenadas N: 8293497.00, E: 378038.00 y finalizando en N: 8297077.00, E: 382627.00.

En la zona de estudio se ha analizado el CBR y los resultados son:

**Tabla 1.** *CBR en estado natural*

<b>Progresiva (KM)</b>	<b>CBR (%)</b>
2+000	13.20
2+250	10.90
2+500	12.40
<b>2+750</b>	<b>3.60</b>
3+000	14.50
<b>3+250</b>	<b>7.10</b>
3+500	13.20
3+750	18.80
4+000	16.30
4+250	22.90
<b>4+500</b>	<b>5.20</b>
4+750	20.50
5+000	19.70
5+250	12.20
5+500	18.90
<b>5+750</b>	<b>6.60</b>
6+000	9.90

La tabla 1 muestra los CBR del suelo en estado natural, de esto obtenemos 4 CBR más bajos, de las cuales nos servirá como materia de estudio en donde realizaremos nuestras calicatas para el recojo de muestras para el presente estudio. Estas progresivas en estudio son la 2+750, 3+250, 4+500 y 5+750. Con CBR de 3.6, 7.1, 5.2 y 6.6 respectivamente.

## **4.2. Ensayos con muestra sin alterar M0**

### **4.2.1. Clasificación de los suelos**

**Tabla 2.** *Propiedades de los suelos en estado natural*

Muestra	Progresiva (KM)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	% GRAVA	% ARENAS	% FINOS	S.U.C.S.	AASHTO
C – 1	2+750	44.8	21.8	23.0	12.20	27.80	60.00	CL	A-7-6 (11)
C – 2	3+250	34.8	22.2	12.6	35.40	26.70	37.90	GC	A-6 (1)
C – 3	4+500	43.7	23.8	19.8	17.90	14.22	67.89	CL	A-7-6 (12)
C – 4	5+750	37.8	22.5	15.3	26.70	34.70	38.50	SC	A-6 (2)

En la tabla 2 según S.U.C.S. la C1 se clasifica como arcilla ligera arenosa, la C2 como grava arcillosa con arena, la C3 como arcilla ligera y tipo grava con arena, C4 como arena arcillosa con grava. Según AASHTO la C1 es un suelo muy pobre, la C2 es un suelo muy bueno, la C3 es un suelo muy pobre. La C4 es un suelo bueno.

#### 4.2.2. Ensayo de proctor modificado

**Tabla 3.** *Ensayo proctor modificado*

Muestra	Progresiva (KM)	Ensayo de compactación (Proctor modificado)	
		Máxima densidad seca MDS (Tn/m <sup>3</sup> )	Óptimo contenido de Humedad OCH (%)
C – 1	2+750	1.655	24.1
C – 2	3+250	1.729	16.5
C – 3	4+500	1.573	21.7
C – 4	5+750	1.482	19.3

En la tabla 3 se aprecia que en la C1 al C4 la MDS es diferente, por lo que deducimos que el comportamiento del suelo varia, de la misma forma el OCH también es diferente en cada zona.

#### 4.2.3. Ensayo de compresión simple y CBR

**Tabla 4.** Compresión simple y CBR M0

Muestra	Progresiva (KM)	Ensayo de resistencia		
		Resistencia a la compresión simple no confinada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de soporte	
			CBR al 95% de la MDS (%)	CBR al 100% de la MDS (%)
C - 1	2+750	6.0	3.6	5.1
C - 2	3+250	8.5	6.9	9.0
C - 3	4+500	2.9	3.2	3.5
C - 4	5+750	8.3	7.0	8.3

En la tabla 4, en la compresión simple ninguna calicata supera los 18 kg/cm<sup>2</sup>, por lo cual la subrasante no se encuentra estabilizado y en relación al CBR la C1 y la C3 no superan el 6% de CBR que exige el manual de carreteras del MTC, por lo que sería suelo inadecuado, solamente las C-2 y C-4 cumplen con el CBR mínimo y serían suelos adecuados y estables.

#### 4.3. Ensayo de muestras con adiciones de ceniza de ichu

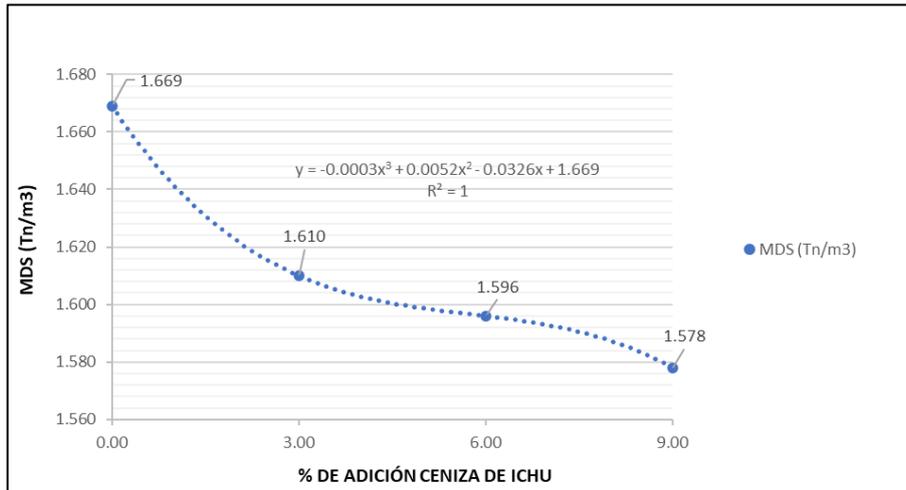
Vamos a trabajar con las C1, C3 debido a que tienen CBR menor al 6% y que por fines de investigación también nos ocuparemos de la C4 y observaremos su comportamiento.

##### 4.3.1. Ensayo de proctor modificado con adiciones de 0%, 3%, 6% y 9% de ceniza de ichu.

**Tabla 5.** Proctor modificado C1 con agregado de ceniza de ichu

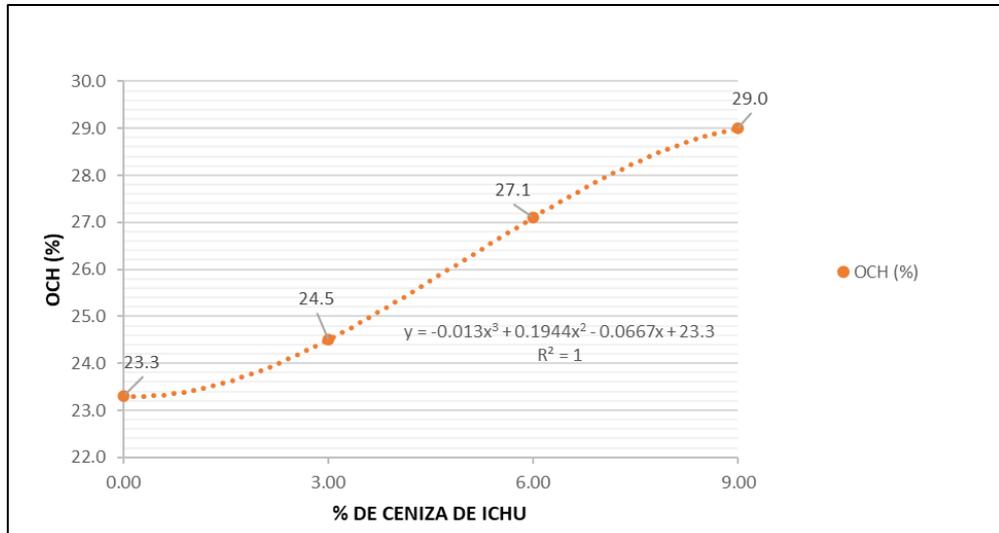
DOSIFICACIÓN CON CENIZA DE ICHU CALICATA N° 1				
IDENT.	CENIZA DE ICHU (%)	CENIZA DE ICHU (gr/m <sup>3</sup> )	MDS (Tn/m <sup>3</sup> )	OCH (%)
M0	0.0	0.0	1.669	23.3
M1	3.0	77.8	1.610	24.5
M2	6.0	155.6	1.596	27.1
M3	9.0	233.3	1.578	29.0

**Figura 6.** Comportamiento de la MDS con el % de ceniza de ichu C1



En la tabla 5 y en la figura 6 trata de la C1, y tenemos identificado el trabajo con 4 muestras: M0, M1, M2, M3, con adiciones de CI al 0%, 3%, 6% y 9% respectivamente, y vemos como la MDS va bajando mientras mayor es la adición de CI en la C1, de tal manera que con una adición de 9% de CI la MDS es igual a 1.578 tn/m<sup>3</sup>

**Figura 7.** Comportamiento del OCH con el % de ceniza de ichu C1

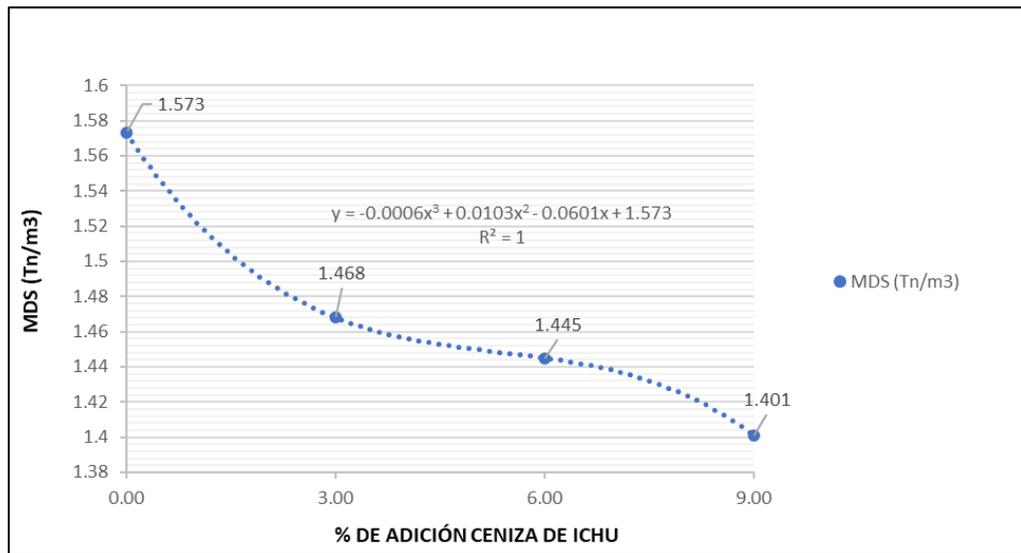


En la figura 7 se aprecia que a mayor % de CI, mayor es el OCH, resaltando que añadiendo el 9% de CI el OCH es 29%.

**Tabla 6.** Proctor modificado C3 con agregado de ceniza de ichu

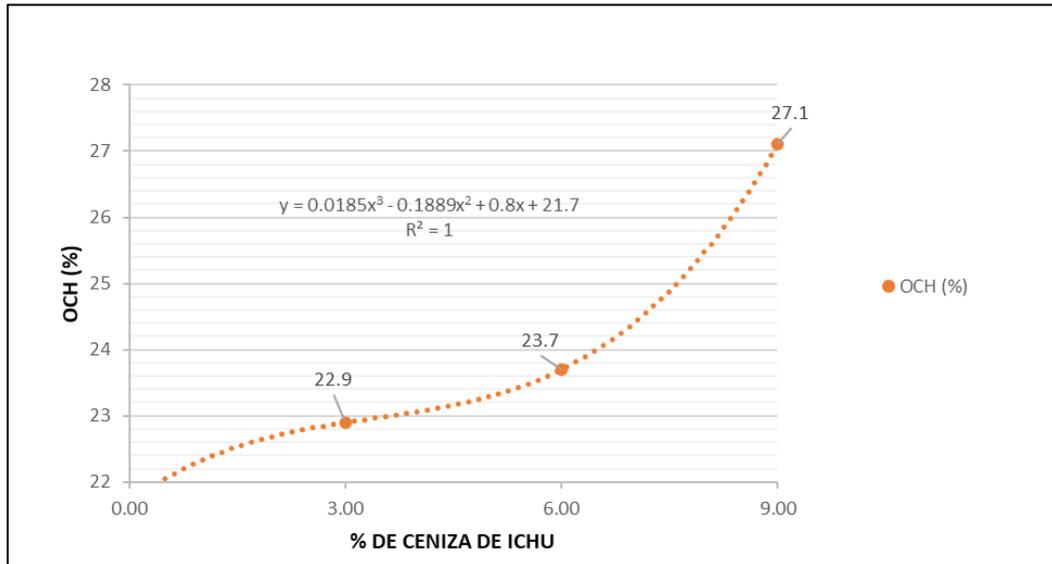
DOSIFICACIÓN CON CENIZA DE ICHU CALICATA N° 2				
IDENT.	CENIZA DE ICHU(%)	CENIZA DE ICHU (gr/m3)	MDS (Tn/m3)	OCH (%)
M0	0.0	0.0	1.573	21.7
M1	3.0	102.4	1.468	22.9
M2	6.0	204.8	1.445	23.7
M3	9.0	307.2	1.401	27.1

**Figura 8.** Comportamiento de la MDS con el % de ceniza de ichu C3



En la tabla 6 y en la figura 8 trata de la C3, y tenemos identificado el trabajo con 4 muestras: M0, M1, M2, M3, con adiciones de CI al 0%, 3%, 6% y 9% respectivamente, y vemos como la MDS va bajando mientras mayor es la adición de CI en la C1, de tal manera que con una adición de 9% de CI la MDS es igual a 1.401 tn/m<sup>3</sup>

**Figura 9.** Comportamiento del OCH con el % de ceniza de ichu C3

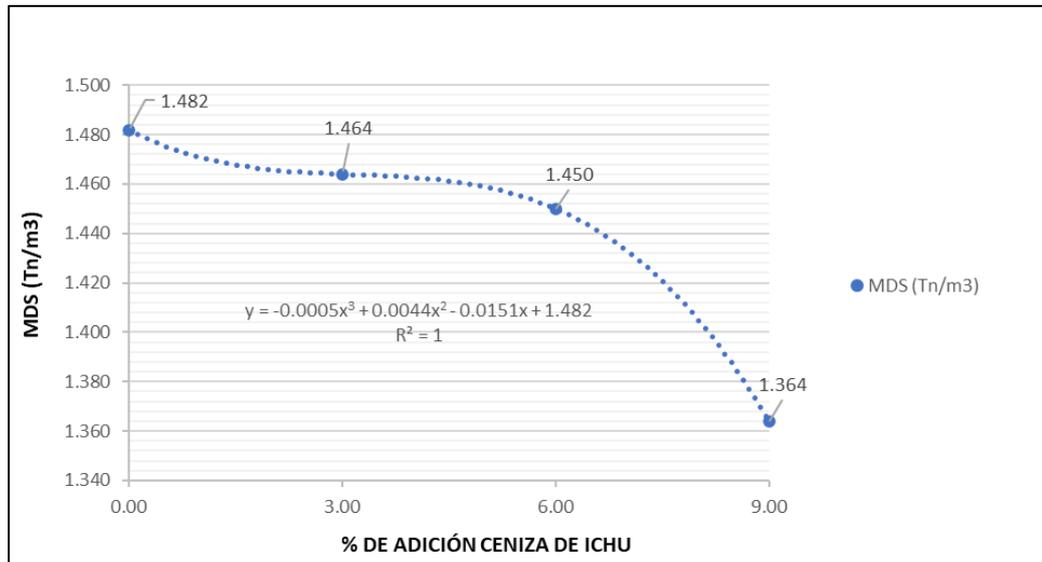


En la figura 9 se aprecia que a mayor % de CI, mayor es el OCH, resaltando que añadiendo el 9% de CI el OCH es 27.1%

**Tabla 7.** Proctor modificado C4 con agregado de ceniza de ichu

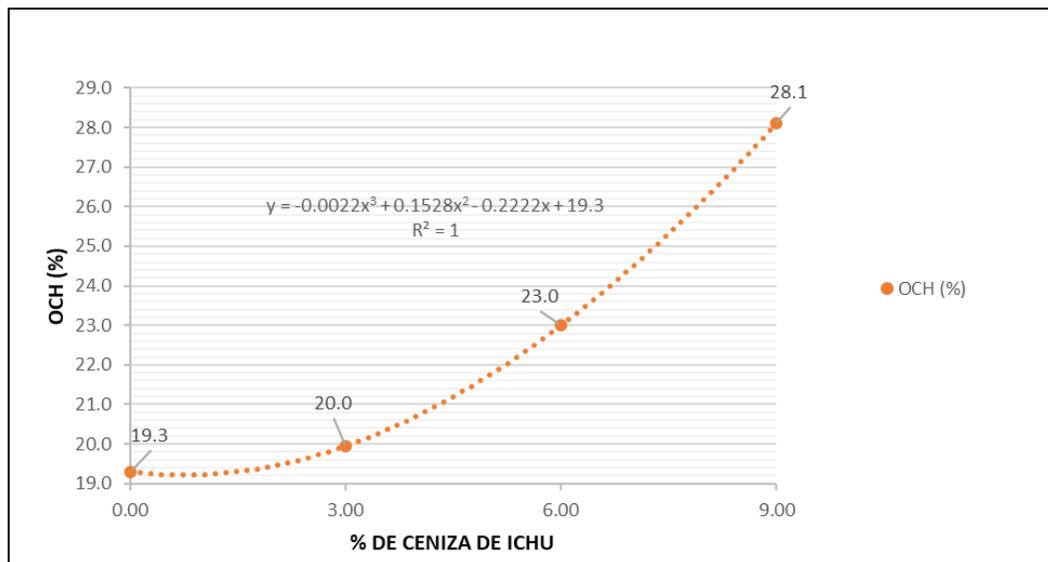
DOSIFICACIÓN CON CENIZA DE ICHU CALICATA N° 3				
IDENT.	CENIZA DE ICHU (%)	CENIZA DE ICHU (gr/m <sup>3</sup> )	MDS (Tn/m <sup>3</sup> )	OCH (%)
M0	0.0	0.0	1.482	19.3
M1	3.0	57.2	1.464	20.0
M2	6.0	114.4	1.450	23.0
M3	9.0	171.6	1.364	28.1

**Figura 10.** Comportamiento de la MDS con el % de ceniza de ichu C4



En la tabla 7 y en la figura 10 trata de la C4, y tenemos identificado el trabajo con 4 muestras: M0, M1, M2, M3, con adiciones de CI al 0%, 3%, 6% y 9% respectivamente, y vemos como la MDS va bajando mientras mayor es la adición de CI en la C1, de tal manera que con una adición de 9% de CI la MDS es igual a 1.364 tn/m3

**Figura 10.** Comportamiento de la OCH con el % de ceniza de ichu C4



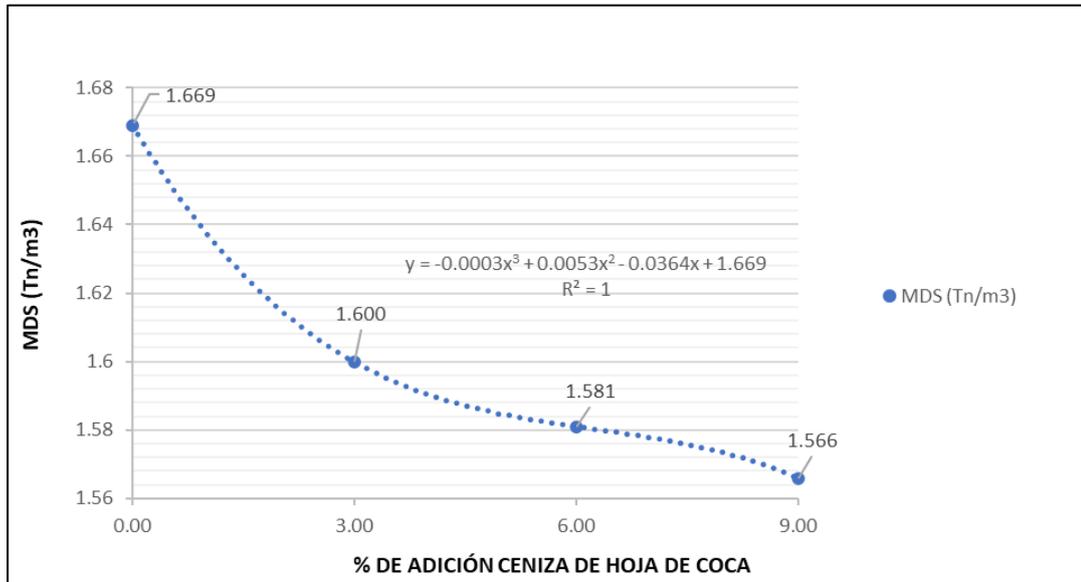
En la figura 10 se aprecia que a mayor % de CI, mayor es el OCH, resaltando que añadiendo el 9% de CI el OCH es 28.1%

**4.3.2. Ensayo de proctor modificado con adiciones de 0%, 3%, 6% y 9% de ceniza de hoja de coca.**

**Tabla 8.** Proctor modificado C1 con agregado de ceniza de hoja de coca

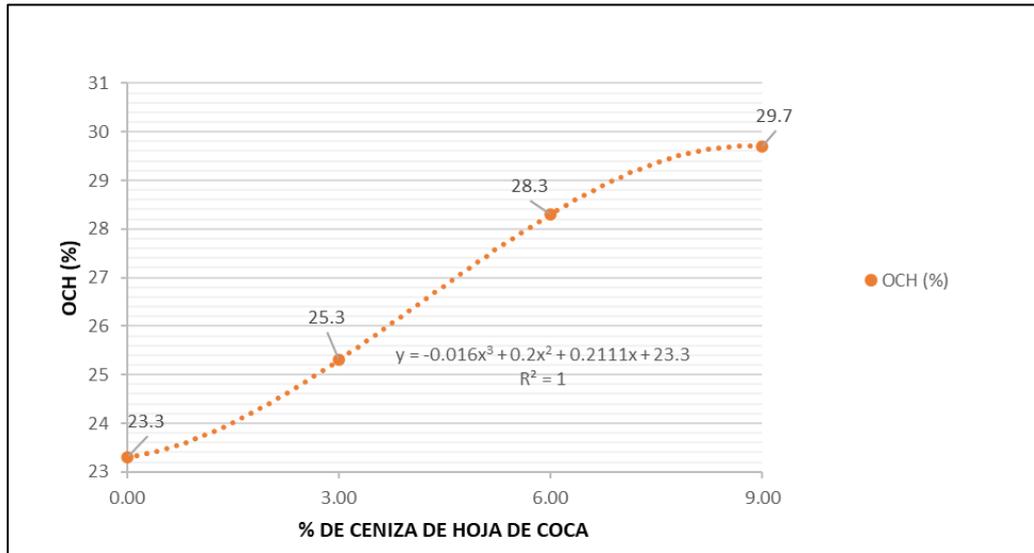
DOSIFICACIÓN CON CENIZA DE HOJA DE COCA CALICATA N° 1				
IDENT.	CENIZA DE HOJA DE COCA (%)	CENIZA DE HOJA DE COCA (gr/m3)	MDS (Tn/m3)	OCH (%)
M0	0.0	0.0	1.669	23.3
M1	3.0	116.7	1.600	25.3
M2	6.0	233.3	1.581	28.3
M3	9.0	350.0	1.566	29.7

**Figura 11.** Comportamiento de la MDS con el % de ceniza de hoja de coca C1



En la tabla 8 y en la figura 11 vemos estudios de la C1, y tenemos identificado el trabajo con 4 muestras: M0, M1, M2, M3, donde M0 es la muestra sin alterar y con el agregado de CHC al 3%, 6% y 9% pertenece a M1, M2, M3 respectivamente, y vemos como la MDS va bajando mientras mayor es la adición de CHC en la C1, de tal manera que con una adición de 9% de CHC la MDS es igual a 1.566 tn/m<sup>3</sup>

**Figura 12.** Comportamiento de la OCH con el % de ceniza de coca C1

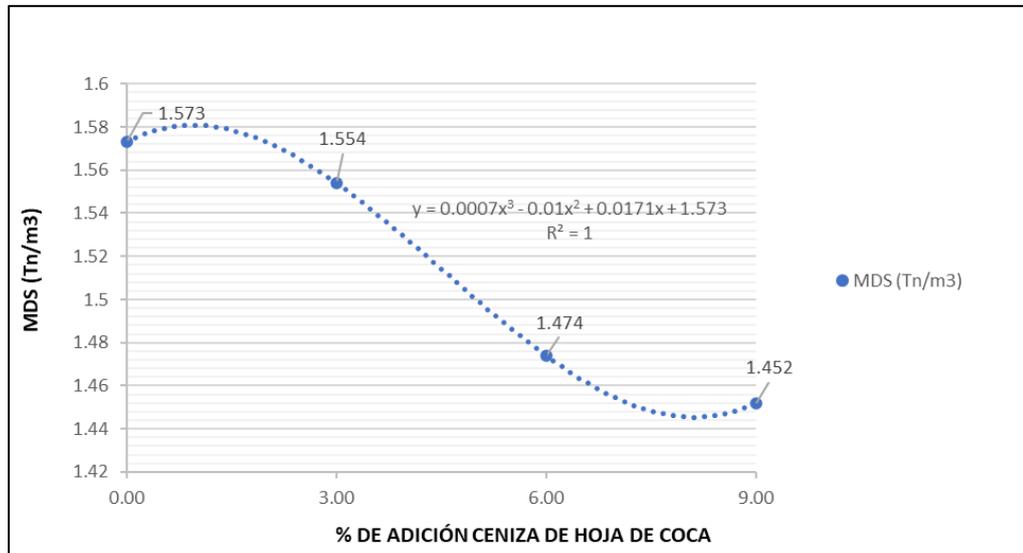


En la figura 12 se aprecia que a mayor % de CHC, mayor es el OCH, resaltando que añadiendo el 9% de CI el OCH es 29.7%

**Tabla 9.** Proctor modificado C3 con agregado de ceniza de hoja de coca

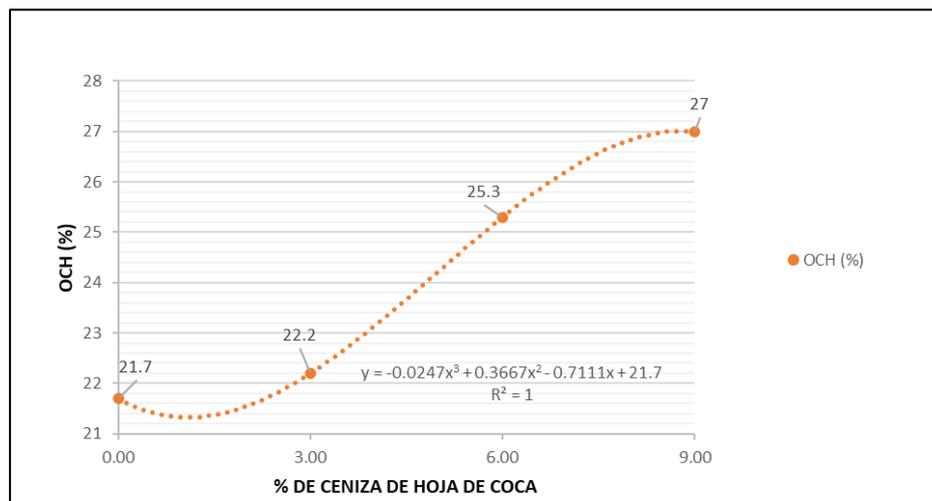
DOSIFICACIÓN CON CENIZA DE HOJA DE COCA CALICATA N° 3				
IDENT.	CENIZA DE HOJA DE COCA (%)	CENIZA DE HOJA DE COCA (gr/m3)	MDS (Tn/m3)	OCH (%)
M0	0.0	0.0	1.573	21.7
M1	3.0	102.4	1.554	22.2
M2	6.0	204.8	1.474	25.3
M3	9.0	307.2	1.452	27

**Figura 13.** Proctor modificado C3 con agregado de ceniza de hoja de coca



En la tabla 9 y en la figura 13 vemos estudios de la C3, y tenemos identificado el trabajo con 4 muestras: M0, M1, M2, M3, donde M0 es la muestra sin alterar y con el agregado de CHC al 3%, 6% y 9% pertenece a M1, M2, M3 respectivamente, y vemos como la MDS va bajando mientras mayor es la adición de CHC en la C3, de tal manera que con una adición de 9% de CHC la MDS es igual a 1.452 tn/m<sup>3</sup>

**Figura 14.** Comportamiento de la OCH con el % de ceniza de hoja de coca C3

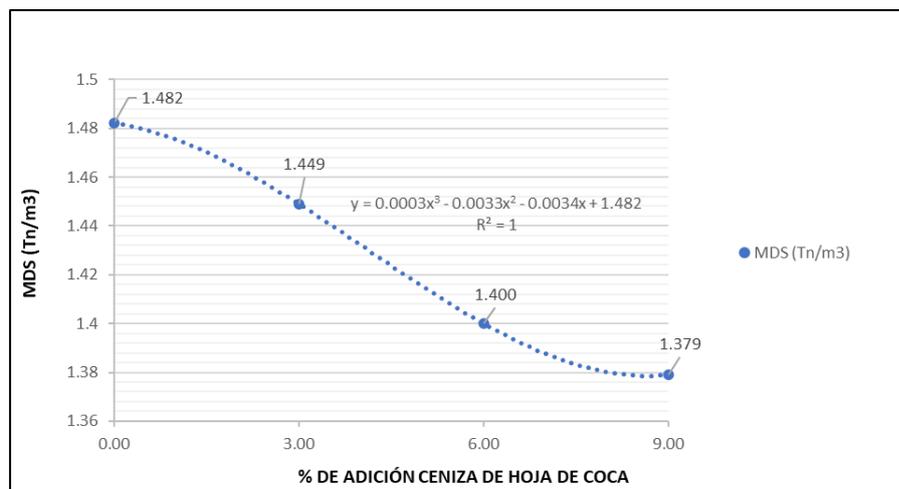


En la figura 14 se aprecia que a mayor % de CHC, mayor es el OCH, resaltando que añadiendo el 9% de CI el OCH es 27%

**Tabla 10.** Proctor modificado C4 con agregado de ceniza de hoja de coca

DOSIFICACIÓN CON CENIZA DE HOJA DE COCA CALICATA N° 4				
IDENT.	CENIZA DE HOJA DE COCA (%)	CENIZA DE HOJA DE COCA (gr/m3)	MDS (Tn/m3)	OCH (%)
M0	0.0	0.0	1.482	19.3
M1	3.0	420.0	1.449	21.9
M2	6.0	840.0	1.400	23.4
M3	9.0	1260.0	1.379	28.6

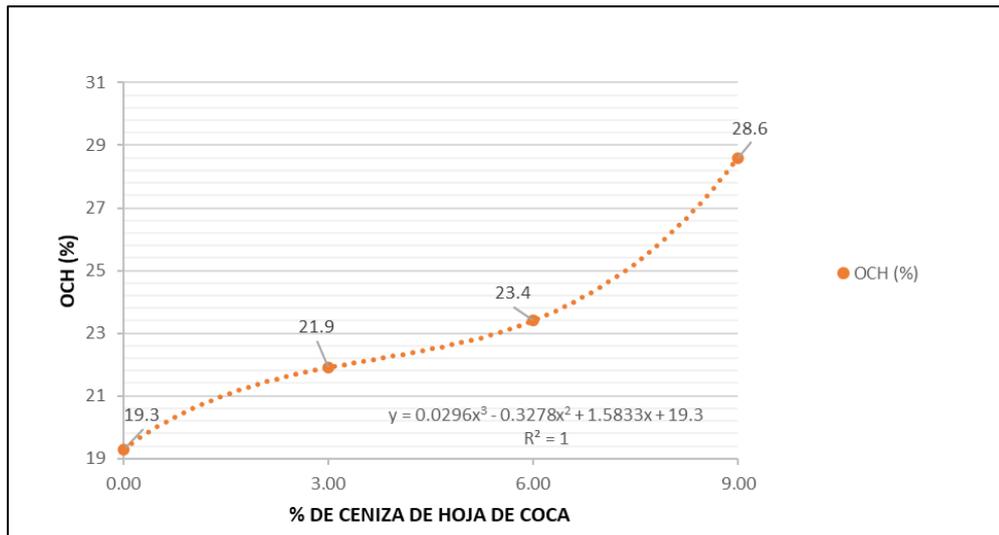
**Figura 15.** Proctor modificado C4 con agregado de ceniza de hoja de coca



En la tabla 10 y en la figura 15 vemos estudios de la C4, y tenemos identificado el trabajo con 4 muestras: M0, M1, M2, M3, donde M0 es la muestra sin alterar y con el agregado de CHC al 3%, 6% y 9% pertenece a M1, M2, M3 respectivamente, y vemos como la MDS va bajando mientras mayor es la adición de CHC en la C4, de tal manera que con una adición de 9% de CHC la MDS es igual a 1.379 tn/m<sup>3</sup>

**Figura 16**

Comportamiento de la OCH con el % de ceniza de hoja de coca C4



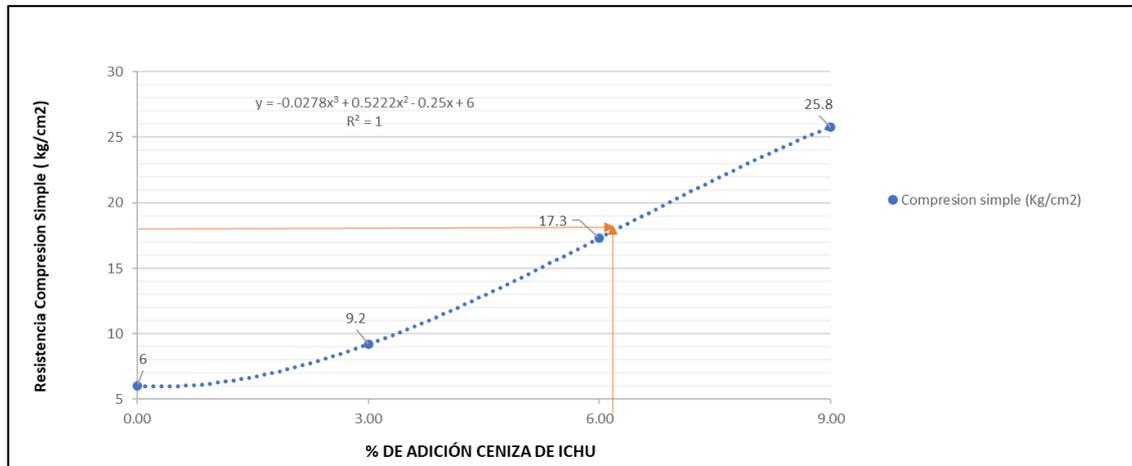
En la figura 16 se aprecia que a mayor % de CHC, mayor es el OCH, resaltando que añadiendo el 9% de CI el OCH es 28.6%

#### 4.3.3. Influencia de la adición de ceniza de ichu en la compresión simple de la subrasante.

**Tabla 11.** Ensayo de compresión simple C1 - Ceniza de ichu

DOSIFICACIÓN CON CENIZA DE ICHU CALICATA N° 1			
IDENT.	CENIZA DE ICHU (%)	CENIZA DE ICHU (gr/m3)	Compresión simple (Kg/cm2)
M0	0.0	0.0	6.0
M1	3.0	116.7	9.2
M2	6.0	233.3	17.3
M3	9.0	350.0	25.8

**Figura 17.** Comportamiento de la compresión simple de la C1 - Ceniza de Ichu

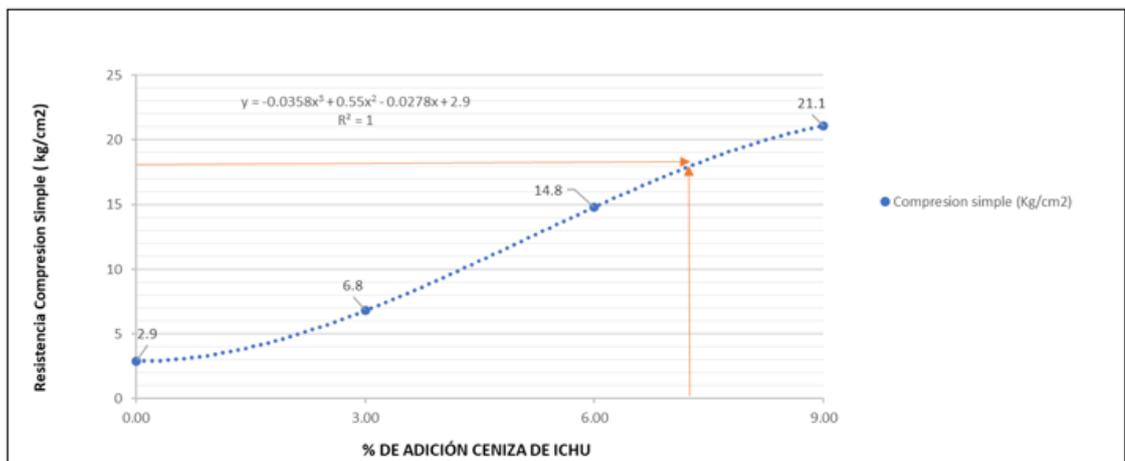


El óptimo valor para la compresión simple según el MTC debe ser mayor de 18 kg/cm<sup>2</sup>, en la tabla 11 y figura 17 se aprecia que, a mayor incremento de dosificación, mayor es la compresión, por lo tanto, la dosis óptima de CI para la C1 es 9%

**Tabla 12.** Ensayo de compresión simple C3 - Ceniza de ichu

DOSIFICACIÓN CON CENIZA DE ICHU CALICATA N°3			
IDENT.	CENIZA DE ICHU (%)	CENIZA DE ICHU (gr/m3)	Compresión simple (Kg/cm2)
M0	0.0	0.0	2.9
M1	3.0	116.7	6.8
M2	6.0	233.3	14.8
M3	9.0	350.0	21.1

**Figura 18.** Comportamiento de la compresión simple de la C3 - Ceniza de Ichu

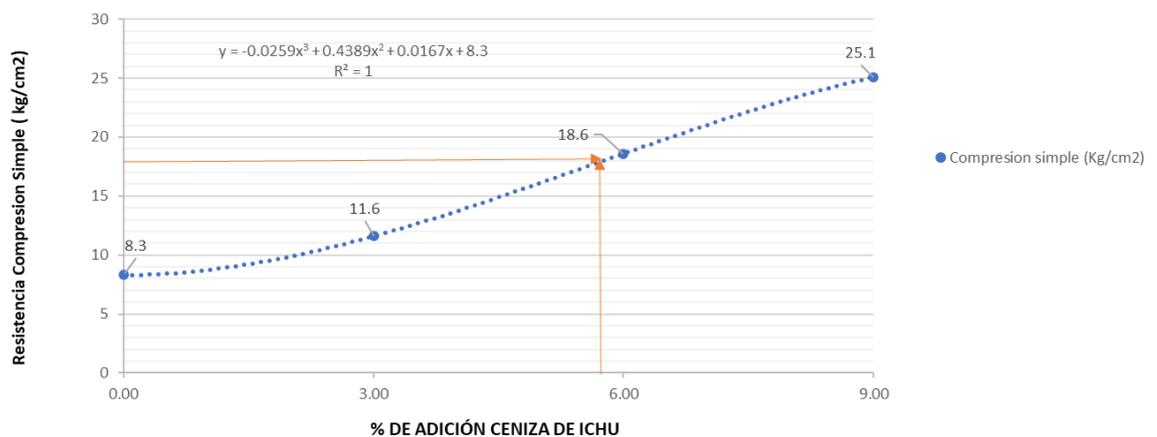


Sabemos que  $RCS > 18 \text{ kg/cm}^2$  debe cumplirse para que el suelo sea estable, en la tabla 11 y figura 17 se aprecia que, a mayor incremento de dosificación, mayor es la compresión, por lo tanto, la dosis optima de CI para la C3 es 9%

**Tabla 13.** Ensayo de compresión simple C4 - Ceniza de ichu

DOSIFICACIÓN CON CENIZA DE ICHU CALICATA N° 4			
IDENT.	CENIZA DE ICHU (%)	CENIZA DE ICHU (gr/m3)	Compresión simple (Kg/cm2)
M0	0.0	0.0	8.3
M1	3.0	116.7	11.6
M2	6.0	233.3	18.6
M3	9.0	350.0	25.1

**Figura 19.** Comportamiento de la compresión simple de la C4 - Ceniza de Ichu



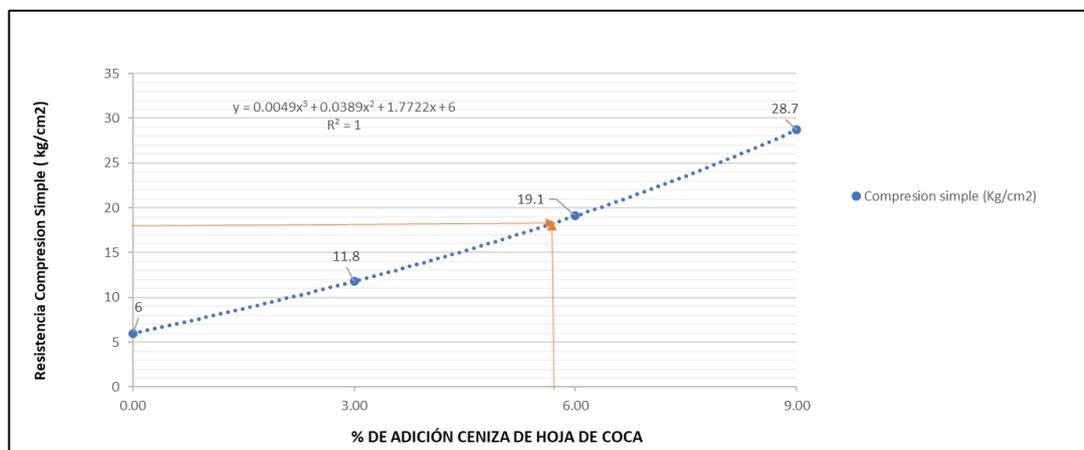
Como  $RCS > 18 \text{ kg/cm}^2$  debe cumplirse para que el suelo sea estable, en la tabla 13 y figura 19 se aprecia que, a mayor incremento de dosificación, mayor es la compresión, por lo tanto, la dosis optima de CI para la C4 es 6%

#### 4.3.4. Influencia de la adición de ceniza de hoja de coca en la compresión simple de la subrasante

**Tabla 14.** Ensayo de compresión simple C1 - Ceniza de hoja de coca

DOSIFICACIÓN CON CENIZA DE HOJA DE COCA CALICATA N° 1			
IDENT.	CENIZA DE HOJA DE COCA (%)	CENIZA DE HOJA DE COCA (gr/m3)	Compresión simple (Kg/cm2)
M0	0.0	0.0	6.0
M1	3.0	76.9	11.8
M2	6.0	153.8	19.1
M3	9.0	230.7	28.7

**Figura 20.** Comportamiento de la compresión simple de la C1 - Ceniza de hoja de coca

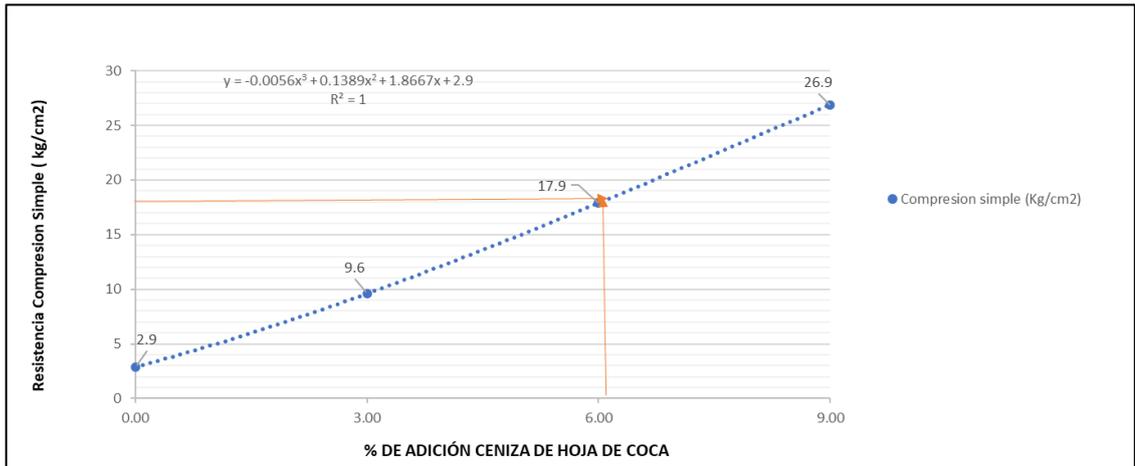


Como  $RCS > 18 \text{ kg/cm}^2$  debe cumplirse para que el suelo sea estable, en la tabla 14 y figura 20 se aprecia que, a mayor incremento de dosificación, mayor es la compresión, por lo tanto, la dosis optima de CHC para la C1 es 6%.

**Tabla 15.** Ensayo de compresión simple C3 - Ceniza de hoja de coca

DOSIFICACIÓN CON CENIZA DE HOJA DE COCA CALICATA N°3			
IDENT.	CENIZA DE HOJA DE COCA (%)	CENIZA DE HOJA DE COCA (gr/m3)	Compresión simple (Kg/cm2)
M0	0.0	0.0	2.9
M1	3.0	76.9	9.6
M2	6.0	153.8	17.9
M3	9.0	230.7	26.9

**Figura 21.** Comportamiento de la compresión simple de la C3 - Ceniza de hoja de coca

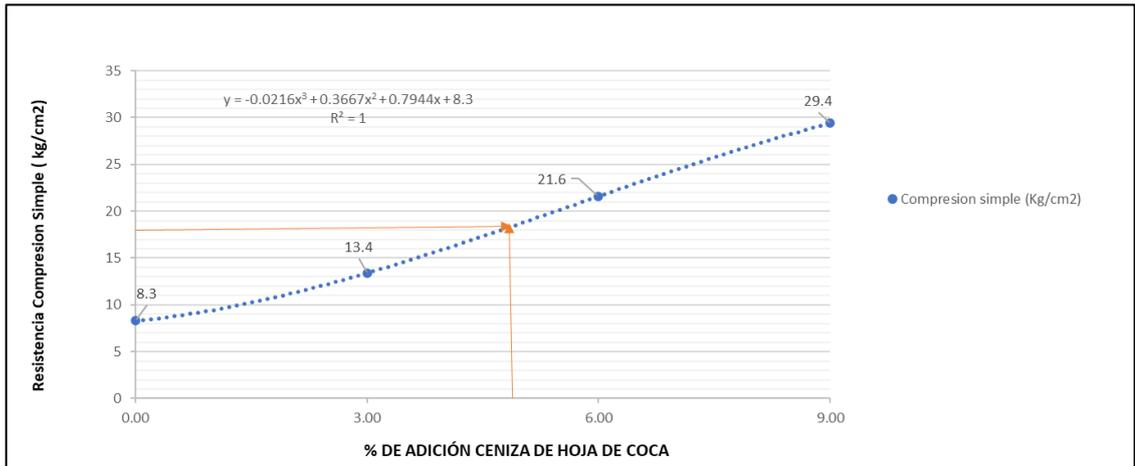


Como  $RCS > 18 \text{ kg/cm}^2$  debe cumplirse para que el suelo sea estable, en la tabla 15 y figura 21 se aprecia que, a mayor incremento de dosificación, mayor es la compresión, por lo tanto, la dosis óptima de CHC para la C3 es 9%

**Tabla 16.** Ensayo de compresión simple C4 - Ceniza de hoja de coca

DOSIFICACIÓN CON CENIZA DE HOJA DE COCA CALICATA N° 4			
IDENT.	CENIZA DE HOJA DE COCA (%)	CENIZA DE HOJA DE COCA (mlt)	Compresión simple (Kg/cm2)
M0	0.0	0.0	8.3
M1	3.0	76.9	13.4
M2	6.0	153.8	21.6
M3	9.0	230.7	29.4

**Figura 22.** Comportamiento de la compresión simple de la C4 - Ceniza de hoja de coca



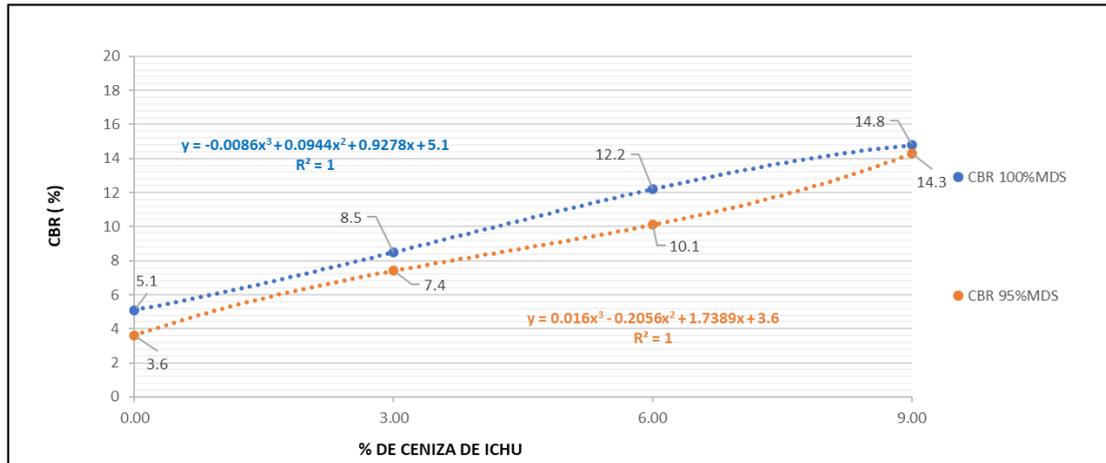
Como  $RCS > 18 \text{ kg/cm}^2$  debe cumplirse para que el suelo sea estable, en la tabla 16 y figura 22 se aprecia que, a mayor incremento de dosificación, mayor es la compresión, por lo tanto, la dosis óptima de CHC para la C3 es 6%

#### 4.3.5. Influencia de la adición de ceniza de ichu en la Resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante

**Tabla 17.** CBR con adición de CI - C1

DOSIFICACIÓN CON CENIZA DE ICHU CALICATA N° 1				
IDENT.	CENIZA DE ICHU (%)	CENIZA DE ICHU (gr/m3)	CBR 100%MDS	CBR 95%MDS
M0	0.0	0.0	5.1	3.6
M1	3.0	119.7	8.5	7.4
M2	6.0	239.3	12.2	10.1
M3	9.0	359.0	14.8	14.3

**Figura 23.** Comportamiento CBR con CI - C1

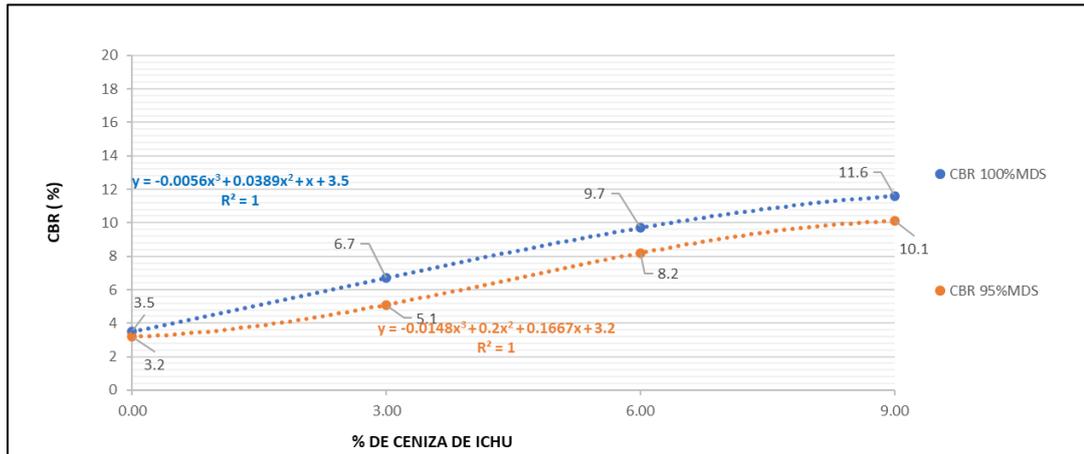


Según el MTC, para que el suelo sea considerado estable o adecuado, debe cumplir que el CBR  $\geq 6\%$ , entonces, de la tabla 17 y la figura 23 notamos un comportamiento de incremento de CBR mientras la dosis de CI sube. Cabe resaltar que en este caso con una dosis de 3% de CI ya estaría nuestro suelo estabilizado.

**Tabla 18.** CBR con adición de CI - C3

DOSIFICACION CON CENIZA DE ICHU CALICATA N° 3				
IDENT.	CENIZA DE ICHU (%)	CENIZA DE ICHU (gr/m3)	CBR 100%MDS	CBR 95%MDS
M0	0.0	0.0	3.5	3.2
M1	2.0	102.4	6.7	5.1
M2	4.0	204.8	9.7	8.2
M3	6.0	307.2	11.6	10.1

**Figura 24. Comportamiento CBR con CI - C3**

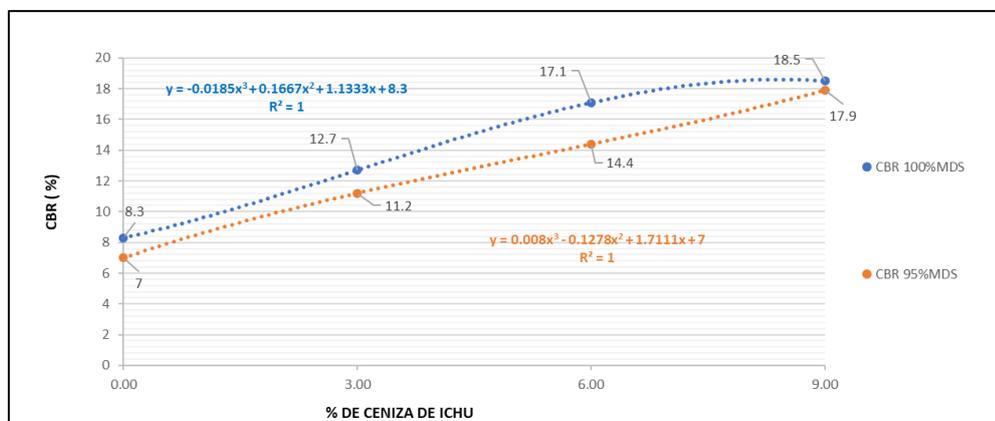


Según el MTC, para que el suelo sea considerado estable o adecuado, debe cumplir que el CBR  $\geq 6\%$ , entonces, de la tabla 18 y la figura 24 notamos un comportamiento de incremento de CBR mientras la dosis de CI sube. Cabe resaltar que en este caso con una dosis de 3% de CI ya estaría nuestro suelo estabilizado.

**Tabla 19. CBR con adición de CI - C4**

DOSIFICACIÓN CON CENIZA DE ICHU CALICATA N° 4				
IDENT.	CENIZA DE ICHU (%)	CENIZA DE ICHU (gr/m3)	CBR 100%MDS	CBR 95%MDS
M0	0.0	0.0	8.3	7.0
M1	2.0	85.8	12.7	11.2
M2	4.0	171.6	17.1	14.4
M3	6.0	257.4	18.5	17.9

**Figura 25. Comportamiento CBR con CI - C4**



Según el MTC, para que el suelo sea considerado estable o

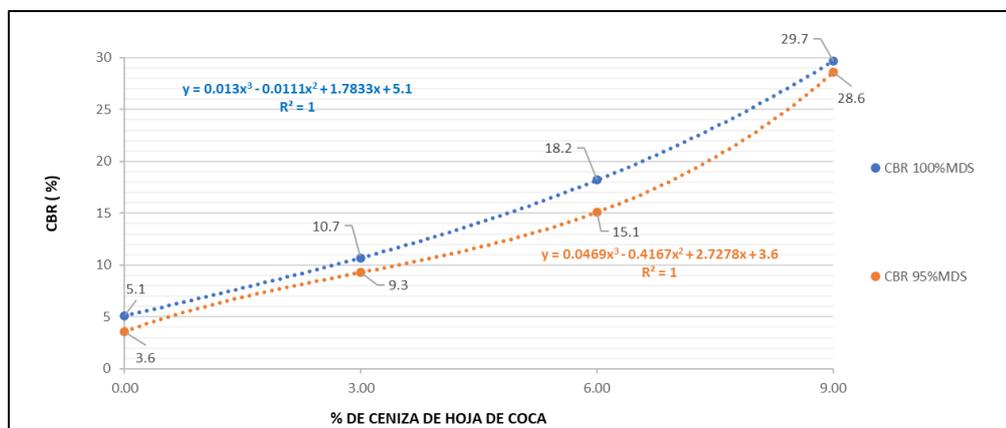
adecuado, debe cumplir que el CBR  $\geq 6\%$ , entonces, de la tabla 19 y la figura 25 notamos un comportamiento de incremento de CBR mientras la dosis de CI sube. Cabe resaltar que en este caso con una dosis de 3% de CI ya estaría nuestro suelo estabilizado.

#### 4.3.6. Influencia de la adición de ceniza de hoja de coca en la Resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante

Tabla 20. CBR con adición de CHC - C1

DOSIFICACIÓN CON CENIZA DE HOJA DE COCA CALICATA N° 1				
IDENT.	CENIZA DE HOJA DE COCA (%)	CENIZA DE HOJA DE COCA (gr/m3)	CBR 100%MDS	CBR 95%MDS
M0	0.0	0.0	5.1	3.6
M1	3.0	85.8	10.7	9.3
M2	6.0	171.6	18.2	15.1
M3	9.0	257.4	29.7	28.6

Figura 26. Comportamiento CBR con CHC - C1

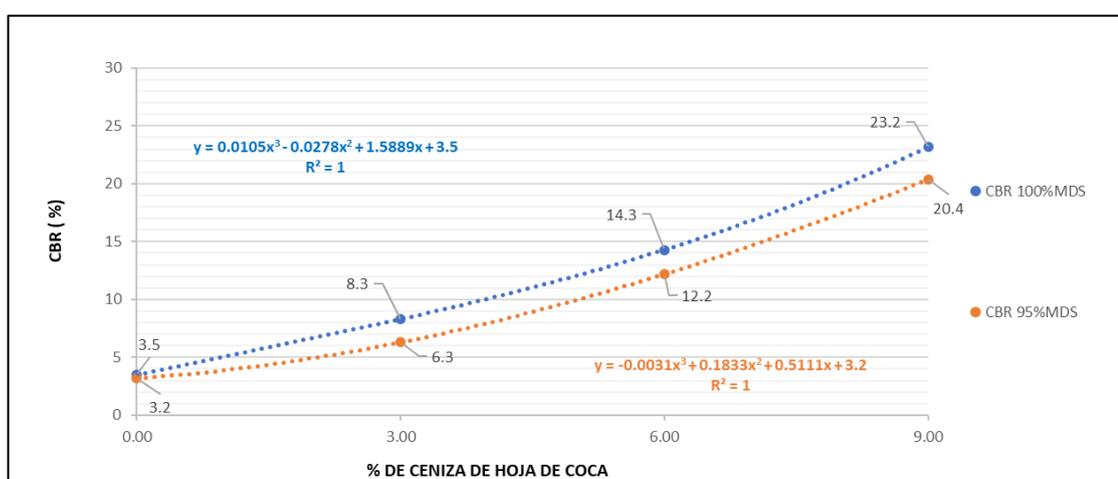


Según el MTC, para que el suelo sea considerado estable o adecuado, debe cumplir que el CBR  $\geq 6\%$ , entonces, de la tabla 20 y la figura 26 notamos un comportamiento de incremento de CBR mientras la dosis de CHC sube. Cabe resaltar que en este caso con una dosis de 3% de CHC ya estaría nuestro suelo estabilizado.

**Tabla 21.** CBR con adición de CHC - C3

DOSIFICACIÓN CON CENIZA DE HOJA DE COCA CALICATA N° 3				
IDENT.	CENIZA DE HOJA DE COCA (%)	CENIZA DE HOJA DE COCA (gr/m3)	CBR 100%MDS	CBR 95%MDS
M0	0.0	0.0	3.5	3.2
M1	2.0	374.0	8.3	6.3
M2	4.0	748.0	14.3	12.2
M3	6.0	1122.0	23.2	20.4

**Figura 27.** Comportamiento CBR con CHC - C3

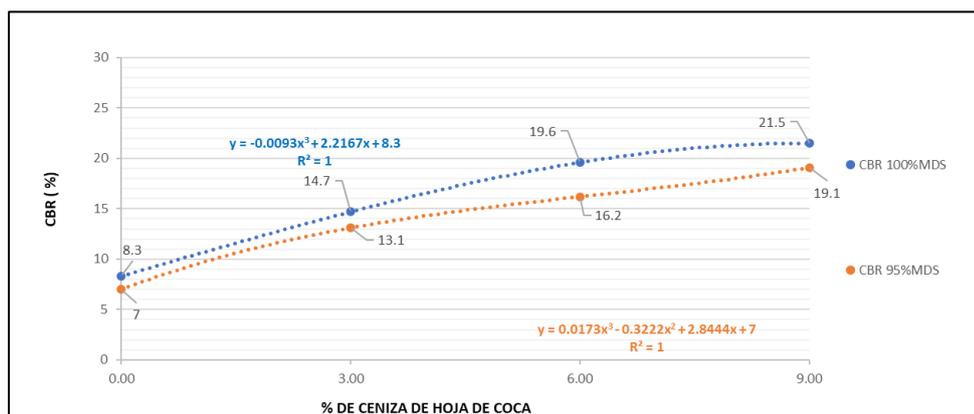


Según el MTC, para que el suelo sea considerado estable o adecuado, debe cumplir que el CBR  $\geq 6\%$ , entonces, de la tabla 21 y la figura 27 notamos un comportamiento de incremento de CBR mientras la dosis de CHC sube. Cabe resaltar que en este caso con una dosis de 3% de CHC ya estaría nuestro suelo estabilizado.

**Tabla 22.** CBR con adición de CHC - C4

DOSIFICACIÓN CON CENIZA DE HOJA DE COCA CALICATA N° 4				
IDENT.	CENIZA DE HOJA DE COCA (%)	CENIZA DE HOJA DE COCA (gr/m3)	CBR 100%MDS	CBR 95%MDS
M0	0.0	0.0	8.3	7.0
M1	2.0	85.8	14.7	13.1
M2	4.0	171.6	19.6	16.2
M3	6.0	257.4	21.5	19.1

**Figura 28.** Comportamiento CBR con CHC - C4



Según el MTC, para que el suelo sea considerado estable o adecuado, debe cumplir que el CBR  $\geq 6\%$ , entonces, de la tabla 22 y la figura 28 notamos un comportamiento de incremento de CBR mientras la dosis de CHC sube. Cabe resaltar que en este caso con una dosis de 3% de CHC ya estaría nuestro suelo estabilizado.

#### 4.4. Dosificación óptima de la CI y CHC según CBR

##### 4.4.1. Dosificación óptima de la CI según CBR

**Tabla 23.** Resumen de CBR al 95% CI

IDENT.	CENIZA DE ICHU (%)	CBR 95%MDS
Calicata C-1	0.0	3.6
	3.0	7.4
	6.0	10.1
	9.0	14.3
Calicata C-3	0.0	3.2
	3.0	5.1
	6.0	8.2
	9.0	10.1
Calicata C-4	0.0	7.0
	3.0	11.2
	6.0	14.4
	9.0	17.9

De la tabla 23, según MTC y sabiendo que el CBR para suelo estabilizado debe cumplir que CBR  $\geq 6\%$ , apreciamos claramente que el a partir de una adición de 6 % de CI ya cumple con los parámetros requeridos.

##### 4.4.2. Dosificación óptima de la CHC según CBR

**Tabla 24. Resumen de CBR al 95% CHC**

IDENT.	CENIZA DE HOJA DE COCA (%)	CBR 95%MDS
Calicata C-1	0.0	3.6
	3.0	9.3
	6.0	15.1
	9.0	28.6
Calicata C-3	0.0	3.2
	3.0	6.3
	6.0	12.2
	9.0	20.4
Calicata C-4	0.0	7
	3.0	13.1
	6.0	16.2
	9.0	19.1

De la tabla 24, según MTC y sabiendo que el CBR para suelo estabilizado debe cumplir que  $CBR \geq 6\%$ , apreciamos claramente que el a partir de una adición de 6 % de CI ya cumple con los parámetros requeridos.

#### 4.5. Dosificación óptima de la CI y CHC según RCS

##### 4.5.1. Dosificación óptima de la CI según RCS

**Tabla 25. Resumen de RCS de CI**

IDENT.	% DE CENIZA DE ICHU	RCS (kg/cm <sup>2</sup> )
Calicata C-1	0.0	6.0
	3.0	9.2
	6.0	17.3
	9.0	25.8
Calicata C-3	0.0	2.9
	3.0	6.8
	6.0	14.8
	9.0	21.3
Calicata C-4	0.0	8.3
	3.0	11.6
	6.0	18.6
	9.0	25.1

De la tabla 25 y según el MTC un suelo es estable cuando  $RCS > 18 \text{ kg/cm}^2$ , de la tabla se aprecia indudablemente que cumple al 9 % de adición de CI

##### 4.5.2. Dosificación óptima de la CHC según RCS

**Tabla 26.** Resumen de RCS de CHC

IDENT.	% DE CENIZA DE HOJA COCA	RCS (kg/cm <sup>2</sup> )
Calicata C-1	0.0	6.0
	3.0	11.8
	6.0	19.1
	9.0	28.7
Calicata C-3	0.0	2.9
	3.0	9.6
	6.0	17.9
	9.0	26.9
Calicata C-4	0.0	8.3
	3.0	11.4
	6.0	21.6
	9.0	29.4

De la tabla 26 y según el MTC un suelo es estable cuando RCS > 18 kg/cm<sup>2</sup>, de la tabla se aprecia que cumple al 6 % en su mayoría, pero indudablemente que al 9 % de adición de CI cumple con todos los parámetros.

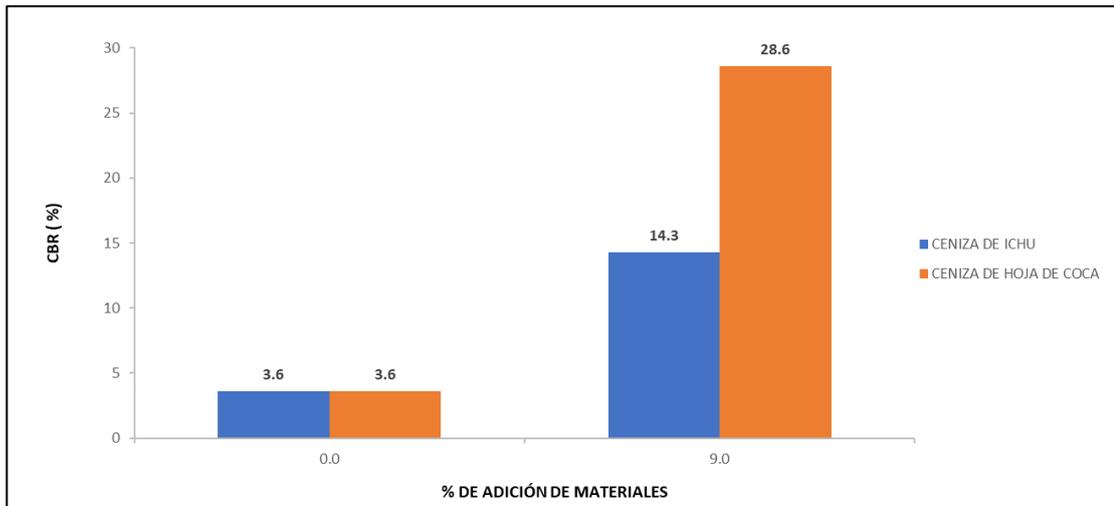
#### **4.6. Material idóneo en la estabilización de subrasante**

Con anterioridad se obtuvo que las dosificaciones óptimas en la estabilización de subrasantes utilizando como material alternativo ceniza de ichu en un 9% y ceniza de hoja de coca en un 9%, por lo que se utilizará estas dosificaciones para realizar una comparación técnica de dichos materiales.

##### **4.6.1. Análisis técnico de los materiales estabilizantes de la subrasante**

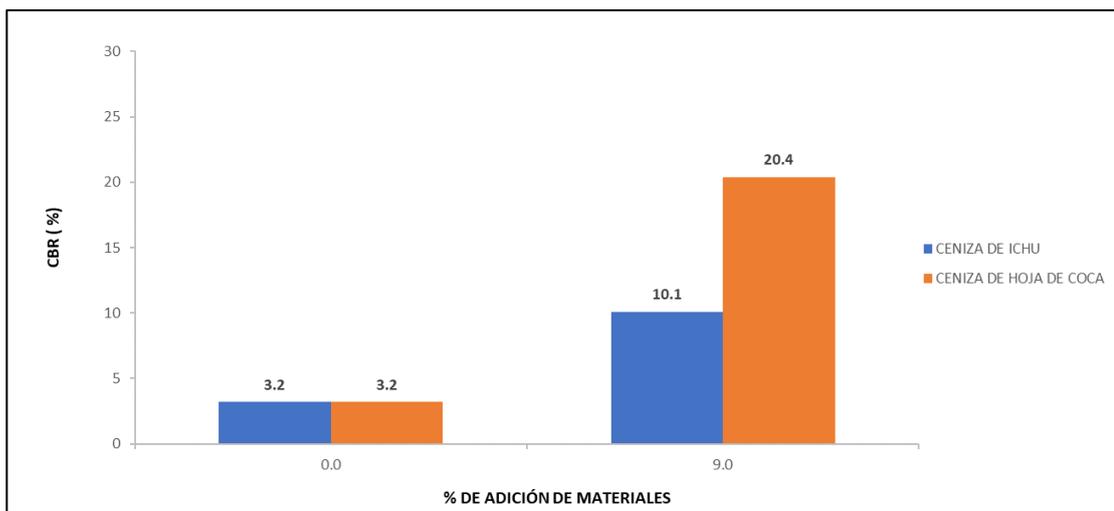
Para poder realizar la comparación técnica de la CI y CHC como materiales estabilizantes en la subrasante nos centramos en la CBR y RCS. Mostramos líneas abajo:

**Figura 29.** Comparación del CBR al 95% de CI y CHC – C1



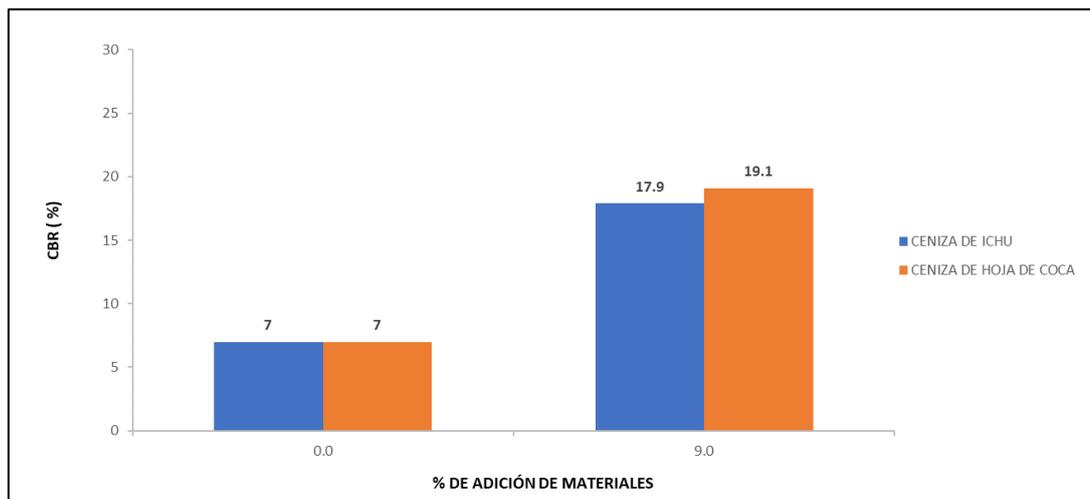
En la figura 29 se puede observar que el mejoramiento de la subrasante en la C1 con el agregado al 9% de CI tiene un valor de 14.3% CBR al 95%, lo que en porcentajes representa un incremento del 297% con respecto a la muestra sin estabilizar. Asimismo, se observa, que el mejoramiento de la subrasante con el agregado al 9% de CHC tiene un valor de 28.6% CBR al 95%, lo que en porcentajes representa un aumento del 694% con respecto a la M0. Finalmente, la CHC es superior con respecto a la CI en 397%.

**Figura 30.** Comparación del CBR al 95% de CI y CHC – C3



En la figura 30 se puede observar que el mejoramiento de la subrasante en la C3 con el agregado al 9% de CI tiene un valor de 10.1% CBR al 95%, lo que en porcentajes representa un incremento del 215.63% con respecto a la muestra sin estabilizar. Asimismo, se observa, que el mejoramiento de la subrasante con el agregado al 9% de CHC tiene un valor de 20.4% CBR al 95%, lo que en porcentajes representa un aumento del 537.50% con respecto a la M0. Finalmente, la CHC es superior con respecto a la CI en 381.27%.

**Figura 31.** Comparación del CBR al 95% de CI y CHC – C4



En la figura 31 se puede observar que el mejoramiento de la subrasante en la C4 con el agregado al 9% de CI tiene un valor de 17.9% CBR al 95%, lo que en porcentajes representa un incremento del 155.71% con respecto a la muestra sin estabilizar. Asimismo, se observa, que el mejoramiento de la subrasante con el agregado al 9% de CHC tiene un valor de 19.1% CBR al 95%, lo que en porcentajes representa un aumento del 172.86% con respecto a la M0. Finalmente, la CHC es superior con respecto a la CI en 17.15%.

Por lo tanto, se concluye que el mejor material alternativo en el mejoramiento de la subrasante en el aspecto técnico es la ceniza de hoja de coca ya que se observa diferencias significativas con respecto a la ceniza de ichu.

#### 4.7. Prueba de hipótesis

Para la prueba de hipótesis planteada, utilizamos el estadístico de análisis de varianza ANOVA, porque permite comparar varianzas entre medias cuando hay varios grupos, en este caso tenemos 4 grupos con adiciones de ceniza al 0%, 3%, 6% y 9%

Para la aplicación de este estadístico, se debe cumplir los siguientes requisitos:

- Prueba de normalidad
- Prueba de homogeneidad de varianzas
- Grupos independientes

##### 4.7.1. La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de ichu influye en la resistencia de compresión simple de la subrasante

###### Prueba de normalidad

Para esta prueba hemos utilizado el SPSS, y nos muestra el siguiente resultado:

Tabla 27. Prueba de normalidad H1

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Compresión Simple	Dosificación						
	Dosificación 0%	0.206	3		0.993	3	0.837
	Dosificación 3%	0.175	3		1.000	3	1.000
	Dosificación 6%	0.249	3		0.968	3	0.656
	Dosificación 9%	0.334	3		0.859	3	0.264

<sup>a</sup> corrección de significación de Lilliefors

Podemos inferir en aceptar la normalidad de esta información porque la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks muestra que los factores de dosificación de 0%, 3%, 6% y 9% son mayores que 0,05.

## Prueba de homogeneidad de varianzas

Tabla 28. Prueba de homogeneidad de varianzas

PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS					
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Comprensión Simple	Se basa en la media	0.138	3	8	0.935
	Se basa en la mediana	0.055	3	8	0.982
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.055	3	6.722	0.982
	Se basa en la media recortada	0.129	3	8	0.940

Como 0,935 es mayor que 0,050, se infiere que las varianzas son homogéneas.

## Prueba de hipótesis

La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de ichu influye en la resistencia de compresión simple de la subrasante.

## Prueba de contraste de hipótesis

1. Planteamiento de la  $H_0$  y  $H_1$

$$H_0 = u_1 = u_2 = u_3 = u_4$$

$$H_1 = u_1 \neq u_2 \neq u_3 \neq u_4$$

2. Nivel de significancia = 5%
3. Estadístico de prueba

Tabla 29. Nivel de significancia  $H_1$

ANOVA					
Comprensión Simple					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	599.343	3	199.781	34.351	0.000
Dentro de grupos	46.527	8	5.816		
Total	645.870	11			

#### 4. Toma de decisión

Dado que el valor  $P < 0.05$ , por lo tanto, dado que existen variaciones en las medias en al menos 2 grupos, la variable ichu tiene incidencia en la RCS

#### 4.7.2. La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de hoja de coca influye en la resistencia de compresión simple de la subrasante

##### Prueba de normalidad

Para esta prueba hemos utilizado el SPSS, y nos muestra el siguiente resultado:

Tabla 30. Prueba de normalidad H2

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Dosificación	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Comprensión Simple	Dosificación 0%	0.206	3	.	0.993	3	0.837
	Dosificación 3%	0.208	3	.	0.992	3	0.826
	Dosificación 6%	0.257	3	.	0.960	3	0.618
	Dosificación 9%	0.279	3	.	0.939	3	0.525

<sup>a</sup> corrección de significación de Lilliefors

Vemos que la dosificación de 0 %, 3 %, 6 % y 9 %, el valor de significancia P son mayores a 0,05 en la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, podemos inferir que los datos tienen una distribución normal.

##### Prueba de homogeneidad de varianzas

Tabla 31  
Prueba de homogeneidad de varianzas

PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS					
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Comprensión Simple	Se basa en la media	0.444	3	8	0.728
	Se basa en la mediana	0.301	3	8	0.824
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.301	3	6.835	0.824
	Se basa en la media recortada	0.435	3	8	0.734

Se concluye que 0,728 es mayor que el valor de error de 0,050, entonces las varianzas son homogéneas.

## Prueba de hipótesis

La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de hoja de coca influye en la resistencia de compresión simple de la subrasante.

## Prueba de contraste de hipótesis

1. Planteamiento de la hipótesis nula y alternativa

$$H_0 = u_1 = u_2 = u_3 = u_4$$

$$H_1 = u_1 \neq u_2 \neq u_3 \neq u_4$$

2. Nivel de significancia = 5%
3. Estadístico de prueba

Tabla 32. Nivel de significancia H2

ANOVA					
Comprensión Simple					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	867.000	3	289.000	71.314	0.000
Dentro de grupos	32.420	8	4.053		
Total	899.420	11			

4. Toma de decisión

La  $H_0$  se rechaza porque el valor de P es menor que 0,05. Por lo tal motivo, existen variaciones en las medias en al menos dos grupos, la variable ceniza de hoja de coca incide en la Resistencia a la Compresión simple.

### 4.7.3. La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de ichu influye en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante

#### Prueba de normalidad

Para esta prueba hemos utilizado el SPSS, y nos muestra el siguiente resultado:

**Tabla 33.** Prueba de normalidad H3

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
Dosificación		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CBR 95%	Dosificación 0%	0.351	3	.	0.828	3	0.183
	Dosificación 3%	0.231	3	.	0.980	3	0.731
	Dosificación 6%	0.266	3	.	0.952	3	0.580
	Dosificación 9%	0.187	3	.	0.998	3	0.915

<sup>a</sup> corrección de significación de Lilliefors

Vemos que la dosificación de 0 %, 3 %, 6 % y 9 %, el valor de significancia P son mayores a 0,05 en la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, podemos inferir que los datos tienen una distribución normal.

### Prueba de homogeneidad de varianzas

**Tabla 34.** Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	gl3
CBR 95%	Se basa en la media	0.258	3	8	0.854
	Se basa en la mediana	0.213	3	8	0.884
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.213	3	7.787	0.884
	Se basa en la media recortada	0.256	3	8	0.855

Dado que 0,854 es mayor que el valor de error de 0,050, se puede decir que las varianzas son homogéneas.

### Prueba de hipótesis

La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de ichu influye en la resistencia de capacidad de soporte de la subrasante.

### Prueba de contraste de hipótesis

1. Planteamiento de la hipótesis nula y alternativa

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

$$H_1 = \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$$

2. Nivel de significancia = 5%
3. Estadístico de prueba

**Tabla 35.** Nivel de significancia H3

ANOVA					
CBR 95%					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	148.882	3	49.627	5.067	0.030
Dentro de grupos	78.360	8	9.795		
Total	227.242	11			

4. Toma de decisión

La  $H_0$  se rechaza porque el valor de P es menor que 0,05. Por lo tanto. Existen diferencias entre las medias en al menos dos grupos, por lo tanto, existe efecto de la variable ceniza ichu en la resistencia a la capacidad de soporte.

#### 4.7.4. La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de hoja de coca influye en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante

##### Prueba de normalidad

Para esta prueba hemos utilizado el SPSS, y nos muestra el siguiente resultado:

**Tabla 36.** Prueba de normalidad H4

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
Dosificación		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig	Estadístico	gl	Sig.
CBR 95%	Dosificación 0%	0.351	3	.	0.828	3	0.183
	Dosificación 3%	0.198	3	.	0.995	3	0.870
	Dosificación 6%	0.281	3	.	0.937	3	0.512
	Dosificación 9%	0.339	3	.	0.850	3	0.242

<sup>a</sup> corrección de significación de Lilliefors

Vemos que la dosificación de 0 %, 3 %, 6 % y 9 %, el valor de significancia P son mayores a 0,05 en la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, podemos inferir que los datos tienen una distribución normal.

## Prueba de homogeneidad de varianzas

Tabla 37. Prueba de homogeneidad de varianzas

PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS					
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
CBR 95%	Se basa en la media	1.897	3	8	0.209
	Se basa en la mediana	0.333	3	8	0.802
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.333	3	4.113	0.804
	Se basa en la media recortada	1.701	3	8	0.244

En vista de que 0,209 supera el valor de error 0,050, se concluye que las varianzas son homogéneas.

### Prueba de hipótesis

La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de hoja de coca influye en la resistencia de capacidad de soporte de la subrasante.

### Prueba de contraste de hipótesis

Planteamiento de la hipótesis nula y alternativa

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

$$H_1 = \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$$

1. Nivel de significancia = 5%
2. Estadístico de prueba

Tabla 38  
Nivel de significancia H4

ANOVA					
CBR 95%					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	535.762	3	178.587	15.273	0.001
Dentro de grupos	93.547	8	11.693		
Total	629.309	11			

### 3. Toma de decisión

La  $H_0$  es refutada porque  $P$  es 0,001 y menor que 0,05. Por lo tanto. Es claro que la variable CHC tiene un impacto en la CBR de la subrasante porque hay diferencias en las medias en al menos dos grupos.

De las hipótesis específicas podemos deducir la hipótesis general pues en la  $H_1$ : existe efecto de la variable de la CI en la RCS; en la  $H_2$ : existe efecto de la variable de la CHC en la RCS.  $H_3$ : existe efecto de la variable de la CI en el CBR  $H_4$ : existe efecto de la variable de la CHC en el CBR. Por lo tanto: la adición de CI y CHC influye

Por lo tanto, deducimos que se cumple la **hipótesis general**: La adición de ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca influye positivamente en la subrasante.

## 4.8. DISCUSIÓN

En Ecuador localidad de Ambato, Cañar (2017) al añadir ceniza de carbón para estabilizar un suelo arcilloso, con un agregado de 25% de ceniza de carbón se obtuvo un CBR de 10.90% y concluye que el agregado mejora la resistencia pero que no es suficiente la mejora y que se tendrá que buscar otros medios para estabilizar un suelo. En nuestra tesis obtenemos un CBR de 10.9% cuando agregamos 6% de ceniza de ichu y un CBR de 14.5% cuando agregamos ceniza de hoja de coca en un 6%, cabe resaltar que es necesario menor dosificación para obtener un mejor resultado que la tesis de Cañar.

En Perú en la ciudad de Cusco Delgado y Mormontoy (2021) al investigar sobre la mejora de un suelo arcilloso agregando cal y ceniza de mazorca de maíz, añaden un 5% de cal y un 3% de CMM, el CBR = 12.84%. en nuestra tesis se obtiene un CBR de 14.1% cuando se agrega ceniza de ichu en un 9% de dosificación, y un CBR de 14.5% cuando se añade ceniza de hoja de coca en un 6%. Discutimos el uso de la cal por su costo elevado y recomendamos el uso de la ceniza de ichu por ser más económico y por producir un mejor resultado en la subrasante.

En Perú en la ciudad en Cajamarca Gálvez y Santoyo (2019) al añadir ceniza de cascara de arroz para estabilizar un suelo, hicieron análisis al suelo con

adiciones de ceniza al 3% obtiene CBR de 6.68%, al 10% obtiene un CBR de 10.93%, y para el 15% un CBR de 13.77%, se concluye que con la adición de este material se puede mejorar un suelo. Los resultados de esta tesis son casi similares a los nuestros, pues con adición de ceniza de ichu al 3% se logra un CBR de 7.9% con dosis de 6% tenemos un CBR de 10.9% mas sin embargo aclaramos que es la ceniza de ichu obtuvo mejor resultado en cuando a la menor dosificación.

En la región Puno, distrito de san Miguel Yucra (2022) utilizan ceniza de cañihua para estabilizar suelos con raciones al 4%, 8% y 12% obteniendo resultado de CBR de 10.20%, 11.50% y 14.70% respectivamente, concluye como la mejor dosis a un agregado al 12% de ceniza de cañihua mejora la subrasante. No cabe duda que la ceniza de cañihua también mejora la subrasante, pero tiene un costo que no haría factible el uso de este elemento, en caso de nuestros resultados con una adición de 6% de ceniza de hoja de coca obtenemos el mismo CBR que con la adición de 12% de ceniza de cañihua para estabilizar la subrasante.

En la región Puno, distrito de Caracoto Almanza y Eros (2022) añade ceniza ichu como material para estabilizar un suelo, al agregar 4% de ceniza de ichu se obtiene un CBR de 5.7%, con una adición del 7% se tiene un CBR de 14.63%, con adición del 10% un CBR de 12.86%. en conclusión, la adición de ceniza de ichu contribuye positivamente en la estabilización de un suelo. Por otro lado, en nuestra investigación cuando añadimos ceniza de ichu al 3% obtenemos un CBR de 7.9% y en la investigación de Almanza y Eros un CBR de 5.7%. verificando su tesis se pudo apreciar que el suelo donde investigaron era un suelo muy malo, es por ello que con un 4% de dosificación alcanza un bajo CBR justificando así, la proximidad en resultados.

En Colombia López y Rivera (2019), evaluaron el mejoramiento de la subrasante con la ceniza de cascarilla de arroz, para ver su resistencia al corte sin drenaje, en una dosificación de 6% y 10% tienen una resistencia a la compresión simple de 5.21 km/cm<sup>2</sup>. A 56 golpes, con aumento del 247%. Concluyendo que las propiedades de la subrasante mejoran cuando se

agrega el compuesto en cantidad adecuada. Por otro lado, en nuestra investigación, cuando agregamos CI al 3% tenemos una media de RCS = 9.2 kg/cm<sup>2</sup>, al 6% de agregado de CI, tenemos una media de RCS = 16.9 kg/cm<sup>2</sup>, al 9% de agregado de CI tenemos una media de RCS = 24.0 kg/cm<sup>2</sup>, por otro lado, cuando agregamos CHC al 3% tenemos una media de RCS = 11.6 kg/cm<sup>2</sup>, al 6% de agregado de CHC, tenemos una media de RCS = 19.53 kg/cm<sup>2</sup>, al 9% de agregado de CHC tenemos una media de RCS = 28.33 kg/cm<sup>2</sup>, en comparativa con los resultados de la investigación de López y Rivera supera en gran medida con la adición de CHC al 9%.

## V. CONCLUSIONES

El objetivo general se logra mediante el logro de los objetivos específicos por lo que se concluye que la adición de CI y CHC influye positivamente en las propiedades mecánicas de la subrasante, de idéntica manera se prueba la HG con las hipótesis específicas.

Según el objetivo determinar la influencia de la adición de CI de 3%, 6% y 9% en la RCS. Para la muestra M0, M1, M2, M3, y con adiciones de CI al 0%, 3%, 6% y 9%. En la calicata C1 se tuvo resultados de 6 kg/cm<sup>2</sup>, 9.2 kg/cm<sup>2</sup>, 17.3 kg/cm<sup>2</sup> y 25.8 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. La RCS es suelo estabilizado cuando la RCS es superior a 18 kg/cm<sup>2</sup>, por lo tanto, la calicata C1 debe tener una dosificación de CI en 9%. En la calicata C3 se tuvo resultados de 2.9 kg/cm<sup>2</sup>, 6.8 kg/cm<sup>2</sup>, 14.8 kg/cm<sup>2</sup> y 21.1 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, por lo tanto, la calicata C3 debe tener una dosificación de CI en 9%. En la calicata C4 se tuvo resultados de 8.3 kg/cm<sup>2</sup>, 11.6 kg/cm<sup>2</sup>, 18.6 kg/cm<sup>2</sup> y 25.1 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, por lo tanto, la calicata C4 debe tener una dosificación de CI en 6% como mínimo. Se puede observar el incremento de la resistencia a la compresión simple al ser adicionado con ceniza de ichu en la subrasante. En relación a la H1: la adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de ichu influye en la RCS de la subrasante, determinamos que el valor de p es menor a 0.05 por lo que concluimos que existe diferencias entre las medias en al menos dos grupos; por lo tanto, existe efecto de la variable de la CI en la RCS.

Según el objetivo determinar la influencia de la adición de CHC de 3%, 6% y 9% en la RCS. Para la muestra M0, M1, M2, M3, y las demás muestras con adiciones de CHC al 0%, 3%, 6% y 9%. En la calicata C1 se tuvo resultados de 6 kg/cm<sup>2</sup>, 11.8 kg/cm<sup>2</sup>, 19.1 kg/cm<sup>2</sup> y 28.7 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, por lo tanto, la calicata C1 debe tener una dosificación de CHC en 6%. En la calicata C3 se tuvo resultados de 2.9 kg/cm<sup>2</sup>, 9.6 kg/cm<sup>2</sup>, 17.9 kg/cm<sup>2</sup> y 26.9 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, por lo tanto, la calicata C2 debe tener una dosificación de CHC en 9%. En la calicata C4 se tuvo resultados de 8.3 kg/cm<sup>2</sup>, 13.4 kg/cm<sup>2</sup>, 21.6 kg/cm<sup>2</sup> y 29.4 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, por lo tanto, la calicata C4 debe tener una dosificación de CHC en 6%. Se puede observar el incremento de la RCS al ser adicionado con CHC en la subrasante. En relación a la H2: la adición del 3%, 6% y 9% de CI influye en la RCS de la subrasante, determinamos que el valor de P es menor a 0.05 por lo que

concluimos que existe diferencias entre las medias en al menos dos grupos; por lo tanto, existe efecto de la variable de la CHC en la RCS.

Según el objetivo determinar la influencia de la adición de CI de 3%, 6% y 9% en el CBR de la subrasante. Para la muestra M0, M1, M2, M3, y a las demás muestras con adiciones de ceniza de ichu al 0%, 3%, 6% y 9%. En la calicata C1 se tuvo resultados CBR de 3.6%, 7.4%, 10.1% y 14.3% respectivamente, por lo tanto, la calicata C1 debe tener una dosificación de ceniza de ichu en 3%. En la calicata C3 se tuvo resultados de 3.2%, 5.1%, 8.2% y 10.1% respectivamente, por lo tanto, la calicata C3 debe tener una dosificación de ceniza de ichu en 6%. En la calicata C4 se tuvo resultados de 7%, 11.2%, 14.4% y 17.9% respectivamente, por lo tanto, la calicata C4 debe tener una dosificación de ceniza de ichu en 3%. Se puede observar el incremento del CBR al ser adicionado con CI en la subrasante. En relación a la H3: la adición del 3%, 6% y 9% de CI ichu influye en el CBR, determinamos que el valor de P es menor a 0.05 por lo que concluimos que existe diferencias entre las medias en al menos dos grupos; por lo tanto, existe efecto de la variable de la Ceniza de ichu en el CBR.

Según el objetivo determinar la influencia de la adición de CHC de 3%, 6% y 9% en el CBR. Para la muestra M0, M1, M2, M3, y a las demás muestras con adiciones de ceniza de hoja de coca al 0%, 3%, 6% y 9%. En la calicata C1 se tuvo que CBR de 3.6%, 9.3%, 15.1% y 28.6% respectivamente, por lo tanto, la calicata C1 debe tener una dosificación de CHC en 3% como mínimo. En la calicata C2 se tuvo resultados de 3.2%, 6.3%, 12.2% y 20.4% respectivamente, por lo tanto, la calicata C3 debe tener una dosificación de CHC en 3%. En la calicata C4 se tuvo resultados de 7%, 13.1%, 16.2% y 19.1% respectivamente, por lo tanto, la calicata C4 debe tener una dosificación de CHC en 3%. Se puede observar el incremento del CBR al ser adicionado con CHC en la subrasante. En relación a la H4 la adición del 3%, 6% y 9% de CHC influye en el CBR de la subrasante, determinamos que el valor de P es menor a 0.05 por lo que concluimos que existe diferencias entre las medias en al menos dos grupos; por lo tanto, existe efecto de la variable de la CHC en el CBR

La adición de CHC es mejor aditivo que la CI para el mejoramiento de la subrasante y la mejor dosificación, tanto para la adición de CI y CHC es al 9%

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda utilizar CI o CHC como aditivo alternativo para mejorar la subrasante, puesto que una subrasante estabilizada permite disminuir el grosor del concreto, o en su defecto para no hacer el reemplazo de suelos con geo sintéticos o el no cambio del trazo vial o para no elevar la elevación de la rasante.

Recomendamos realizar coordinaciones con la DIRANDRO para que provea de coca a las empresas o entidades que realizan construcción de carreteras, para que esta coca se aproveche como material estabilizante y que no se pierda esta práctica porque la DIRANDRO de todas maneras realiza el quemado de plantaciones de coca.

Con respecto al ichu, que es un material abundante en nuestra zona, se recomienda realizar coordinaciones con los tenientes gobernadores para su acopio y almacenamiento, también sería gratuito porque las carreteras son en beneficio de la misma comunidad.

## REFERENCIAS

- AFRIN, Habiba. Una revisión sobre diferentes tipos de técnicas de estabilización de suelos. Bangladesh: Revista internacional de ingeniería y tecnología del transporte, 2017. 19-24 pp.
- ALMANZA, Joel y EROS, Erik. Ceniza de ichu en la estabilización del suelo de una trocha carrozable a nivel de subrasante, Caracoto 2021. Tesis (Ingeniero civil). Perú: Universidad Cesar Vallejo. 2022. Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/98096>
- ARIAS, José. Proyecto de tesis Guía para la elaboración. [En línea]. 1.<sup>a</sup> ed. Arequipa: Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú, 2020. [Fecha de consulta: 05 de octubre del 2022]. Disponible en [http://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/2236/1/AriasGonzales\\_ProyectoDeTesis\\_libro.pdf](http://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/2236/1/AriasGonzales_ProyectoDeTesis_libro.pdf) ISBN: 9786120054161
- BRAJA, Das. Fundamentos de ingeniería geotécnica. 4.<sup>a</sup> ed. Bogotá: Thomson Learning, 2013. ISBN: 9786075193731
- BUDHU, Muni. Soil mechanics and foundations. 3.<sup>a</sup> ed. United States of America: Library of congress cataloging. 2020. ISBN 9780470556849.
- CABEZAS, Edison, ANDRADE, Diego y TORRES, Johana. Introducción a la metodología de la investigación científica. Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas. 2018. ISBN 9789942765444
- CAÑAR, Edwin. Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con cenizas de carbón. Tesis (Ingeniero civil). Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. 2017. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25266/1/Tesis%201115%20-%20Ca%20c3%b1ar%20Tiviano%20Edwin%20Santiago.pdf>
- CARRASCO, Sergio. Metodología de la investigación científica. Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación. 19.<sup>a</sup> ed.

Lima: Editorial San Marcos EIRLtda. 2019. ISBN: 9789972383441

CASTRO, Milagros, PEREYRA, Jesus. Análisis de mejora de suelos arcillosos de alta plasticidad a nivel de subrasante mediante adición de cemento Portland para disminuir el cambio volumétrico. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. 2019. Disponible en [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/626119/Castro\\_GM.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/626119/Castro_GM.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

CCOILLO, Apunkintu. Estabilización de Adobe con Especie de Pasto Natural en la zona alto andina. Tesis (Ingeniero agrícola). Ayacucho: Universidad San Cristóbal de Huamanga, 2016. Disponible en <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3182>

DEL CASTILLO, Rubén, y OROBIO, Armando. Investigación exploratoria sobre el efecto del aceite de motor usado en un suelo fino de subrasante. Informes de la Construcción. Tesis (Ingeniero civil). Colombia: Universidad del Valle. 2020. Disponible en <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/6000>

DEL PINO, Junco. Estabilización de Suelos mediante el empleo de Sales Cuaternarias. Cuba: Revista de Arquitectura e Ingeniería. 3, 2010. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193915950002>

DELGADO, Christian y MORMONTOY, Víctor. Estabilización de suelos arcillosos con adición de ceniza de mazorca de maíz y cal. Tesis (Ingeniero civil). Cusco: Universidad Andina del Cusco. 2021. Disponible en [file:///C:/Users/WILSON/Downloads/Christian\\_Victor\\_Tesis\\_bachiller\\_2021%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/WILSON/Downloads/Christian_Victor_Tesis_bachiller_2021%20(1).pdf)

FIROOZI, Ali, GUNEY Olgun, y BAGHINI, Mojtaba. Fundamentals of soil stabilization. International Journal of Geo-Engineering. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1186/s40703-017-0064-9>

- GALVEZ, Paola, SANTOYO, Jessica. Estabilización de suelos cohesivos a nivel de subrasante con ceniza de cáscara de arroz, Carretera yanuyacu bajo – Señor cautivo. Tesis (Ingeniero civil). Perú: Universidad Nacional de Jaen. 2019. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/270319034.pdf>
- HALL, M, NAJIM, K, y KEIKHAEI, P. Soil stabilization and earth construction: materials, properties and techniques. Modern Earth Buildings. 2012. Disponible en <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/KB-Najim-2040780298>
- HERNANDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación. 6.<sup>a</sup> ed. México: McGRAW-HILL. 2014. ISBN: 9781456223960
- JALANOCA, Freyre. Mejoramiento de la subrasante incorporando el aceite residual de vehículos motorizados en la carretera Platería Perka, Puno 2021. Tesis (Ingeniero civil). Perú: Universidad César Vallejo. 2021. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/63844>.
- JUÁREZ, Eulalio y RICO, Alfonso. Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos. México: Limusa. 2005. 699 pp. ISBN: 9681800699
- LEAL, Daniela., BATISTA, Oriana. GUANIPA, Francys y SIBIDA, Irailu. Estabilización de suelos. Venezuela: Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. 2012.
- LÓPEZ, Yeisson y RIVERA, Erwin. Evaluación de la resistencia al corte no drenada de un suelo fino mejorado con ceniza de cascarilla de arroz. Tesis (Ingeniero civil). Ibagué: Universidad de Ibagué. 2019. Disponible en <http://repositorio.unibague.edu.co:80/jspui/handle/20.500.12313/1542>
- LOZANO, Juan y RAMOS, Juan. Estabilización de suelo mediante aditivos alternativos. Tesis (Ingeniero civil). Colombia: Universidad Católica de Colombia. 2019. Disponible en <https://hdl.handle.net/10983/24277>

Ministerio de transporte y comunicación (Perú). Manual De Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia Y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos. Perú: R.D. N° 10-2014-MTC. 2014.

MONTEJO, Alfonso. Ingeniería de pavimentos para carreteras. [en línea]. 3.<sup>a</sup> ed. Bogotá: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA. 2017. [Fecha de consulta: 18 de octubre del 2022]. Disponible en: <http://worldcat.org/isbn/9589603629> ISBN 9589603629

MUÑOZ, Carlos. Metodología de la investigación. 2.<sup>a</sup> ed. México: Oxford University Press. 2015. 408 pp. ISBN: 9786074265255

NEILL, David y CORTEZ, Liliana. Procesos y Fundamentos de la Investigación Científica. Ecuador: Editorial Universidad Técnica de Machala. 2018. ISBN: 9789942240934

ÑAUPAS, Humberto, VALDIVIA, Marcelino, PALACIOS, Jesús y ROMERO, Hugo. Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la Tesis. [en línea]. 5.<sup>a</sup> ed. Bogotá: Ediciones de la U. 2018. Disponible en [http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales\\_de\\_consulta/Drogas\\_de\\_Abuso/Articulos/MetodologiaInvestigacionNaupas.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/MetodologiaInvestigacionNaupas.pdf) ISBN: 9789587628760

PARRA, Manuel y BASTIDAS, Juan. Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante. Tesis (Ingeniero civil). Bogotá: Universidad Católica de Colombia. 2018. Disponible en <https://hdl.handle.net/10983/22856>

PERALTA, Ángel. Mejoramiento de la subrasante de baja capacidad de soporte mediante la incorporación de la ceniza de gallinaza. Tesis (Ingeniero civil). Chanchamayo: Universidad Peruana los Andes. 2020. Disponible en [https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/2426/T037\\_70218197\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/2426/T037_70218197_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

RAMAJI, Amin. A Review on the Soil Stabilization Using Low-Cost Methods. Islamic Asad: Journal of Applied Sciences Research. 2012. pp. 2193-2196. ISSN 1819-544X.

- RODRÍGUEZ, David, VALLDEORIOLA, Jordi. Metodología de la investigación. Catalunya: Universitat Oberta de Catalunya. 2012.
- TERRONES, Andrea. Estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de bagazo de caña para el mejoramiento de subrasante en el sector Barraza, Trujillo – 2018. Tesis (Ingeniero civil). Trujillo: Universidad privada del norte. 2018. Disponible en <https://hdl.handle.net/11537/14971>
- TROYANO, Dora y RESTREPO, David. La industrialización de la hoja de coca. Colombia: GHP Media. 2018. ISBN: 9781940983813
- UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO. Guía de elaboración de productos de investigación de fin de programa. 2022. RVI N°110-2022-VI-UCV.
- WHITLOW, Roy. Fundamentos de mecánica de suelos. 2.<sup>a</sup> ed. México: Compañía editorial continental. 1994. ISBN: 0582045649
- WINKERTORN, Hans. The science of soil stabilization. [en línea]. 1995. 1-24 pp. Disponible en <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrbulletin/108/108-001.pdf>
- YUCRA, Fredy. Estabilización de suelos con ceniza de cañihua para subrasantes de vía no pavimentadas del distrito de San Miguel – Puno 2022. Tesis (Ingeniero civil). Perú: Universidad Cesar Vallejo. 2022. Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/89244>

Anexos

## ANEXOS 01. MATRIZ DE CONSISTENCIA

**TITULO:** “Influencia de la adición de ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca en las propiedades mecánicas de la subrasante, Puno 2022.”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES		DIMENSIONES	Indicadores	METODOLOGÍA
<p><b>Problema General:</b> ¿De qué manera influye la adición de ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca en la subrasante, Puno 2022?</p>	<p><b>Objetivo General:</b> Determinar de qué manera influye la adición de ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca en la subrasante, Puno 2022</p>	<p><b>Hipótesis General:</b> La adición de ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca influye positivamente en la subrasante, Puno 2022</p>	<b>INDEPENDIENTE</b>	Ceniza de ichu	<b>Dosificación</b>	0%, 3%, 6% y 9%	<p><b>Tipo de Investigación:</b> Aplicada.</p> <p><b>Nivel de Investigación:</b> Explicativo.</p> <p><b>Diseño de Investigación:</b> Experimental: Cuasiexperimental.</p> <p><b>Enfoque:</b> Cuantitativo.</p> <p><b>Población:</b> está conformada por el tramo 2+000 al 6+000 de la subrasante considerado el tramo más crítico de la trocha carrozable del camino vecinal Maravillas – Vilcapata del distrito de San Miguel, provincia de San Román.</p> <p><b>Muestra:</b> La muestra en este estudio serán 4 calicatas de 1.5m de profundidad en los kilómetros 2+750, 3+250 4+500, 5+750.</p> <p><b>Muestreo:</b> No Probabilístico</p> <p><b>Técnica:</b> Observación directa. Análisis documental</p> <p><b>Instrumento de recolección de datos:</b> Fichas de recolección de datos Equipos y herramientas de laboratorio Revisión documental.</p>
<p><b>Problemas Específicos:</b></p> <p>PE1: ¿Cómo influye la adición de ceniza de ichu de 3%, 6% y 9% en la resistencia a la compresión simple de la subrasante?</p> <p>PE2: ¿Cómo influye la adición de ceniza de hoja de coca de 3%, 6% y 9% en la resistencia a la compresión simple de la subrasante?</p> <p>PE3: ¿Cómo influye la adición de ceniza de ichu de 3%, 6% y 9% en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante?</p> <p>PE4: ¿Cómo influye la adición de ceniza de hoja de coca de 3%, 6% y 9% en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante?</p>	<p><b>Objetivo Específicos:</b></p> <p>OE1: Determinar la influencia de la adición de ceniza de ichu de 3%, 6% y 9% en la resistencia de compresión simple de la subrasante</p> <p>OE2: Determinar la influencia de la adición de ceniza de hoja de coca de 3%, 6% y 9% en la resistencia de compresión simple de la subrasante.</p> <p>OE3: Determinar la influencia de la adición de ceniza de ichu de 3%, 6% y 9% en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante.</p> <p>OE4: Determinar la influencia de la adición de ceniza de hoja de coca de 3%, 6% y 9% en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante.</p>	<p><b>Hipótesis Específicos:</b></p> <p>HE1: La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de ichu influye en la resistencia de compresión simple de la subrasante</p> <p>HE2: La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de hoja de coca influye en la resistencia de compresión simple de la subrasante</p> <p>HE3: La adición del 3%, 6% y 9% de ceniza de ichu influye en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante</p> <p>HE4: La adición de 3%, 6% y 9% de ceniza de hoja de coca influye en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante.</p>		<b>DEPENDIENTE</b>			
			Subrasante		Resistencia a la compresión simple (kg/cm <sup>2</sup> )	<i>Muestra del CBR</i>	

## ANEXOS 02. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TITULO: “Influencia de la adición de ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca en las propiedades mecánicas de la subrasante, Puno 2022.”

VARIABLE DE LA INVESTIGACIÓN	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
<b>Variable Independiente</b>  Ceniza de ichu	Ichal (del quechua ichu, nombre andino de la planta en cuestión). Formación de pastos de Puna y otras llanuras del altiplano predominantemente Stipa ichu. El término proviene de Perú y Bolivia, y los tipos de vegetación también incluyen la altura de los Andes en el norte de Chile y el noroeste de Argentina. (Font, 1982).	Es la cantidad de ceniza de ichu que, mezclado con el suelo como aditivo, busca el mejoramiento del mismo.	Dosificación	0% de ceniza de ichu	Razón
				3% de ceniza de ichu	
				6% de ceniza de ichu	
				9 % de ceniza de ichu	
<b>Variable Independiente</b>  Ceniza de hoja de coca	Debido a sus muchos usos en las culturas andinas a lo largo de la historia, la hoja de coca se ha venerado desde hace tiempo por sus rituales y ceremonias, así como por el comercio, la medicina, la analgesia y otras formas de atención sanitaria. El Imperio Inca, la civilización más poderosa de Perú, se basaba en ella para el poder y el control. (DE INNOVACIÓN, 2018, p.13)	Es la cantidad de ceniza de hoja de coca que, mezclado con el suelo como aditivo, busca el mejoramiento del mismo.	Dosificación	0% de ceniza de hoja de coca	Razón
				3% de ceniza de hoja de coca	
				6% de ceniza de hoja de coca	
				9 % de ceniza de hoja de coca	
<b>Variable dependiente</b>  Propiedades mecánicas de la subrasante	Las propiedades geomecánicas del suelo natural se mejoran para producir un suelo adecuado para su uso en la construcción de carreteras, lo que se denomina mejora geomecánica. (Winterkorn, 2015)	Se planteará realizar la resistencia a la capacidad de soporte y a la resistencia a la comprensión simple de la ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca en suelos de subrasantes arcillosas con características deficientes con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas.	Resistencia a la capacidad de soporte CBR (%)	Proctor modificado (MDS y OCH)	Razón
			Resistencia a la comprensión simple (kg/cm <sup>2</sup> )	<i>Muestra del CBR</i>	

### ANEXOS 03. MATRIZ DE TÉCNICAS E INSTRUMENTOS A APLICAR POR OBJETIVOS Y UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	POBLACIÓN	MUESTRA	TÉCNICA	INSTRUMENTOS
OE1: Determinar la influencia de la adición de ceniza de ichu de 3%, 6% y 9% en la resistencia de compresión simple de la subrasante	La población está conformada por el tramo 2+000 al 6+000 de la subrasante considerado el tramo más crítico de la trocha carrozable del camino vecinal Maravillas – Vilcapata del distrito de San Miguel, provincia de San Román.	La muestra en este estudio serán 4 calicatas de 1.5m de profundidad en los kilómetros 2+750, 3+250 4+500, 5+750.	Análisis documentario	Fichas de resumen
OE2: Determinar la influencia de la adición de ceniza de hoja de coca de 3%, 6% y 9% en la resistencia de compresión simple de la subrasante.				
OE3: Determinar la influencia de la adición de ceniza de ichu de 3%, 6% y 9% en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante.			Observación directa	Fichas técnicas de recolección de datos de los ensayos de granulometría, peso específico, humedad, Proctor modificado, resistencia a la compresión y CBR
OE4: Determinar la influencia de la adición de ceniza de hoja de coca de 3%, 6% y 9% en la resistencia a la capacidad de soporte de la subrasante.				

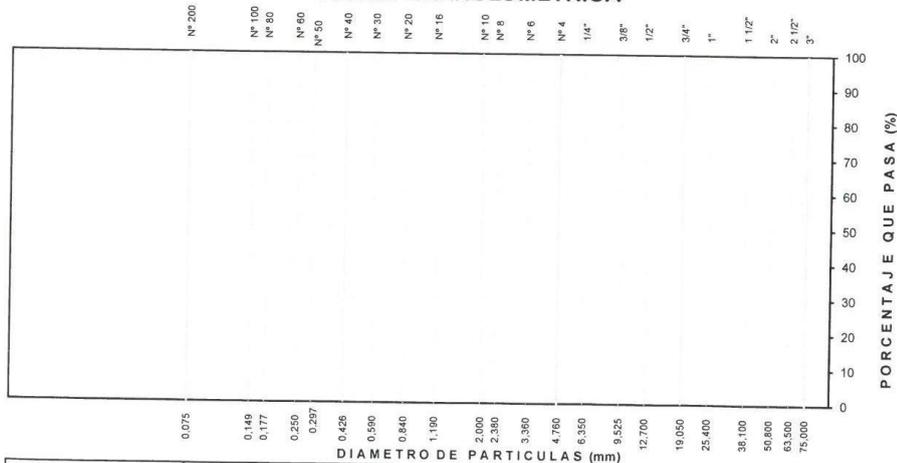
# ANEXOS 04. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

 <b>CASAGRANDE</b> <small>REFLECTANCIA Y CONCRETO</small>	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO          DEL SUELO POR TAMIZADO          (MTC E 107)</b>	

Proyecto : -:-  
 Trazabilidad : -:-  
 Solicitante : -:-  
 Exploración : -:-  
 Estrato/Nivel : -:-  
 Región/Provinc. : -:-  
 Distrito : -:-  
 Lugar : -:-  
 Fecha : -:-

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	TAMIZ	Abertura (mm)	PESO (gr)	% RETEN	% RETEN	% QUE	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
	ASTM		RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA	
	3"	75.000					<b>ENSAYOS ESTÁNDAR</b> Peso seco inicial (gr) Peso seco lavado (gr) Pérdida por lavado (gr) Humedad (%) % Grava % Grava gruesa % Grava fina % Arena % Arena gruesa % Arena media % Arena fina % de Finos $D_{10} = D_{e(mm)} =$ $D_{30(mm)} =$ $D_{60(mm)} =$ $C_u =$ $C_c =$ <b>CLASIFICACIÓN</b> AASHTO Clasificación SUCS
	2 1/2"	63.500					
	2"	50.800					
	1 1/2"	38.100					
	1"	25.400					
	3/4"	19.000					
	1/2"	12.700					
	3/8"	9.500					
	1/4"	6.350					
	Nº 4	4.760					
	Nº 8	2.360					
	Nº 10	2.000					
	Nº 16	1.100					
	Nº 30	0.590					
	Nº 40	0.425					
	Nº 50	0.297					
	Nº 100	0.149					
	Nº 200	0.075					
	Lavado						
	TOTAL						

## CURVA GRANULOMÉTRICA



LIMO Y ARCILLA	DIAMETRO DE PARTICULAS (mm)					BOLON. /BLOQ.
	ARENA		GRAVA			
	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	GRUESA	

  
 Ing. Mauricio Mormontoy Gonzales  
 CIP. 57399

  
 Pablo Esteban Valer Pacheco  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 270174

  
 Yaneth Velarde Carhuas  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. Nº 180205



CASAGRANDE  
INGENIERIA Y CONSTRUCCION

### LIMITES DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (PASANTE LA MALLA N° 40)

Proyecto : -

Trazabilidad : -

Solicitante : -

Exploración : -

Estrato / Nivel : -

Región/Provinc : -

Distrito : -

Lugar : -

Fecha : -

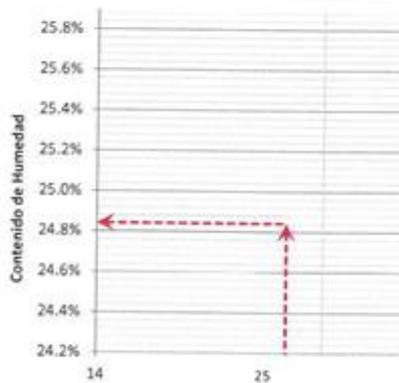
#### DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS (MTC E 111)

	RECIPIENTE	Nº				
1	PESO SUELO HUMEDO+ RECIPIENTE	gr				
2	PESO SUELO SECO+ RECIPIENTE	gr				
3	PESO RECIPIENTE	gr				
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr				
5	PESO SECO (2)-(4)	gr				
6	HUMEDAD	%				
<b>LIMITE PLÁSTICO</b>		<b>%</b>				

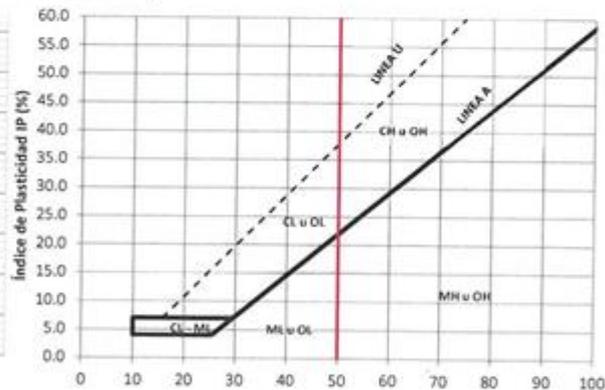
#### DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E 110)

	RECIPIENTE	Nº	PROCEDIMIENTO DE MULTIPUNTO			UNIPUNTO
1	PESO SUELO HUMEDO+ RECIPIENTE	gr				
2	PESO SUELO SECO+ RECIPIENTE	gr				
3	PESO RECIPIENTE	gr				
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr				
5	PESO SECO (2)-(4)	gr				
6	HUMEDAD	%				
7	NUMERO DE GOLPES	Nº				
<b>LIMITE LIQUIDO</b>		<b>%</b>				

**INDICE PLÁSTICO (%) IP=LL-LP=**



**CURVA DE FLUIDEZ**



**CARTA DE PLASTICIDAD**

*[Signature]*  
Ing. Masacio Mormontoy González  
CIP 57399

*[Signature]*  
Pablo Esteban Valer Pacheco  
INGENIERO CIVIL  
CIP 270174

*[Signature]*  
Yameth Velarde Carhuas  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP. N° 180205



CASAGRANDE  
GEOTECNIA Y CONCRETO

### COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (MTC E 115)

Proyecto : -:-

Trazabilidad : -:-

Solicitante : -:-

Exploración : -:-

Estrato/Nivel : -:-

Región/Provinc. : -:-

Distrito : -:-

Lugar : -:-

Fecha : -:-

#### DATOS DEL ENSAYO

Clasificación SUCS :	METODO A		
Clasificación AASHTO :	Capas :	Golpes/Capa	
% Retenido acumulado malla N° 4 :	Material Pasante a usar	PASA N° 4	"
% Retenido acumulado malla 3/8" :	Molde (Pulg)	4	Código M2
% Retenido acumulado malla 3/4" :	Peso Molde (gr) :	Volumen :	

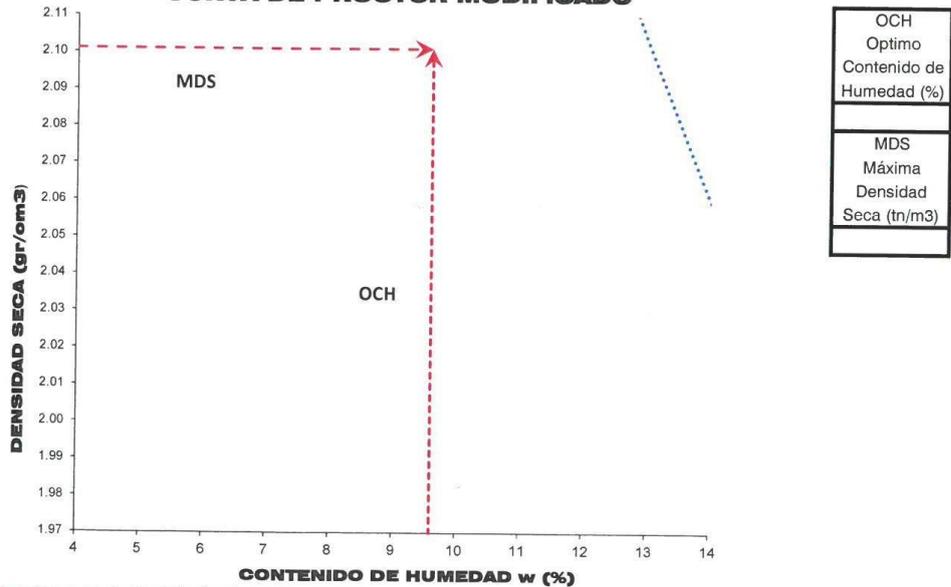
#### ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Determinación N°	01	02	03	04
Peso del molde y muestra gr				
Peso de la muestra compactada gr				
Densidad húmeda gr/cc				
Densidad seca gr/cc				

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

Tarro N°				
Peso tarro + suelo húmedo gr				
Peso de tarro + suelo seco gr				
Peso del tarro gr				
Peso del agua gr				
Peso del suelo seco gr				
Contenido de humedad %				

#### CURVA DE PROCTOR MODIFICADO



OCH Optimo Contenido de Humedad (%)
MDS Máxima Densidad Seca (tn/m3)

*Yaritza Velazco Carhuas*  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CP. N° 180205

*Pablo Esteban Valer Pacheco*  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 270174

*Ing. Mauricio Mormontoy Gonzales*  
CIP. 57399

#### CURVA DE PROCTOR MODIFICADO

 <b>CASAGRANDE</b> <small>GEOTECNIA Y CONCRETO</small>	<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION DE          PROBETAS DE SUELO METODO B (MTC          E 1103, MTC E 1101)</b>	

Proyecto : -:-

Trazabilidad : -:-

Solicitante : -:-

Exploración : -:-

Estrato/Nivel : -:-

Región/Prov : -:-

Distrito : -:-

Lugar : -:-

Fecha : -:-

DATOS DE LA MUESTRA
---------------------

Clasificación SUCS :

Clasificación AASHTO :

MDS =

gr/cm3

OCH =

%

% Retenido acumulado malla N° 4 :

% Pasa acumulado malla N° 4 :

DATOS DEL MOLDEO
------------------

DOSIS									
% DE HUMEDAD	%								
DENSIDAD SECA	gr/cm3								

ENSAYO DE COMPRESION
----------------------

EDAD	días								
DIAMETRO PROMEDIO	mm								
ALTURA	mm								
RELACION H/D									
FACTOR DE CORRECCION									
LECTURA DE ENSAYO	kN								
RESISTENCIA FC	kg/cm2								
RESISTENCIA PROM	kg/cm2								

  
 Ing. Mauricio Mormontoy Gonzales  
 CIP 57399

  
 Pablo Esteban Valer Pacheco  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 270174

 Pamela Velarde Carhuas  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. N° 180205

---



---

Proyecto : -:-

Trazabilidad : -:-

Región/Provi : -:-

Solicitante : -:-

Distrito : -:-

Exploración : -:-

Lugar : -:-

Estrato/Nivel : -:-

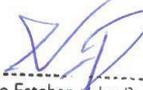
Fecha : -:-

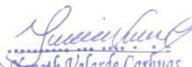
COMPACTACION DEL CBR						
MOLDE Nº						
CAPAS Nº	5		5		5	
GOLPES POR CAPA	56		26		12	
COND. DE LA MUESTRA	HUMEDO		HUMEDO		HUMEDO	
PESO MOLDE+S. HÚM. gr						
PESO DEL MOLDE gr						
PESO SUELO HÚM. gr						
VOLUMEN DEL MOLDE cm3						
DENSIDAD HÚMEDA gr/cm3						
<b>DENSIDAD SECA gr/cm3</b>						
<b>Contenido de Humedad</b>	Humedad: inicial final		Humedad: inicial final		Humedad: inicial final	
TARRO Nº Nro.						
TARRO+SUELO HÚM. gr						
TARRO+SUELO SECO gr						
PESO DEL TARRO gr						
% DE HUMEDAD %						
<b>HUMEDAD %</b>						
<b>ABSORCIÓN %</b>						

EXPANSIÓN									
DÍA	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
		mm	%		mm	%		mm	%
0	0.00	127.00		0.00	127.00		0.00	127.00	
4	0.00	127.00		0.00	127.00		0.00	127.00	

PENETRACIÓN											
PENETRACIÓN (mm) (plg)		Carga Estándar (Mpa)	PRIMER MOLDE			SEGUNDO MOLDE			TERCER MOLDE		
			Fuerza (kN)	Fuerza Calib. (kN)	Esfuerz. (MPa)	Fuerza (kN)	Fuerza Calib. (kN)	Esfuerz. (MPa)	Fuerza (kN)	Fuerza Calib. (kN)	Esfuerz. (MPa)
0.000	0.000										
0.630	0.025										
1.270	0.050										
1.900	0.075										
2.540	0.100	6.9									
3.170	0.125										
3.810	0.150										
4.445	0.175										
5.080	0.200	10.35									
7.620	0.300										

  
 Ing. Mauricio Mormontoy Gonzales  
 CIP 57399

  
 Pablo Esteban Valer Pacheco  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 270174

 Yaneth Velarde Carhuas  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. N° 180205

Proyecto : -.-

Trazabilidad : -.-

Región/Provinc. : -.-

Solicitante : -.-

Distrito : -.-

Exploración : -.-

Lugar : -.-

Estrato/Nivel : -.-

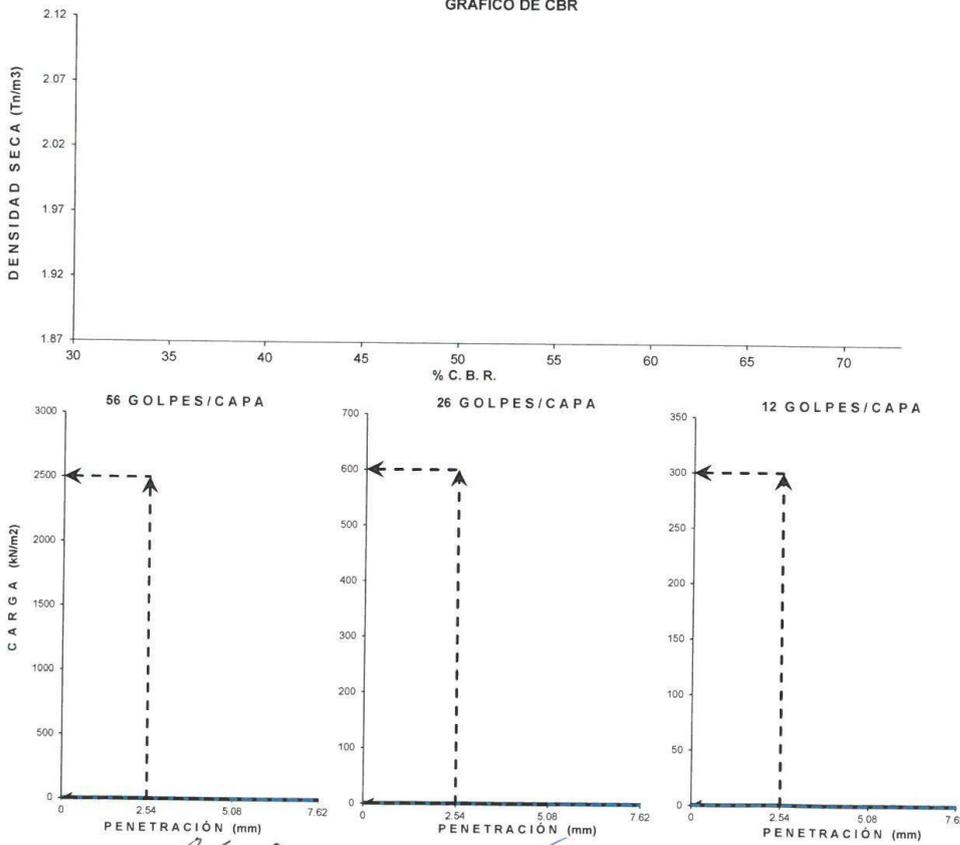
Fecha : -.-

<b>DATOS DEL ENSAYO</b>
-------------------------

Clasificación SUCS :	AASHTO :
Máxima Densidad Seca MDS (tr/m <sup>3</sup> ) :	Optimo Contenido de Humedad OCH % =
% Grava =	% Arena =
% Finos =	LL % =
Expansión % =	LP % =
Embebido (días) =	IP % =

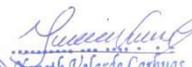
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO (01" DE PENETRACIÓN)</b>		
CBR AL 100% DE MDS (0.1") =	CBR AL 95% DE LA MDS (0.1") =	CBR AL 90% MDS = -.-

GRÁFICO DE CBR



  
 Ing. Mauricio  
**CIP. 57399**

  
 Pablo Esteban  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 270174

  
 Pamela  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. N° 180205

## ANEXOS 05. CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

### INFORME DE OPINION SOBRE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

**DATOS GENERALES:**

Apellidos y nombres del experto : Valverde Carhuas, Yaneth

Institución donde se labora : Provias Sur

Especialidad : Ingeniería Vial

Instrumento de evaluación : Análisis granulométrico, contenido de humedad, gravedad específica, peso unitario, límites de consistencia, resistencia a la compresión simple no confinada, Proctor modificado y ensayo CBR.

**MUY DEFICIENTE (1)      DEFICIENTE(2)      APECTABLE(3)      BUENA (4)      EXCELENTE (5)**

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
Claridad	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.					X
Objetividad	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: Propiedades mecánicas de la subrasante en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.				X	
Actualidad	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento acorde al conocimiento científico tecnológico innovación y legal inherente a la variable: Ceniza de ichu y Ceniza de hoja de coca				X	
Organización	Los ítems del instrumento reflejan originalidad y conceptual respecto a la variable Propiedades mecánicas de la subrasante de la manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
Suficiente	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					X
Intencionalidad	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivo, hipótesis y variable de estudio.					X
Consistencia	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
Coherencia	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Propiedades mecánicas de la subrasante					X
Metodología	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					X
Pertinencia	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.					X
<b>PUNTAJE TOTAL</b>		<b>48</b>				

**OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

EL INSTRUMENTO ES VALIDADO Y PUEDE SER APLICADO



PROMEDIO DE VALORACIÓN: 4.8

Juliaca, 01 de Noviembre 2022

## INFORME DE OPINION SOBRE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

### DATOS GENERALES:

Apellidos y nombres del experto : Valer Pacheco, Pablo Esteban

Institución donde se labora : A&V Construcción e Ingeniería Avanzada

Especialidad : Geotecnia y Concreto

Instrumento de evaluación : Análisis granulométrico, contenido de humedad, gravedad específica, peso unitario, límites de consistencia, resistencia a la compresión simple no confinada, Proctor modificado y ensayo CBR.

**MUY DEFICIENTE (1)      DEFICIENTE(2)      APECTABLE(3)      BUENA (4)      EXCELENTE (5)**

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
Claridad	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.					X
Objetividad	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: Propiedades mecánicas de la subrasante en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.					X
Actualidad	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento acorde al conocimiento científico tecnológico innovación y legal inherente a la variable: Ceniza de ichu y Ceniza de hoja de coca				X	
Organización	Los ítems del instrumento reflejan originalidad y conceptual respecto a la variable Propiedades mecánicas de la subrasante de la manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
Suficiente	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					X
Intencionalidad	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivo, hipótesis y variable de estudio.					X
Consistencia	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
Coherencia	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Propiedades mecánicas de la subrasante					X
Metodología	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					X
Pertinencia	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.					X
<b>PUNTAJE TOTAL</b>		<b>49</b>				

### OPINIÓN DE APLICABILIDAD

EL INSTRUMENTO ES VALIDADO Y PUEDE SER APLICADO

PROMEDIO DE VALORACIÓN: 4.9

  
 Pablo Esteban Valer Pacheco  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 270174

Juliaca, 01de Noviembre 2022

## INFORME DE OPINION SOBRE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

### DATOS GENERALES:

Apellidos y nombres del experto : Mormontoy, Gonzales, Mauricio

Institución donde se labora : Provias Nacional

Especialidad : Infraestructura vial

Instrumento de evaluación : Análisis granulométrico, contenido de humedad, gravedad específica, peso unitario, límites de consistencia, resistencia a la compresión simple no confinada, Proctor modificado y ensayo CBR.

**MUY DEFICIENTE (1)      DEFICIENTE(2)      APECTABLE(3)      BUENA (4)      EXCELENTE (5)**

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
Claridad	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.					X
Objetividad	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: Propiedades mecánicas de la subrasante en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.					X
Actualidad	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento acorde al conocimiento científico tecnológico innovación y legal inherente a la variable: Ceniza de ichu y Ceniza de hoja de coca				X	
Organización	Los ítems del instrumento reflejan originalidad y conceptual respecto a la variable Propiedades mecánicas de la subrasante de la manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
Suficiente	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					X
Intencionalidad	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivo, hipótesis y variable de estudio.					X
Consistencia	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
Coherencia	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Propiedades mecánicas de la subrasante					X
Metodología	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					X
Pertinencia	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.					X
<b>PUNTAJE TOTAL</b>		<b>49</b>				

### OPINIÓN DE APLICABILIDAD

EL INSTRUMENTO ES VALIDADO Y PUEDE SER APLICADO

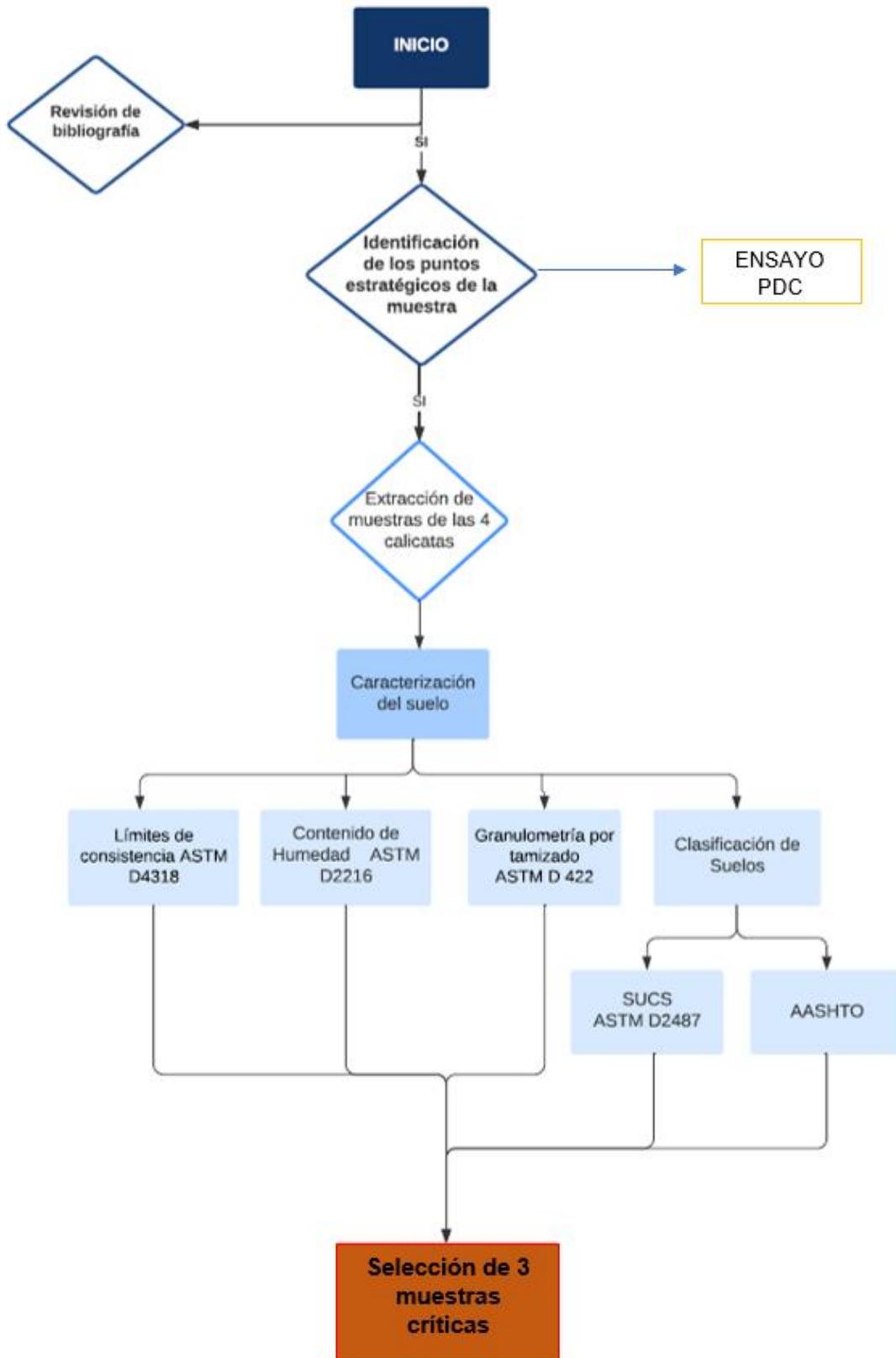


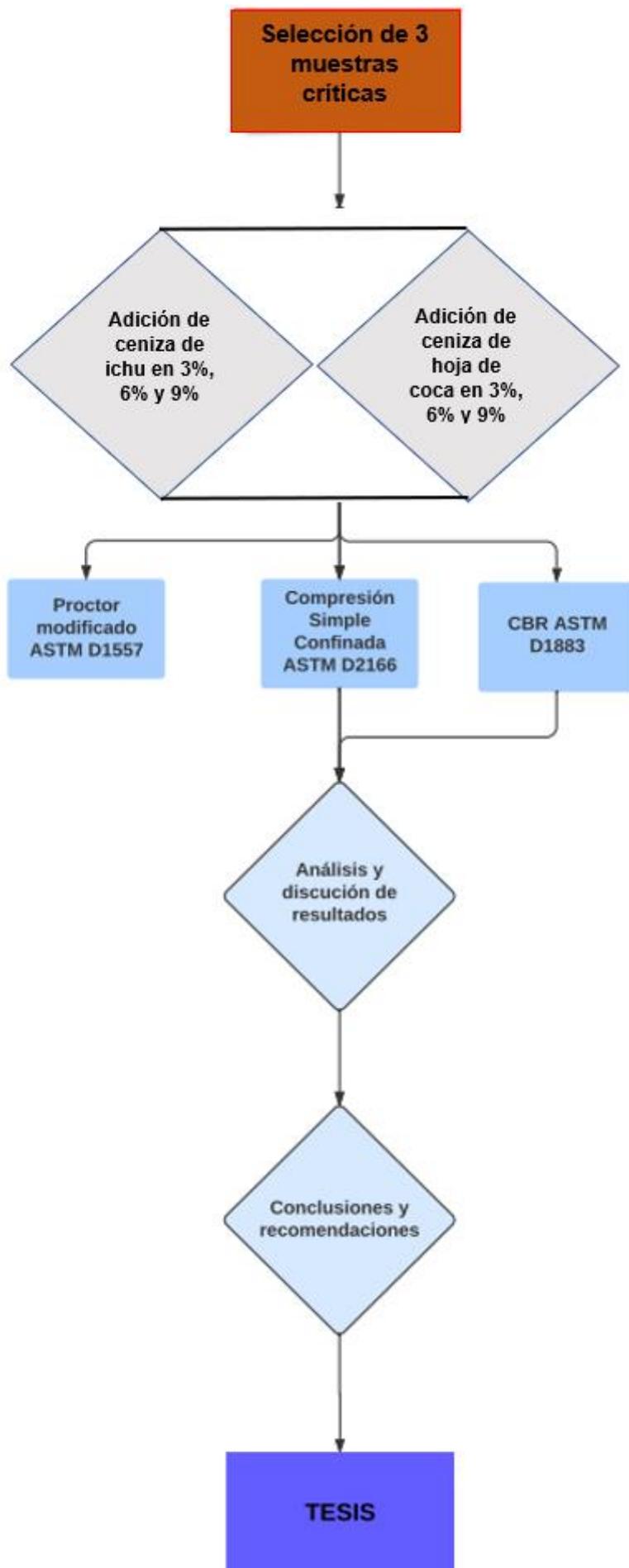
Ing. Mauricio Mormontoy Gonzales  
CIP 57399

PROMEDIO DE VALORACIÓN: 4.9

Ayacucho, 01 de octubre 2022

## ANEXOS 06. PROCEDIMIENTOS





## **ANEXOS 07. NORMATIVA**

### **NORMA TÉCNICA**

**CE. 010**

### **PAVIMENTOS URBANOS**



Difundido por: ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia  
[www.construccion.org](http://www.construccion.org) / [icg@icgmail.org](mailto:icg@icgmail.org)



**PERÚ** Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Viceministerio de Transportes

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles



## MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES



Edición Mayo de 2016





## MTC E 105

### OBTENCIÓN EN LABORATORIO DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS (CUARTEO)

#### 1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer los procedimientos para obtener en laboratorio la muestra necesaria para realizar los ensayos, de forma que sea representativa de la muestra total recibida.

#### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Con este procedimiento, del total de la muestra, se obtiene una muestra representativa necesaria para la ejecución de los ensayos a realizar.
- 2.2 El presente método de ensayo no proporciona resultados numéricos. Sin embargo si no se sigue cuidadosamente los procedimientos aquí descritos, pueden obtenerse muestras distorsionadas para ser usadas en ensayos subsecuentes.
- 2.3 Este método de ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

#### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.089: SUELOS. Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo)

#### 4.0 EQUIPOS

##### 4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Tamices, que cumplan con la NTP 350.001. Los siguientes son requeridos:

- A Tamiz 4,750 mm (Nº 4)
- B Tamiz 2,000 mm (Nº 10)
- C Tamiz 0,425 mm (Nº 40)

- 4.1.2 Mortero, con su mazo cubierto de caucho en la parte inferior.
- 4.1.3 Cuarteador o aparato para la separación de las muestras. En la Figura 1 se describe y muestra un diseño del aparato que puede utilizarse.
- 4.1.4 Lona, para cubrir aproximadamente 2 m x 2,5 m.
- 4.1.5 Pala, cucharón metálico o badilejo para manejar el material.
- 4.1.6 Varilla metálica, de longitud apropiada.

#### 5.0 MUESTRA

- 5.1 La muestra de suelo; tal como fue recibida, se seca al aire colocándola en forma extendida sobre una superficie plana horizontal.
- 5.2 Se desmenuza el material, deshaciendo los terrones utilizando el mortero.
- 5.3 Como regla general no se debe realizar el sacado en horno, porque puede influir en los resultados.

#### 6.0 PROCEDIMIENTO

##### 6.1 METODO A. CUARTEO MECANICO

- 6.1.1 La muestra de campo se vierte en la tolva, y se distribuye uniformemente de extremo a extremo, de manera que, aproximadamente, igual cantidad fluya libremente a través de cada cajuela a los recipientes colocados debajo (Figura 2).
- 6.1.2 La muestra depositada en uno de los recipientes se reintroduce al aparato las veces que sea necesario para reducir su tamaño a la cantidad especificada en el ensayo.
- 6.1.3 La porción de muestra acumulada en el otro recipiente se debe reservar para otros ensayos.

## 6.2 METODO B. CUARTEO MANUAL

6.2.1 Se puede usar cualquiera de los procedimientos descritos en [6.2.2](#) y [6.2.3](#) o una combinación de ambos.

6.2.2 Se coloca la muestra sobre una superficie dura, limpia y horizontal evitando cualquier pérdida de material o la adición de sustancias extrañas.

Se mezcla bien hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación cuatro veces. Cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del mismo.

Cuidadosamente se aplanar y extiende la pila cónica hasta darle una base circular, espesor y diámetro uniforme, presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarteo del sector contenga el material original. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor.

Se procede luego a dividir diametralmente el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando luego con cepillo o escoba los espacios libres. Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente y se repite la operación hasta obtener la cantidad de muestra requerida (Figura 3).

6.2.3 Como una alternativa al procedimiento 6.2.2 cuando la superficie no es uniforme, la muestra de campo se coloca sobre una lona sobre la cual se homogeniza muestra original por paleo, como se ha descrito en 6.2.2. Se puede operar también, mezclando el material mediante la elevación alternativas de las esquinas de la lona tirando hacia la muestra, como si se tratara de doblar la lona diagonalmente haciendo rodar el material.

En cualquiera de los casos se procede a aplanar y extender la pila como en [6.2.2](#) y luego a dividirla o, si la superficie debajo de la lona es irregular, se coloca debajo de ésta y en el centro de la muestra una varilla que al levantar sus extremos la divide en dos partes iguales. Doblando las esquinas de la lona se saca la varilla y se coloca nuevamente debajo del centro de la lona en ángulo recto a la primera división y levantando ambos extremos de la varilla se divide la muestra en cuatro partes iguales.

Se descartan dos cuartos de muestra diagonalmente opuestos y cuidadosamente se limpian los finos de la lona.

Sucesivamente se mezcla y cuartea el material remanente hasta reducir la muestra a la cantidad deseada (Figura 4).

6.3 Cuando la cantidad de muestra es apropiada para ello, puede operarse encima de una mesa con una paleta o cuchara pequeñas, siguiendo un criterio análogo al descrito en [6.2.2](#).

6.4 División de una muestra en dos fracciones por medio de un tamiz.

6.4.1 Se pasa la muestra por el tamiz de que se trate. Se disgregan los terrones que aún quedan sin desmenuzarse en la fracción retenida y se tamiza de nuevo, reuniendo lo que pase con la misma fracción del primer tamizado. Se repite esta operación cuantas veces sea necesario hasta dejar el material retenido limpio de finos.

6.4.1.1 En los casos difíciles resulta útil subdividir lo retenido mediante tamices, en dos o tres partes, con objeto de facilitar la disgregación con el mazo de caucho.

6.4.2 En general cuando se tamice una muestra representativa (ya cuarteada) para obtener otra fracción más fina también representativa, se ha de tamizar hasta terminar la operación con toda la muestra. Aunque se obtenga antes la cantidad de muestra necesaria para los ensayos a realizar, debe seguirse el tamizado hasta el final.



**APENDICE A**

**CUARTEADORES O DIVISORES MECÁNICOS DE MUESTRAS**

Los cuarteadores o divisores mecánicos de muestras son aparatos diseñados para dividir la muestra original en partes representativas y reducir su tamaño a cantidades apropiadas para los ensayos.

Los divisores deben estar equipados con una tolva por la cual la muestra se deposita a las cajuelas.

Cada divisor debe tener un número par de cajuelas con planos inclinados de igual ancho, pero no menor de ocho para suelos gruesos o veinte para suelos finos. El ancho mínimo de la cajuela debe ser de 1,5 veces el diámetro de la partícula de mayor tamaño contenida en la muestra a ser dividida. Asimismo debe estar equipado con dos recipientes para recibir las mitades de la muestra dividida.

El ancho de la tolva debe ser igual o ligeramente menor que el ancho total de la cajuela.

El equipo y sus accesorios deben ser diseñados para que la muestra fluya suavemente sin restricciones o pérdida de material.

La Figura 1 muestra un gráfico referencial de un aparato divisor mecánico.

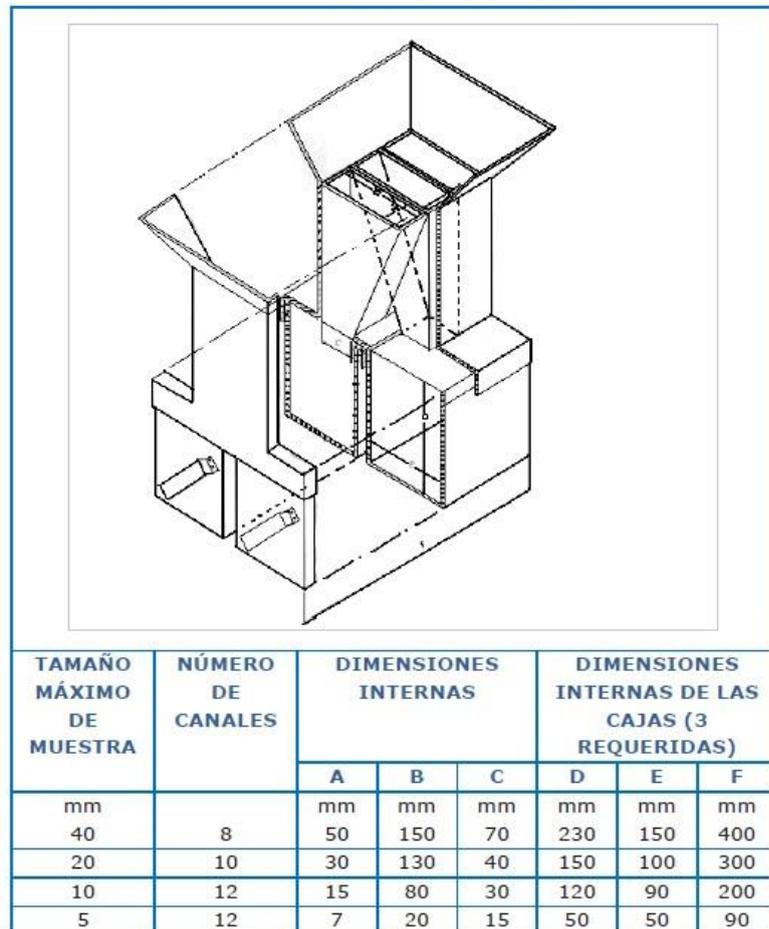


Figura 1: Aparato divisor de muestras gráfico referencial

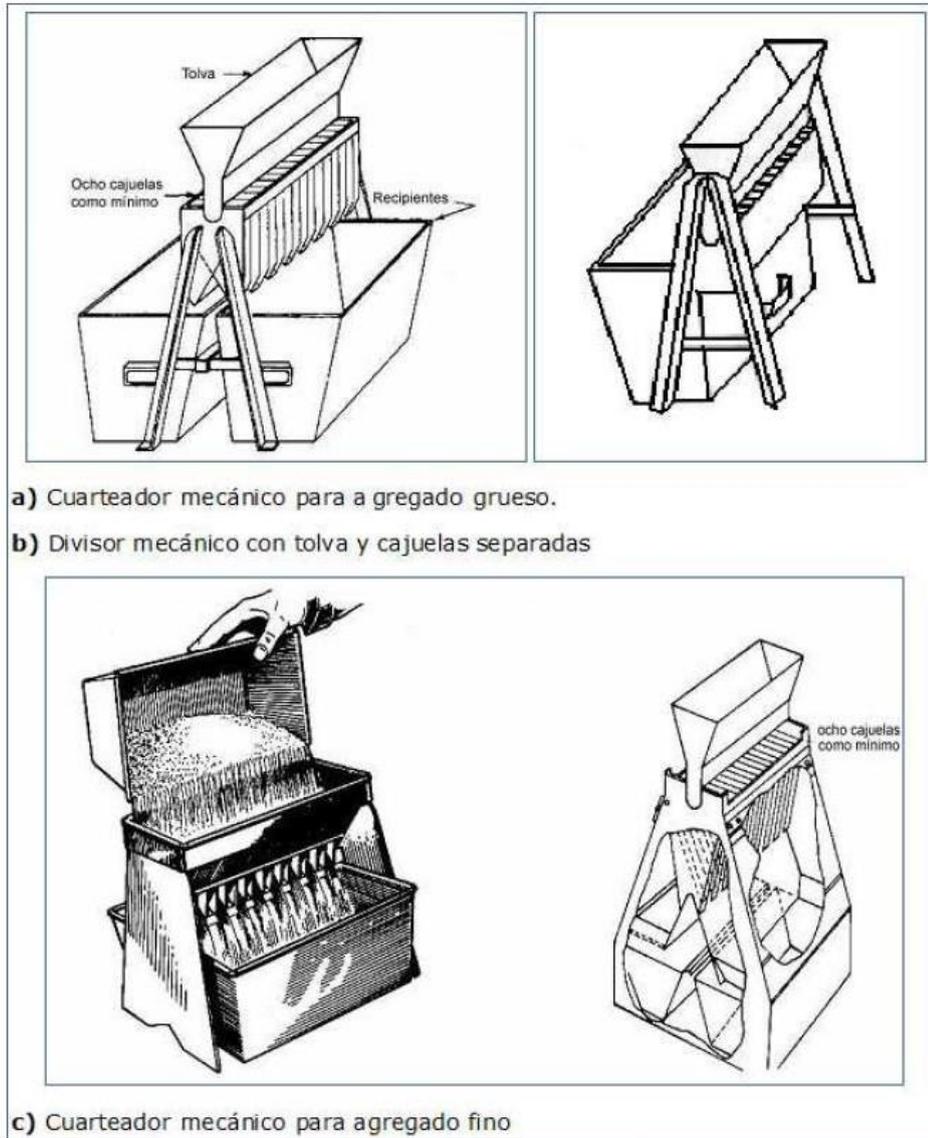


Figura 2: Divisores mecánicos de muestras y cuarteo superficie limpia y nivelada.

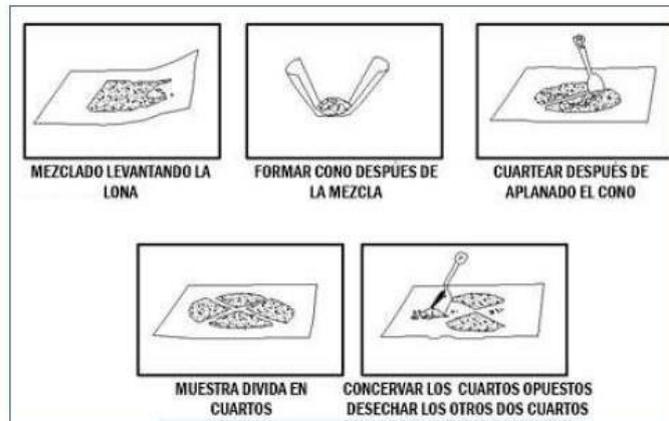


Figura 3: Cuarteo sobre lona.



**MTC E 107**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO**

**1.0 OBJETO**

1.1 Determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo.

**2.0 FINALIDAD Y ALCANCE**

2.1 Este Modo Operativo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (Nº 200).

2.2 Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

**3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS**

3.1 ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils.

**4.0 EQUIPOS Y MATERIALES**

**4.1 EQUIPOS**

4.1.1 Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0,01 g para pesar material que pase el tamiz de 4,760 mm (Nº 4). Otra con sensibilidad de 0,1% del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4).

4.1.2 Estufa. Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de  $110 \pm 5$  °C.

**4.2 MATERIALES**

4.2.2 Tamices de malla cuadrada. Incluyen los siguientes:

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 10	2,000
Nº 20	0,840
Nº 40	0,425
Nº 60	0,260
Nº 140	0,106
Nº 200	0,075

Se puede usar, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, dé una separación uniforme entre los puntos del gráfico; esta serie estará integrada por los siguientes tamices de malla cuadrada:

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
1 1/2"	38,100
3/4"	19,000
3/8"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 8	2,360
Nº 16	1,100
Nº 30	0,590
Nº 50	0,297
Nº 100	0,149
Nº 200	0,075



4.2.3 Envases. Adecuados para el manejo y secado de las muestras.

4.2.4 Cepillo y brocha. Para limpiar las mallas de los tamices.

## 5.0 MUESTRA

5.1 Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado.

5.2 Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico (MTC E 106), la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayaran por separado.

5.3 El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, como se indica en el modo operativo MTC E 106, será suficiente para las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:

5.3.1 Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla 1:

Tabla 1

Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción (g)
9,5 (3/8")	500
19,6 (3/4")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 1/2")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

5.3.2 El tamaño de la porción que pasa tamiz de 4,760 mm (Nº 4) será aproximadamente de 115 g para suelos arenosos y de 65 g para suelos arcillosos y limosos.

5.4 En el modo operativo MTC E 106 se dan indicaciones para la pesada del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, así como para la separación del suelo sobre el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) por medio del tamizado en seco, y para el lavado y pesado de las fracciones lavadas y secadas retenidas en dicho tamiz. De estos dos pesos, los porcentajes, retenido y que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4), pueden calcularse de acuerdo con el numeral [4.1.1](#).

5.4.1 Se puede tener una comprobación de los pesos, así como de la completa pulverización de los terrones, pesando la porción de muestra que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) y agregándole este valor al peso de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4).

## 6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 ANÁLISIS POR MEDIO DE TAMIZADO DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN EL TAMIZ DE 4,760 mm (Nº 4).

6.1.1 Sepárese la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) en una serie de fracciones usando los tamices de:



TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
Nº 4	4,760

O los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o de las especificaciones para el material que se ensaya.

- 6.1.2 En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apesadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz.

Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente, el resultado se puede verificar usando el método manual.

- 6.1.3 Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0,1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso, inicial de la muestra no debe diferir en más de 1 %.

#### 6.2 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA FRACCION FINA

- 6.2.1 El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4), se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida.

- 6.2.2 Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco.

- 6.2.3 Los materiales limo-arcillosos, cuyos terrones en estado seco no rompan con facilidad, se procesarán por la vía húmeda.

- 6.2.4 Si se requiere la curva granulométrica completa incluyendo la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0,074 mm (Nº 200), la gradación de ésta se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios. Ver Modo Operativo MTC E 109-2009.

- 6.2.5 Se puede utilizar procedimientos simplificados para la determinación del contenido de partículas menores de un cierto tamaño, según se requiera.

- 6.2.6 La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 0,074 mm (Nº 200), se analizará por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 0,074 mm (Nº 200).

- 6.2.7 Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 0,074 mm (Nº 200).

- 6.2.8 Se separan mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud de 0,01 g.

- 6.2.9 Humedad higroscópica. Se pesa una porción de 10 a 15 g de los cuarteos anteriores y se seca en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. Se pesan de nuevo y se anotan los pesos.

- 6.2.10 Se coloca la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.

- 6.2.11 Se lava a continuación la muestra sobre el tamiz de 0,074 mm (Nº 200), con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.



6.2.12 Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C y se pesa.

6.2.13 Se tamiza en seco siguiendo el procedimiento indicado en las secciones [6.1.2](#) y [6.1.3](#).

## 7.0 CALCULOS E INFORME

### 7.1 CALCULOS

7.1.1 Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº4):

7.1.1.1 Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4), dividiendo el peso que pasa dicho tamiz por el del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100. Para obtener el peso de la porción retenida en el mismo tamiz, réstese del peso original, el peso del pasante por el tamiz de 4,760 mm (Nº 4).

7.1.1.2 Para comprobar el material que pasa por el tamiz de 9,52 mm (3/8"), se agrega al peso total del suelo que pasa por el tamiz de 4,760 mm (Nº4), el peso de la fracción que pasa el tamiz de 9,52 mm (3/8") y que queda retenida en el de 4,760 mm (Nº4). Para los demás tamices continúese el cálculo de la misma manera.

7.1.1.3 Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa entre el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

7.1.2 Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4):

7.1.2.1 Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm (Nº 200) de la siguiente forma:

$$\% \text{ Pasa } 0,074 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Retenido en el Tamiz de } 0,074}{\text{Peso Total}} \times 100$$

7.1.2.2 Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

7.1.2.3 Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100 % los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

7.1.2.4 Porcentaje de humedad higroscópica. La humedad higroscópica como la pérdida de peso de una muestra secada al aire cuando se seca posteriormente al horno, expresada como un porcentaje del peso de la muestra secada al horno. Se determina de la manera siguiente:

$$\% \text{ Humedad Higroscópica} = \frac{W - W_1}{W_1} \times 100$$

Donde:

W = Peso de suelo secado al aire

W<sub>1</sub> = Peso de suelo secado en el horno

### 7.2 INFORME

7.2.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

- El tamaño máximo de las partículas contenidas en la muestra.
- Los porcentajes retenidos y los que pasan, para cada uno de los tamices utilizados.
- Toda información que se juzgue de interés.

Los resultados se presentarán: (1) en forma tabulada, o (2) en forma gráfica, siendo esta última forma la indicada cada vez que el análisis comprende un ensayo completo de sedimentación.



Las pequeñas diferencias resultantes en el empuje de las curvas obtenidas por tamizado y por sedimentación, respectivamente, se corregirán en forma gráfica.

7.2.2 Los siguientes errores posibles producirán determinaciones imprecisas en un análisis granulométrico por tamizado.

- a) Aglomeraciones de partículas que no han sido completamente disgregadas. Si el material contiene partículas finas plásticas, la muestra debe ser disgregada antes del tamizado.
- b) Tamices sobrecargados. Este es el error más común y más serio asociado con el análisis por tamizado y tenderá a indicar que el material ensayado es más grueso de lo que en realidad es. Para evitar eso, las muestras muy grandes deben ser tamizadas en varias porciones y las porciones retenidas en cada tamiz se juntarán luego para realizar la pesada.
- c) Los tamices han sido agitados por un período demasiado corto o con movimientos horizontales o rotacionales inadecuados. Los tamices deben agitarse de manera que las partículas sean expuestas a las aberturas del tamiz con varias orientaciones y así tengan mayor oportunidad de pasar a través de él.
- d) La malla de los tamices está rota o deformada; los tamices deben ser frecuentemente inspeccionados para asegurar que no tienen aberturas más grandes que la especificada.
- e) Pérdidas de material al sacar el retenido de cada tamiz.
- f) Errores en las pesadas y en los cálculos.



## MTC E 110

### DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS

#### 1.0 OBJETO

- 1.1 Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.

**Discusión:** Se considera que la resistencia al corte no drenada del suelo en el límite líquido es de 2 kPa (0,28 psi).

- 1.2 El valor calculado deberá aproximarse al centésimo.

#### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos véase anexos de clasificación de este manual. (SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción (véase especificación ASTM D1241). El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte
- 2.2 Los límites líquido y plástico de un suelo pueden utilizarse con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que  $2\mu\text{m}$  para determinar su número de actividad
- 2.3 Frecuentemente se utilizan tres métodos para evaluar las características de intemperización de materiales compuestos por arcilla-lutita. Cuando se someten a ciclos repetidos de humedecimiento y secado, los límites de estos materiales tienden a incrementarse. La magnitud del incremento se considera ser una medida de la susceptibilidad de la lutita a la intemperización.
- 2.4 El límite líquido de un suelo que contiene cantidades significativas de materia orgánica decrece dramáticamente cuando el suelo es secado al horno antes de ser ensayado. La comparación del límite líquido de una muestra antes y después del secado al horno puede por consiguiente ser usada como una medida cualitativa del contenido de materia orgánica de un suelo

#### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

#### 4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

##### 4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Recipiente para Almacenaje. Una vasija de porcelana de 115 mm (4 1/2") de diámetro aproximadamente.
- 4.1.3 Aparato del límite líquido (o de Casagrande).  
De operación manual. Es un aparato consistente en una taza de bronce con sus aditamentos, construido de acuerdo con las dimensiones señaladas en la Figura 1.  
De operación mecánica. Es un aparato equipado con motor para producir la altura y el número de golpes. Figura 1. El aparato debe dar los mismos valores para el límite líquido que los obtenidos con el aparato de operación manual.
- 4.1.4 Acanalador. Conforme con las dimensiones críticas indicadas en la figura 1.



- 4.1.5 Calibrador. Ya sea incorporado al ranurador o separado, de acuerdo con la dimensión crítica "d" mostrada en la Figura 1, y puede ser, si fuere separada, una barra de metal de  $10,00 \pm 0,2$  mm ( $0,394 \pm 0,008$ " ) de espesor y de 50 mm (2") de largo, aproximadamente.
- 4.1.6 Recipientes o Pesa Filtros. De material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos. Deben tener tapas que cierren bien, sin costuras, para evitar las pérdidas de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmósfera tras el secado y antes de la pesada final.
- 4.1.7 Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0,01 g.
- 4.1.8 Estufa. Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  para secar la muestra.
- 4.2 MATERIALES
- 4.2.1 Espátula. De hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3"- 4") de longitud y 20 mm ( $\frac{3}{4}$ " ) de ancho aproximadamente.
- 4.3 INSUMOS
- 4.3.1 Pureza del agua: Cuando este método de ensayo sea referida agua destilada, puede emplearse agua destilada o agua desmineralizada.
- 5.0 MUESTRA
- 5.1 Se obtiene una porción representativa de la muestra total suficiente para proporcionar 150 g a 200 g de material pasante del tamiz  $425 \mu\text{m}$  (Nº 40). Las muestras que fluyen libremente pueden ser reducidas por los métodos de cuarteo o división de muestras. Las muestras cohesivas deben ser mezcladas totalmente en un recipiente con una espátula, o cuchara y se obtendrá una porción representativa de la masa total extrayéndola dos veces con la cuchara.
- 6.0 PROCEDIMIENTO
- Multipunto**
- 6.1 Colocar una porción del suelo preparado, en la copa del dispositivo de límite líquido en el punto en que la copa descansa sobre la base, presionándola, y esparciéndola en la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, formando una superficie aproximadamente horizontal. Tener cuidado en no dejar burbujas de aire atrapadas en la pasta con el menor número de pasadas de espátula como sea posible. Mantener el suelo no usado en el plato de mezclado. Cubrir el plato de mezclado con un paño húmedo (o por otro medio) para retener la humedad en la muestra.





la misma forma. Si una burbuja hubiera causado el cierre prematuro de la ranura, formar nuevamente el suelo en la copa, añadiendo una pequeña cantidad de suelo para compensar la pérdida en la operación de ranuración y repetir de 6.1 a 6.3 a un contenido más elevado. Si luego de varias pruebas a contenidos de humedad sucesivamente más altos, la pasta de suelo se sigue deslizando en la copa o si el número de golpes necesarios para cerrar la ranura es siempre menor de 25, se registrará que el límite no pudo determinarse, y se reportará al suelo como no plástico sin realizar el ensayo de límite plástico.

- 6.4 Registrar el número de golpes, N, necesario para cerrar la ranura. Tomar una tajada de suelo de aproximadamente de ancho de la espátula, extendiéndola de extremo a extremo de la torta de suelo en ángulos rectos a la ranura e incluyendo la porción de la ranura en la cual el suelo se deslizó en conjunto, colocarlo en un recipiente de peso conocido, y cubrirlo.
- 6.5 Regresar el suelo remanente en la copa al plato de mezclado. Lavar y secar la copa y el acanalador y fijar la copa nuevamente a su soporte como preparación para la siguiente prueba.
- 6.6 Mezclar nuevamente todo el espécimen de suelo en el plato de mezclado añadiéndole agua destilada para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Repetir de 6.1 a 6.6 para al menos dos pruebas adicionales produciendo números de golpes sucesivamente más bajos para cerrar la ranura. Una de estas pruebas se realizará para un cierre que requiera de 25 a 35 golpes, una para un cierre entre 20 y 30 golpes, y una prueba para un cierre que requiera de 15 a 25 golpes.
- 6.7 Determinar el contenido de humedad,  $W^n$ , del espécimen de suelo de cada prueba de acuerdo al método de ensayo NTP 339.127. Los pesos iniciales deben determinarse inmediatamente después de terminar el ensayo. Si el ensayo se interrumpe por más de 15 minutos, el espécimen ya obtenido debe pesarse en el momento de la interrupción.

**Un punto**

- 6.8 El ensayo se efectúa en la misma

**7.0 CALCULOS**

**(Multipunto)**

- 7.1 Representar la relación entre el contenido de humedad,  $W^n$ , y el número de golpes correspondientes, N, de la copa sobre un gráfico semilogarítmico con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Trazar la mejor línea recta que pase por los tres puntos o más puntos graficados.
- 7.2 Tomar el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo. El método gráfico puede sustituir los métodos de ajuste para encontrar una línea recta con los datos, para encontrar el límite líquido.

**(Un punto)**

- 7.3 Determinar el límite líquido para cada espécimen para contenido de humedad usando una de las siguientes ecuaciones:

$$LL = W^n \left( \frac{N}{25} \right)^{0,121} \quad \text{o} \quad LL = kW^n$$

Donde:

- N = Números de golpes requeridos para cerrar la ranura para el contenido de humedad,
- $W^n$  = Contenido de humedad del suelo,
- K = factor dado en la tabla A.1



Tabla A -1

N (Numero de golpes)	K (Factor para límite líquido)
20	0,974
21	0,979
22	0,985
23	0,990
24	0,995
25	1,000
26	1,005
27	1,009
28	1,014
29	1,018
30	1,022

Tabla 1  
Tabla de estimados de precisión.

Índice de precisión y tipo de ensayo	Desviación Estándar	Rango Aceptable de dos resultados
<b>Precisión de un operador simple</b>		
Límite Líquido	0,8	2,4
<b>Precisión Multilaboratorio</b>		
Límite Líquido	3,5	9,9

**8.0 PRECISION Y DISPERSION**

**8.1 PRECISION**

8.1.1 El criterio para aceptar la aceptación de los resultados de los ensayos de límite líquido obtenido por este método de ensayo.

**8.2 DISPERSION**

8.2.1 Exactitud: No existe un valor de referencia aceptable para este método de ensayo; la exactitud no puede ser determinada.

**MTC E 111****DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo

**2.0 FINALIDAD Y ALCANCE**

- 2.1 Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen
- 2.2 Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos (véase anexos de clasificación SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción (véase especificación ASTM D1241). El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.
- 2.3 Los plástico de un suelo pueden utilizar con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que  $2\mu\text{m}$  para determinar su número de actividad

**3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS**

- 3.1 NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

**4.0 EQUIPOS Y MATERIALES E INSUMOS****4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Espátula, de hoja flexible, de unos 75 a 100 mm (3" - 4") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.
- 4.1.2 Recipiente para Almacenaje, de porcelana o similar, de 115 mm (4 1/2") de diámetro.
- 4.1.3 Balanza, con aproximación a 0,01 g.
- 4.1.4 Horno o Estufa, termostáticamente controlado regulable a  $110 \pm 5$  °C.
- 4.1.5 Tamiz, de 426  $\mu\text{m}$  (N° 40).
- 4.1.6 Agua destilada.
- 4.1.7 Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.
- 4.1.8 Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

**5.0 MUESTRA**

- 5.1 Si se quiere determinar sólo el L.P., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426  $\mu\text{m}$  (N° 40), preparado para el ensayo de límite líquido. Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de 1,5 g a 2,0 g de dicha esfera como muestra para el ensayo.
- 5.2 El secado previo del material en horno o estufa, o al aire, puede cambiar (en general, disminuir), el límite plástico de un suelo con material orgánico, pero este cambio puede ser poco importante.
- 5.3 Si se requieren el límite líquido y el límite plástico, se toma una muestra de unos 15 g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo con la Norma MTC E 110 (determinación del límite líquido de los suelos). La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado



en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla. Si el ensayo se ejecuta después de realizar el del límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añade más agua.

**6.0 PROCEDIMIENTO**

6.1 Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.

6.2 Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3,2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer una elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo: En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.

6.3 Porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad de acuerdo con la norma MTC E 108.

6.4 Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado en 6.1, 6.2 y 6.3.

**7.0 CALCULOS E INFORME**

**7.1 CALCULOS**

Calcular el promedio de dos contenidos de humedad. Repetir el ensayo si la diferencia entre los dos contenidos de humedad es mayor que el rango aceptable para los dos resultados listados en la tabla 1 para la precisión de un operador.

**Tabla 1**  
Tabla de estimados de precisión.

Índice de precisión y tipo de ensayo	Desviación Estándar	Rango Aceptable de dos resultados
<b>Precisión de un operador simple</b>		
Límite Plástico	0,9	2,6
<b>Precisión Multilaboratorio</b>		
Límite Plástico	3,7	10,6

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula así:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

**7.2 CALCULOS DE INDICE DE PLASTICIDAD**

Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

L.L. = Límite Líquido

P.L. = Límite Plástico

L.L. y L.P., son números enteros

- Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).
- Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico).



PERU

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

Viceministerio  
de Transportes

Dirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

## **8.0 PRECISION Y DISPERSION**

### **8.1 PRECISION**

8.1.1 El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos de Límite Plástico obtenidos por este método de ensayo se da en la Tabla N° 1.

### **8.2 DISPERSION**

8.2.1 Exactitud: No existe un valor de referencia aceptable para este método de ensayo; la exactitud no puede ser determinada.



## MTC E 115

### COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)

#### 1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m<sup>3</sup> (56 000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>)).

#### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>)).

**Nota 1.** Los suelos y mezclas de suelos-agregados son considerados como suelos finos o de grano grueso o compuestos o mezclas de suelos naturales o procesados o agregados tales como grava, limo o piedra partida.

**Nota 2.** El equipo y procedimiento son los mismos que los propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos en 1945. La prueba de Esfuerzo Modificado es a veces referida como Prueba de Compactación de Proctor Modificado

- 2.2 Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm (¾ pulg).

**Nota 3.** Para relaciones entre Peso Unitario y Contenido de Humedad de suelos con 30% ó menos en peso de material retenido en la malla 19,0 mm (¾ pulg) a Pesos Unitarios y contenido de humedad de la fracción que pasa la malla de 19,0 mm (¾ pulg), ver ensayo ASTM D 4718

- 2.3 Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

##### 2.3.1 METODO "A"

- 2.3.1.1 Molde: 101,6 mm de diámetro (4 pulg)
- 2.3.1.2 Material: Se emplea el que pasa por el tamiz 4,75 mm (Nº 4).
- 2.3.1.3 Número de capas: 5
- 2.3.1.4 Golpes por capa: 25
- 2.3.1.5 Uso: Cuando el 20 % ó menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº 4).
- 2.3.1.6 Otros Usos: Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.

##### 2.3.2 METODO "B"

- 2.3.2.1 Molde: 101,6 mm (4 pulg) de diámetro.
- 2.3.2.2 Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz de 9,5 mm (¾ pulg).
- 2.3.2.3 Número de Capas: 5
- 2.3.2.4 Golpes por capa: 25
- 2.3.2.5 Usos: Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº4) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm (¾ pulg).



2.3.2.6 Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.

### 2.3.3 METODO "C"

2.3.3.1 Molde: 152,4 mm (6 pulg) de diámetro.

2.3.3.2 Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz 19,0 mm (¾ pulg).

2.3.3.3 Número de Capas: 5

2.3.3.4 Golpes por Capa: 56

2.3.3.5 Uso: Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm (¾ pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm (¾ pulg).

2.3.3.6 El molde de 152,4 mm (6 pulg) de diámetro no será usado con los métodos A ó B.

**Nota 4.** Los resultados tienden a variar ligeramente cuando el material es ensayado con el mismo esfuerzo de compactación en moldes de diferentes tamaños.

2.4 Si el espécimen de prueba contiene más de 5% en peso de un tamaño (fracción gruesa) y el material no será incluido en la prueba se deben hacer correcciones al Peso Unitario y Contenido de Agua del espécimen de ensayo ó la densidad de campo apropiada usando el método de ensayo ASTM D 4718.

2.5 Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no drenan libremente. Si el método de ensayo se utiliza para suelos que drenan libremente, no se definirá bien el Peso Unitario Seco máximo y puede ser menor que la obtenida usando el Método de Prueba ASTM D 4253 (NTP 339.137).

2.6 Los valores de las unidades del SI son reconocidos como estándar. Los valores establecidos por las unidades de pulgadas-libras son proporcionados sólo como información.

2.6.1 En la profesión de Ingeniería es práctica común, usar indistintamente unidades que representan Masa y Fuerza, a menos que se realicen cálculos dinámicos ( $F = M \cdot a$ ). Esto implícitamente combina dos sistemas de diferentes Unidades, que son el Sistema Absoluto y el Sistema Gravimétrico. Científicamente, no se desea combinar el uso de dos sistemas diferentes en uno estándar. Este método de prueba se ha hecho usando unidades libra-pulgada (Sistema Gravimétrico) donde la libra (lbf) representa a la Unidad de Fuerza. El uso de libra-masa (lb. m) es por conveniencia de unidades y no intenta establecer que su uso es científicamente correcto. Las conversiones son dadas en el Sistema Internacional (SI) de acuerdo al ensayo ASTM E 380. El uso de balanzas que registran libra-masa (lbm) ó registran la densidad en lbm/pie<sup>3</sup> no se debe considerar como si no concordase con esta norma.

2.7 Este método de ensayo no hace referencia a todos los riesgos relacionadas con este uso, si los hubiera. Es responsabilidad del usuario establecer la seguridad apropiada y prácticas o pruebas confiables y así determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su uso.

2.8 El suelo utilizado como relleno en Ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, bases para caminos) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de Ingeniería tales como: resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad ó permeabilidad. También los suelos de cimentaciones son a menudo compactados para mejorar sus propiedades de Ingeniería. Los ensayos de Compactación en Laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de Ingeniería requeridas, y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.

2.9 Durante el diseño de los rellenos de Ingeniería, se utilizan los ensayos de corte consolidación permeabilidad u otros ensayos que requieren la preparación de especímenes de ensayo compactado a algún contenido de agua para algún Peso Unitario. Es práctica común, primero determinar el óptimo contenido de humedad ( $w_o$ ) y el Peso Unitario Seco máximo ( $\gamma_{dm\acute{a}x}$ ) mediante un ensayo de



compactación. Los especímenes de compactación a un contenido de agua seleccionado ( $w$ ), sea del lado húmedo o seco del óptimo ( $w_o$ ) ó al óptimo ( $w_o$ ) y a un Peso Unitario seco seleccionado relativo a un porcentaje del Peso Unitario Seco máximo ( $\gamma_{dm\acute{a}x}$ ). La selección del contenido de agua ( $w$ ), sea del lado húmedo o seco del óptimo ( $w_o$ ) ó al óptimo ( $w_o$ ), y el Peso Unitario Seco ( $\gamma_{dm\acute{a}x}$ ) se debe basar en experiencias pasadas, o se deberá investigar una serie de valores para determinar el porcentaje necesario de compactación.

### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1.1 NTP 339.141: Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada ( $2\,700\text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$  ( $56\,000\text{ pie}\cdot\text{lbf}/\text{pie}^3$ )).
- 3.1.2 ASTM D 1557: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort ( $2\,700\text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$  ( $56\,000\text{ pie}\cdot\text{lbf}/\text{pie}^3$ )).

### 4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

#### 4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Ensamblaje del Molde.- Los moldes deben de ser cilíndricos hechos de materiales rígidos y con capacidad que se indican en 4.1.1.1 ó 4.1.1.2 de este ensayo y Figuras 1 y 2. Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas o ahusadas. El tipo "partido" deberá tener dos medias secciones circulares, o una sección de tubo dividido a lo largo de un elemento que se pueda cerrar en forma segura formando un cilindro que reúna los requisitos de esta sección. El tipo "ahusado" debe tener un diámetro interno tipo tapa que sea uniforme y no mida más de  $16,7\text{ mm}/\text{m}$  ( $0,200\text{ pulg}/\text{pie}$ ) de la altura del molde. Cada molde tiene un plato base y un collar de extensión ensamblado, ambos de metal rígido y construidos de modo que puedan adherir de forma segura y fácil de desmoldar. El ensamblaje collar de extensión debe tener una altura que sobrepase la parte más alta del molde por lo menos  $50,8\text{ mm}$  ( $2,0\text{ pulg}$ ) con una sección superior que sobrepasa para formar un tubo con una sección cilíndrica recta de por lo menos  $19,0\text{ mm}$  ( $0,75\text{ pulg}$ ), por debajo de ésta.

El collar de extensión debe de alinearse con el interior del molde, la parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana.

- 4.1.1.1 Molde de 4 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio  $101,6 \pm 0,4\text{ mm}$  ( $4,000 \pm 0,016\text{ pulg}$ ) de diámetro interior, una altura de  $116,4 \pm 0,5\text{ mm}$  ( $4,584 \pm 0,018\text{ pulg}$ ) y un volumen de  $944 \pm 14\text{ cm}^3$  ( $0,0333 \pm 0,0005\text{ pie}^3$ ). Un molde con las características mínimas requeridas es mostrado en la Fig. 1.
- 4.1.1.2 Molde de 6 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio  $152,4 \pm 0,7\text{ mm}$  ( $6,000 \pm 0,026\text{ pulg}$ ) de diámetro interior, una altura de:  $116,4 \pm 0,5\text{ mm}$  ( $4,584 \pm 0,018\text{ pulg}$ ) y un volumen de  $2\,124 \pm 25\text{ cm}^3$  ( $0,075 \pm 0,0009\text{ pie}^3$ ). Un molde con las características mínimas requeridas es mostrando en Fig. 2.
- 4.1.2 Pisón ó Martillo.- Un pisón operado manualmente como el descrito en 4.1.2.1 de este ensayo ó mecánicamente como el descrito en 4.1.2.2 de este ensayo. El pisón debe caer libremente a una distancia de  $457,2 \pm 1,6\text{ mm}$  ( $18 \pm 0,05\text{ pulg}$ ) de la superficie de espécimen. La masa del pisón será  $4,54 \pm 0,01\text{ kg}$  ( $10 \pm 0,02\text{ lb}\cdot\text{m}$ ), salvo que la masa pisón mecánico se ajuste al descrito en el Método de Ensayo ASTM D 2168 (ver Nota 5). La cara del pisón que golpea deberá ser plana y circular, excepto el nombrado en 4.1.2.3 de este ensayo con un diámetro de  $50,80 \pm 0,13\text{ mm}$  ( $2,000 \pm 0,005\text{ pulg}$ ), (Figuras 1 y 2). El pisón deberá ser reemplazado si la cara que golpea se desgasta ó se deforma al punto que el diámetro sobrepase los  $50,800 \pm 0,25\text{ mm}$  ( $2,000 \pm 0,01\text{ pulg}$ ).

**Nota 5.** Es práctica común y aceptable en el Sistema de libras-pulgadas asumir que la masa del pisón es igual a su masa determinada utilizado sea una balanza en kilogramos ó libras, y una libra-fuerza es igual a 1 libra-masa ó  $0,4536\text{ kg}$  ó 1N es igual a  $0,2248\text{ libras}\cdot\text{masa}$  ó  $0,1020\text{ kg}$ .

- 4.1.2.1 Pisón Manual.- El pisón deberá estar equipado con una guía que tenga suficiente espacio libre para que la caída del pisón y la cabeza no sea restringida. La guía deberá tener al menos 4 orificios de ventilación en cada extremo (8 orificios en total) localizados con centros de  $19,0 \pm 1,6\text{ mm}$



( $\frac{3}{4} \pm \frac{1}{16}$  pulg) y espaciados a 90°. Los diámetros mínimos de cada orificio de ventilación deben ser 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg). Orificios adicionales ó ranuras pueden ser incorporados en el tubo guía.

- 4.1.2.2 Pisón Mecánico Circular.- El pisón puede ser operado mecánicamente de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen. Debe haber  $2,5 \pm 0,8$  mm ( $0,10 \pm 0,03$  pulg) de espacio libre entre el pisón y la superficie interna del molde en su diámetro más pequeño. El pisón mecánico debe cumplir los requisitos de calibración requeridos por el Método de Ensayo ASTM D 2168. El pisón mecánico debe estar equipado con medios mecánicos capaz de soportar el pisón cuando no está en operación.
- 4.1.2.3 Pisón Mecánico.- Cuando es usado un molde de 152,4mm (6,0 pulg), un sector de la cara del pisón se debe utilizar en lugar del pisón de cara circular. La cara que contacta el espécimen tendrá la forma de un sector circular de radio igual a  $73,7 \pm 0,5$ mm ( $2,90 \pm 0,02$  pulg). El pisón se operará de tal manera que los orificios del sector se ubiquen en el centro del espécimen.
- 4.1.3 Extractor de Muestras (opcional).- Puede ser una gata, estructura u otro mecanismo adaptado con el propósito de extraer los especímenes compactados del molde.
- 4.1.4 Balanza.- Una balanza de tipo GP5 que reúna los requisitos de la Especificación ASTM D 4753, para una aproximación de 1 gramo.
- 4.1.5 Horno de Secado.- Con control termostático preferiblemente del tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C a través de la cámara de secado.

## 4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Regla.- Una regla recta metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 254 mm (10 pulgadas). La longitud total de la regla recta debe ajustarse directamente a una tolerancia de  $\pm 0,1$  mm ( $\pm 0,005$  pulg). El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que 3 mm ( $1/8$  pulg).
- 4.2.2 Tamices ó Mallas.- De 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg), 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg) y 4,75mm (Nº 4), conforme a los requisitos de la especificaciones ASTM E11.
- 4.2.3 Herramientas de Mezcla.- Diversas herramientas tales como cucharas, morteros, mezclador, paleta, espátula, botella de spray, etc. ó un aparato mecánico apropiado para la mezcla completo de muestra de suelo con incrementos de agua.

## 5.0 MUESTRA

- 5.1 La masa de la muestra requerida para el Método A y B es aproximadamente 16 kg (35 lbm) y para el Método C es aproximadamente 29 kg (65 lbm) de suelo seco. Debido a esto, la muestra de campo debe tener un peso húmedo de al menos 23 kg (50 lbm) y 45 kg (100 lbm) respectivamente.
- 5.2 Determinar el porcentaje de material retenido en la malla 4,75mm (Nº 4), 9,5mm ( $\frac{3}{8}$  pulg) ó 19,0mm ( $\frac{3}{4}$  pulg) para escoger el Método A, B ó C. Realizar esta determinación separando una porción representativa de la muestra total y establecer los porcentajes que pasan las mallas de interés mediante el Método de Análisis por tamizado de Agregado Grueso y Fino (NTP 339.128 ó ASTM C 136). Sólo es necesario para calcular los porcentajes para un tamiz ó tamices de las cuales la información que se desea.

## 6.0 PROCEDIMIENTO

### 6.1 PREPARACION DE APARATOS

- 6.1.1 Seleccionar el molde de compactación apropiado de acuerdo con el Método (A, B ó C) a ser usado. Determinar y anotar su masa con aproximación a 1 gramo. Ensamblar el molde, base y collar de extensión. Chequear el alineamiento de la pared interior del molde y collar de extensión del molde. Ajustar si es necesario.
- 6.1.2 Revise que el ensamblado del pisón esté en buenas condiciones de trabajo y que sus partes no estén flojas ó gastado. Realizar cualquier ajuste ó reparación necesaria. Si los ajustes ó reparaciones son hechos, el martillo deberá volver a ser calibrado.

- 6.1.3 Calibración de los siguientes aparatos antes del uso inicial, después de reparaciones u otros casos que puedan afectar los resultados del ensayo, en intervalos no mayores que 1 000 muestras ensayadas o anualmente, cualquiera que ocurra primero; para los siguientes aparatos.
- Balanza.- Evaluar de acuerdo con especificaciones ASTM D 4753 (Especificaciones, Evaluación, Selección y Elección de Balanzas y Escalas para uso muestras de suelos y rocas.)
  - Moldes.- Determinar el volumen como se describe en Anexo A1.
  - Pisón Manual.- Verifique la distancia de caída libre, masa del pisón y la cara del pisón de acuerdo con 4.1.2 de este ensayo. Verificar los requisitos de la guía de acuerdo con 4.1.2.1 de este ensayo.
  - Pisón Mecánico.- Calibre y ajuste el pisón mecánico de acuerdo al Método de Ensayo ASTM D 2168 (Calibración de Pisón Mecánico de Compactación de Suelos en Laboratorio) Además, el espacio libre entre el pisón y la superficie interior del molde debe verificarse de acuerdo a 4.1.2.2 de este ensayo.
- 6.2 PREPARACION DEL ENSAYO
- 6.2.1 SUELOS
- 6.2.1.1 No vuelva a usar el suelo que ha sido compactado previamente en Laboratorio.
- 6.2.1.2 Utilice el método de preparación húmedo y cuando se ensaye con suelos que contienen hallosita hidratada o donde la experiencia con determinados suelos indica que los resultados pueden ser alterados por el secado al aire, (ver 6.2.2 de este ensayo).
- 6.2.1.3 Preparar los especímenes del suelo para el ensayo de acuerdo al párrafo 6.2.2 (de preferencia) o con 6.2.3 de este ensayo.
- 6.2.2 METODO DE PREPARACION HUMEDA (PREFERIBLE)
- 6.2.2.1 Sin secado previo de la muestra, pásela a través del tamiz 4,75mm (Nº 4); 9,5mm (¾ pulg) ó 19,0 mm (¾ pulg), dependiendo del Método a ser usado (A, B ó C). Determine el contenido de agua del suelo procesado.
- 6.2.2.2 Prepare mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado. Un espécimen que tiene un contenido de humedad cercano al óptimo deberá ser preparado primero, añadiendo al cálculo agua y mezcla (ver Nota 6). Seleccionar los contenidos de agua para el resto de los especímenes de tal forma que resulten por lo menos dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varíen alrededor del 2%. Como mínimo es necesario dos contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación del peso seco unitario (ver 7.1.1 de este ensayo). Algunos suelos con muy alto óptimo contenido de agua ó una curva de compactación relativamente plana requieren grandes incrementos de contenido de agua para obtener un Peso Unitario Seco Máximo bien definido. Los incrementos de contenido de agua no deberán excederán de 4%.
- Nota 6.** Con la práctica es posible juzgar visualmente un punto cercano al óptimo contenido de agua. Generalmente, el suelo en un óptimo contenido de agua puede ser comprimido y quedar así cuando la presión manual cesa, pero se quebrará en dos secciones cuando es doblada. En contenidos de agua del lado seco del óptimo, los suelos tienden a desintegrarse; del lado húmedo del óptimo, se mantienen unidos en una masa cohesiva pegajosa. El óptimo contenido de humedad frecuentemente es ligeramente menor que el límite plástico.
- 6.2.2.3 Usar aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) del suelo tamizado en cada espécimen que se compacta empleando el Métodos A ó B; ó 5,9 kg (13 lbm) cuando se emplee el Método C. Para obtener los contenidos de agua del espécimen que se indica en 6.2.2.2 de este ensayo, añada o remueva las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera: Añada poco a poco el agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 60°C (140°F).



Mezclar el suelo continuamente durante el proceso de secado para mantener la distribución del contenido agua en todas partes y luego colóquelo aparte en un contenedor con tapa y ubíquelo de acuerdo con la Tabla N°1 antes de la compactación. Para seleccionar un tiempo de espera, el suelo debe ser clasificado o seleccionado mediante el método de ensayo NTP 339.134, la práctica ASTM D 2488 o mediante datos de otras muestras del mismo material de origen. Para ensayos de determinación, la clasificación deberá ser por Método de ensayo NTP 339.134 (ASTM D 2487)

#### 6.2.3 METODO DE PREPARACION EN SECO

6.2.3.1 Si la muestra está demasiado húmeda, reducir el contenido de agua por secado al aire hasta que el material sea friable. El secado puede ser al aire o por el uso de un aparato de secado tal que la temperatura de la muestra no exceda de 60 °C. Disgregar por completo los grumos de tal forma de evitar quebrar las partículas individuales. Pasar el material por el tamiz apropiado: 4,75 mm (N°4); 9,5 mm (¾ pulg) ó 19,0 mm (¾ pulg). Durante la preparación del material granular que pasa la malla ¾ pulg para la compactación en el molde de 6 pulgadas, disgregar o separar los agregados lo suficientemente para que pasen el tamiz 9,5 mm (¾ pulg) de manera de facilitar la distribución de agua a través del suelo en el mezclado posterior.

6.2.3.2 Preparar mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes de acuerdo con 6.2.2.2.

6.2.3.3 Usar aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) del suelo tamizado para cada espécimen a ser compactado cuando se emplee el Método A, B ó 5,9 kg (13 libras) cuando se emplee el Método C. Añadir las cantidades requeridas de agua para que los contenidos de agua de los especímenes tengan los valores descritos en 6.2.2.2 de este ensayo. Seguir la preparación del espécimen por el procedimiento especificado en 6.2.2.3 de este ensayo para los suelos secos ó adicionar agua en el suelo y el curado de cada espécimen de prueba.

6.2.4 Compactación.- Después del curado, si se requiere, cada espécimen se compactará de la siguiente manera:

6.2.4.1 Determinar y anotar la masa del molde ó molde y el plato de base.

6.2.4.2 Ensamble y asegure el molde y el collar al plato base. El molde se apoyará sobre un cimiento uniforme y rígido, como la proporcionada por un cilindro o cubo de concreto con una masa no menor de 91 kg (200 lbm). Asegurar el plato base a un cimiento rígido. El método de unión al cimiento rígido deberá permitir un desmolde fácil del molde ensamblado, el collar y el plato base después que se concluya la compactación.

6.2.4.3 Compactar el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Antes de la compactación, colocar el suelo suelto dentro del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisonar el suelo antes de la compactación hasta que este no esté en estado suelto o esponjoso, usando el pisón manual de compactación o un cilindro de 5 mm (2 pulg) de diámetro. Posteriormente a la compactación de cada uno de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no han sido compactado o extendido cerca de la superficie compactada será recortada. El suelo recortado puede ser incluido con el suelo adicional para la próxima capa. Un cuchillo ú otro aparato disponible puede ser usado. La cantidad total de suelo usado será tal que la quinta capa compactada se extenderá ligeramente dentro del collar, pero no excederá 6 mm (1/4pulg) de la parte superior del molde. Si la quinta capa se extiende en más de 6 mm (1/4pulg) de la parte superior del molde, el espécimen será descartado. El espécimen será descartado cuando el último golpe del pisón para la quinta capa resulta por debajo de la parte superior del molde de compactación.

6.2.4.4 Compactar cada capa con 25 golpes para el molde de 101,6 mm (4 pulg) ó 56 golpes para el molde de 152,4 mm (6 pulgadas).

**Nota 7.** Cuando los especímenes de compactación se humedecen más que el contenido de agua óptimo, pueden producirse superficies compactadas irregulares y se requerirá del juicio del operador para la altura promedio del espécimen.



- 6.2.4.5 Al operar el pisón manual del pisón, se debe tener cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Mantener la guía firmemente y dentro de 5° de la vertical. Aplicar los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto y de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.
- 6.2.4.6 Después de la compactación de la última capa, remover el collar y plato base del molde, excepto como se especifica en 6.2.4.7 de este ensayo. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.
- 6.2.4.7 Cuidadosamente enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. Un corte inicial en el espécimen en la parte superior del molde con un cuchillo puede prevenir la caída del suelo por debajo de la parte superior del molde. Rellenar cualquier hoyo de la superficie, con suelo no usado o cortado del espécimen, presionar con los dedos y vuelva a raspar con la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde. Repetir las operaciones anteriores en la parte inferior del espécimen cuando se halla determinado el volumen del molde sin el plato base. Para suelos muy húmedos o muy secos, se perderá suelo o agua si el plato base se remueve. Para estas situaciones, dejar el plato base fijo al molde. Cuando se deja unido el plato base, el volumen del molde deberá calibrarse con el plato base unido al molde o a un plato de plástico o de vidrio como se especifica en el anexo A1 (A.1.4.1 de este ensayo).
- 6.2.4.8 Determine y registre la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, determine y anote la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.
- 6.2.4.9 Remueva el material del molde. Obtener un espécimen para determinar el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se refiere este método) o una porción representativa. Cuando se utiliza todo el espécimen, quíbrelo para facilitar el secado. De otra manera se puede obtener una porción cortando axialmente por el centro del espécimen compactado y removiendo 500 g del material de los lados cortados. Obtener el contenido de humedad de acuerdo al Método ensayo NTP 339.127.

## 7.0 CALCULOS E INFORME

### 7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcule el Peso Unitario Seco y Contenido de Agua para cada espécimen compactado como se explica en 7.1.3 y 7.1.4 de este ensayo, plotee los valores y dibuje la curva de compactación como una curva suave a través de los puntos (ver ejemplo, Fig. 3). Plotee el Peso Unitario Seco con aproximación 0,2 kN/m<sup>3</sup> (0,1 lbf/pie<sup>3</sup>) y contenido de agua aproximado a 0,1%. En base a la curva de compactación, determine el Óptimo Contenido de Agua y el Peso Unitario Seco Máximo. Si más de 5% en peso del material sobredimensionado (tamaño mayor) fue removido de la muestra, calcular el Peso unitario seco máximo y óptimo contenido de Humedad corregido del material total usando la Norma ASTM D 4718. Esta corrección debe realizarse en el espécimen de ensayo de densidad de campo, más que al espécimen de ensayo de laboratorio.
- 7.1.2 Plotear la curva de saturación al 100%. Los valores de contenido de agua para la condición de 100% de saturación puede ser calculadas como se explica en 7.1.5 de este ensayo (ver ejemplo, Fig. 3).

**Nota 8.** La curva de saturación al 100% es una ayuda al diseñar la curva de compactación. Para suelos que contienen más de 10% de finos a contenidos de agua que superan el óptimo, las dos curvas generalmente llegan a ser aproximadamente paralelas con el lado húmedo de la curva de compactación entre 92 á 95% de saturación. Teóricamente, la curva de compactación no puede ser ploteada o trazarse a la derecha de la curva de 100% de saturación. Si esto ocurre, hay un error en la gravedad específica, en las mediciones, en los cálculos, en procedimientos de ensayo o en el ploteo.



**Nota 9.** La curva de 100% de saturación se denomina algunas veces como curva de relación de vacíos cero o la curva de saturación completa.

- 7.1.3 Contenido de Agua, w.- Calcular de acuerdo con Método de Ensayo NTP 339.127.
- 7.1.4 Peso Unitario Seco.- Calcular la densidad húmeda (ecuación 1), la densidad seca (ecuación 2) y luego el Peso Unitario Seco (ecuación 3) como sigue:

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V} \quad (1)$$

Donde:

- $\rho_m$  = Densidad Húmeda del espécimen compactado (Mg/m<sup>3</sup>)
- $M_t$  = Masa del espécimen húmedo y molde (kg)
- $M_{md}$  = Masa del molde de compactación (kg)
- $V$  = Volumen del molde de compactación (m<sup>3</sup>) (Ver Anexo A1)

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}} \quad (2)$$

Donde:

- $\rho_d$  = Densidad seca del espécimen compactado (Mg/m<sup>3</sup>)
- $w$  = contenido de agua (%)

$$\gamma_d = 62,43 \rho_d \text{ en } \text{ lbf/pie}^3 \quad (3)$$

$$\gamma_d = 9,807 \rho_d \text{ en } \text{ kN/m}^3$$

Donde:

- $\gamma_d$  = peso unitario seco del espécimen compactado.

- 7.1.5 En el cálculo de los puntos para el ploteo de la curva de 100% de saturación o curva de relación de vacíos cero del peso unitario seco, seleccione los valores correspondientes de contenido de agua a la condición de 100% de saturación como sigue:

$$W_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

- $W_{sat}$  = Contenido de agua para una saturación completa (%).
- $\gamma_w$  = Peso unitario del agua 9,807kN/m<sup>3</sup> ó (62,43 lbf/ pie<sup>3</sup>).
- $\gamma_d$  = Peso unitario seco del suelo.
- $G_s$  = Gravedad específica del suelo.

**Nota 10.** La gravedad específica puede ser calculada para los especímenes de prueba en base de datos de ensayos de otras muestras de la misma clasificación de suelo y origen. De otro modo sería necesario el ensayo de Gravedad Específica NTP 339.131.

## 7.2 INFORME

- 7.2.1 Reportar la siguiente información:
  - 7.2.1.1 Procedimiento usado (A, B o C).
  - 7.2.1.2 Método usado para la preparación (húmedo ó seco).
  - 7.2.1.3 El contenido de agua recibida, si se determinó.
  - 7.2.1.4 El óptimo Contenido de Agua Modificado, con aproximación al 0,5 %.



- 7.2.1.5 El Peso Unitario Seco Máximo, con aproximación a  $0,5 \text{ lbf/pie}^3$ .
- 7.2.1.6 Descripción del Pisón (Manual ó Mecánico).
- 7.2.1.7 Datos del tamizado del suelo para la determinación del procedimiento (A, B ó C) empleado.
- 7.2.1.8 Descripción o Clasificación del material usado en la prueba (ASTM D 2488, NTP 339.134).
- 7.2.1.9 Gravedad Específica y Método de Determinación.
- 7.2.1.10 Origen del material usado en el ensayo, por ejemplo, proyecto, lugar, profundidad, etc.
- 7.2.1.11 Ploteo de la Curva de Compactación mostrando los puntos de compactación utilizados para establecerla y la curva de compactación y la curva de 100% saturación, el punto de Peso Unitario Seco Máximo y Optimo Contenido de Agua.
- 7.2.1.12 El dato de Corrección por Fracción Sobredimensionada si es usado, incluyendo la fracción sobredimensionada (Fracción Gruesa),  $P_c$  en %.

## 8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 PRECISION.- Todos los datos están siendo evaluados para determinar la precisión de este método de ensayo. Además los datos pertinentes están siendo solicitados por los usuarios de este método de ensayo.
- 8.2 CONFIABILIDAD.- No es posible obtener la información sobre la confiabilidad porque no existe otros métodos de determinación de valores de máximo Peso Unitario Seco Modificada y Optimo Contenido de Humedad.



## **ANEXO**

### **(INFORMACION OBLIGATORIA)**

#### **A1. VOLUMEN DEL MOLDE DE COMPACTACION**

##### **A1.1. OBJETIVO**

- A1.1.1. Este anexo describe el procedimiento para la determinación del volumen del molde de compactación.
- A1.1.2. El volumen es determinado por un método de llenado con agua y chequeado con un método de medición lineal.

##### **A1.2. APARATOS**

- A1.2.1. En adición a los aparatos listados en la sección 4, los siguientes ítems son requeridos:
  - A1.2.1.1 Vernier o Dial Calibrado, graduado en un rango de 0 a 150 mm (0 a 6 pulg) y sensibilidad de 0,02 mm (0,001 pulg).
  - A1.2.1.2 Micrómetro Interior, graduado en un rango de 50 a 300 mm (2 a 12 pulg) y aproximación de lectura a 0,02 mm (0,001 pulg).
  - A1.2.1.3 Platos de Plástico ó Vidrio, Dos platos de vidrio o plástico de de espesor 200 mm<sup>2</sup> por 6 mm (8 pulg<sup>2</sup> por 1/4 pulg).
  - A1.2.1.4 Termómetro, de un rango de 0 - 50 °C, con graduaciones cada 0,5 °C, de acuerdo a las Especificaciones ASTM E 1.
  - A1.2.1.5 Llave de cierre engrasada o sellador similar.
  - A1.2.1.6 Equipo diverso; jeringa de pera, secadores, etc.

##### **A1.3. PRECAUCIONES**

- A1.3.1. Desarrollar este procedimiento en un área aislada de corrientes de aire y fluctuaciones extremas de temperatura.

##### **A1.4. PROCEDIMIENTO**

###### **A1.4.1. Método de Llenado de agua:**

- A1.4.1.1 Engrasar ligeramente la base del molde de compactación y colocarlo en uno de los platos de plástico ó vidrio. Engrasar ligeramente la parte superior del molde. Tener cuidado de no engrasar el interior del molde. Si es necesario usar el plato base, como se anota en 6.2.4.7 de este ensayo., colocar al molde engrasado en el plato base y asegurar con los tornillos sujetadores.
- A1.4.1.2 Determinar la masa del molde engrasado y platos de vidrio o plástico con aproximación al 1 g (0,01 lb-m).
- A1.4.1.3 Colocar el molde y la base del plato en una superficie nivelada, firme y llenar el molde con agua ligeramente hasta los bordes.
- A1.4.1.4 Deslizar el segundo plato sobre el borde superior del molde de tal manera que el molde quede completamente lleno de agua y sin burbujas de aire atrapadas. Añadir o quitar agua si es necesario, con la jeringa bombilla.
- A1.4.1.5 Secar completamente cualquier exceso de agua del exterior del molde y platos.
- A1.4.1.6 Determinar el peso del molde, platos y agua y registrar con aproximación a 1 g (0,01 lb-m).
- A1.4.1.7 Determinar la temperatura del agua en el molde con aproximación 1 °C y registrar. Determinar la densidad absoluta del agua según la Tabla A1.1.
- A1.4.1.8 Calcular el peso del agua en el molde restando el peso determinado en A1.4.1.2. del registrado en A1.4.1.6.



- A1.4.1.9 Calcular el volumen de agua dividiendo el peso del agua por la densidad de agua y registrar con aproximación a 1 cm<sup>3</sup> (0,0001 pie<sup>3</sup>).
- A1.4.1.10 Cuando el plato de base es usado para la calibración del volumen del molde repetir los pasos A1.4.1.3 al A1.4.1.9.
- A1.4.2 Método de Mediciones Lineales:
  - A1.4.2.1 Usando el vernier calibrador o el micrómetro interior, medir el diámetro del molde seis veces la parte superior del molde y seis veces en la parte inferior del molde, espaciando proporcionalmente cada una de las seis mediciones alrededor de la circunferencia del molde. Registrar valores con aproximación a 0,02 mm (0,001 pulgadas).
  - A1.4.2.2 Usando el vernier calibrador, medir la altura interior del molde realizando tres medidas igualmente espaciados alrededor de la circunferencia del molde. Registrar los valores con aproximación 0,02 mm (0,001 pulgadas).
  - A1.4.2.3 Calcular el promedio del diámetro de la parte superior del molde, promedio del diámetro de la parte inferior del molde y la altura.
  - A1.4.2.4 Calcular el volumen del molde y registrar con aproximación a 1 cm<sup>3</sup> (0,0001 pie<sup>3</sup>) utilizando la ecuación A1a (para pulgadas-libra) ó A1b (para SI):

$$V = \frac{(\pi)(h)(d_t + d_b)^2}{(16)(1728)} \quad (A.1.a)$$

$$V = \frac{(\pi)(h)(d_t + d_b)^2}{(16)(10)^3} \quad (A.1.b)$$

Donde:

- V = Volumen de molde, cm<sup>3</sup>, (pie<sup>3</sup>)
- H = Promedio de altura, mm, (pulg).
- dt = Promedio de diámetro de la parte superior, mm (pulg)
- db = Promedio de diámetro de la parte inferior, mm (pulg)
- 1/1728 = Constante para convertir pulg<sup>3</sup> a pie<sup>3</sup>
- 1/103 = Constante para convertir mm<sup>3</sup> a cm<sup>3</sup>

- A1.5. Comparación de Resultados
  - A1.5.1 El volumen obtenido por otro método debe estar dentro de los requisitos de tolerancia de 4.1.1.1. y 4.1.1.2.
  - A1.5.2 La diferencia entre los dos métodos no debe ser mayor que 0,5 % del volumen nominal del molde.
  - A1.5.3 Repetir la determinación de volumen si estos criterios no concuerdan.
  - A1.5.4 La falla en la obtención de un acuerdo satisfactorio entre los dos métodos incluso después de varias tentativas, es una indicación que el molde se encuentra muy deformado y debe ser reemplazado.
  - A1.5.5 Emplear el volumen del molde determinado, con el método de llenado en agua, como el valor de volumen asignado para cálculo de humedad y densidad seca (ver 7.1.4).

**Tabla 1**  
Tiempo de permanencia requerido para saturación de especímenes

Clasificación	Tiempo de permanencia mínimo en horas
GW, GP, SW, SP	No se requiere
GM, SM	3
Todos los demás suelos	16

**PERÚ**Ministerio  
de Transportes  
y ComunicacionesViceministerio  
de TransportesDirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

**Tabla 2**  
**Equivalencia métricas para las figuras N° 1 y 2**

Pulgadas	milímetros
0,016	0,41
0,026	0,66
0,032	0,81
0,028	0,71
½	12,70
2 ½	63,50
2 ⅝	66,70
4	101,60
4 ½	114,30
4,584	116,43
4 ¾	120,60
6	152,4
6 ½	165,10
6 ⅝	168,30
6 ¾	171,40
8 ¼	208,60

pie <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
1/30 (0,0333)	943
0,0005	14
1/13,333 (0,0750)	2 124
0,0011	31

**Tabla A.1.1**  
**Densidad del Agua**

Temperatura °C (°F)	Densidad del Agua g/ml
18 (64,4)	0,99862
19 (66,2)	0,99843
20 (68,0)	0,99823
21 (69,8)	0,99802
22 (71,6)	0,99779
23 (73,4)	0,99756
24 (75,2)	0,99733
25 (77,0)	0,99707
26 (78,8)	0,99681

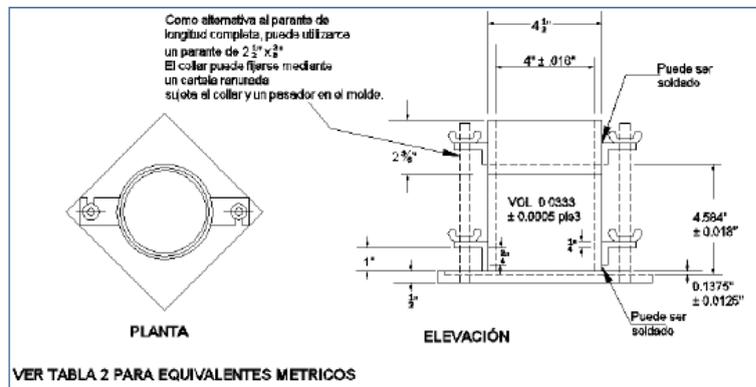


Figura 1: Molde cilíndrico de 4,0 pulg

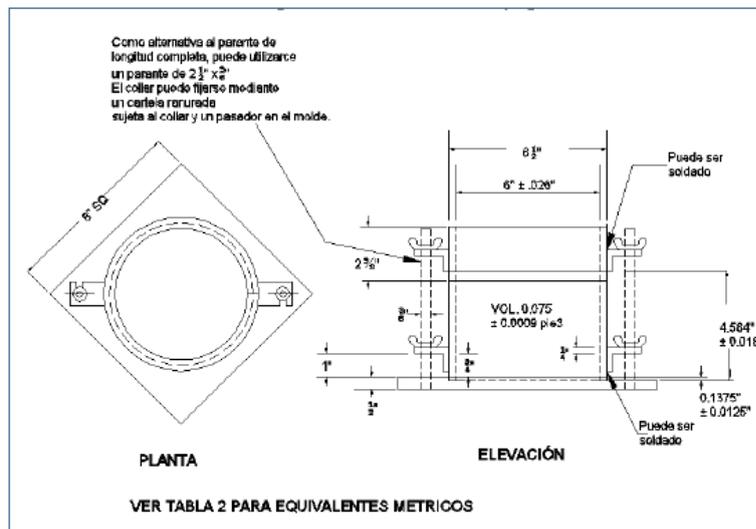


Figura 2: Molde cilíndrico de 6,0 pulg

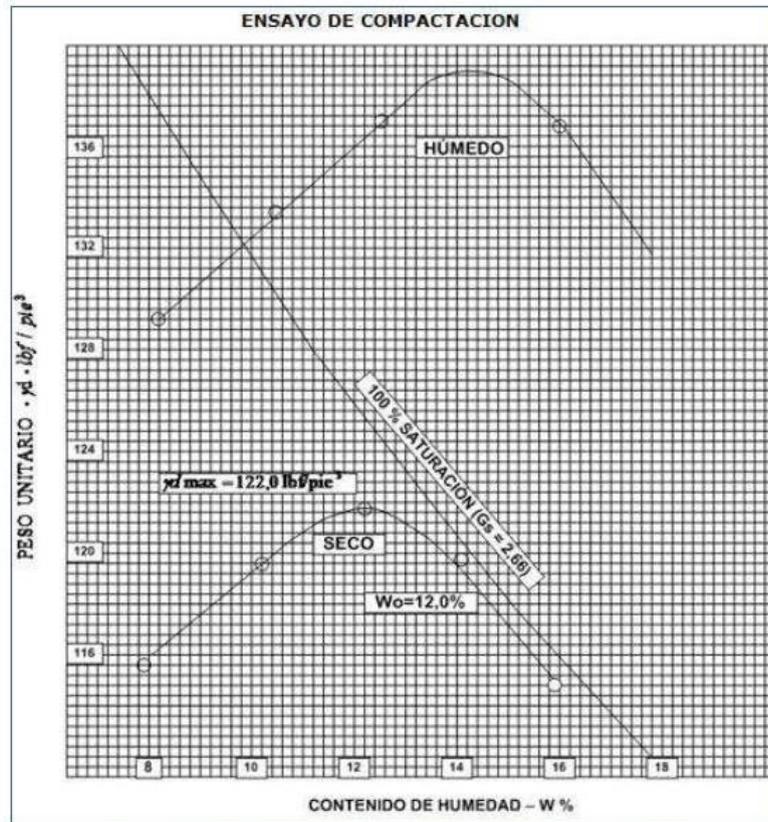


Figura 3. Ejemplo de Gráfico de Curva de Compactación



## MTC E 132

### CBR DE SUELOS (LABORATORIO)

#### 1.0 OBJETO

- 1.1 Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.

#### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimento flexible.
- 2.2 Para aplicaciones donde el efecto del agua de compactación sobre el CBR es mínimo, tales como materiales no-cohesivos de granos gruesos, o cuando sea permisible para el efecto de diferenciar los contenidos de agua de compactación en el procedimiento de diseño, el CBR puede determinarse al óptimo contenido de agua de un esfuerzo de compactación especificado. El peso unitario seco especificado es normalmente el mínimo porcentaje de compactación permitido por la especificación de compactación de campo de la entidad usuaria.
- 2.3 Para aplicaciones donde el efecto del contenido de agua de compactación en el CBR es desconocido o donde se desee explicar su efecto, el CBR se determina para un rango de contenidos de agua, generalmente el rango de contenido de agua permitido para la compactación de campo por la especificación de compactación en campo de la entidad usuaria.
- 2.4 Los criterios para la preparación del espécimen de prueba con respecto a materiales cementados (y otros) los cuales recuperan resistencia con el tiempo, deben basarse en una evaluación geotécnica de ingeniería. Según sea dirigido por un ingeniero, los mismos materiales cementados deberán ser curados adecuadamente hasta que puedan medirse las relaciones de soporte que representen las condiciones de servicio a largo plazo.
- 2.5 Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, subbase y de afirmado.
- 2.6 Este modo operativo hace referencia a los ensayos para determinación de las relaciones de Peso Unitario - Humedad, usando un equipo modificado.

#### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 1883: Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils.

#### 4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

##### 4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen. El pistón se aloja en el cabezal y sus características deben ajustarse a las especificadas en el numeral 4.1.7.

El desplazamiento entre la base y el cabezal se debe poder regular a una velocidad uniforme de 1,27 mm (0,05") por minuto. La capacidad de la prensa y su sistema para la medida de carga debe ser de 44,5 kN (10000 lbf) o más y la precisión mínima en la medida debe ser de 44 N (10 lbf) o menos.

- 4.1.2 Molde, de metal, cilíndrico, de 152,4mm  $\pm$  0,66 mm (6  $\pm$  0,026") de diámetro interior y de 177,8  $\pm$  0,46 mm (7  $\pm$  0,018") de altura, provisto de un collar de metal suplementario de 50,8 mm (2,0")

de altura y una placa de base perforada de 9,53 mm (3/8") de espesor. Las perforaciones de la base no excederán de 1,6 mm (28 1/16") las mismas que deberán estar uniformemente espaciadas en la circunferencia interior del molde de diámetro (Figura 1a). La base se deberá poder ajustar a cualquier extremo del molde.

- 4.1.3 Disco espaciador, de metal, de forma circular, de 150,8 mm (5 15/16") de diámetro exterior y de 61,37 ± 0,127 mm (2,416 ± 0,005") de espesor (Figura 1b), para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.
- 4.1.4 Pisón de compactación como el descrito en el modo operativo de ensayo Proctor Modificado, (equipo modificado).

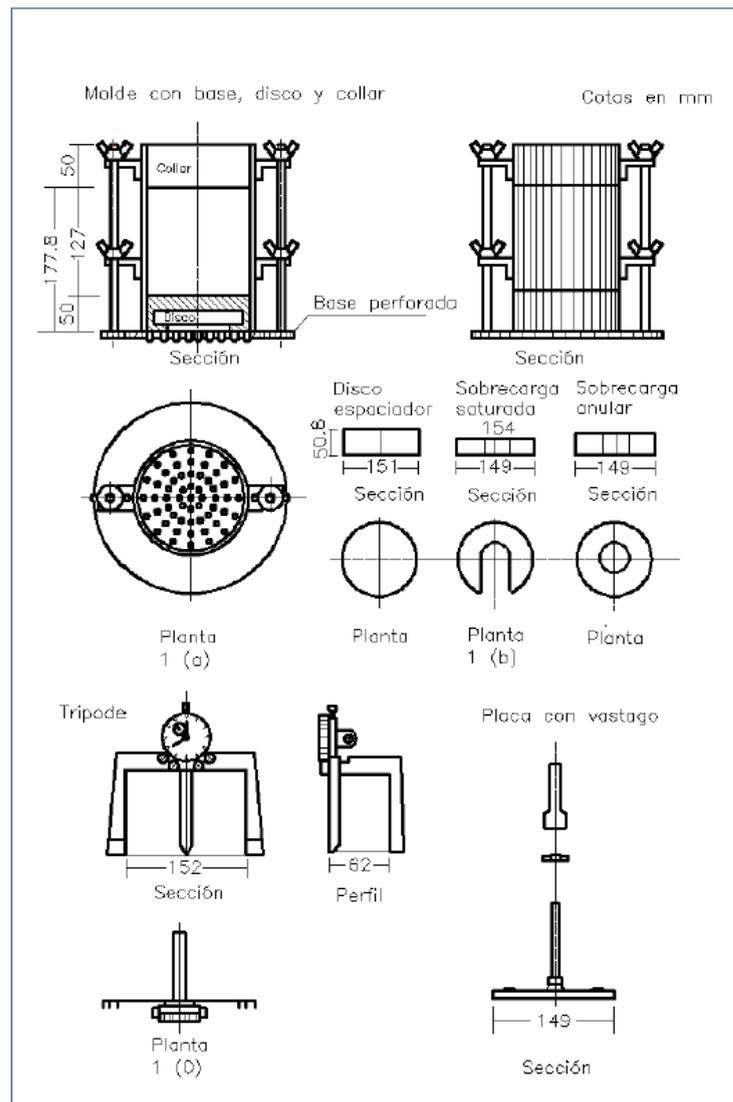


Figura 1.

superior a un 25% en peso, se separa el material retenido en dicho tamiz y se sustituye por una proporción igual de material comprendido entre los tamices de 19,1 mm (3/4") y de 4,75 mm (Nº4), obtenida tamizando otra porción de la muestra.

De la muestra así preparada se toma la cantidad necesaria para el ensayo de apisonado, más unos 5 kg por cada molde CBR.

Se determina la humedad óptima y la densidad máxima por medio del ensayo de compactación elegido. Se compacta un número suficiente de especímenes con variación en su contenido de agua, con el fin de establecer definitivamente la humedad óptima y el peso unitario máximo. Dichos especímenes se preparan con diferentes energías de compactación. Normalmente, se usan la energía del Proctor Estándar, la del Proctor Modificado y una Energía Inferior al Proctor Estándar. De esta forma, se puede estudiar la variación de la relación de soporte con estos dos factores que son los que la afectan principalmente. Los resultados se grafican en un diagrama de contenido de agua contra peso unitario.

Se determina la humedad natural del suelo mediante secado en estufa, según la norma MTC E 108.

Conocida la humedad natural del suelo, se le añade la cantidad de agua que le falte para alcanzar la humedad fijada para el ensayo, generalmente la óptima determinada según el ensayo de compactación elegido y se mezcla íntimamente con la muestra.

- 6.3 Elaboración de especímenes. Se pesa el molde con su base, se coloca el collar y el disco espaciador y, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro.

Una vez preparado el molde, se compacta el espécimen en su interior, aplicando un sistema dinámico de compactación (ensayos mencionados, ídem Proctor Estándar o Modificado), pero utilizando en cada molde la proporción de agua y la energía (número de capas y de golpes en cada capa) necesarias para que el suelo quede con la humedad y densidad deseadas (véase Figura 2a). Es frecuente utilizar tres o nueve moldes por cada muestra, según la clase de suelo granular o cohesivo, con grados diferentes de compactación. Para suelos granulares, la prueba se efectúa dando 55, 26 y 12 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente a la óptima. Para suelos cohesivos interesa mostrar su comportamiento sobre un intervalo amplio de humedades. Las curvas se desarrollan para 55, 26 y 12 golpes por capa, con diferentes humedades, con el fin de obtener una familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte.

**Nota 1.** En este procedimiento queda descrito cómo se obtiene el índice CBR para el suelo colocado en un solo molde, con una determinada humedad y densidad. Sin embargo, en cada caso, al ejecutar el ensayo deberá especificarse el número de moldes a ensayar, así como la Humedad y Peso Unitario a que habrán de compactarse.

Si el espécimen se va a sumergir, se toma una porción de material, entre 100 y 500g (según sea fino o tenga grava) antes de la compactación y otra al final, se mezclan y se determina la humedad del Suelo de acuerdo con la Norma MTC E 108. Si la muestra no va a ser sumergida, la porción de material para determinar la humedad se toma del centro de la probeta resultante de compactar el suelo en el molde, después del ensayo de penetración. Para ello el espécimen se saca del molde y se rompe por la mitad.

Terminada la compactación, se quita el collar y se enrasa el espécimen por medio de un enrasador o cuchillo de hoja resistente y bien recta. Cualquier depresión producida al eliminar partículas gruesas durante el enrase, se rellenará con material sobrante sin gruesos, comprimiéndolo con la espátula.

Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base. Se pesa.

- 6.4 Inmersión. Se coloca sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y, sobre ésta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal, que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de materiales que hayan de ir encima del suelo que

se ensaya, la aproximación quedará dentro de los 2,27 kg correspondientes a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4,54 kg (véase Figura 2b).

**Nota 2.** A falta de instrucciones concretas al respecto, se puede determinar el espesor de las capas que se han de construir por encima del suelo que se ensaya, bien por estimación o por algún método aproximado. Cada 15 cm (6") de espesor de estructura del pavimento corresponde aproximadamente a 4,54 kg de sobrecarga.

Se toma la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del dial con el de la placa perforada. Se anota su lectura, el día y la hora. A continuación, se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) "con el nivel de agua aproximadamente constante. Es admisible también un período de inmersión más corto si se trata de suelos granulares que se saturan de agua rápidamente y si los ensayos muestran que esto no afecta los resultados (véase Figura 2c).

Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento. Si es posible, se deja el trípode en su posición, sin moverlo durante todo el período de inmersión; no obstante, si fuera preciso, después de la primera lectura puede retirarse, marcando la posición de las patas en el borde del molde para poderla repetir en lecturas sucesivas. La expansión se calcula como un porcentaje de la altura del espécimen.

Después del período de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y a continuación se retira la sobrecarga y la placa perforada. Inmediatamente se pesa y se procede al ensayo de penetración según el proceso del numeral siguiente.

Es importante que no transcurra más tiempo que el indispensable desde cuando se retira la sobrecarga hasta cuando vuelve a colocarse para el ensayo de penetración.

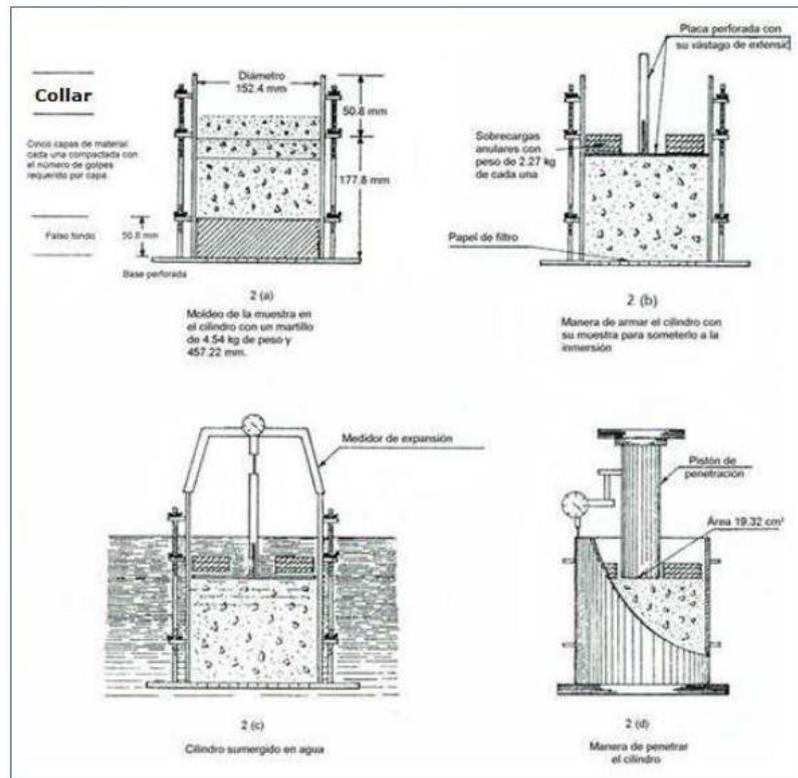


Figura 2: Determinación del valor de la relación de soporte en el laboratorio

- 6.5 Penetración. Se aplica una sobrecarga que sea suficiente, para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con  $\pm 2,27$  kg de aproximación) pero no menor de 4,54 kg. Para evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, es conveniente asentar el pistón luego de poner la primera sobrecarga sobre la muestra, lívese el conjunto a la prensa y colóquese en el orificio central de la sobrecarga anular, el pistón de penetración y añada el resto de la sobrecarga si hubo inmersión, hasta completar la que se utilizó en ella. Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 50N (5 kg) para que el pistón asiente. Seguidamente se sitúan en cero las agujas de los diales medidores, el del anillo dinamométrico, u otro dispositivo para medir la carga, y el de control de la penetración (véase Figura 2d). Para evitar que la lectura de penetración se vea afectada por la lectura del anillo de carga, el control de penetración deberá apoyarse entre el pistón y la muestra o molde.

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1,27 mm (0,05") por minuto. Las prensas manuales no preparadas para trabajar a esta velocidad de forma automática se controlarán mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones:



- 7.1.2 Densidad o peso unitario. La densidad se calcula a partir del peso del suelo antes de sumergirlo y de su humedad, de la misma forma que en los métodos de ensayo citados. Proctor normal o modificado, para obtener la densidad máxima y la humedad óptima.
- 7.1.3 Agua absorbida. El cálculo para el agua absorbida puede efectuarse de dos maneras. Una, a partir de los datos de las humedades antes de la inmersión y después de ésta (numerales 4.1.3 y 4.1.4); la diferencia entre ambas se toma normalmente como tanto por ciento de agua absorbida. Otra, utilizando la humedad de la muestra total contenida en el molde. Se calcula a partir del peso seco de la muestra (calculado) y el peso húmedo antes y después de la inmersión.
- Ambos resultados coincidirán o no, según que la naturaleza del suelo permita la absorción uniforme del agua (suelos granulares), o no (suelos plásticos). En este segundo caso debe calcularse el agua absorbida por los dos procedimientos.
- 7.1.4 Presión de penetración. Se calcula la presión aplicada por el penetrómetro y se dibuja la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de prueba; el punto cero de la curva se ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva (véase Figura 3).
- 7.1.5 Expansión. La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión, numeral 6.3. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5").

Es decir:

$$\% \text{ Expansión} = \frac{L_2 - L_1}{127} \times 100$$

Donde

- L<sub>1</sub> = Lectura inicial en mm.  
L<sub>2</sub> = Lectura final en mm.

- 7.1.6 Valor de la relación de soporte (índice resistente CBR). Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes:

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	MN/m <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	lb/plg <sup>2</sup>
2,54	0,1	6,90	70,31	1,000
5,08	0,2	10,35	105,46	1,500

Para calcular el índice CBR se procede como sigue:

- a) Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta punto de inflexión se toman los valores correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1" y 0,2") de penetración. Si la curva presenta un punto de inflexión, la tangente en ese punto cortará el eje de abscisas en otro punto (o corregido), que se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.
- b) De la curva corregida tómanse los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2,54 mm y 5,08 mm y calcúlense los valores de relación de soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6,9 MPa (1000lb/plg<sup>2</sup>) y 10,3 MPa (1500 lb/plg<sup>2</sup>) respectivamente, y multiplíquese por 100. La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2,54 mm (0,1") de penetración. Cuando la relación a 5,08 mm (0,2") de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5,08 mm (0,2") de penetración.

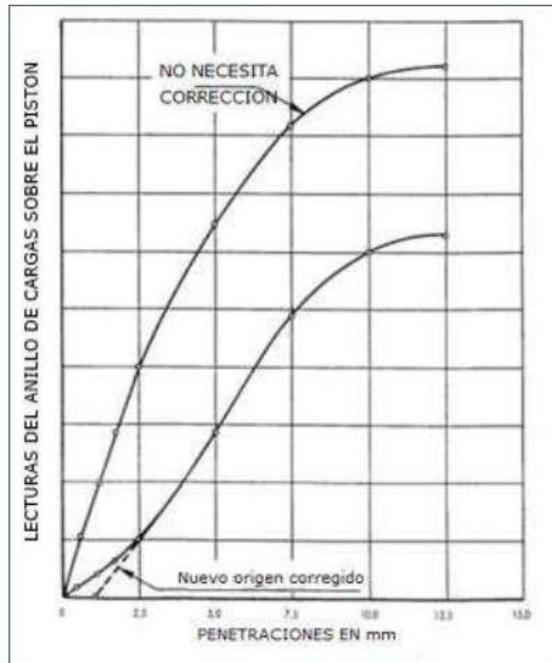


Figura 3: Curva para cálculo de índice de CBR

#### 7.2 INFORME LECTURAS DEL ANILLO DE CARGAS SOBRE EL PISTON

Los datos y resultados de la prueba que deberán suministrarse son los siguientes:

- Método usado para la preparación y compactación de los especímenes.
- Descripción e identificación de la muestra ensayada.
- Humedad al fabricar el espécimen.
- Peso unitario.
- Sobrecarga de saturación y penetración.
- Expansión del espécimen.
- Humedad después de la saturación.
- Humedad óptima y densidad máxima determinados mediante la norma MTC E 115.
- Curva presión-penetración.
- Valor de relación de soporte (C.B.R.).



## MTC E 1103

### RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

#### 1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la Resistencia a la Compresión de probetas de suelo - cemento

#### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Se proporcionan dos procedimientos alternativos:

Método A. Este procedimiento emplea un cilindro de ensayo de 101,6 mm (4,0") de diámetro y de 116,4 mm (4,584") de altura. La relación de la altura al diámetro es de 1,15.

Método B. Este procedimiento emplea un cilindro de ensayo de 71,1 mm (2,8") de diámetro y de 142,2 mm (5,6") de altura. La relación de la altura al diámetro es de 2,0.

Las unidades normales serán kPa y mm.

- 2.2 El Método A hace uso del mismo equipo de compactación y moldes comúnmente disponibles en los laboratorios de suelos y empleados para otros ensayos de suelo-cemento. Se considera que este método suministra una medida aproximada de la resistencia en lugar de un valor exacto de la resistencia a la compresión. Debido a una menor relación de altura al diámetro (1,15) de los cilindros, la resistencia a la compresión determinada mediante el Método A será normalmente mayor que la del Método B.
- 2.3 A causa de la mayor relación de la altura al diámetro (2,00), el Método B da una mejor medida de la resistencia a la compresión desde un punto de vista técnico, ya que reduce condiciones complejas de esfuerzos que pueden presentarse durante el aplastamiento de especímenes del Método A.
- 2.4 En la práctica, el Método A ha sido empleado más comúnmente que el Método B. Como consecuencia de esto, ha sido costumbre evaluar o especificar valores de resistencia a la compresión según el Método A.

En el numeral 6 se da un factor para convertir valores de resistencia a la compresión con base en la relación entre la altura y el diámetro.

#### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM ED 1633

#### 4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

##### 4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Máquina para ensayo de compresión. Puede ser de cualquier tipo que tenga capacidad suficiente y adecuado control para proporcionar la rata de carga prescrita en el numeral 6.2 y deberá cumplir con las exigencias del numeral 15 de la práctica E-4 (Procedimiento de verificación de maquina) de la ASTM.

Deberá estar provista de dos superficies de apoyo de acero templado (véase la Nota 1), una de las cuales es un bloque de levantamiento asentado esféricamente, el cual normalmente se apoya sobre la superficie superior del espécimen y el otro un bloque rígido plano sobre el cual descansará el espécimen.

Las superficies de apoyo deberán ser al menos tan grandes como la superficie del espécimen a la cual se aplica la carga. Las superficies de apoyo, cuando nuevas, no deberán apartarse de un plano en más de 0,013 mm (0,0005 pulg) en ningún punto y deberán mantenerse dentro de un límite de variación permisible de 0,02mm (0,001 pulg).

En el bloque asentado esféricamente, el diámetro de la esfera no deberá exceder al del espécimen y el centro de la esfera deberá coincidir con el centro de la superficie de soporte.



La parte móvil de este bloque deberá mantenerse estrechamente ajustada en el asentamiento esférico, pero el diseño deberá ser tal, que la superficie de soporte pueda rotarse libremente e inclinarse en ángulos pequeños en cualquier dirección.

**Nota 1.** Es deseable que las superficies de soporte de los bloques empleados para el ensayo de compresión del suelo cemento tengan una dureza no menor de 60 HRC (Unidades de Dureza Rockwell con punta de diamante) (AASHTO T 80, ASTM E 18)

- 4.1.2 Equipos y moldes de compactación, de acuerdo con los métodos (a) secado de mezclas de suelo - cemento compactadas para el Método A; o con el método (b) preparación en el laboratorio de pruebas de suelo - cemento para el Método B.

## 5.0 MUESTRA

### 5.1 Especímenes de ensayo

#### 5.1.1 Moldéense los especímenes de ensayo así:

- Método A. Especímenes de 101,6 mm (4 pulg) de diámetro y de 116,4 mm (4,584 pulg) de altura y moldeados de acuerdo con el método (a).
- Método B. Especímenes de 71,1 mm (2,8 pulg) de diámetro y de 142,2 mm (5,6 pulg) de altura y moldeados de acuerdo con el método (b).

**Nota 2.** Pueden emplearse estos métodos para ensayar especímenes de otros tamaños. Si la Muestra del suelo incluye material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No. 4), se recomienda emplear el Método A. Especímenes más grandes de 101,6 mm (4 pulg) de diámetro y 203,2 mm (8 pulg) de altura, se moldean de una manera similar al Método B

- 5.1.2 Cúrense en húmedo los especímenes de acuerdo con el método (b).

- 5.1.3 Al final del período húmedo de curado, sumérganse por 4 horas los especímenes en agua.

- 5.1.4 Remuévanse los especímenes del agua y efectúense los ensayos de compresión tan pronto como sea posible, manteniendo húmedos los especímenes, por medio de cáñamo húmedo o bayetilla de envoltura.

**Nota 3.** Otros procedimientos de acondicionamiento, como secado al aire o en el horno o humedecimiento y secamiento alternativamente, pueden especificarse después de un período inicial de curado. Los procedimientos de acondicionamiento y curado deberán indicarse detalladamente en el informe.

- 5.1.5 Compruébese la tersura de las caras con una hoja recta. Si fuere necesario, refréndense los extremos para que cumplan con las exigencias del aparte sobre refrentado de especímenes, (b) ("capping").

### PROCEDIMIENTO

- 5.2 Colóquese el bloque inferior de apoyo sobre la mesa o sobre la plataforma de la máquina de ensayo directamente bajo el bloque de apoyo superior asentado esféricamente. Colóquese el espécimen sobre el bloque inferior de apoyo, asegurándose de que el eje vertical del espécimen, esté alineado con el centro de empuje del bloque asentado esféricamente. Como este bloque es llevado a apoyarse sobre el espécimen, rótese suavemente a mano su parte móvil de manera que obtenga asentamiento uniforme.

- 5.3 Aplíquese la carga continuamente y sin choques. Puede usarse una máquina de ensayo operada por tornillo aproximadamente a 1 mm (0,05 pulg) por minuto. Con máquinas hidráulicas, ajústese la carga a una tasa constante dentro de los límites de  $140 \pm 70$  kPa/s ( $20 \pm 10$  lb./pulg<sup>2</sup>/s) de acuerdo con la resistencia del espécimen. Regístrese la carga total a la falla del espécimen de ensayo con aproximación de 40 N (10 lb).

## 6.0 CALCULOS E INFORME

### 6.1 CALCULOS

- 6.1.1 Calcúlese la resistencia unitaria a la compresión del espécimen dividiendo la carga máxima entre el área de la sección transversal.

**Nota 4.** Si se desea, establézcanse tolerancias para la relación de altura/diámetro (h/d), multiplicando la resistencia a la compresión de especímenes del Método B por 1,10. Esto convierte la resistencia para una relación h/d de 2,00 a la de una relación de h/d de 1,15 comúnmente empleada en ensayos de resistencia de suelo cemento (véase el numeral 2). Esta conversión ha sido encontrada aplicable para el suelo cemento

## 6.2 INFORME

- 6.2.1 El informe deberá incluir:

- a) Número de identificación del espécimen.
- b) Diámetro y altura, mm (pulg).
- c) Área de la sección transversal, mm<sup>2</sup> (pulg<sup>2</sup>).
- d) Carga máxima, con aproximación a los 40 N (10 lb) más próximas.
- e) Factor de conversión, si se usó, para la relación de la altura al diámetro (véase la Nota 4).
- f) Resistencia a la compresión, calculada con aproximación a 35 kPa (5 lbs/pulg<sup>2</sup>).
- g) Edad del espécimen.
- h) Detalles de los periodos de curado y acondicionamiento y contenido de humedad en el momento del ensayo.

## 7.0 PRECISION Y DISPERSION

La precisión y dispersión de este método de ensayo no han sido establecidas mediante un programa de investigación de varios laboratorios. Sin embargo, con base en los datos de ensayo que están disponibles, lo siguiente puede servir como guía para la variabilidad de los resultados de ensayos de compresión.

### 7.1 Precisión

- 7.1.1 Se efectuaron ensayos en un laboratorio sencillo sobre 122 grupos de especímenes dobles, moldeados a partir de 21 materiales diferentes de suelo.
- 7.1.2 La diferencia promedio en la resistencia sobre especímenes, duplicados fue de 8,1% y la diferencia media de 6,2%. Estos valores se expresan como el porcentaje de la resistencia promedio de los dos especímenes, en la siguiente forma:

$$\% \text{ de diferencia} = \frac{(\text{Valor alto} - \text{Valor bajo})}{(\text{Valor alto} + \text{Valor bajo})/2} \times 100$$

En la Figura 1 se muestra la distribución de la variación. Los datos cubren un rango amplio de contenidos de cemento y de resistencia la compresión.

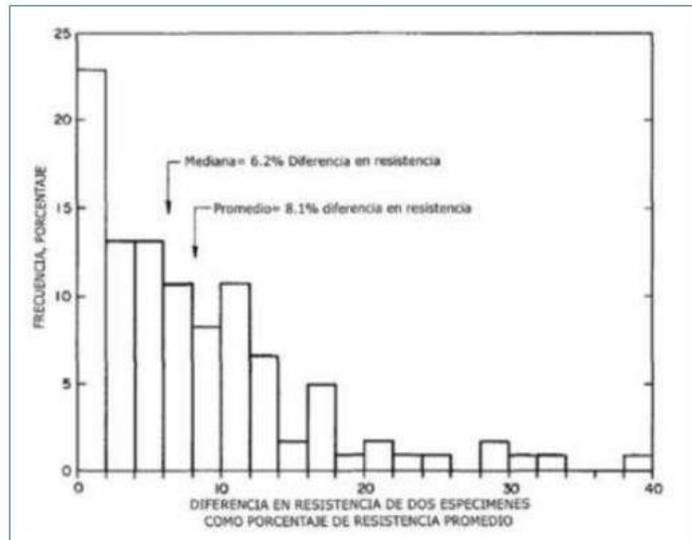


Figura 1. Distribución de la variación de los resultados de 122 grupos de especímenes dobles

## ANEXOS 08. ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXOS 08. CONSTANCIA DE CALIBRACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS  
DE LABORATORIO



**A&V**

CONSTRUCCIÓN E INGENIERÍA  
AVANZADA

---

**ANEXO 3**  
**CERTIFICADOS DE**  
**CALIBRACIÓN DE**  
**EQUIPOS**

KENNY HUAMANI GAMARRA  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130353  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO

---



**A&V**  
CONSTRUCCIÓN E INGENIERÍA  
AVANZADA

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN -2022

ENSAYOS REALIZADOS	EQUIPOS EMPLEADOS
1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	BALANZA 8200 g.
	HORNO 300 lt - 250°C
2. LÍMITES DE CONSISTENCIA	CAZUELA CASAGRANDE
	BALANZA 2000 g.
	HORNO 300 lt - 250°C
3. HUMEDAD NATURAL	BALANZA 4200 g.
	HORNO 300 lt - 250°C
4. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO	BALANZA 4200 g.
	HORNO 300 lt - 250°C
5. PROCTOR MODIFICADO	BALANZA 30 000 g.
	PIE DE REY 300 mm.
	HORNO 700 lt - 250°C
6. PROCTOR MODIFICADO	BALANZA 30 000 g.
	MAQUINA DE COMPRESIÓN 50 000 N
	HORNO 700 lt - 250°C
7. COMPRESIÓN SIMPLE	BALANZA 4200 g.

  
KENNY HUARANI GAMARRA  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO.



**A&V**

**CONSTRUCCIÓN E INGENIERÍA  
AVANZADA**

---

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
CAZUELA CASAGRANDE**

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'KH' or similar initials, enclosed in a circular flourish.

**KENNY HUAMANI GAMARRA  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO**

---



LABORATORIO DE METROLOGÍA CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



## CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN N° 071-2022 GLW

Página 1 de 1

FECHA DE EMISIÓN : 2022-06-27

1. SOLICITANTE : A&V CONSTRUCCIÓN E INGENIERÍA AVANZADA SAC

DIRECCIÓN : Jr. Abraham Valdelomar 589 AYACUCHO – HUAMANGA – AYACUCHO

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : CAZUELA CASAGRANDE MANUAL

MARCA : NO PRESENTA PROCEDENCIA : NO PRESENTA  
MODELO : NO PRESENTA IDENTIFICACIÓN : (\*) 0108  
NÚMERO DE SERIE : NO PRESENTA TIPO : MANUAL  
ALCANCE DE : 0 a 999 VUELTAS UBICACIÓN : LABORATORIO  
DIV. DE ESCALA : 1 VUELTAS  
FECHA DE INSPECCIÓN : 2022-03-19

### 3. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN

Procedimiento de calibración Comparación directa con patrones calibrados.

### 4. LUGAR DE INSPECCIÓN

La verificación se realizó en el LAB. DE MASA Y LONGITUD DE G&L LABORATORIO S.A.C.  
AV. MIRAFLORES MZ. E LT. 60 URB. SANTA ELISA II ETAPA LOS OLIVOS – LIMA

### 5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura °C	23.2	23.4
Humedad Relativa %HR	69	69

### 6. TRAZABILIDAD

Este certificado de inspección documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

### 7. OBSERVACIONES

(\*) Serie indicado en una etiqueta adherida al equipo.  
El equipo cumple con la norma INV E125-07 / ASTM D 4318 / NTC 4630

### 8. RESULTADOS

CARACTERÍSTICAS	VALOR	UNIDAD
Peso de la copa y el soporte	205,00	g
Espesor de la copa	2,03	mm
Profundidad de la copa	26,89	mm
Altura de la base	50,17	mm
Ancho de la base	124,63	mm
Longitud de la base	150,55	mm



Téc. ~~Giner Antonio~~ ~~Maíra~~ ~~Poquioma~~  
Responsable del Laboratorio de Metrología.  
G & L LABORATORIO S.A.C

TRAZABILIDAD: G&L LABORATORIO S.A.C. Asegura y mantiene la trazabilidad de los patrones empleados en esta inspección

(\*) Este certificado de inspección expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron.

  
KENNY HUAMANI GAMARRA  
INGENIERO EN METROLOGÍA  
ÁREA GEOMETRÍA Y CONCRETO



Telefono:  
(01) 622 - 5814  
Celular:  
992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

Correo:  
laboratorio.gyllaboratorio@gmail.com  
servicios@gyllaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60  
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos  
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C



**A&V**

CONSTRUCCIÓN E INGENIERÍA  
AVANZADA

---

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
BALANZAS**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Kenny Huamani Gamarra', enclosed within a blue oval shape.

KENNY HUAMANI GAMARRA  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO

---

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Página 1 de 3

N° de Certificado : 0461-MPES-C-2022  
N° de Orden de trabajo : 0157  
**1. SOLICITANTE** : **A & V CONSTRUCCION E INGENIERIA AVANZADA SAC**  
DIRECCIÓN : Jr. Abraham Valdelomar 589 - Ayacucho  
**2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN** : **BALANZA**  
MARCA : OHAUS  
MODELO : NV622ZH  
NÚMERO DE SERIE : 8341485945  
ALCANCE DE INDICACIÓN : 620 g  
DIVISIÓN DE ESCALA REAL (d) : 0.01 g  
DIVISIÓN DE ESCALA DE VERIFICACIÓN (e) : 0.1 g  
PROCEDENCIA : CHINA  
IDENTIFICACIÓN : BLZ-016 (\*)  
TIPO DE INDICACIÓN : ELECTRÓNICA  
UBICACIÓN : LABORATORIO ENSAYOS DE MATERIALES  
FECHA DE CALIBRACIÓN : 2022-06-20

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura  $k=2$ . Este valor ha sido calculado para un nivel de confianza aproximado del 95 % determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición".

Los resultados sólo están relacionados con los ítems calibrados y son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PESATEC PERU S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

### 3. MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Comparación directa entre las indicaciones de lectura de la balanza y las cargas aplicadas mediante pesas patrones, según:  
Procedimiento para la Calibración de instrumento de pesaje de funcionamiento no automático clase III y IIII (PC - 001 del INACAL, Primera Edición - Mayo 2019).

### 4. LUGAR DE CALIBRACIÓN

Av. Condevilla 1269 - Callao

Sello

Fecha de Emisión

Autorizado por



2022-03-28

*Sandra Jurupe*

Sandra Jurupe Melgarejo  
Gerente Técnico

*Kenny Huamani*  
**KENNY HUAMANI GAMARRA**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 0463-MPES-C-2022**

Página 2 de 3

**5. CONDICIONES AMBIENTALES**

	Inicial	Final
Temperatura	20,6 °C	20,4 °C
Humedad Relativa	60,6 %	69,5 %

**6. TRAZABILIDAD**

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Identificación	Certificado de calibración
Patrones de referencia de INACAL-DM	Pesas (Clase de exactitud E2)	ZT-25	LM - C - 192 - 2020

**7. OBSERVACIONES**

Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metroológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta con la indicación de "CALIBRADO".

(\*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento

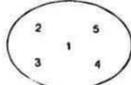
**8. RESULTADOS DE MEDICIÓN**

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	SIST. DE TRABA	NO TIENE
NIVELACIÓN	TIENE		

**ENSAYO DE REPETIBILIDAD**

Medición N°	Temp. (°C)					
	Inical 20,6 °C			Final 19,7 °C		
	Carga L1=	4 000,0 g		Carga L2=	8 000,0 g	
	f(g)	ΔL(mg)	E(mg)	f(g)	ΔL(mg)	E(mg)
1	4 000,1	70	80	8 000,1	50	100
2	4 000,0	70	-20	8 000,2	60	190
3	4 000,1	60	80	8 000,1	50	100
4	4 000,0	60	-10	8 000,1	60	90
5	4 000,0	60	-10	8 000,1	60	90
6	4 000,1	80	70	8 000,1	70	80
7	4 000,1	70	80	8 000,1	60	90
8	4 000,1	70	80	8 000,1	60	90
9	4 000,0	60	-10	8 000,2	70	180
10	4 000,0	60	-10	8 000,1	50	100
Diferencia Máxima			110	110		
Error máximo permitido ±			1 000 mg	± 2 000 mg		

**KERRY HUAMANI GARRA**  
INACAL



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 0461-MPES-C-2022**  
Página 3 de 3

**ENSAYO DE EXCENTRICIDAD**

Vista Frontal

Posición de la Carga	Carga máxima (g)	Determinación de E <sub>0</sub>			Determinación del Error corregido				
		kg	ΔL(mg)	E <sub>0</sub> (mg)	kg	ΔL(mg)	E(mg)	E <sub>c</sub> (mg)	
1	0,10	0,10	14	-9	200,01	12	3	12	
2		0,11	15	0		7	8	8	
3		0,10	14	-9		200,01	16	-1	8
4		0,11	12	3		199,99	12	-17	-20
5		0,11	12	3		199,99	7	-12	-15

Temp. (°C) Inicial: 20,5 °C Final: 20,0 °C

(\*) valor entre 0 y 10 e

Error máximo permitido: ± 200 mg

**ENSAYO DE PESAJE**

Carga L(g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				erro(*) Δ(mg)
	kg	ΔL(mg)	E(mg)	E <sub>c</sub> (mg)	kg	ΔL(mg)	E(mg)	E <sub>c</sub> (mg)	
0,10	0,10	10	-5						
0,20	0,21	15	0	5	0,20	7	-2	3	100
2,00	2,01	14	1	6	2,00	12	-7	-2	100
10,00	10,02	16	9	14	10,00	7	-2	3	100
50,00	50,02	12	13	18	50,00	12	-7	-2	100
100,00	100,02	12	13	18	99,99	7	-12	-7	200
150,00	150,02	11	14	19	150,00	15	-10	-5	200
200,00	200,02	10	15	20	200,00	7	-2	3	200
400,00	400,02	10	15	20	400,01	14	1	6	300
600,00	600,01	12	3	8	600,01	14	1	6	300
620,00	620,01	10	5	10	620,01	10	5	10	300

Temp. (°C) Inicial: 20,1 °C Final: 19,9 °C

(\*) error máximo permitido

**Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada**

$$R_{\text{corregida}} = R - 0,000056 \times R$$

$$U_R = 2 \sqrt{0,000088 \text{ g}^2 + 0,000000029 \times R^2}$$

R: Lectura de la balanza    ΔL: Carga incrementada    E: Error encontrado    E<sub>c</sub>: Error en cero    E<sub>c</sub>: Error corregido

Fin del certificado de calibración

**KENNY HUMARI GAMARRA**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO



**PINZUAR**  
LABORATORIO DE METROLOGÍA



**Certificado de Calibración - Laboratorio de Masa y Balanzas**  
Calibration Certificate - Mass and Weighing Instruments Laboratory

**M-22933-002 R0**

Página / Pág 1 de 4

<b>Equipo</b> <i>Instrument</i>	INSTRUMENTO DE PESAJE NO AUTOMÁTICO
<b>Fabricante</b> <i>Manufacturer</i>	NO PRESENTA
<b>Modelo</b> <i>Model</i>	ING - 021
<b>Número de Serie</b> <i>Serial Number</i>	No Presenta
<b>Identificación Interna</b> <i>Internal Identification</i>	BLZ - 003
<b>Carga Máxima</b> <i>Maximum Load</i>	2000 g
<b>Solicitante</b> <i>Customer</i>	CONSTRUCCION E INGENIERIA AVANZADA SAC
<b>Dirección</b> <i>Address</i>	Jr. Abraham Valdelomar 589
<b>Ciudad</b> <i>City</i>	HUAMANGA - AYACUCHO
<b>Fecha de Calibración</b> <i>Date of calibration</i>	2022 - 06 - 23
<b>Fecha de Emisión</b> <i>Date of issue</i>	2022 - 06 - 29

Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

Este certificado de calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados reportados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

El usuario es responsable de la calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.

*The results issued in this certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.*

*This calibration certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).*

*The user is responsible for recalibrating the measuring instruments at appropriate time intervals.*

**Número de páginas del certificado, incluyendo anexos**  
*Number of pages of the certificate and documents attached*

04

*Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.*

**Firmas que Autorizan el Certificado**  
*Signatures Authorizing the Certificate*

Ing. Sergio Iván Martínez  
Director Laboratorio de Metrología

Tecg. Francisco Durán Romero  
Metrólogo Laboratorio de Metrología

**KENNY HUAMANI GAMARRA**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333

AREA CEOTECNIA Y CONTROL DE CALIDAD

LMFC-24.F.01 R7.0

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO



**DATOS TÉCNICOS**

<b>Método Empleado</b>	Comparación Directa
<b>Número de Serie</b>	No Presenta
<b>Identificación Interna</b>	BLZ - 003
<b>Resolución</b>	0,01 g
<b>Intervalo Calibrado</b>	1 g a 2000 g
<b>Instrumentos de Referencia</b>	Pesas cilíndricas
<b>Clase de exactitud</b>	F1
<b>Certificado No.</b>	M-20845-002 PINZUAR /CAP-401-20 WR Laboratorios

**Documento de Referencia** Guía SIM MWG7/gc-01/N.00:2009 Guía para la Calibración de los Instrumentos para Pesas de Funcionamiento No Automático.

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN**

Antes de proceder con la toma de datos se realizó una inspección breve donde se determinó que la instalación (ubicación en el cuarto, nivelación, fuente de corriente y/o batería, entre otros) es adecuada para ejecutar la calibración, también se realizó una verificación de funcionamiento realizando una precarga con el fin de comprobar el buen funcionamiento del instrumento. Posterior a esto se llevaron a cabo las pruebas para los errores de las indicaciones, repetibilidad y excentricidad siguiendo los lineamientos de la Guía SIM - 2009, Numerales 4,5,6,7; Apéndices A,B,C,D,E y F.

En la tabla 1 se encuentra el resultado obtenido para el ensayo de errores de exactitud que permite evaluar la exactitud del instrumento, se encuentran los errores calculados de la diferencia entre la indicación del instrumento y la carga aplicada.

Tabla 1.

Resultados del ensayo de exactitud

Carga g	Indicación Ascendente	Indicación Descendente	Error Ascendente g	Error Descendente	Incertidumbre Expandida	k <sup>1</sup> , p=95.45%
1,000	1,00	1,00	0,000	0,000	0,028	2,25
2,000	2,00	2,00	0,000	0,000	0,028	2,25
5,000	5,00	5,00	0,000	0,000	0,028	2,25
10,000	10,00	10,00	0,000	0,000	0,028	2,25
50,000	49,98	49,98	-0,020	-0,020	0,028	2,25
100,000	99,98	99,97	-0,020	-0,030	0,028	2,25
500,000	500,02	500,01	0,020	0,010	0,031	2,11
1 000,000	1 000,01	1 000,01	0,010	0,010	0,042	2,03
1 500,000	1 500,02	1 500,02	0,020	0,020	0,056	2,02
1 999,997	2 000,16	2 000,15	0,163	0,153	0,071	2,01

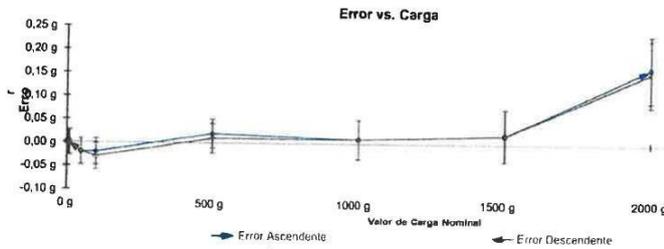
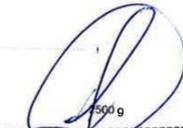


Figura 1. Gráfica para el ensayo de error de indicación

<sup>1</sup> Factor de cobertura LM-PC-244-F-01 R7 0



**KENNY DAMIANI GAMARRA**  
INGENIERO CIVIL  
COP. 01 199333  
CONCRETO





**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN (Continuación)**

A continuación, en la Tabla 2 se encuentran los resultados para el ensayo de excentricidad de carga que permite evaluar el comportamiento del equipo al aplicar cargas en un lugar diferente al centro del receptor de carga como se muestra en la Figura 2.

**Tabla 2.**  
Resultados prueba de excentricidad y la máxima diferencia.

Valor Nominal de la Carga 700 g		
Posición	Indicación del Instrumento	Diferencia Respecto al Centro
	g	g
	699,97	
2	699,97	0,00
3	699,93	-0,04
4	699,93	-0,04
5	699,99	0,02
<b>Diferencia máxima respecto al centro</b>		<b>0,04</b>

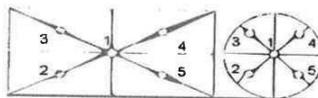


Figura 2. Posiciones de carga para la prueba de excentricidad.

Por último, en la Tabla 3 se muestran los resultados del ensayo de repetibilidad que permite identificar la variación de la indicación del instrumento de pesaje no automático al colocar una misma carga bajo condiciones idénticas de manejo y bajo condiciones de ensayo constantes.

**Tabla 3.**  
Resultados prueba de repetibilidad y la desviación estándar calculada para cada carga.

Cantidad de Repeticiones	Valor Nominal de las Cargas	
	1000 g	2000 g
	Indicación del Instrumento	Indicación del Instrumento
	1000,02	2000,16
2	1000,00	2000,16
3	999,99	2000,14
4	1000,01	2000,16
5	1000,00	2000,17
6	1000,03	2000,16
7	1000,01	2000,17
8	1000,02	2000,16
9	1000,01	2000,16
10	1000,01	2000,15
<b>Desviación Estándar</b>	<b>0,011 5 g</b>	<b>0,008 8 g</b>

  
KENNY HUAMANI GAMARRA  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO

**CONDICIONES AMBIENTALES**

Temperatura Máxima:	18,0 °C	Temperatura Mínima:	17,0 °C
Humedad Máxima:	50 % HR	Humedad Mínima:	49 % HR
Presión Barométrica Máxima:	1000,1 hPa	Presión Barométrica Mínima:	1000,0 hPa





**INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN**

La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura "k" y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor.

**INFORMACIÓN ADICIONAL**

Tomando como base los resultados obtenidos en la calibración del instrumento de pesaje no automático, se obtienen las ecuaciones con las que el usuario podrá corregir cada lectura  $R$ , y también obtener su incertidumbre expandida  $U_R$ .

La ecuación para la corrección de la lectura, donde  $R$  es tomada directamente del indicador del instrumento en las unidades que se reportan los resultados en la página número dos de este certificado. La ecuación aquí presentada aplica a ejercicios de pesada en los que se ajusta el cero del instrumento antes de ejecutar la pesada y asumiendo como condiciones normales de uso lo declarado por el usuario durante la calibración y de información recolectada durante la misma.

$$R_{\text{corregida}} = R - E_{\text{aprox}} \quad E_{\text{aprox}} = 3,58 \text{ E-}05 \cdot R$$

La pesada ejecutada en el instrumento de pesaje tendrá la siguiente incertidumbre estándar,

$$u^2(W) = 1,50 \text{ E-}04 + 5,42 \text{ E-}08 R^2$$

Incertidumbre expandida de un resultado de pesada

$$U_R = k \cdot u(W)$$

Se puede tomar el valor  $k = 2$ , que corresponde a una probabilidad aproximada del 95 % y aplica cuando se puede asumir una distribución normal (Gaussiana) para el error de la indicación. Se encuentra más información sobre el valor de  $k$  en el documento Guía SIM MWG7/gc-01/V.00:2009 Guía para la Calibración de los Instrumentos para Pesar de Funcionamiento No Automático.

**TRAZABILIDAD**

El/Los certificado(s) de calibración de el/los patrón(es) usado(s) como referencia para la calibración en cuestión, que se mencionan en la página dos se pueden descargar accediendo al enlace en el código QR.



**OBSERVACIONES**

1. Se usa la coma como separador decimal
2. Las fórmulas calculadas para la obtención de la lectura corregida y su correspondiente incertidumbre estándar se obtuvieron a partir de las condiciones evidenciadas en la calibración (instalación, variación de condiciones ambientales, corriente eléctrica). Si las condiciones de uso del instrumento difieren a las al que hace referencia este certificado es responsabilidad del usuario establecer si es o no adecuada su aplicación.
3. Se puede obtener más información sobre el método y cálculos realizados para la emisión de este certificado de calibración consultando el documento de referencia mencionado en la página dos.
4. Se adjunta la estampilla de calibración No. **M-22933-002**

LAMP-24-F-01 R7.0

Fin del Certificado

  
**KENNY HUAMANI GAMARRA**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO,



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

		Página 1 de 3
N° de Certificado	: 0462-MPES-C-2022	
N° de Orden de Trabajo	: 0157	La Incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$ . Este valor ha sido calculado para un nivel de confianza aproximado del 95 % determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición".
<b>1. SOLICITANTE</b>	: <b>CONSTRUCCION E INGENIERIA AVANZADA SAC</b>	
DIRECCIÓN	: Jr. Abraham Valdelomar- Huamanga - Ayacucho	
<b>2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN</b>	: <b>BALANZA</b>	Los resultados sólo están relacionados con los ítems calibrados y son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual esté en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.
MARCA	: OHAUS	
MODELO	: PC4202E	
NÚMERO DE SERIE	: B830176178	
ALCANCE DE INDICACIÓN	: 4200 g	
DIVISIÓN DE ESCALA REAL (d)	: 0,01 g	
DIVISIÓN DE ESCALA DE VERIFICACIÓN (e)	: 0,1 g	
PROCEDENCIA	: CHINA	
IDENTIFICACIÓN	: BLZ-018 (*)	PESATEC PERU S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
TIPO DE INDICACIÓN	: ELECTRÓNICA	
UBICACIÓN	: LABORATORIO ENSAYOS DE MATERIALES	
FECHA DE CALIBRACIÓN	: 2022-06-21	

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**3. MÉTODO DE CALIBRACIÓN**

Comparación directa entre las indicaciones de lectura de la balanza y las cargas aplicadas mediante pesas patrones, según:  
Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II (PC - 011 del SNM-INDECOPI, 4ta edición abril 2010).

**4. LUGAR DE CALIBRACIÓN**

Av. Condevilla 1269 - Callao

  
**KENNY HUAMANI GAMARKA**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 130333  
 AREA GEOTECNIA Y CONCRETO

Sello	Fecha de Emisión	Autorizado por
	2022-06-28	 <b>Sandra Jurupa Melgarejo</b> Gerente Técnico

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 0462-MPES-C-2022**

Página 2 de 3

**5. CONDICIONES AMBIENTALES**

	Inicial	Final
Temperatura	20,8 °C	20,0 °C
Humedad Relativa	69,3 %	67,2 %

**6. TRAZABILIDAD**

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Identificación	Certificado de calibración
Patrones de referencia de INACAL-DM	Pesas (Clase de exactitud E2)	ZT-25	LM - C - 192 - 2020

**7. OBSERVACIONES**

Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metrológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

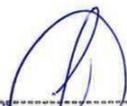
Se colocó una etiqueta con la indicación de "CALIBRADO".  
(\* Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento)

**8. RESULTADOS DE MEDICIÓN**

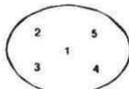
INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	SIST. DE TRABA	NO TIENE
NIVELACIÓN	TIENE		

**ENSAYO DE REPETIBILIDAD**

Medición N°	Temp. (°C)					
	Inical 20,8 °C			Final 20,5 °C		
	Carga L1 <sup>o</sup> 2 000,00 g			Carga L2 <sup>o</sup> 4 000,00 g		
	(g)	ΔL(mg)	E(mg)	(g)	ΔL(mg)	E(mg)
1	2 000,00	9	-4	4 000,00	11	-6
2	2 000,01	10	5	4 000,00	12	-7
3	2 000,00	9	-4	4 000,00	12	-7
4	2 000,00	9	-4	4 000,00	12	-7
5	2 000,00	10	-5	4 000,00	12	-7
6	2 000,00	10	-5	4 000,00	11	-6
7	2 000,00	10	-5	4 000,00	11	-6
8	2 000,01	9	6	4 000,00	12	-7
9	2 000,00	9	-4	4 000,00	12	-7
10	2 000,00	10	-5	4 000,00	12	-7
Diferencia Máxima						1
Error máximo permitido ±	200 mg			± 300 mg		



KENNY HUAMANI GAMARZA  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO



**CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 0462-MPES-C-2022**  
Página 3 de 3

**ENSAYO DE EXCENTRICIDAD**

Vista Frontal

Posición de la Carga	Determinación de E <sub>z</sub>				Determinación del Error corregido			
	Carga estándar (g)	g(g)	ΔL(mg)	E <sub>z</sub> (mg)	Carga (g)	g(g)	ΔL(mg)	E <sub>z</sub> (mg)
1	0,20	0,20	8	-3	1 500,00	1 499,99	10	-15
2		0,19	12	-17		1 499,99	7	-12
3		0,20	9	-4		1 500,00	5	0
4		0,19	5	-10		1 499,99	10	-15
5		0,19	7	-12		1 500,00	7	-2

Temp. (°C) Inicial: 19,7 °C Final: 20,2 °C

(\*) valor entre 0 y 10 s

Error máximo permitido: ± 200 mg

**ENSAYO DE PESAJE**

Carga L(g)	CRECIENTES					DECRECIENTES					emp(%)
	g(g)	ΔL(mg)	E <sub>z</sub> (mg)	E <sub>c</sub> (mg)	E <sub>z</sub> (mg)	g(g)	ΔL(mg)	E <sub>z</sub> (mg)	E <sub>c</sub> (mg)		
0,20	0,20	7	-2								
0,50	0,50	8	-3	-1	0,49	5	-10	-8	100		
100,00	99,99	2	-7	-5	99,99	7	-12	-10	100		
200,00	200,00	5	0	2	199,99	6	-11	-9	100		
500,00	500,01	5	10	12	500,00	9	-4	-2	100		
1 000,00	1 000,01	9	6	8	999,99	6	-11	-9	200		
1 500,00	1 500,00	8	-3	-1	1 499,99	8	-13	-11	200		
2 000,00	2 000,00	7	-2	0	1 999,97	5	-30	-28	200		
3 000,00	3 000,00	9	-4	-2	2 999,97	9	-34	-32	300		
4 000,00	3 999,96	4	-39	-37	3 999,95	9	-54	-52	300		
4 200,00	4 199,94	7	-62	-60	4 199,94	7	-62	-60	300		

Temp. (°C) Inicial: 20,3 °C Final: 20,0 °C

(\*\*) error máximo permitido

**Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada**

$$R_{\text{corregida}} = R + 0,0000041 \times R$$

$$U_R = 2\sqrt{0,00011 \text{ g}^2 + 0,0000000016 \times R^2}$$

R Lectura de la balanza    ΔL Carga incrementada    E Error encontrado    E<sub>z</sub> Error en cero    E<sub>c</sub> Error corregido

Fin del certificado de calibración

**KENNY NUKMANI GAMARRA**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO.

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

N° de Certificado	: 0463-MPES-C-2022	Página 1 de 3
N° de Orden de trabajo	: 0157	La incertidumbre reportada en el presente certificado es la Incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la Incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$ . Este valor ha sido calculado para un nivel de confianza aproximado del 95 % determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición".
<b>1. SOLICITANTE</b>	<b>CONSTRUCCION E INGENIERIA AVANZADA SAC</b>	
DIRECCIÓN	: Jr. Abraham Valdelomar 589 Huamanga - Ayacucho	
<b>2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN</b>	<b>BALANZA</b>	
MARCA	:	
MODELO	: OHAUS	
NÚMERO DE SERIE	: AX8201/E	Los resultados sólo están relacionados con los ítems calibrados y son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.
ALCANCE DE INDICACIÓN	: B904149789	
DIVISIÓN DE ESCALA REAL (d)	: 8200 g	
DIVISIÓN DE ESCALA DE VERIFICACIÓN (e)	: 0.1 g	
PROCEDENCIA	: 1 g	
IDENTIFICACIÓN	:	
TIPO DE INDICACIÓN	: CHINA	PESATEC PERU S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
UBICACIÓN	: BLZ-019 (*)	
FECHA DE CALIBRACIÓN	: ELECTRÓNICA	
	: LABORATORIO ENSAYOS DE MATERIALES	
	: 2022-06-21	

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

### 3. MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Comparación directa entre las indicaciones de lectura de la balanza y las cargas aplicadas mediante pesas patrónes, según:  
Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II (PC - 011 del SNM-INDECOP, 4ta edición abril 2010).

### 4. LUGAR DE CALIBRACIÓN

Av. Condevilla 1269 - Callao

  
**KENNY HUAMANI GAMARRA**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 480333  
ÁREA GEOTECNIA Y CONCRETO

Sello

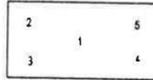
Fecha de Emisión

Autorizado por



2022-06-28

  
**Sandra Jurupe Melgarejo**  
Gerente Técnico



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 0463-MPES-C-2022**  
Página 3 de 3

**ENSAYO DE EXCENTRICIDAD**

Vista Frontal

Posición de la Carga	Temp. (°C)				
	Inicial		Final		
	19,7 °C		20,8 °C		
	Determinación de E <sub>g</sub>				
	Carga mínima (g)	kg	ΔL(mg)	E <sub>g</sub> (mg)	
1	2.0	2,0	60	-10	
2		2,0	80	-30	
3		2,0	90	-40	
4		2,0	80	-30	
5		2,0	80	-30	
	Determinación del Error corregido				
	Carga (g)	kg	ΔL(mg)	E <sub>g</sub> (mg)	E <sub>c</sub> (mg)
	3 000,0	3 000,0	50	0	10
		3 000,0	70	-20	10
		3 000,0	70	-20	20
		3 000,1	50	100	130
		3 000,1	70	80	110

(\*) Valor entre 0 y 10 e

Error máximo permitido: ± 1 000 mg

**ENSAYO DE PESAJE**

Carga L(g)	Temp. (°C)										
	Inicial					Final					
	19,9 °C					20,4 °C					
	CRECIENTES					DECRECIENTES					emp(*)
	kg	ΔL(mg)	E(mg)	E <sub>c</sub> (mg)		kg	ΔL(mg)	E(mg)	E <sub>c</sub> (mg)	emp(*)	
2.0	2,0	70	-20								
5.0	5,0	70	-20	0	4,9	30	-80	-60	1 000		
100.0	100,0	70	-20	0	100,0	80	-30	-10	1 000		
200.0	200,0	80	-30	-10	200,0	70	-20	0	1 000		
500.0	500,0	60	-10	10	499,9	80	-130	-110	1 000		
1 000.0	1 000,0	50	0	20	999,9	70	-120	-100	1 000		
1 500.0	1 500,0	40	10	30	1 499,9	80	-130	-110	1 000		
2 000.0	2 000,0	20	30	50	1 999,9	70	-120	-100	1 000		
4 000.0	4 000,1	40	110	130	3 999,9	80	-130	-110	1 000		
6 000.0	6 000,2	50	200	220	5 999,9	20	-70	-50	2 000		
8 200.0	8 200,3	40	310	330	8 200,3	40	310	330	2 000		

(\*) error máximo permitido

**Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada**

$$R_{\text{corregida}} = R - 0,000036 \times R$$

$$U_R = 2\sqrt{0,011 \text{ g}^2 + 0,0000000033 \times R^2}$$

R Lectura de la balanza    ΔL Carga Incrementada    E Error encontrado    E<sub>g</sub> Error en cero    E<sub>c</sub> Error corregido

Fin del certificado de calibración

*Kenny Huaita Gamarra*  
INGENIERO CIVIL  
CIP: N° 430333  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO



**A&V**

CONSTRUCCIÓN E INGENIERÍA  
AVANZADA

---

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
PIE DE REY**

  
KENNY NOEMÍ GABARRA  
INGENIERO CIVIL

---



**Certificado de Calibración - Laboratorio de Longitud**  
Calibration Certificate - Dimensional Metrology Laboratory

**L-22933-016 R0**

Page / Pág. 1 de 3

<b>Equipo</b> <i>Instrument</i>	PIE DE REY
<b>Fabricante</b> <i>Manufacturer</i>	INSIZE
<b>Modelo</b> <i>Model</i>	1215-322
<b>Número de Serie</b> <i>Serial Number</i>	0921170080
<b>Identificación Interna</b> <i>Internal Identification</i>	VRN-002
<b>Intervalo de Medición</b> <i>Measurement Range</i>	0 mm a 300 mm
<b>Solicitante</b> <i>Customer</i>	CONSTRUCCION E INGENIERIA AVANZADA S.A.C
<b>Dirección</b> <i>Address</i>	Jr. Abraham Valdelomar 589
<b>Ciudad</b> <i>City</i>	Huamanga - Ayacucho
<b>Fecha de Calibración</b> <i>Date of calibration</i>	2022 - 06 - 22
<b>Fecha de Emisión</b> <i>Date of issue</i>	2022 - 06 - 29

Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

Este certificado documenta y asegura la trazabilidad a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

El usuario es responsable de la comprobación de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.

*The results issued in this certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.*

*This certificate documents and ensures the traceability to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).*

*The user is responsible for checking the measuring instruments at appropriate time intervals.*

**Número de páginas del certificado, incluyendo anexos** 03  
*Number of pages of the certificate and documents attached*

*Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar, no se puede reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del certificado no se sacan de contexto. Los certificados sin firma no son válidos.*

*Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the certificate are not taken out of context. Unsigned certificates are not valid.*

**Firmas Autorizadas**

*Authorized Signatures*

**Ing. Sergio Iván Martínez**  
Director Laboratorio de Metrología

**Tecg. Jaiver Arnulfo López**  
Metrólogo Laboratorio de Metrología



LMP003JF-01 REV.0

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

Laboratorio de Metrología: Cr 19 #1038-72 | PBX: 57 (1) 745 4255 - 3174233443 | [atencioncliente@pinzuar.com.co](mailto:atencioncliente@pinzuar.com.co) | [WWW.PINZUAR.COM.CO](http://WWW.PINZUAR.COM.CO)





**L-22933-016 R0**

Page / Pág. 2 de 3

**DATOS TÉCNICOS**

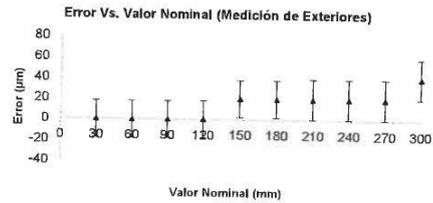
<b>Tipo de Medición</b>	Exteriores e Interiores
<b>Método Empleado</b>	Comparación Directa
<b>Documento de Referencia</b>	DI - 008 del Centro Español de Metrología, Edición 1
<b>Tipo de Indicación</b>	Analógica Tipo Nonio
<b>Resolución</b>	0,02 mm
<b>Instrumentos de Referencia</b>	Bloques Patrón Longitudinales de Caras Paralelas
<b>Certificado No.</b>	LMD201701 de Cidesi; 200295 de C.I.E.

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN**

Al equipo en referencia se le efectuó una inspección visual con la que se determinó que se encuentra en buen estado, las superficies de medición no presentan sobresaltos, por lo tanto, presenta una buena condición para la medición. Se procede a la realizar la toma de datos respectiva comparando la indicación del equipo con el valor nominal del bloque patrón iniciando la medición con la puesta a cero del equipo.

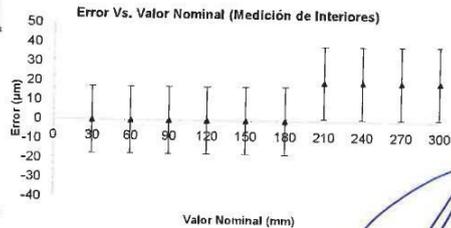
**Tabla 1. Resultados de las Superficies para Medición de Exteriores**

Valor Nominal mm	Promedio mm	Error µm	Incertidumbre Expandida µm	k (p=95,45%)
30	30,000	0	18	2,00
60	60,000	0	18	2,00
90	90,000	0	18	2,00
120	120,000	0	18	2,00
150	150,020	20	18	2,00
180	180,020	20	18	2,00
210	210,020	20	19	2,00
240	240,020	20	19	2,00
270	270,020	20	19	2,00
300	300,040	40	19	2,00



**Tabla 2. Resultados de las Superficies para Medición de Interiores**

Valor Nominal mm	Promedio mm	Error µm	Incertidumbre Expandida ± µm	k (p=95,45%)
30	30,000	0	17	2,01
60	60,000	0	17	2,01
90	90,000	0	17	2,01
120	120,000	0	17	2,01
150	150,000	0	17	2,00
180	180,000	0	18	2,00
210	210,020	20	19	2,00
240	240,020	20	19	2,00
270	270,020	20	19	2,00
300	300,020	20	19	2,00



LM-PC-23-F-01 R8.0

**KENNY HUAMAN GAMARRA**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

Laboratorio de Metrología: Cl 18 #1033-72 | FÓN. 57 (1) 745 4535 - 3174233563 | labmetrologia@pinzuar.com.co | WWW.PINZUAR.COM.CO



**L-22933-016 R0**

Page / Pág. 3 de 3

### CONDICIONES AMBIENTALES

La calibración se llevó a cabo en en las instalaciones del Laboratorio de Metrología Pinzuar., las condiciones ambientales durante la ejecución fueron las siguientes:

Temperatura Máxima:	19,7 °C	Humedad Máxima:	55 %
Temperatura Mínima:	19,4 °C	Humedad Mínima:	54 %

### INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

La incertidumbre expandida de la medición reportada (página No. 2 Tablas de resultados), se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura k y la probabilidad de cobertura aproximadamente al 95 %. Basados en el documento: JCGM 100:2008. GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement. First Edition. September 2008.

### TRAZABILIDAD

El/Los certificado(s) de calibración de el/los patrón(es) usado(s) como referencia para la calibración en cuestión, que se mencionan en la página dos se pueden descargar accediendo al enlace en el código QR.



### OBSERVACIONES

1. Se usa la coma como separador decimal.
2. Se adjunta la estampilla de calibración No. **L-22933-016**

LM-PC-23-F-01 R0.0

Fin de Certificado

  
**WILINY KLAMANI GAMARRA**  
INGENIERO CIVIL  
19333  
CONCRETO,

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

Laboratorio de Metrología: Cl 18 #1034-72 | FÓN: 57 (0) 745 4556 - 3174233640 | Email: metrologia@pinzuar.com.co | WWW.PINZUAR.COM.CO

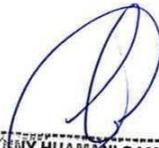


**A&V**

CONSTRUCCIÓN E INGENIERÍA  
AVANZADA

---

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
HORNOS DE SECADO**



KENNY HUAMANI GAMARRA  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO

---



**Certificado de Calibración - Laboratorio de Temperatura**  
Calibration Certificate - Temperature Laboratory

**T-22933-019 R0**

Page / Pág 1 de 4

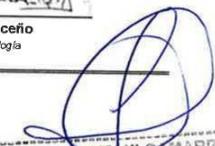
<b>Equipo</b> <i>Instrument</i>	HORNO ELÉCTRICO	<p>Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.</p> <p>Este certificado de calibración documenta y asegura la trazabilidad a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>El usuario es responsable de la calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.</p> <p><i>The results issued in this certificate relates to the time and conditions under which the measurements were made. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.</i></p> <p><i>This calibration certificate documents and ensures the traceability to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).</i></p> <p><i>The user is responsible for recalibrating the measuring instruments at appropriate time intervals.</i></p>
<b>Fabricante</b> <i>Manufacturer</i>	PINZUAR	
<b>Modelo</b> <i>Model</i>	PG-2005	
<b>Número de Serie</b> <i>Serial Number</i>	102	
<b>Identificación Interna</b> <i>Internal Identification</i>	HRN-003	
<b>Intervalo de Medición</b> <i>Measurement Range</i>	40 °C a 250 °C	
<b>Solicitante</b> <i>Customer</i>	CONSTRUCCION E INGENIERIA AVANZADA S.A.C	
<b>Dirección</b> <i>Address</i>	Jr. Abraham Valdelomar N° 589	
<b>Ciudad</b> <i>City</i>	Huamanga - Ayacucho	
<b>Fecha de Calibración</b> <i>Date of Calibration</i>	2022 - 06 - 22	
<b>Fecha de Emisión</b> <i>Date of Issue</i>	2022 - 06 - 29	
<b>Número de páginas del certificado, incluyendo anexos</b> <i>Number of pages of the certificate and documents attached</i>	04	

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar no se puede reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.  
*Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.*

**Firmas Autorizadas**  
*Authorized Signatures*

  
Ing. Sergio Iván Martínez  
Director Laboratorio de Metrología

  
Tecg. Oscar Eduardo Briceño  
Metrólogo Laboratorio de Metrología

  
KENNY HUANA NI CAMBARRA  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333  
AREA GEOTECNIA Y CONTROL DE TIEMPO

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

Laboratorio de Metrología | Cl. 18 #1039 72 | PBX. 57 (1) 345 4555 - 3174233640 | [labmetrologia@pinzuar.com.co](mailto:labmetrologia@pinzuar.com.co) | [WWW.PINZUAR.COM.CO](http://WWW.PINZUAR.COM.CO)



**DATOS TÉCNICOS**

**Método Empleado** Comparación Directa  
**Documento de Referencia** DAKKS DKD-R 5 - 7 Kalibrierung von Klimaschränken 1. Neuauflage 2010  
**Resolución** 0,01 °C  
**Patrón(es) de referencia** Termómetro Digital  
**Certificado de Calibración** T-21368-003 R0 de Pinzuar / T-21368-001 R0 de Pinzuar  
**Volumen útil** 800 L

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN**

Al medio isotermo en referencia se le efectuó una inspección visual y se determinó que estaba en buen estado. Se determinó que el medio presentaba una buena condición para la calibración, luego se procedió a la calibración y caracterización respectiva en los puntos acordados con el cliente ejecutando las pruebas estabilidad temporal y la uniformidad espacial.

Indicación del Patrón °C	Indicación del Equipo °C	Corrección °C	Incertidumbre Expandida °C	$K_{p=95,45} \%$
58,8	60,0	-1,2	2,0	2,0
108,3	110,0	-1,7	4,5	2,0

Tabla 1. Resultados de la calibración



Gráfica 1. Ubicación de los sensores

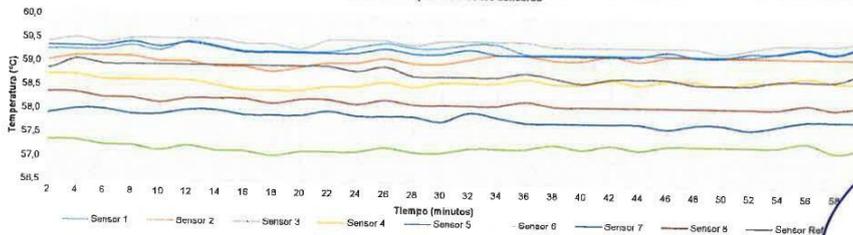
**Resultados de la Caracterización para 60 °C**

Set Point <sup>1</sup> °C	Estabilidad del Medio <sup>2</sup> °C	Uniformidad del Medio <sup>3</sup> °C	Efecto de Radiación <sup>4</sup> °C	Efecto de Carga <sup>5</sup> °C
60,00	0,22	1,58	0,58	—

Tabla 2. Resultados de la caracterización

Sensor 1 °C	Sensor 2 °C	Sensor 3 °C	Sensor 4 °C	Sensor 5 °C	Sensor 6 °C	Sensor 7 °C	Sensor 8 °C	Sensor de Referencia °C
59,31	59,10	59,45	58,53	59,29	57,25	57,88	58,20	58,83

Tabla 3. Valor promedio de los sensores



Gráfica 2. Estabilidad y uniformidad del medio

LM-PC-21-F-01 R7.1

**KENNY HUAMAN GARRA**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

Laboratorio de Metrología: Cl 18 #1038-72 | FÓN: 57 (1) 745 4555 - 3174233643 | Email: metrologia@pinzuar.com.co | WWW.PINZUAR.COM.CO



**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN** (Continuación)

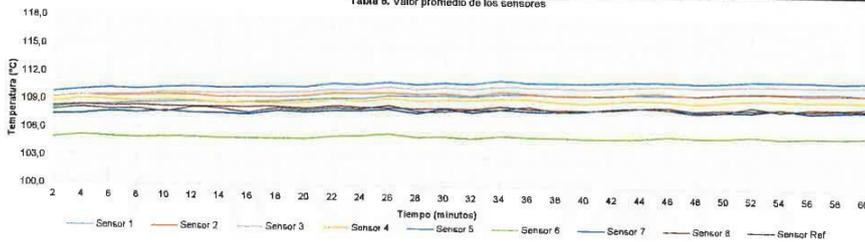
**Resultados de la Caracterización para 110 °C**

Set Point <sup>1</sup> °C	Estabilidad del Medio <sup>2</sup> °C	Uniformidad del Medio <sup>3</sup> °C	Efecto de Radiación <sup>4</sup> °C	Efecto de Carga <sup>5</sup> °C
110,00	0,54	3,01	2,35	—

Tabla 4. Resultados de la caracterización

Sensor 1 °C	Sensor 2 °C	Sensor 3 °C	Sensor 4 °C	Sensor 5 °C	Sensor 6 °C	Sensor 7 °C	Sensor 8 °C	Sensor de Referencia °C
109,53	109,86	110,41	109,18	110,96	105,30	108,08	108,47	108,31

Tabla 5. Valor promedio de los sensores



Gráfica 3. Estabilidad y uniformidad del medio

LM-PC-21-F-01 R7.1

  
**KENNY HUAMANT GAMARRA**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO.





**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN (Continuación)**

**Definiciones**

- <sup>1</sup> Valor de temperatura programado en el controlador de equipo.
- <sup>2</sup> Fluctuación de la temperatura determinada por un registro de datos durante un periodo mayor a 30 minutos, después de alcanzado el estado estable en la posición de referencia (centro del volumen útil).
- <sup>3</sup> Diferencia máxima de temperatura en un lugar de medición determinado por los extremos del volumen útil desde la posición de referencia (centro del volumen útil).
- <sup>4</sup> Intercambio de calor por radiación dado por la temperatura ambiente y la pared interna de la cámara que se diferencian a la temperatura del aire. Medida con un termómetro que está protegido contra la influencia de la pared con un escudo de radiación.
- <sup>5</sup> Máxima diferencia de temperatura encontrada por el sensor ubicado en la posición de referencia cuando el volumen útil del equipo está parcialmente ocupado y cuando se encuentra vacío. Prueba ejecutada a petición del cliente.

**CONDICIONES AMBIENTALES**

Temperatura Máxima 19,2 °C  
Temperatura Mínima 18,1 °C

Humedad Máxima 50 %HR  
Humedad Mínima 49 %HR

**INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN**

La incertidumbre expandida de la medición reportada (página No. 2 Tablas de resultados), se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura k y la probabilidad de cobertura aproximadamente al 95 %. Basados en el documento: JCGM 100:2008. GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement. First Edition. September 2008.

**TRAZABILIDAD**

El/Los certificado(s) de calibración de el/los patrón(es) usado(s) como referencia para la calibración en cuestión, que se mencionan en la página dos se pueden descargar accediendo al enlace en el código QR.



**OBSERVACIONES**

1. Se usa la coma como separador decimal.
2. Se adjunta la etiqueta de calibración No. T-22933-019

Fin del Documento

  
**KENNY HUAMANÍ GAMARRA**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO.

LM-PC-21-F-01.07.1

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

Laboratorio de Metrología: Cl 18 #1038-72 | Fbx. 57 (1) 745 4555 - 3 74233640 | [info@metrologia@pinzuar.com.co](mailto:info@metrologia@pinzuar.com.co) | [WWW.PINZUAR.COM.CO](http://WWW.PINZUAR.COM.CO)



**A&V**

CONSTRUCCIÓN E INGENIERÍA  
AVANZADA

---

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
MAQUINA A COMPRESIÓN**

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'KH' or similar initials, enclosed within a circular scribble.

KENNY HUAMANI GAMARRA  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO

---



# PINZUAR

LABORATORIO DE METROLOGÍA



**Certificado de Calibración - Laboratorio de Fuerza**  
*Calibration Certificate - Laboratory of Force*

**F-22933-013 R0**

Page / Pág. 1 de 5

<b>Equipo</b> <i>Instrument</i>	MAQUINA MULTIUSOS PARA ENSAYOS A COMPRESIÓN	<p>Los resultados emitidos en este Certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.</p> <p>Este Certificado de Calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>El usuario es responsable de la Calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.</p> <p><i>The results issued in this Certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.</i></p> <p><i>This Calibration Certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and international standards, which realize the units of measurement according to the international System of Units (SI).</i></p> <p><i>The user is responsible for Calibration the measuring instruments at appropriate time intervals.</i></p>
<b>Fabricante</b> <i>Manufacturer</i>	PINZUAR S.A.S.	
<b>Modelo</b> <i>Model</i>	PS-27	
<b>Número de Serie</b> <i>Serial Number</i>	186	
<b>Identificación Interna</b> <i>Internal Identification</i>	PRC-001	
<b>Capacidad Máxima</b> <i>Maximum Capacity</i>	50000 N	
<b>Solicitante</b> <i>Customer</i>	CONSTRUCCION E INGENIERIA AVANZADA SAC	
<b>Dirección</b> <i>Address</i>	Jr. Abraham Valdelomar 859	
<b>Ciudad</b> <i>City</i>	HUAMANGA - AYACUCHO	
<b>Fecha de Calibración</b> <i>Date of calibration</i>	2022 - 06 - 22	
<b>Fecha de Emisión</b> <i>Date of issue</i>	2022 - 06 - 29	

**Número de páginas del certificado, incluyendo anexos** 05  
*Number of pages of the certificate and documents attached*

Si la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar no se puede reproducir el Certificado, excepto cuando se reproduce en su totalidad ya que proporciona la seguridad que las partes del Certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.  
Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the Certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

**Firmas que Autorizan el Certificado**  
*Signatures Authorizing the Certificate*

  
 Ing. Sergio Iván Martínez  
 Director Laboratorio de Metrología

  
 Ing. Miguel Andrés Vela Avellaneda  
 Metrólogo Laboratorio de Metrología

LMP-057-01 R03

  
 KENNY HUAMÁN SAMARRA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N.º 130323  
 AREA GEOTECNIA Y CONTROL DE CALIDAD



**DATOS TÉCNICOS**

Máquina de Ensayo Bajo Calibración		Instrumento(s) de Referencia	
Clase	1,0	Instrumento	Transductor de Fuerza de 50 kN
Dirección de Carga	Compresión	Modelo	14711
Tipo de Indicación	Digital	Clase	0.0
División de Escala	1 N	Número de Serie	620
Resolución	1 N	Certificado de Calibración	4277 del INM
Intervalo de Medición Calibrado	Del 10 % al 100 % de la carga máxima.	Próxima Calibración	2023 - 03 - 22
Límite Inferior de la Escala	200 N		

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN**

La calibración se efectuó siguiendo los lineamientos establecidos en el documento de referencia NTC-ISO 7500-1:2007 Materiales Metálicos. Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticos. Parte 1: Máquinas de Ensayo de Tracción/Compresión Verificación y Calibración del Sistema de Medida de Fuerza, en donde se especifica un intervalo de temperatura comprendido entre 10°C a 35°C, con una variación máxima de 2°C durante cada serie de medición. Se utilizó el método de comparación directa aplicando Fuerza Indicada Constante.

Se realizó una inspección general de la máquina y se determina que: Se puede continuar la calibración como se recibe el equipo

Tabla 1.

Indicaciones como se recibió y se entregó la máquina después de ajuste

Indicación del IBC	Indicaciones Registradas del Equipo Patrón para Cada Serie						Promedio S <sub>1, 2 y 3</sub> N
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>2</sub> '	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	N	
	Ascendente N	Ascendente N	No Aplica ---	Ascendente N	No Aplica ---		
10	5 000	5 013,6	5 013,1	---	5 013,9	---	5 013,6
20	10 000	10 025,5	10 025,6	---	10 025,7	---	10 025,6
30	15 000	15 036,8	15 037,3	---	15 036,7	---	15 036,9
40	20 000	20 047,6	20 047,0	---	20 047,3	---	20 047,3
50	25 000	25 057,2	25 056,5	---	25 056,7	---	25 056,8
60	30 000	30 066,3	30 066,2	---	30 065,8	---	30 066,1
70	35 000	35 075,6	35 074,9	---	35 074,9	---	35 075,1
80	40 000	40 084,2	40 084,9	---	40 084,5	---	40 084,5
90	45 000	45 094,4	45 095,0	---	45 094,4	---	45 094,6
100	50 000	50 104,8	50 104,7	---	50 104,6	---	50 104,7

LM-PC-05-F-01 R12.0

  
KENNY JUANA N. GAMBOA  
INGENIERO CIVIL  
CIP N° 130333  
AREA DE TECNICIA Y CONCRETO





**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN Continuación...**

**Tabla 2.**

Error realtivo de cero,  $f_0$ , calculado para cada serie de medición a partir de su cero residual

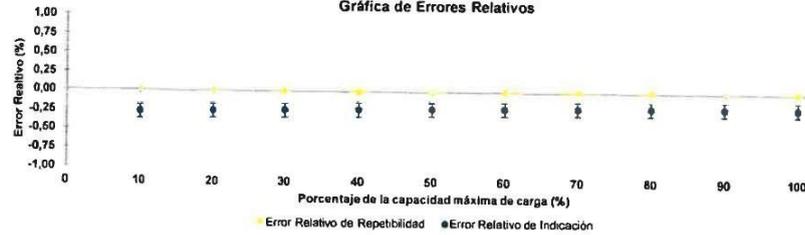
$f_{0,S1}$ %	$f_{0,S2}$ %	$f_{0,SZ}$ %	$f_{0,S3}$ %	$f_{0,S4}$ %
0,000	0,000	---	0,000	---

**Tabla 3.**

Resultados de la Calibración de la máquina de ensayo

Indicación del IBC %	Indicación N	Indicación q %	Errores Relativos			Resolución Relativa a %	Incertidumbre Expandida		$K_{p=95\%}$ -----
			Repetibilidad b %	Reversibilidad v %	U		N	%	
10	5 000,0	-0,270	0,016	---	0,020	4,5	0,090	2,01	
20	10 000,0	-0,255	0,002	---	0,010	9,0	0,090	2,01	
30	15 000,0	-0,245	0,004	---	0,007	14	0,090	2,01	
40	20 000,0	-0,236	0,003	---	0,005	18	0,090	2,01	
50	25 000,0	-0,227	0,003	---	0,004	23	0,090	2,01	
60	30 000,0	-0,220	0,002	---	0,003	27	0,090	2,01	
70	35 000,0	-0,214	0,002	---	0,003	32	0,090	2,01	
80	40 000,0	-0,211	0,002	---	0,003	36	0,090	2,01	
90	45 000,0	-0,210	0,001	---	0,002	41	0,090	2,01	
100	50 000,0	-0,209	0,000	---	0,002	45	0,090	2,01	

**Gráfica de Errores Relativos**



**CONDICIONES AMBIENTALES**

Temperatura Ambiente Máxima: 20,4 °C  
Humedad Relativa Máxima: 47 % HR

Temperatura Ambiente Mínima: 20,1 °C  
Humedad Relativa Mínima: 47 % HR

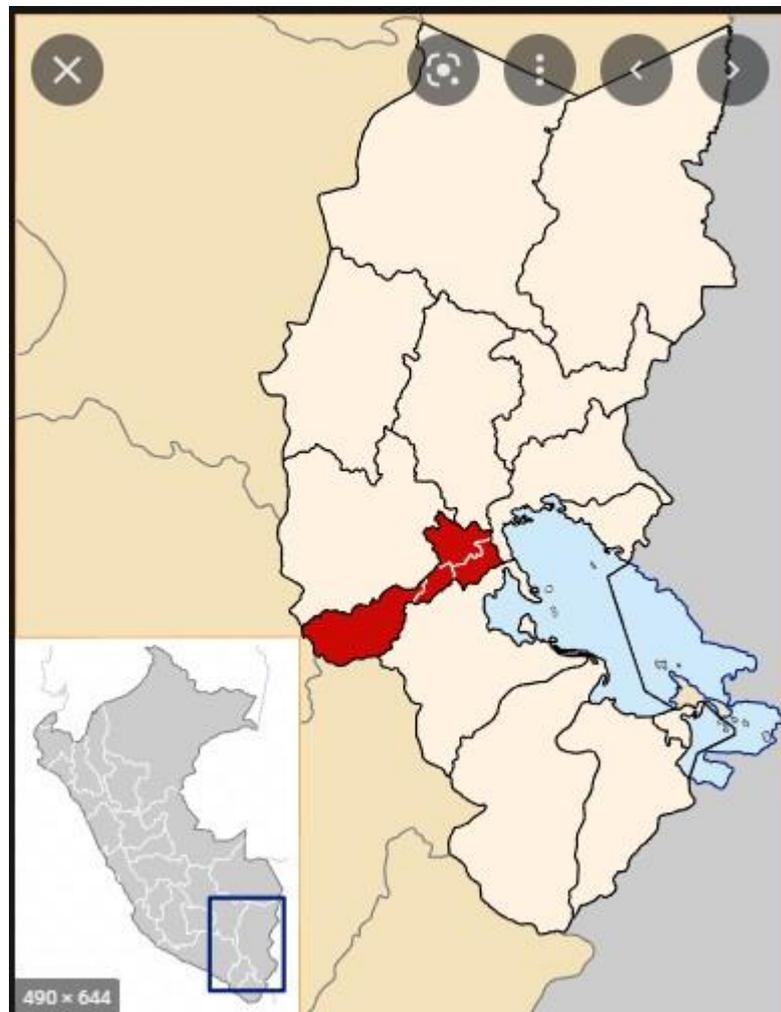
LM-PC-05-F-01 R12.0

**KENNY HUAMANI GAMARRA**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 130333  
AREA GEOTECNIA Y CONCRETO

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO



## ANEXOS 09 UBICACIÓN



## DISTRITO DE SAN MIGUEL

Creado el 07 de Julio del 2016. Ley Nro. 5346 nuevo distrito de la provincia de San Román del departamento de Puno.

Límites: Provincia de Lampa, Azángaro, Huancané y distrito de Caracoto.



## ANEXO 10. PANEL FOTOGRÁFICO

**Figura 32**

*Inicio del camino vecinal Maravillas Vilcapata*



Nota. En la imagen nos encontramos en el camino vecinal de Maravillas - Vilcapata

**Figura 33**

*Excavación de la calicata*



Nota. En la imagen se aprecia realizando las calicatas en el camino vecinal de Maravillas Vilcapata



**Figura 36**  
*Calicata 4 en la progresiva 5 +750*



Nota. En la imagen nos encontramos en la calicata N° 04 de la progresiva 5+750 del camino vecinal de Maravillas Vilcapata

**Figura 37**  
*Profundidad de la calicata*



Nota. En la imagen se aprecia la calicata de 1.5 metros de profundidad.

**Figura 38**  
*Muestra para ensayos*



Nota. En la imagen se aprecia la muestra para ser llevado al laboratorio.

**Figura 39**  
*Ensayo de granulometría*



Nota. En la imagen se aprecia realizando el ensayo de granulometría por tamizado.

**Figura 40**  
*Ensayo de granulometría de la calicata 3*



Nota. En la imagen se aprecia realizando el ensayo de granulometría por tamizado de la calicata N° 3.

**Figura 41**  
*Ensayo de límite de consistencia*



Nota. En la imagen se aprecia realizando el ensayo de límite de consistencia.

**Figura 42**  
*Contenido de humedad de la calicata 2*



Nota. Colocando material al horno para obtener el contenido de humedad

**Figura 43**  
*Contenido de humedad de la calicata 4*



Nota. Colocando material al horno para obtener el contenido de humedad de la calicata N° 4.

**Figura 44**  
*Ensayo de proctor modificado*



Nota. En la imagen se aprecia realizando el ensayo del Proctor modificado.

**Figura 45**  
*Ensayo de proctor modificado*



Nota. En la imagen se aprecia realizando el Proctor modificado en el laboratorio.

**Figura 46**  
*Proctor modificado muestra 1*



Nota. En la imagen se aprecia realizando el Proctor modificado del material de la muestra # 01.

**Figura 47**  
*Material sumergido en agua*



Nota. En la imagen se aprecia el sumergido del material en agua por 4 días.

**Figura 48**  
*Ensayo CBR*



Nota. En la imagen se visualiza realizando el ensayo de CBR, en laboratorio.

**Figura 49**  
*Ensayo CBR calicata 1*



Nota. Ensayo de CBR, de la muestra de la calicata N° 01.



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, MEDINA CARBAJAL LUCIO SIGIFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, asesor de Tesis titulada: "Influencia de la adición de ceniza de ichu y ceniza de hoja de coca en las propiedades mecánicas de la subrasante, Puno 2022", cuyos autores son MAMANI ARACAYO MAX ABELARDO, MAMANI RODRIGO WILSON, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 21.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 27 de Marzo del 2023

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
MEDINA CARBAJAL LUCIO SIGIFREDO <b>DNI:</b> 40534510 <b>ORCID:</b> 0000-0001-5207-4421	Firmado electrónicamente por: LMEDINAC el 06-04- 2023 08:28:45

Código documento Trilce: TRI - 0538876