



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

## **FACULTAD DE INGENIERIA**

### **ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

“Estabilización de los suelos del caserío de Cascajal Izquierdo con fines de pavimentación, utilizando ceniza de paja de trigo – Distrito Chimbote, Ancash - 2018”

### **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

#### **AUTOR:**

Bruno Alexander Diaz Trujillo

#### **ASESOR:**

Mgtr. Gonzalo Hugo Diaz García

#### **LINEA DE INVESTIGACION:**

Administración y Seguridad de la Construcción

NUEVO CHIMBOTE – PERU

2018

## PÁGINA DEL JURADO

Los miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo damos conformidad para la sustentación de la tesis titulada **“Estabilización de los suelos del caserío de Cascajal Izquierdo con fines de pavimentación, utilizando ceniza de paja de trigo – Distrito Chimbote, Ancash - 2018”**, la misma que debe ser defendida por el tesista: **Díaz Trujillo, Bruno Alexander** aspirante a obtener el título Profesional de Ingeniero Civil.

Nuevo Chimbote, 11 de Julio del 2018



---

Dr. Rigoberto Cerna Chávez

PRESIDENTE



---

Mgtr. Gonzalo Hugo Diaz Garcia

SECRETARIO



---

Mgtr. Miguel Angel Solar Jara

VOCAL

## **DEDICATORIA**

### **A Dios.**

Por haberme concedido llegar hasta este punto y haberme proporcionado salud para lograr mis objetivos, por toda la paciencia que me brinda para continuar y no renunciar en los momentos de estrés que viví en la realización de la tesis, además de su infinita bondad y amor.

### **A mis padres**

Ronald Diaz Avila por orientarme en toda mi carrera y haberme brindado los recursos para desarrollar mi tesis y especialmente mi madre que es mi mayor inspiración y motor para seguir adelante, por su gran apoyo y motivación para la realización del desarrollo de mi tesis.

### **A mi familia**

Mis abuelos que son como mis segundos padres que me brindaron consejos y valores, también mis tíos y primos que me apoyaron incondicionalmente con su tiempo y preocupación para poder desarrollar los objetivos que me propuse.

### **A mis amigos.**

Que me apoyaron en mi formación profesional y que hasta ahora seguimos siendo muy buenos amigos; amigos del colegio, universidad, trabajo y hogar.

## **AGRADECIMIENTO**

Quisiera dar las gracias al Ing. Diaz Garcia Gonzalo por orientarme, por brindar su paciencia continua, y ante todo por guiarnos para lograr ser uno profesional de éxito.

A mis padres queridos por la paciencia, el tiempo que me dedicaron y sobretodo el apoyo moral y económico que me ayudo a seguir adelante para cumplir mis objetivos.

A mi familia que es lo más importante que tengo y que con su apoyo continuo puedo cumplir cada meta que me propongo.

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Diaz Trujillo Bruno Alexander con DNI N° 76425002, a afecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grado y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico profesional de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es verás y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presenta tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como la información aportada, por lo cual me doblego a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Nuevo Chimbote, 16 de mayo del 2018



---

Bruno Alexander Diaz Trujillo

DNI N° 76425002

## PRESENTACION

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento con las disposiciones vigentes establecidas por el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, someto a vuestro criterio profesional la evaluación del presente trabajo de investigación titulado: **“Estabilización de los suelos del caserío de Cascajal Izquierdo con fines de pavimentación, utilizando ceniza de paja de trigo – Distrito Chimbote, Ancash - 2018”**, con el objetivo de evaluar la influencia de la ceniza de paja de trigo como estabilizante de los suelos del Caserío de Cascajal Izquierdo con fines de pavimentación.

En el primer capítulo se desarrolla la Introducción que abarca la realidad problemática, antecedentes, teorías relacionadas al tema, formulación del problema, justificación y objetivos de la presente tesis de investigación.

En el segundo capítulo se describe la metodología de la investigación, es decir el diseño de la investigación, variables y su operacionalización, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos que se empleó y su validez y confiabilidad realizada por tres jueces expertos en la materia.

En el tercer capítulo se expuso los resultados obtenidos de la evaluación realizada por el tesista para dar solución al problema presentado.

En el cuarto capítulo, se discutió los resultados llegando a conclusiones objetivas y recomendaciones para las futuras investigaciones.

Asimismo, el presente estudio es elaborado con el propósito de obtener el título profesional de Ingeniero Civil. Con la convicción que se me otorga el valor justo y mostrando apertura a sus observaciones, agradezco por anticipado las sugerencias y apreciaciones que se brinde a la presente investigación.

## INDICE

Página del Jurado.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento.....	iv
Declaratoria de autenticidad.....	v
Presentacion.....	vi
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
1.1. Realidad Problemática.....	11
1.2. Trabajos Previos.....	12
1.2.1. Antecedentes Internacionales.....	12
1.2.2. Antecedentes Nacionales.....	13
1.2.3. Antecedentes Locales.....	15
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	16
1.3.1. Suelo.....	16
1.3.2. Suelo Arcilloso.....	16
1.3.3. Paja de trigo.....	17
1.3.4. Ceniza de paja de trigo.....	17
1.3.5. Estabilización de suelos.....	20
1.3.6. Subrasante.....	21
1.3.7. Suelos expansivos.....	23
1.3.8. Ensayos en suelo de fundación.....	23
1.3.9. Factores que influyen en el diseño de pavimento.....	25
1.4. Formulación del problema.....	25
1.5. Justificación del estudio.....	26
1.6. Hipótesis.....	26
1.7. Objetivos.....	27
<b>II. METODO.....</b>	<b>28</b>
2.1. Diseño de investigación.....	28

2.1.1. Tipo de estudio.....	28
2.2. Variables y Operacionalización.....	29
2.3. Población Y Muestra.....	31
2.3.1. Población.....	31
2.3.2. Muestra.....	31
2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	31
2.4.1. Validación y confiabilidad del instrumento.....	32
2.5. Métodos de análisis de datos.....	33
2.5.1. Análisis basados en la hipótesis.....	33
2.6. Aspectos éticos.....	33
<b>III. RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
3.1. Análisis Térmico Diferencial para la combustión de la paja de trigo.....	34
3.2. Ensayo Químico de la Ceniza de Paja de Trigo.....	35
3.3. Ensayo de Granulométrica del suelo de la zona Cascajal Izquierdo.....	36
3.4. Ensayo de Proctor Modificado y California Bearing Ratio del suelo de la zona Cascajal Izquierdo sin y con el adiconamiento de ceniza de paja de Trigo.....	39
3.5. Análisis del óptimo porcentaje de adiconamiento de ceniza de paja de trigo para la mejor estabilización del suelo de Cascajal Izquierdo.....	44
<b>IV. DISCUSION.....</b>	<b>47</b>
<b>V. CONCLUSION.....</b>	<b>50</b>
<b>IV. RECOMENDACION.....</b>	<b>51</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>55</b>



## RESUMEN

En la presenta tesis que lleva como título Estabilización de los suelos del caserío de Cascajal Izquierdo con fines de pavimentación, utilizando ceniza de paja de trigo – Distrito Chimbote, Ancash - 2018, en que las teorías relacionadas al tema nos informa de la definición del suelo, los tipos de suelos, la definición de estabilización y los tipos de estabilización mecánica, física, química que existen, además de resaltar los ensayos que define la investigación como el análisis granulométrico por tamizado MTC E107 - ASTM D-422, límite de consistencia MTC E110-111 – ASTM D-4318, Proctor Modificado MTC E115 – ASTM D-1557, California Bearing Ratio MTC E132 – ASTM D-1883. El método que se utilizó es la manipulación de la variable independiente que viene a ser la ceniza de paja de trigo en el que el tipo de investigación es no experimental de tipo correlacional. La población y la muestra es el área del terreno que se alterará en nuestra zona siendo 12,800m<sup>2</sup>. Concluyendo que si es posible la estabilización de los suelos de Cascajal Izquierdo adicionando 35 % cenizas de paja de trigo ya que a través de los ensayos realizados en el laboratorio de la Universidad César Vallejo con las muestras obtenidas de las calicatas realizadas en la zona se logró mejorar las propiedades mecánicas hasta un 32 % de CBR del suelo en comparación con el suelo patrón que llego a tener un 14% de CBR.

**PALABRAS CLAVES:** Cenizas de paja de trigo, Suelo de Cascajal Izquierdo, Suelo Estabilizado.

## ABSTRACT

In the present thesis entitled "Stabilization of the soil of Cascajal Izquierdo for paving purposes, using wheat straw ash - Chimbote District, Ancash - 2018, in which the theories related to the subject informs us of the definition of the soil , types of soils, the definition of stabilization and the types of mechanical, physical and chemical stabilization that exist, in addition to highlighting the tests defined by the research such as sieve granulation analysis MTC E107 - ASTM D-422, MTC consistency limit E110-111 - ASTM D-4318, Proctor Modified MTC E115 - ASTM D-1557, California Bearing Ratio MTC E132 - ASTM D-1883. The method that used the manipulation of the independent variable that comes to be the wheat straw ash in which the type of research is non-experimental correlational type. The population and the sample is the area of the land that will be altered in our area being 12,800m<sup>2</sup>. Concluding that if possible the stabilization of the Cascajal Izquierdo soils by adding 35% ashes of wheat straw, since the tests carried out in the laboratory of the César Vallejo University with the samples obtained from the pits made in the area were achieved improve the mechanical properties up to 32% of CBR of the soil in comparison with the standard soil that came to have 14% of CBR.

**KEYWORDS:** Wheat straw ash, Left Cascajal soil, Stabilized soil.

# **I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Realidad Problemática**

En el caserío de Cascajal Izquierdo se presenta suelos arcillosos los cuales son muy pocos recomendables para desarrollar cualquier obra de infraestructura civil, debido a que su capacidad portante es baja y no cumplen las exigencias de las normas técnicas emitidas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Es por esta razón que la presente investigación se enfoca en evaluar la influencia que tiene la ceniza de paja de trigo como estabilizante de subrasante de los suelos de la zona.

La durabilidad de los pavimentos depende de la calidad suelos subyacentes, los tipos de suelos arcillosos, arenosos y limosos pueden causar problemas a la estructura del pavimento, es por ello que se han realizado investigaciones para mejorar estos tipos de suelos empleando diversas técnicas de estabilización, utilizando diversos materiales, como cales, resinas, polímeros, ácidos orgánicos, sales, aditivos, enzimas, etc. Se ha observado que cada caso presenta resultados diferentes y únicos al tipo de suelo de la región en estudio.

La ceniza de paja de trigo en la subrasante del suelo de Cascajal Izquierdo busca adicionar un porcentaje al suelo natural para poder mejorar las propiedades mecánicas del suelo de fundación, evitando grandes movimientos de tierras, para solucionar problemas geológicos y geotécnicos.

Para el mejoramiento de suelos arcillosos es recomendable la puzolana artificial, las puzolanas artificiales son materiales silíceos que pueden llegar a controlar la expansión, reducir el índice de plasticidad e incrementar la capacidad portante. La estabilización mediante Suelo-CenizaVolante se obtiene por calcinación de la paja de trigo mediante horno a altos grados de temperatura.

El suelo expansivo es aquel que es propenso de sufrir transformaciones volumétricas por transformaciones de humedad. También se conoce que los

suelos expansivos son un fenómeno que pueden presentarse en un suelo arcilloso con mineral montmorillonita, caolinitas y illitas en condiciones ambientales (Martínez, 2009, p. 4).

El suelo arcilloso contiene una elevada plasticidad consecuencia de su morfología laminar que provoca el corrimiento de partículas unas sobre otras cuando se genera presión sobre ellas y su gran hinchamiento producido por el agua que produce una cubierta sobre las partículas laminares. Estas pueden ser cuantificadas por los límites de Atterberg, para estudiar el comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso.

La capacidad portante es cuantificada por los ensayos de Próctor para la determinación del valor de California Bearing Ratio, se recomienda que la capacidad portante esté sujeta a las normas técnicas para el diseño de un pavimento.

## 1.2. Trabajos previos

### 1.2.1. Antecedentes Internacionales:

Morales (2015), en su tesis titulada “Valoración de las Cenizas de Carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas” que tuvo como **objetivo** evaluar el efecto del método de curado en el comportamiento mecánico de mezclas de suelo adicionadas con ceniza de carbón y activadas alcalinamente; con el fin de determinar las mejores condiciones para su uso en vías no pavimentadas.

La **metodología** de estudio de estabilización de los suelos se definirá mediante ensayos Proctor modificado la humedad óptima necesaria para obtener la densidad máxima de las mezclas a evaluar, se determinará la resistencia mecánica mediante ensayos de resistencia a la compresión no confinada de mezclas estabilizadas con cenizas de carbón y activación alcalina y se evaluará los efectos de humedad, temperatura y tiempo de curado sobre la resistencia de las mezclas, y definir las mejores condiciones

para su uso en vías terciarias. La Arenilla no obtuvo **resultados** satisfactorios al ser combinada con CC en ninguna condición, pero si obtuvo mejores resultados al utilizarse CColtejer y los mejores resultados se dieron cuando se usó una temperatura entre 40°C y 50°C en las dos condiciones de humedad, llegando al orden de 350 kPa, siendo un resultado muy satisfactorio para un ensayo UCS en un suelo arenoso ya que las propiedades fueron favorecidas en 600%, lo que afirma la presencia de material cementante por efecto de la reacción hidroxido de sodio (3.5M) – ceniza.

Cañar (2017), en su tesis titulada “Análisis comparativo de la resistencia al corte y Estabilización de suelos Arenosos finos Y Arcillosos combinadas con Ceniza de Carbón.” que tuvo como **objetivo** Evaluar los Resultados de Resistencia al Corte entre los suelos arenosos finos y arcillosos, y el comportamiento mecánico de las estabilizaciones de los suelos arenosos finos y arcillosos con cenizas de carbón, con el fin de determinar las mejores condiciones para su uso.

La **metodología** se determinara mediante ensayos CBR la capacidad portante de los suelos y sus respectivas diferencias entre las mezclas, se identificará cuál de los dos suelos responde de mejor manera a este tipo de estabilización para su uso como sub rasante y se evaluará los efectos de humedad sobre la resistencia de las mezclas para el uso de una sub-rasante. Los **resultados** de ensayos CBR en suelos arenosos finos presenta un aumento del 4.6% al combinarlos con el 25% de cenizas de carbón, mejorando el porcentaje de la resistencia que va desde el 15.0% hasta el 19,60%, indicando que se puede utilizar como una sub-rasante.

### **1.2.2. Antecedentes Nacionales:**

Pérez (2012), en su tesis titulada “Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos”, que tuvo como **objetivo** evaluar las características mecánicas de los suelos estabilizados con cenizas de carbón para su empleo como

subrasante o de sub base en pavimentos, se evaluarán las características físicas, químicas y mecánicas del suelo a estabilizar, de las cenizas de carbón como material estabilizante y del producto de la mezcla suelo ceniza, mediante ensayos de laboratorio.

La **metodología** de la presente tesis se inició con la obtención de las muestras a investigar. El suelo se obtuvo de la ciudad de Villarica, provincia de Oxapampa y departamento de Pasco, Km. 132 de la carretera Villarica – Puerto Bermúdez, los **resultados** obtenidos muestran que las cenizas volantes funcionan como aditivo inhibidor de las propiedades expansivas del material, pero este requiere ser adicionado en porcentajes excesivos, al menos en el caso de una arcilla expansiva, en promedio mayor a 20%. La ceniza volante empleada como materia prima es una ceniza tipo F, ya que la suma de porcentaje de sus principales constituyentes ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) es mayor a 70%.

Cubas y Falen (2016), en su tesis titulada “Evaluación de las Cenizas de Carbón para la Estabilización de suelos mediante activación alcalina y aplicación en Carreteras no pavimentadas”, con el **objetivo** de Evaluar la aplicación de las cenizas de carbón (vegetal) para estabilizar suelos mediante activación alcalina en carreteras no pavimentadas.

En el presente trabajo de investigación se hará uso del **Método** de ensayos proctor estándar, la humedad óptima necesaria para lograr la densidad máxima de las mezclas a evaluar y determinar las propiedades mecánicas y químicas del suelo a estabilizar (EMS) en diferentes puntos, y se evaluará las consecuencias de temperatura y tiempo de curado sobre la resistencia de las mezclas en porcentajes, y delimitar las mejores condiciones para su aplicación en vías terciarias. En **conclusión** las cenizas de carbón muestra 2 (CC-M2) son las que mejor reacción obtienen al tratamiento de suelos arenosos y arcillosos por el alto contenido de óxido de silicio ( $\text{CaO}$ ) que están asociados a la producción de cerámicos que poseen porcentajes de formas cementantes y favorecen a la estabilización. El uso de cenizas de carbón e hidróxido de sodio en suelos arcillosos presenta un efecto significativo con respecto al uso

de agua, pues se observa que existe una diferencia en cuanto a resistencia y La ceniza de carbón muestra 2 mejoran la resistencia de suelos arenosos significativamente en porcentajes de 7%.

### 1.2.3. Antecedentes Locales:

Vega (2017), en su tesis titulada “Estabilización de Suelos con Adición de Ceniza de Paja de Trigo al 10% Carretera Macashca Tramo Pariac Alto Provincia de Huaraz - 2017”, que tuvo como **objetivo** evalúa el mejoramiento de suelos en la carretera Macashca, tramo Pariac Alto, adicionando un 10 % de ceniza de paja de trigo, material que se produce y se encuentra en Pariac Alto.

De acuerdo a su **metodología**, Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad San Pedro con base en la Norma Técnica Peruana y el Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de transportes y Comunicaciones, adecuada para cada ensayo realizado. El estudio se centra en el análisis de las propiedades físicas y sus variaciones sufridas después del mejoramiento del suelo, adicionando 10% de ceniza de paja de trigo.

En **conclusión** Como resultado final la primera calicata presenta un suelo con mezcla de arena arcillosa, se realizó el Proctor estándar con la graduación “B”, obteniéndose un CBR PATRON al 100% de 21.10% y Adicionando Ceniza de Paja de Trigo al 10% se obtuvo un CBR al 100% de 23.2%; la segunda calicata presenta un suelo con mezcla de arena y limos, se trabajó con el Proctor estándar con la graduación “B”, obteniéndose un CBR PATRON al 100% de 27.20% y Adicionando Ceniza de Paja de Trigo Al 10% se obtuvo un CBR al 100% de 28.9%. La adición de 10% de ceniza de paja de trigo, logra una débil estabilización a la subrasante del tramo Pariac Alto.

## **1.3. Teorías relacionadas al tema**

### **1.3.1. Suelo**

Orientado a la ingeniería, el suelo se precisa como el agregado no cementado de granos minerales y partículas orgánicas descompuestas (partículas sólidas) agregando el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos que se encuentran entre las partículas sólidas (Braja, 1999, p.12).

#### **1.3.1.1. Suelo Arcilloso**

##### **1.3.1.1.1. Definición**

Están creados esencialmente de arcilla, este tipo de suelo contienen una elevada plasticidad debido a que la arcilla contiene abundante silicato de aluminio y la estructura de los suelos es muy expansiva por su alto nivel de impermeabilidad. El suelo arcilloso presenta un color anaranjado o rojizo, la característica de textura es pesada pero de partículas pequeñas, este tipo de suelo están constituidas por moléculas de arcilla muy reducidas de 0.005 milímetros de diámetro (Beltrán, 2011, p.7).

##### **1.3.1.1.2. Clasificación de arcillas**

Existen varios tipos de arcillas entre los más comunes están las Caolinitas, las Illitas y las montmorillonitas.

Martínez (2009), refiere que existen 3 tipos de arcillas:

Caolinitas se forman por superposición ilimitada de láminas silícicas. Sus características coloidales no son recomendables para ser usadas como líquido de perforación y presentan baja actividad superficial.

Illitas son arcillas que se forman por las transposiciones de una lámina alumínica y dos silícicas. En las propiedades internas crea una condensación de la arcilla que produce una reducción del área que está al alcance del agua.



Montmorillonitas sus propiedades internas son semejantes a las Illitas, pero las uniones no son tan fuertes y se puede producir la expansión de los suelos subyacentes (p.9).

### **1.3.1.2. Estabilización de suelos**

#### **1.3.1.2.1. Definición**

Es el mejoramiento de las propiedades de una subrasante pobre, que no es apta para el diseño de un pavimento, para la estabilización se puede emplear diversos materiales naturales y químicos por ejemplo utilizando; cal, enzimas, aditivos, puzolanas, etc. Este mejoramiento es totalmente diferente que al de la subbase o base de suelo, debido a que la estabilización se rige a los parámetros exigidos por la norma del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

La estabilización se manifiesta en función de las reacciones físicas, químicas y mecánicas del suelo, usualmente el mejoramiento ejerce diferentes reacciones que ocurren entre el intercambio iónico, reacciones puzolánicas y carbonatación (Perez, 2012, p.25).

#### **1.3.1.2.2. Tipos de Estabilizadores**

- Estabilización mecánica de suelos: Esta estabilización no es muy recomendada debido a que se usara la misma materia y propiedades del suelo, solo se realizara ensayos de compactación para dar compacidad a la subrasante.

Estos ensayos ayudaran a eliminar todo el aire y espacios vacíos de la subrasante para mejorar de forma temporal las propiedades de la estructura del suelo.

- Estabilización por combinación de suelos: La estabilización es mediante mezclas de materia terrenal propio con material terrenal de préstamo que contengan mejores propiedades. El suelo con material terrenal propio se

disociara, unos quince centímetros para distribuir el material terrenal como adición.

- Suelos estabilizados con cal: Es la estabilización con hidróxidos y óxidos de magnesio y calcio proveniente de la calcinación de minerales dolomíticos y calizos, en proporciones distintas, pueden ser por su tipología del mineral base que mediante el calor puede llegar a formar de óxidos de cal y también óxidos de magnesio, los productos más usados para la estabilización son dióxido de carbono y el óxido de magnesio (Jara, 2014, p.25).
- Estabilización con productos asfálticos: Las estabilizaciones más ejercidas son con productos fluidificados y emulsificadores, la mezcla elaborada principalmente es realizada en el mismo lugar, comúnmente se eligen las emulsiones asfálticas ya que al realizarse los ensayos al suelo de fundación resultan tener un mayor mejoramiento.
- **Suelos estabilizados con escoria:** Las escorias se calcinan en hornos a alto grado de temperatura, sirven como agregados para el cemento y como estabilizador de suelos, las escorias se unen con la parte bituminosa de la subrasante ayudando a mejorar sus propiedades mecánicas

En la mayoría de casos utilizan 25%, 35%, 45% como agregado fino para enriquecer la estructura del suelo, utilizando la propiedad de la puzolana se logra mejorar la subrasante de suelos arcillosos. De esta manera se puede reducir costos económicos y sociales, debido a que se utiliza menores porcentajes de cemento y mitiga el uso de energía (Perez, 2012).

### **1.3.1.3. Subrasante**

Es el sostén para cualquier estructura, puede existir sub-rasantes naturales con buena capacidad portante, que son ideales para cualquier tipo de construcción y sub-rasantes naturales con pésimas propiedades mecánicas,

que necesitan ser mejoradas para crear cualquier estructura. La subrasante sirve como un soporte homogéneo y como un apoyo compacto.

Las propiedades más importantes que se estudian en la subrasante son las propiedades físicas (ensayo granulométrico, ensayo de límites de Atterber, contenido de humedad natural), propiedades de mecánicas (ensayo de proctor modificado y ensayo de soporte CBR), propiedades hidráulicas (porcentaje de drenaje, factor de permeabilidad, coeficiente de expansión). (Menéndez, 2013, p.14).

#### **1.3.1.3.1. Categorías de subrasante**

Se pueden dividir en 6 categorías, la Subrasante Inadecuada tiene un CBR menor a 3%, la Subrasante Pobre tiene un CBR entre 3% - 6%, la Subrasante Regular tiene un CBR entre 6% - 10%, la Subrasante Buena tiene un CBR entre 10% - 20%, la Subrasante Muy Buena tiene un CBR entre 20% - 30% y la Subrasante Excelente tiene un CBR mayor al 30%.

#### **1.3.1.3.2. Los parámetros influyentes en la respuesta de la subrasante**

- La capacidad portante de la subrasante resistir las cargas que trasfieren la estructura del pavimento. El grado de compactación y de su contenido de humedad es muy trascendental para la durabilidad del pavimento.
- El contenido de humedad es desigual según su nivel de humedad de la subrasante, está sobresaltara de forma precisa la capacidad de carga, alcanzando a llegar expansiones a la subrasante indeseables, fundamentalmente en el caso de la presencia de suelos finos.
- La contracción y expansión de los suelos dependen de su nivel de plasticidad y su contenido de humedad. Cualquier pavimento edificado sobre estos suelos, si no son bien analizadas con las normas establecidas en el país, tenderán a destruirse y además deteriorarse apresuradamente (Leiva, 2016, p.14).

#### **1.3.1.4. Suelos expansivos**

Los suelos sostienen cambios volumétricos en función de la humedad, también los suelos expansivos varían por el génesis de suelos. Los génesis de suelos arcillosos por lo general la conforma la montmorillonita en una temperatura semiárida, estas son muy habituales debido a su meteorización de mayores presiones y temperatura de los silicatos.

La mineralogía las arcillas son el beneficio de desintegración química de las rocas metamórficas e ígneas, su estructura está conformada por silicatos de aluminio hidratados de magnesio y otros metales. Estos minerales muestran una estructura cristalina, en el cual los átomos se sitúan en láminas silícicas y alumínicas (Leiva, 2016, p.14).

#### **1.3.1.5. Ensayos en suelo de fundación**

##### **1.3.1.5.1. Ensayo de Granulometría**

Constituye la distribución de los diferentes tamaños que posee el agregado utilizando el tamizado existen 3 tipos de tamaños de partículas: las Gravas contienen partículas de 4.75mm a 75mm; la Arena se clasifica en arena gruesa que contiene partículas de 2mm a 4.75mm, la arena media contiene partículas de 0.425mm a 2mm, la arena fina contiene partículas de 0.075 a 0.425 y el Material Fino que se clasifica en limo que contienen partículas de 0.005mm a 0.075mm y arcilla que contiene partículas menor a 0.005mm (Leiva, 2016, p.17).

Al realizar el tamizado se puede determinar si con tiene una granulometría discontinua, contiene variación de tamaño escasa, ejemplo la arena de la playa y la granulometría continua, son suelos bien graduados (Leiva, 2016, p.18).

#### **1.3.1.5.2. Ensayo de Límite de Atterberg**

El suelo que tiene propiedades arcillosas contiene gran cantidad de agua y puede destilarse de forma semilíquida, si el suelo es secado cambia sus propiedades y se convierte en material plástico semisólido o sólido.

El límite líquido se precisa como el contenido de agua con el cual se obstruye una ranura de 1/2plg (12.7mm), mediante 25 golpes, el límite plástico se precisa como el contenido de agua con el cual el suelo se raja al formarse un rollito de 1/2" (3.18mm) de diámetro y índice de plasticidad es la diferencia entre límite líquido y el plástico (Leiva, 2016, p.18).

#### **1.3.1.5.3. Ensayo de Contenido de humedad**

La humedad o la materia que contenga humedad en un suelo es la analogía, indicada como porcentaje, del peso del agua en una masa dada de suelo hacia al peso de las partículas sólidas (Leiva, 2016, p.16).

#### **1.3.1.5.4. Ensayo de Cbr (california bearing ratio)**

Se le denomina al ensayo que se realiza al suelo penetrando el vástago cilíndrico a una velocidad firme. El resultado, índice CBR, es la capacidad de soporte del suelo contrastado con la de una grava patrón.

Por cada modelo de suelo se calculan dos valores de California bearing ratio, uno a 0.1" de agudeza, y el otro a 0.2" de agudeza, p.23).

#### **1.3.1.5.5. Ensayo de Proctor modificado**

Se realiza con rodillos pesados para el uso de compactación esta prueba se realiza para la creación de un pavimento, se usa el mismo molde que el proctor estándar pero el suelo es compactado en cinco capas por una compresión que pesa 44.5 N, el desplome del martillo es de 457.2 mm y el número de

veces del golpe martillo por cada capa es de 25 como en el caso de la ensayo de proctor estándar (Leiva, 2016, p.22).

#### **1.3.1.6. Factores que influyen en el diseño de pavimento**

- La Subrasante necesita tener buena calidad, esta capa depende del espesor que necesita tener un pavimento rígido o flexible. Como medida de evaluación de esta capa se utiliza la capacidad resistencia a la desproporción por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito (Perez, 2012, p.38).
- El Tránsito es muy importante porque estudiando la cantidad de carros que transitan se pueden diseñar pavimentos que resistan las deformaciones producidas por la repetición las cargas de tránsito y la constante acumulaciones de deformaciones sobre el pavimento. Se estudia la confiabilidad de la subrasante para determinar la probabilidad de que el pavimento se comporte favorablemente durante su vida útil, dentro de dicho período también se mide la serviciabilidad de la subrasante que se usa como una disposición del comportamiento del pavimento, estudiando el comportamiento funcional y el comportamiento estructural (Perez, 2012, p.38).
- El clima es uno de los factores que no se toma tanto en cuenta pero puede afectar considerablemente al pavimento, pueden ser por las lluvias y las variaciones de temperatura, por su acción directa afecta en la elevación del nivel freático interviniendo en la resistencia, los cambios volumétricos de los suelos subyacentes y la vulnerabilidad (Perez, 2012, p.38).

#### **1.3.2. Paja de trigo**

La paja de trigo es una fibra no maderera que sirve para producir materia celulosa para la creación de muchos reactivos, es uno de los desechos agrícolas más abundantes en el mundo. Esta materia prima es muy accesible, ya que tiene un precio reducido y la ventaja de la utilización de este material

es su disponibilidad por la abundancia que tiene, debido a que puede considerarse como un desecho agrícola (Saldívar, 2005, p.4).

La paja de trigo, se conservan satisfactoriamente en ambientes con humedades inferiores a 60-70%, mientras que terceros residuos exigen valores menores al 60%. Las peculiaridades físicas de sus fibras necesitan de las condiciones del riego y suelo al que han sido sujetos los cultivos de este cereal (Saldívar, 2005, p.8).

### **1.3.2.1. Ceniza de paja de trigo**

La paja de trigo es una materia prima rica en sílice que puede convertirse en una puzolana - ceniza volante mediante la combustión, estas poseen poco cementante sin ser procesados, pero cuando se han convertido en ceniza volante pueden formar compuestos con propiedades cementantes que son efectivos químicamente con el hidróxido de calcio (Lencinas y Incahuanaco, 2017, p.21).

#### **1.3.2.1.1. Clases de puzolana**

##### **1.3.2.1.1.1. Puzolanas Naturales**

Materiales de rocas piroclásticas: Son aquellas rocas volcánicas producidas por las erupciones volcánicas que tienen diferentes formas dependiendo de su enfriamiento y el contenido de viscosidad, por ejemplo las cenizas volcánicas, las pómez, las toba que son materiales densos. Materiales de origen clásico: Son aquellos suelos en los que se produce el silíceo de forma orgánica a través de la precipitación de la solución del ópalo, por ejemplo las diatomeas, arcillas calcinadas, etc. (Lencinas y Incahuanaco, 2017, p.21).

#### **1.3.2.1.1.2. Puzolanas Artificiales**

Cenizas volantes: Las cenizas volantes son calcinaciones a partir de 550 °C que producen que el material mineral entre en combustión utilizando el carbón como material lignito, por ejemplo la calcinación de ladrillos, calcinación de carbón, etc. con un tiempo de duración de 2 horas.

Escorias calcinada: Esencialmente de la fundición de fusiones ferrosas en altos hornos. Son mezclas ferrosas calcinadas en hornos para luego dejar enfriar, debido a su estructura deformada.

Las cenizas de restos agrícolas: **ceniza de paja de trigo**, paja de la caña de azúcar, las cenizas del bagazo etc. (Lencinas y Incahuanaco, 2017, p.22).

#### **1.3.2.1.2. Tipos de cenizas volantes**

La clase N, es la ceniza naturales calcinadas o sin calcinar, como los horstenos opalinos, tobas y cenizas volcánicas calcinadas. La clase F, habitualmente se realiza mediante la calcinación del carbón antracítico esta clase contiene propiedades puzolánicas elevadas. Clase C, habitualmente se realiza mediante la calcinación del carbón sub lignito. Esta contiene propiedades puzolánicas y cementicia (Lencinas y Incahuanaco, 2017, p.23).

Perez (2012), refiere que las clases más recomendables para la estabilización de suelo son la clase N y F (p.33).

#### **1.3.2.1.3. Composición química de la cenizas volante**

Existen desigualdad considerables en la composición química de las puzolanas, la parte de sulfato en las cenizas puede perjudicar una buena cantidad de ceniza requerida para el desarrollo de máxima resistencia y admisible estabilización de los suelos.

El porcentaje mínimo de la suma de dióxido de silicio, oxido de aluminio y oxido de fierro tiene que ser mayor al 70 %, el porcentaje máximo para contenido de humedad es de 3% y el porcentaje máximo de perdida por calcinación es de 12% (Lencinas y Incahuanaco, 2017, p.24).



#### **1.3.2.1.4. Activación de la ceniza volante**

El Análisis Térmico abarca técnicas con las cuales se analiza la variación de una propiedad del sistema en función de la temperatura, cuando se somete a una variación controlada de la misma. Los efectos de calor sobre los materiales pueden ser varios y producir cambios en muchas de sus propiedades. Mediante la termogravimetría TG se estudia la pérdida de peso de una muestra con a temperatura, mientras que la Calorimetría Diferencial de Barrido DSC estudia el proceso endotérmico o exotérmico y cuantifica la energía absorbida o desprendida que se produce. (Alvarado, 2005 p.6).

#### **1.3.2.1.5. Propiedades de la ceniza volante**

- Contiene propiedades reactivas, por ende puede realizar varias funciones, una de sus propiedades más importantes es la puzolánica pero para llegar a servir como una función puzolánica reactiva requiere un periodo más largo de tiempo. Las cenizas volantes son más impactantes cuando están en estado plástico ya que aumenta la difusión de moléculas del sistema, en los morteros bajan considerablemente las expansiones coligado a la repulsión árido-álcalis, restando la pérdida por durabilidad (Perez, 2012, p.33).
  
- La capacidad de agua libre es mayor en aparición de cenizas volantes a edades iniciales, y por ende la porosidad del sistema incrementara. Debido a que las cenizas volantes incrementan la trabajabilidad en estado plástico se puede restar la porosidad del agua - cemento. Las cenizas ejercen como un disolvente inerte, mientras esta en tiempo de incubación de la reacción puzolánica (Perez, 2012, p.33).

### **1.4. Formulación del problema**

¿Qué influencia ejerce la ceniza de paja de trigo en la estabilización de los suelos del caserío de Cascajal Izquierdo con fines de pavimentación - Distrito Chimbote, Ancash - 2018?

## **1.5. Justificación del estudio**

La justificación metodológica busca explicar el desarrollo de un nuevo método para estabilizar el suelo de la zona, y llegar a la estabilización óptima utilizando varios porcentajes la ceniza de paja de trigo en la subrasante del suelo arcilloso para mejorar las características físicas – mecánicas del suelo. El presente estudio servirá para nuevas investigaciones ya que el fin es generar nuevos conocimientos para la estabilización.

La presente investigación es importante porque resolverá el problema de contaminación de la zona agrícola, utilizando los residuos de la paja de trigo y se aprovechara los mismos recursos de la zona que está al alcance de todos.

El fin de esta investigación es beneficiar en primer lugar a la población ya que a través de este estudio se podrá realizar pavimentos con una buena estructura del suelo para que a la larga no existan problemas con la infraestructura vial de la zona, y en segundo lugar a los constructores debido a que este material es más económico.

Los resultados que se obtendrán de esta investigación propondrán una nueva solución a los problemas del suelo de Cascajal Izquierdo, se ahorrara energía y evitará buscar material en otras canteras.

## **1.6. Hipótesis**

La ceniza de paja de trigo influirá positivamente como estabilizante en el suelo del caserío de Cascajal Izquierdo para fines de pavimentación.

## 1.7. Objetivos

### **Objetivo General:**

- Determinar la influencia de la ceniza de paja de trigo como estabilizante de los suelos del Caserío de Cascajal Izquierdo con fines de pavimentación - Distrito Chimbote, Ancash - 2018

### **Objetivos Específicos:**

- Determinar la óptima temperatura de calcinación mediante el ensayo de Análisis Térmico Diferencial (DTA) y realizar la combustión de la paja de trigo.

- Determinar las propiedades estabilizantes puzolánicas mediante el ensayo Químico a la ceniza de paja de trigo.

- Determinar las propiedades físicas del suelo de la zona Cascajal Izquierdo.

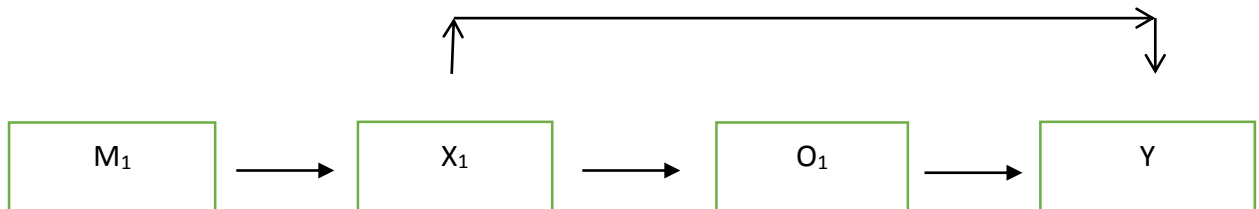
- Determinar las propiedades mecánicas del suelo de la zona Cascajal Izquierdo, sin y con el adicionamiento de la ceniza de paja de trigo.

- Analizar los resultados obtenidos para conseguir el óptimo porcentaje de adicionamiento de ceniza de paja de trigo para la mejor estabilización del suelo de Cascajal Izquierdo.

## II. METODO

### 2.1. DISEÑO DE INVESTIGACION

El diseño de investigación correlacional se representa mediante el siguiente esquema:



#### **M<sub>1</sub>: Muestra que se empleará para la investigación**

- M<sub>1</sub>: Suelo de Cascajal Izquierdo

#### **X<sub>1</sub>: Variables Independientes**

- X<sub>1</sub>: Adición en porcentaje de ceniza de paja de trigo

#### **O<sub>1</sub>: Resultados obtenidos**

#### **Y: Variables dependientes**

- Y: Estabilización de los suelos

#### **2.1.1. TIPO DE ESTUDIO**

No experimental - Aplicada de estudio Correlacional porque el investigador busca evaluar la correlación de dos variables: porcentaje de ceniza de paja de trigo y la estabilización de suelos de Cascajal Izquierdo.

## 2.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACION

Variable	Nombre variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Independiente	Cenizas de paja de trigo	<p><b>Paja de trigo:</b> La paja de trigo es una fibra no maderera que sirve para producir materia celulosa para la creación de muchos reactivos (Saldívar, 2005, p.4).</p> <p><b>Cenizas:</b> Las cenizas volantes son calcinaciones a 550 °C que producen que el material mineral entre en combustión utilizando el carbón como material lignito, por ejemplo la calcinación de ladrillos, calcinación de carbón, etc.(Perez, 2012).</p>	<p>Para fines de análisis detallado de la ceniza de paja de trigo se clasifica en el siguiente método: - Método cuantitativo Permite hacer la evaluación de forma rápida y sencilla para obtener resultados numéricos en un estimativo en peso en cenizas de paja de trigo al 25%,35%,45% del volumen de la muestra, además a una combustión de 550°C durante de 2 horas con una pulverización en poleas de molino</p>	Activación de la ceniza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis Térmico Diferencial de la ceniza de paja de trigo.</li> <li>• Combustión a 550°C de la paja de trigo.</li> <li>• Tiempo de Combustión 2 horas</li> <li>• Peso kg en porcentajes del 25%,35%,45% de cenizas de paja de trigo.</li> <li>• Análisis Químico de la ceniza de paja de trigo.</li> </ul>	Nominal
				Reactivo		
				Propiedades Químicas de la ceniza		

Variable	Nombre variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Dependiente	Estabilización de los suelo	<p><b>Suelos:</b> Orientado a la ingeniería, el suelo se precisa como el agregado no cementado de granos minerales y partículas orgánicas descompuestas (partículas sólidas) agregando el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos que se encuentran entre las partículas sólidas (Braja, 1999, p.12).</p> <p><b>Estabilización:</b> Es el mejoramiento de las propiedades de una subrasante pobre, que no es apta para el diseño de un pavimento, para la estabilización se puede emplear diversos materiales naturales y químicos.</p>	<p>Para fines de análisis detallado de estabilización de suelos se, presenta el siguiente método: -Método Cuantitativo Permite hacer la evaluación de forma rápida y sencilla. Son usados para obtener un estimativo de resultados numéricos que nos permite evaluar los suelos mediante ensayos en laboratorio</p>	<p>Propiedades Físicas de los suelos</p> <hr/> <p>Propiedades Mecánicas de los suelos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D 422 – MTC E 107)</li> <li>• Ensayo de Limites de Consistencia (ASTM D 4318 – MTC E 110 / 111)</li> <li>• Ensayo de Contenido de humedad (ASTM D 2216 – MTC E 108)</li> <li>• Ensayo de CBR (ASTM D 1883 – MTC E 132)</li> <li>• Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D 1557 – MTC E 115)</li> </ul>	Nominal

## **2.3. Población Y Muestra**

### **2.3.1. Población**

El suelo natural existente del trecho de cascajal izquierdo a cascajal alto el cual consta de un Área de 12,800 m<sup>2</sup> siendo una prolongación de 2 km y con un ancho de vía de 6.4 metros, desde la progresiva 0 + 000m a la progresiva 2 + 000m donde el material del suelo de ejemplo arcilloso se recogerá en sacos para luego ser llevados al laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Cesar Vallejo.

### **2.3.2. Muestra**

Se utilizó misma área de la población para ejecutar los ensayos respectivos del presente estudio, se realizará 4 calicatas; la primera calicata en la progresiva 0 + 025m, la segunda calicata en la progresiva 0 + 485, la tercera calicata en la progresiva 1 + 485 y la cuarta calicata en la progresiva 1 + 975m, finalmente un ensayo CBR de la calicata más crítica obtenida.

Se manipuló 2.5 kilos del suelo para ensayo Granulométrico y Límite de Atterberg para cada calicata, y 15 kilos del suelo para el ensayo de Proctor Modificado por tratamiento de calicata, es decir (4 tratamientos por calicata) siendo 240 kilos del suelo y 18 kilos del suelo para el ensayo CBR por tratamiento de calicata siendo 72 kilos del suelo, en definitiva para todo el proyecto será obligatorio 322 kg kilos de suelo natural tipo arcilloso. Para la manipulación de la ceniza de paja de trigo, se utilizará 34.65 kg con sus 3 ensayos y con sus 3 repeticiones al 25%, 35%, 45%.

## **2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.**

### **2.4.1. Técnica de recolección de datos**

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó la técnica de observación para registrar lo que ocurre en una situación real y de acuerdo al problema estudiado será asistida técnicamente.

## **2.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

### **- Protocolos:**

Lo trabajé como referencia al momento de llenar los formatos de laboratorio ya concretos, como por ejemplo el SUCS, ASTM, AASTHO, son formatos indispensable que cuentan con tablas establecidas como:

- AASHTO Soil Classification System (from AASHTO M 145 or ASTM D3282)
- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) ASTM D2487  
Tablas en las cuales ya se encuentran establecidos rangos y límites necesarios.

Formatos el cual ya se encuentra establecidos las instrucciones de los ensayos de laboratorio y otras respetos a tener en cuenta para calcular la estabilización del suelo arcilloso donde se ha consignado adicionar polvo proveniente de la ceniza de paja de trigo al 25%, 35%, 45% del peso de la muestra, se hará la medición de:

- Granulometría (ASTM D422 – MTC E 107)
- Límite Plástico (ASTM D 4318 – MTC E 111)
- Límite Líquido (ASTM D 4318 – MTC E 110)
- Contenido de Humedad (ASTM D 2216 - MTC E 108)
- Proctor Modificado (ASTM D 1557 – MTC E 115)
- California Bearing Ratio (ASTM D 1883 – MTC E 132)

## **2.4.3. Validación y confiabilidad del instrumento**

Se manejaron normas técnicas en el actual estudio que no solicitan de validación por juicio de expertos ni de evaluación de confiabilidad por que han sido elaborados por un equipo altamente especializado en la materia y constituyen ordenamientos estandarizados que tienen alcance nacional e internacional.



## **2.5. Métodos de Análisis de Datos**

### **2.5.3. Análisis basados en la hipótesis**

El análisis de datos pertenece a una orientación cuantitativa, el que se muestra un nivel de análisis correlacional en donde se estabilizaran los modelos de suelos arcillosos con cenizas de paja de trigo en diferentes porcentajes, buscando mejorar el índice de CBR para poder ser usado como pavimento.

Donde la recopilación de los datos se dio mediante instrumentos estandarizados confiables donde se elaboró tablas y gráficas para el procesamiento de datos y se usará la técnica de repartición de frecuencias, gráficos estadísticos como: gráfico de bastones, histograma de frecuencias absolutas o relativas y gráfico de barras, en el cual se obtendrán valores para la media, desviación estándar, varianza, para su posterior evaluación con la hipótesis de estudio.

## **2.6. Aspectos Éticos**

La realización de la presente tesis, se basa en varios aspectos éticos, donde todos los resultados tuvieron juicios necesarios para obtener datos reales , sin ser manipulados o alterados, además se ha tomado como datos antecedentes y marco teórico de distintos libros , tesis y normas debidamente citados y se ejerció el respeto de sus autorías. Los datos de esta investigación son confiables por el investigador.

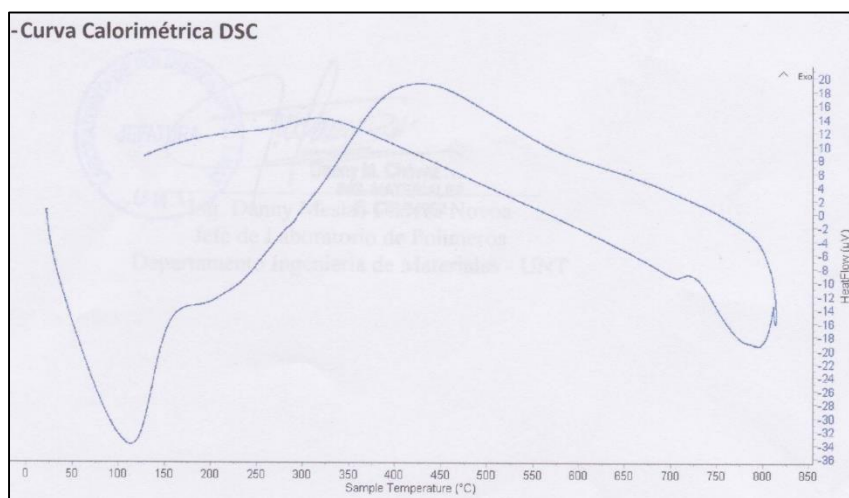
### III. RESULTADOS

De los estudios realizado se ha logrado analizar cada uno de las propiedades del suelo a mejorar, donde se realizó el ensayo de Análisis granulometría ASTM D-422, que el suelo natural se encuentra en una clasificación de suelo según SUCS (CL) que determina que es un suelo que no brinda las propiedades adecuadas para la realización de un pavimento, por consecuente es un suelo con índice de plasticidad mediana baja, siendo esto un factor predominante para que este suelo sea un suelo con baja resistencia.

Mantuvo igual sus propiedades físicas debido a que la ceniza no presenta índice de plasticidad y se logra mejorar las propiedades mecánicas del suelo, mediante los ensayos de compactación del Proctor Modificado y el ensayo de CBR confirmando que al adicionar la ceniza de paja de trigo estabiliza el suelo arcilloso.

#### 3.1. Análisis Térmico Diferencial para la combustión de la paja de trigo.

**Figura N°2:** Calorimétrica Diferencial de Barrido



**Fuente:** Laboratorio de Materiales Universidad Nacional de Trujillo

Descripción: se realizó el ensayo de Análisis Térmico Diferencial y se tomó en cuenta la banda exotérmica positiva; con 300 °C se obtuvo 1 exo, con 350 °C se obtuvo 9 exo, con 400 °C se obtuvo 16 exo, con 450 °C se obtuvo 18 exo,

con 500 °C se obtuvo 19 exo, con 550 °C se obtuvo 20 exo, con 600 °C se obtuvo 14 exo, con 650 °C se obtuvo 8 exo, con 700 °C se obtuvo 4 exo y con 750 °C se obtuvo 1 exo. Posteriormente se realiza una calcinación en la mufla del horno hermético del laboratorio industrial de la Universidad Cesar Vallejo, obteniendo 35 kg de ceniza de paja de trigo para los respectivos ensayos físicos y mecánicos.

Interpretación: de los resultados podemos deducir que se obtuvo un pico de absorción térmica a 110 °C, con una óptima banda exotérmica a 550 °C, indicando algún posible cambio estructural y de las características en el material de la ceniza de paja de trigo.

### 3.2. Ensayo Químico de la Ceniza de Paja de Trigo.

**Tabla N°1:** Propiedades de la Ceniza de Paja de Trigo

<b>Determinación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Clase N</b>
<i>Humedad</i>	1.67 %	<b>Max 3 %</b>
<i>SiO<sub>2</sub></i>	73.86 %	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : <b>Min 70 %</b>
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	0.24 %	
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	0.37 %	
<i>SO<sub>3</sub></i>	1.3 %	<b>Max 4 %</b>
<i>Perdida por Calcinacion</i>	6.71 %	<b>Max 10 %</b>

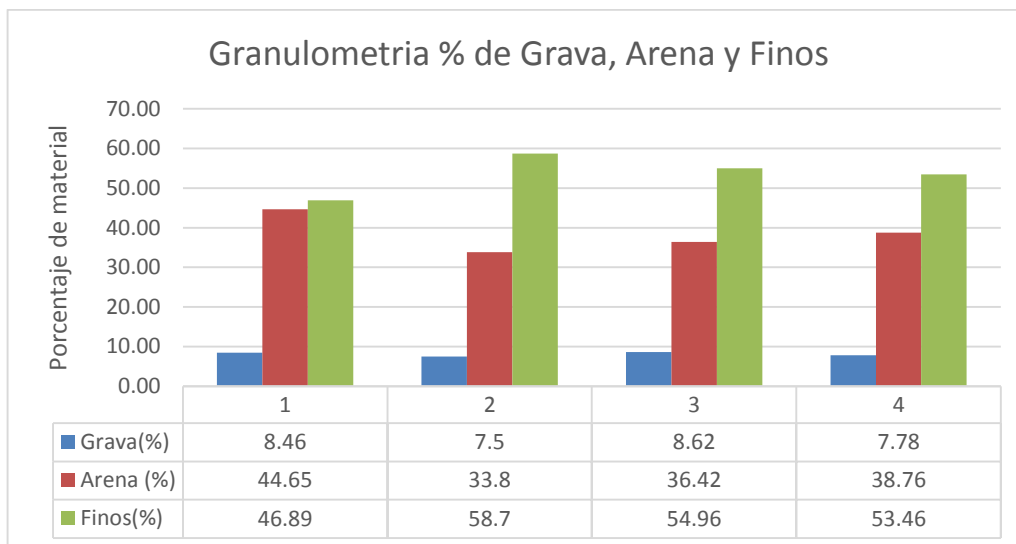
**Fuente:** Laboratorio de Química Universidad Nacional de Trujillo

Descripción: para el ensayo Químico de la ceniza estudiaron las propiedades obteniendo dióxido de silicio 73.86 %, óxido de aluminio 0.24 %, óxido de hierro 0.37 %, trióxido de azufre 1.3 %, humedad 1.67 % y perdida por calcinación 6.71 %.

Interpretación: los resultados de la ceniza de Paja de Trigo cumplen con la norma ASTM-C-618-03 teniendo propiedades estabilizantes puzolánicas de ceniza volante **Clase N** siendo muy recomendable para el mejoramiento de subrasante de suelos con regular o bajo CBR para el diseño de pavimentos.

### 3.3. Ensayo de Granulométrica, Contenido de Humedad y Límite de Consistencia del suelo de la zona Cascajal Izquierdo.

**Grafico N°2:** Ensayo Granulométrico Porcentaje de Finos

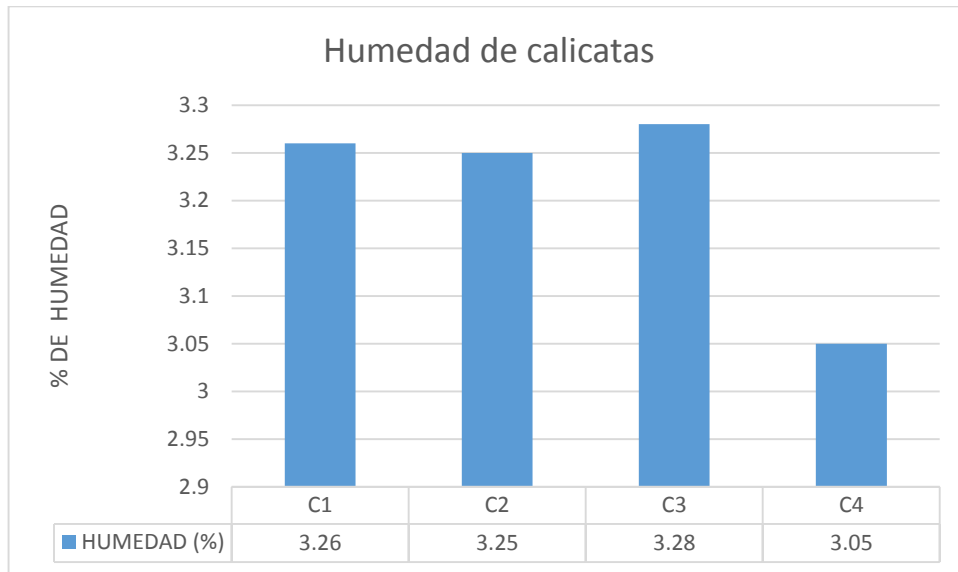


**Fuente: Elaboración Propia**

Descripción: en este repartimiento destacamos los porcentajes de cada calicata realizada teniendo como predominante los Finos en su rango más alto siendo la calicata número dos con un valor total de 58.7% de material fino, 33.8% de material Arena y 7.5% de material grava. Seguido por la calicata número tres con un valor de 36.42% de material arenoso, 8.62% de material gravoso y 54.96% de material fino. Sucesivo la calicata número cuatro con un valor de 38.76% de material arenoso, 7.78% de material gravoso y 53.46% de material fino. Seguido por la calicata número uno con un valor de 44.65% de material arenoso, 8.46 de material gravoso y 46.89 de material fino.

Interpretación: de acuerdo al suelo de las cuatro calicatas realizadas fueron llevadas a gabinete para su pertinente ensayo, donde podemos decir que el lugar está conformado por material de suelo fino arcilloso según el estudio, se destacó en la mayoría de las calicatas el alto porcentaje de material fino y arena, quedando retenido en la malla mayor a N°200 y menor a la malla N°4 de los tamiz trabajados en gabinete, por ello se obtuvo el resultado de acuerdo a la clasificación SUCS un tipo de suelo predominante CL (arcilla inorgánica de baja plasticidad) y con el sistema de clasificación AASHTO (A - 6).

**Grafico N°3: Porcentaje Contenido de Humedad**

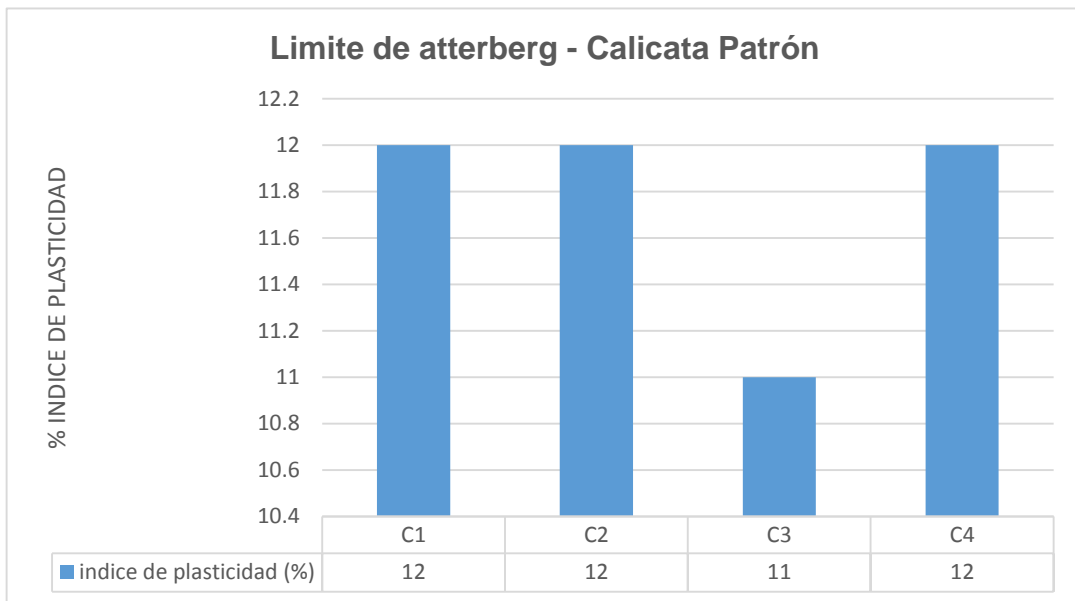


**Fuente: Elaboración Propia**

Descripción: en esta repartición recalcamos los porcentajes de sus respectivas humedades de las cuatro calicatas realizadas teniendo como superior el rango más alto de porcentaje de humedad la calicata número tres con un valor total de 3.28% de humedad. Seguido por la calicata número uno con un valor total de 3.26% de humedad. Sucesivo la calicata número dos con un valor total de 3,25% de humedad. Por culminado la calicata número cuatro con un valor total de 3.05% de humedad.

Interpretación: de los resultados podemos destacar el conjunto de las calicatas teniendo un bajo porcentaje de humedad de suelos, donde el punto más alto tiene la calicata número tres obteniendo un 3.28% de contenido de humedad con respecto al punto más bajo de la calicata número cuatro obteniendo un 3.05% de contenido de humedad, se pudo sacar la humedad y la muestra seca de cada calicata.

**Grafico N°4: Limite de Consistencia Calicata Patrón**



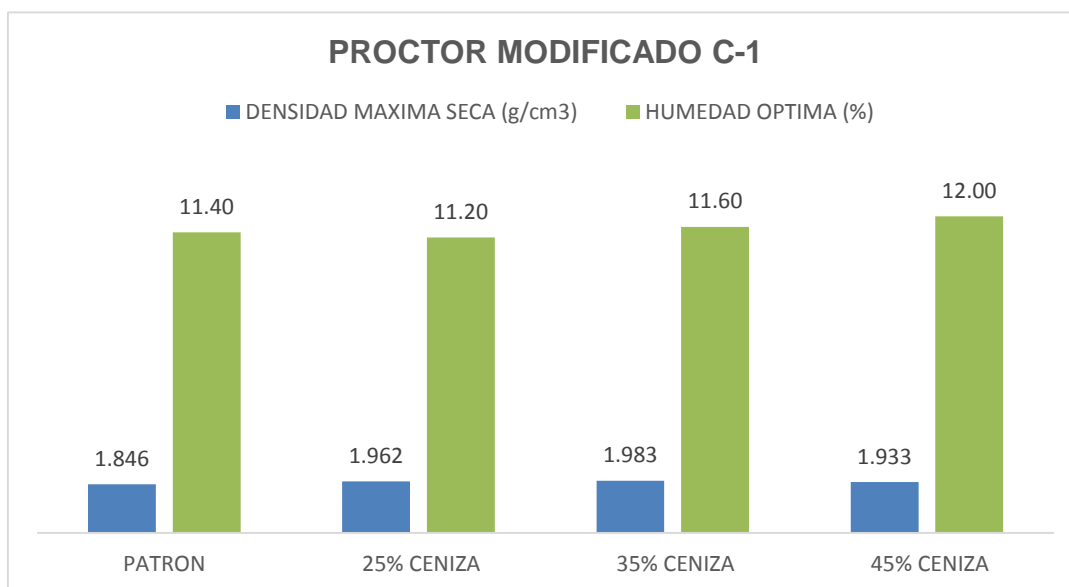
**Fuente: Elaboración Propia**

Descripción: en esta distribución destacamos los límites de consistencia de sus respectivas cuatro calicatas elaboradas teniendo como predominante el rango más alto de porcentaje de las calicatas número uno, dos y cuatro con un valor total de 12% IP. Sucesivo por la calicata número dos con un valor total de 12% IP. Seguido por la calicata número cuatro con un valor total de 12% IP. Sucesivo por la calicata número tres con un valor total de 11% IP. Se realizó el ensayo de límite de consistencia al suelo patrón con ceniza de paja de trigo y no presento variación en el Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

Interpretación: se destaca en la mayoría de las calicatas el porcentaje de Índice de Plasticidad realizado en laboratorio, solo se realizó al patrón natural ya que en la mayoría de las calicatas tiene un índice de plasticidad mediana baja y adicionándole ceniza de paja de trigo al suelo patrón no altero el límite de consistencia debido a que la ceniza es un material cementante que no tiene límite líquido por ende no contiene índice de plasticidad.

### 3.4. Ensayo de Proctor Modificado y California Bearing Ratio del suelo de la zona Cascajal Izquierdo sin y con el adiconamiento de ceniza de paja de Trigo.

**Grafico N°5:** El Proctor Modificado de la Calicata C-1



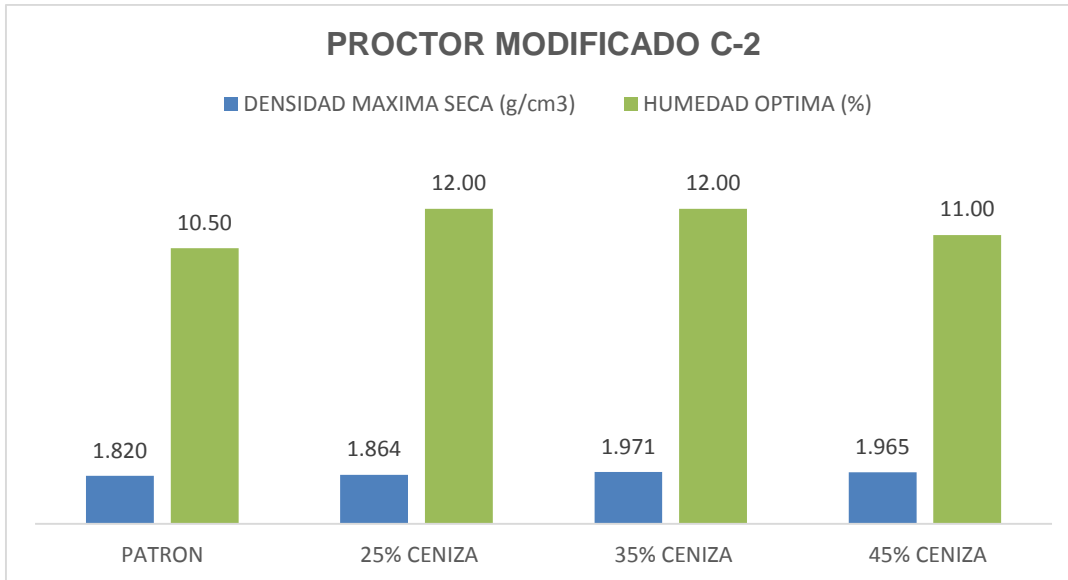
**Fuente: Elaboración Propia**

Descripción: en el proctor modificado para la calicata C-1 se tomó de referencia el suelo de patrón natural con su densidad máxima seca de 1.846 gr/cm<sup>3</sup> con una humedad óptima de 11.40% de la muestra utilizada en el molde del proctor modificado. Por ello en esta distribución se señaló la mejor densidad seca obtenida con la humedad óptima obtenido de cada adición. El que predomina es al 35% con una densidad máxima seca de 1.983 gr/cm<sup>3</sup> con una humedad óptima de 11.60% de la muestra utilizada en el molde del proctor modificado. Sucesivo al 45% con una densidad máxima seca de 1.933gr/cm<sup>3</sup> con una humedad óptima de 12.00% de la muestra utilizada en el molde del proctor modificado. Por último al 25% con una densidad máxima seca de 1.962 gr/cm<sup>3</sup> con una humedad óptima de 11.20% de la muestra utilizada en el molde del proctor modificado.

Interpretación: se subraya en la calicata número uno del proctor modificado con material de la zona de estudio con la adición de la ceniza de paja de trigo, se logró obtener diferentes porcentaje de agua con un balance de óptima humedad para dar como resultado una mejor compactación, donde se tuvo la curvatura máxima de cada punto más alto de cada ensayo de proctor modificado que se

realizado en laboratorio, podemos decir que al 35% nos arrojó como máxima densidad seca de  $1.983 \text{ g/cm}^3$  con un contenido de humedad de 11.60%.

**Grafico N°6:** El Proctor Modificado de la Calicata C-2



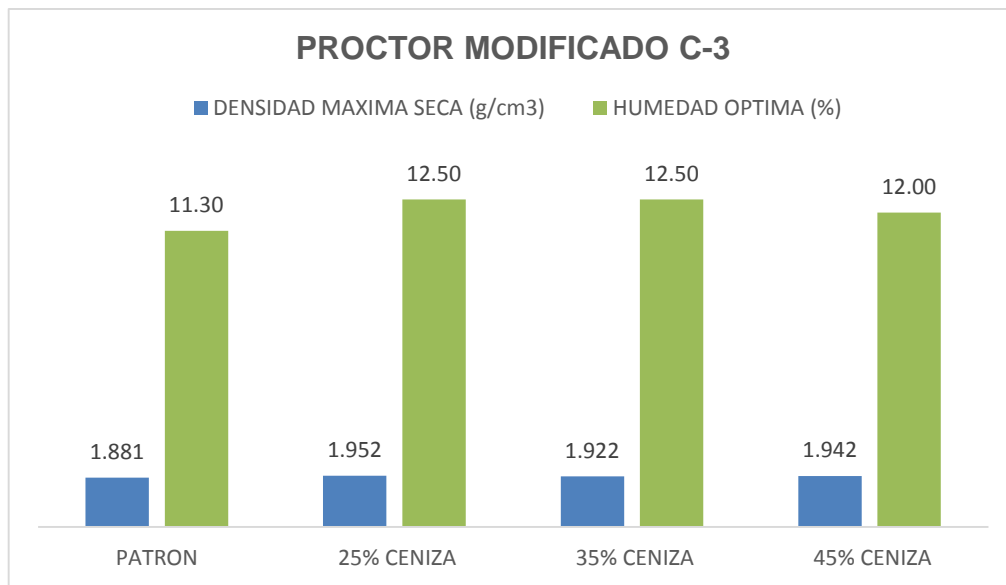
**Fuente:** Elaboración Propia

Descripción: en el proctor modificado para la calicata C-2 se tomó de referencia el suelo de patrón natural con su densidad máxima seca de  $1.820 \text{ g/cm}^3$  con una humedad óptima de 10.50% de la muestra utilizada en el molde del proctor modificado. Sucesivo al 25% con una densidad máxima seca de  $1.864 \text{ gr/cm}^3$  con una humedad óptima de 12.00% de la muestra utilizada en el molde del proctor modificado. El que predomina es 35% con una densidad máxima seca de  $1.971 \text{ g/cm}^3$  con una humedad óptima de 12.00% de la muestra utilizada en el molde del proctor modificado. Por último al 45% con una densidad máxima seca de  $1.965 \text{ g/cm}^3$  con una humedad óptima de 11.00% de la muestra utilizada en el molde del proctor modificado.

Interpretación: se destaca en la calicata número dos del proctor modificado con material de la zona de estudio con la adición de la ceniza de paja de trigo, se logró obtener diferentes porcentaje de agua con un balance de óptima humedad para dar como resultado una mejor compactación, donde se tuvo la curvatura máxima de cada punto más alto de cada ensayo de proctor modificado que se realizado en laboratorio, podemos decir que el al 35% nos arrojó como máxima densidad seca de  $1.971 \text{ g/cm}^3$  con un contenido de humedad de 12.00%.



### Grafico N°7: El Proctor Modificado de la Calicata C-3

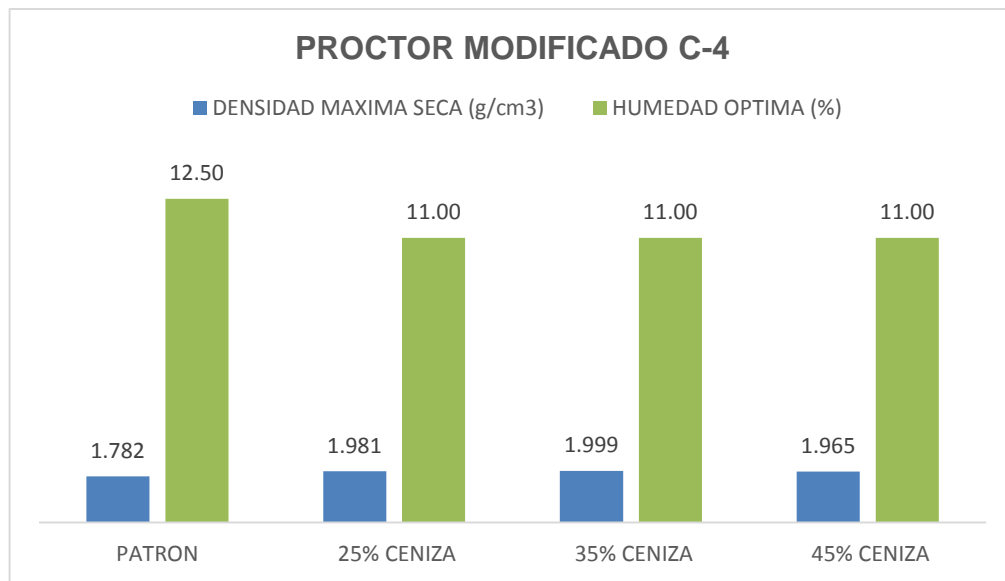


Fuente: Elaboración Propia

Descripción: en el proctor modificado para la calicata C-3 se tomó de referencia el suelo de patrón natural con su densidad máxima seca de 1.881 g/cm<sup>3</sup> con una humedad óptima de 11.30% de la muestra utilizada en el molde del proctor modificado. Dado que en esta distribución se señaló la mejor densidad seca obtenida con una humedad óptima de cada adición. El que predomina es 25% con una densidad máxima seca de 1.952 g/cm<sup>3</sup> con una humedad óptima de 12.50% de la muestra utilizada en el molde del proctor modificado. Sucesivo al 35% con una densidad máxima seca de 1.922 g/cm<sup>3</sup> con una humedad óptima de 12.50% de la muestra utilizada en el molde del proctor modificado. Por último al 45% con una densidad máxima seca de 1.942 g/cm<sup>3</sup> con una humedad óptima de 12.00% de la muestra utilizada en el molde del proctor modificado.

Interpretación: se destaca en la calicata número tres del proctor modificado con material de la zona de estudio con la adición de la mezcla de cemento diluido en agua, se logró obtener diferentes porcentaje de agua con un balance de óptima humedad para dar como resultado una mejor compactación, donde se tuvo la curvatura máxima de cada punto más alto de cada ensayo de proctor modificado que se realizado en laboratorio, podemos decir que el al 25% nos arrojó como máxima densidad seca de 1.952 g/cm<sup>3</sup> con un contenido de humedad de 12.50%.

**Grafico N°8:** El Proctor Modificado de la Calicata C-4

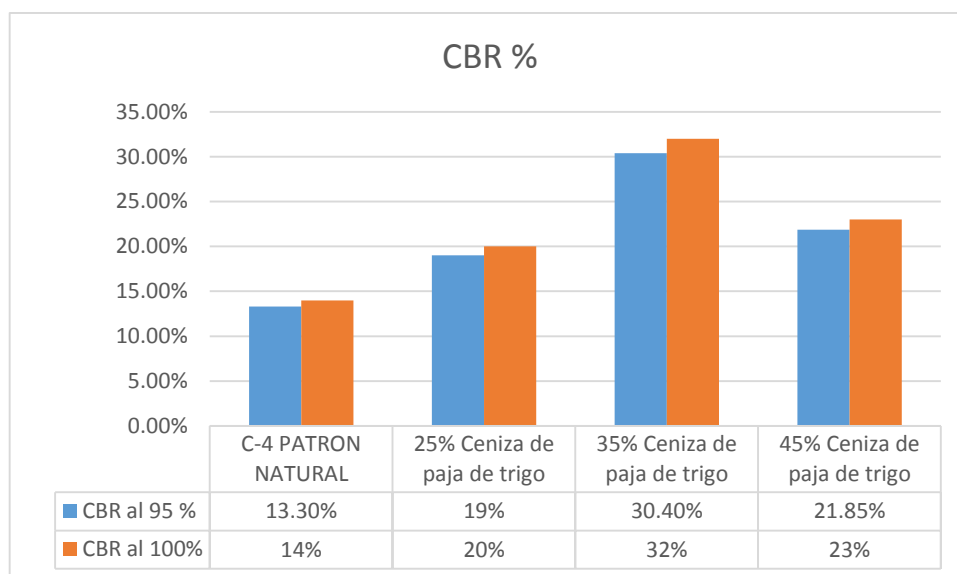


**Fuente:** Elaboración Propia

Descripción: en el proctor modificado para la calicata C-4 se tomó de referencia el suelo de patrón natural con su densidad máxima seca de 1.782 g/cm<sup>3</sup> con una humedad óptima de 12.50% de la muestra utilizada en el molde del proctor modificado. Dado que en esta distribución se señaló la mejor densidad seca obtenida con una humedad óptima de cada adición. El que predomina es 25% con una densidad máxima seca de 1.981 g/cm<sup>3</sup> con una humedad óptima de 11.00% de la muestra utilizada en el molde del proctor modificado. Seguido al 35% con una densidad máxima seca de 1.999 g/cm<sup>3</sup> con una humedad óptima de 11.00% de la muestra utilizada en el molde del proctor modificado. Por último al 45% con una densidad máxima seca de 1.965 g/cm<sup>3</sup> con una humedad óptima de 11.00% de la muestra utilizada en el molde del proctor modificado.

Interpretación: se destaca en la calicata número cuatro del proctor modificado con material de la zona de estudio con la adición de ceniza de paja de trigo, se logró obtener diferentes porcentaje de agua con un balance de óptima humedad para dar como resultado una mejor compactación, donde se tuvo la curvatura máxima de cada punto más alto de cada ensayo de proctor modificado que se realizado en laboratorio, podemos decir que el al 35% nos arrojó como máxima densidad seca de 1.999 g/cm<sup>3</sup> con un contenido de humedad de 11.00%.

**Grafico N°9:** El CBR de la Calicata más crítica C-4 con la densidad máxima



**Fuente: Elaboración Propia**

Descripción: en el ensayo de California Bearing Ratio que se realizó a la calicata número 4 debido a que su densidad máxima seca es la más crítica tomaremos como referencia a las muestras. La muestra Patrón natural con su mejor densidad seca de 1.782 gr/cm<sup>3</sup> con una Humedad de 12.5 % de la muestra utilizada en el molde del Proctor modificado para después de saturarlo y consecuentemente tomar lectura a su resistencia con una penetración correlacional al 0.1” con una lectura al 100% de CBR para la sub rasante nos arrojó un resultado de 14%.

La muestra Patrón natural con 25 % de ceniza tomando su densidad seca de 1.981 gr/cm<sup>3</sup> con una Humedad de 11 % de la muestra utilizada en el molde del Proctor modificado para después de saturarlo y consecuentemente tomar lectura a su resistencia con una penetración correlacional al 0.1” con una lectura al 100% de CBR para la sub rasante nos arrojó un resultado de 20%.

Resaltaremos la muestra Patrón natural con 35 % de ceniza tomando su densidad seca de 1.999 gr/cm<sup>3</sup> con una Humedad de 11 % de la muestra utilizada en el molde del Proctor modificado para después de saturarlo y consecuentemente tomar lectura a su resistencia con una penetración

correlacional al 0.1” con una lectura al 100% de CBR para la sub rasante nos arrojó un resultado de 32% siendo el más elevado.

La muestra Patrón natural con 45 % de ceniza tomando su densidad seca de 1.965 gr/cm<sup>3</sup> con una Humedad de 11 % de la muestra utilizada en el molde del Proctor modificado para después de saturarlo y consecuentemente tomar lectura a su resistencia con una penetración correlacional al 0.1” con una lectura al 100% de CBR para la sub rasante nos arrojó un resultado de 23%.

Interpretación: el ensayo de CBR definió como resultado que el suelo patrón tiene un CBR de 14% siendo una sub rasante regular mala y al 95 % reducirá considerablemente a 13.3%. Nos percatamos que puede incrementar la resistencia adicionándole el 25% de ceniza de paja de trigo donde el porcentaje de CBR llegando a alcanzar un 20%. Adicionándole al 35% de ceniza de paja de trigo el porcentaje de CBR llega a alcanzar un 32%, siendo el predominante, después se adicionándole 45% de ceniza de paja de trigo donde el material empieza a tener una descompensación y empieza a variar el módulo de CBR llegando a tener 23% de CBR por lo tanto no es recomendable seguir agregándole ceniza de paja de trigo a la subrasante del suelo.

### 3.5. Análisis del óptimo porcentaje de adicionamiento de ceniza de paja de trigo para la mejor estabilización del suelo de Cascajal Izquierdo.

**Tabla N°2:** Cuadro Comparativo de Granulometría

CALICATAS MUESTRAS	TIPO DE SUELO SUCS	HUMEDAD	LIMITE PLASTICO	LIMITE LIQUIDO	INDICE DE PLASTICIDAD	CLASIFICACION AASHTO
C1	SC	3.26	0	12	12	A - 6
C2	CL	3.25	0	12	12	A - 6
C3	CL	3.28	0	11	11	A - 6
C4	CL	3.05	0	12	12	A - 6

**Fuente:** Laboratorio de Mecánica de Suelos Universidad Cesar Vallejo

Descripción: en este cuadro se representa cada calicata con su tipo de suelo según S.U.C.S. siendo la Calicata N°1 diferente de las demás, contenido de humedad de la Calicata N°1 es 3.26%, de la Calicata N°2 es 3.25%, de la Calicata N°3 es 3.28%, de la Calicata N°4 es 3.05%, el límite líquido solo varia en la Calicata N°3 siendo 11, no presenta limite plástico, el índice de plasticidad por consecuente vario en la Calicata N°3 y la clasificación según AASHTO resulto ser clase A - 6.

Interpretación: de acuerdo a la comparación del cuadro se puede observar que la Calicata N°1 tiene un tipo de suelo diferente a los demás siendo un suelo SC según S.U.C.S., presenta un suelo con contenido de humedad regular y un suelo con límite plástico medio.

**Tabla N°3: Cuadro Comparativo de Proctor Modificado**

<b>CALICATAS MUESTRAS</b>		<b>CAPAS</b>	<b>GOLPES</b>	<b>DENSIDAD MAXIMA</b>	<b>HUMEDAD OPTIMA</b>
C1	<i>PATRON NATURAL</i>	5	25	1.846	11.40
	<i>25% Ceniza de paja de trigo</i>	5	25	1.962	11.20
	<i>35% Ceniza de paja de trigo</i>	5	25	1.983	11.60
	<i>45% Ceniza de paja de trigo</i>	5	25	1.933	12.00
C2	<i>PATRON NATURAL</i>	5	25	1.820	10.50
	<i>25% Ceniza de paja de trigo</i>	5	25	1.864	12.00
	<i>35% Ceniza de paja de trigo</i>	5	25	1.971	12.00
	<i>45% Ceniza de paja de trigo</i>	5	25	1.965	11.00
C3	<b><i>PATRON NATURAL</i></b>	<b>5</b>	<b>25</b>	<b>1.881</b>	11.30
	<i>25% Ceniza de paja de trigo</i>	5	25	1.952	12.50
	<i>35% Ceniza de paja de trigo</i>	5	25	1.922	12.50
	<i>45% Ceniza de paja de trigo</i>	5	25	1.942	12.00
C4	<b><i>PATRON NATURAL</i></b>	<b>5</b>	<b>25</b>	<b>1.782</b>	12.50
	<i>25% Ceniza de paja de trigo</i>	5	25	1.981	11.00
	<b><i>35% Ceniza de paja de trigo</i></b>	<b>5</b>	<b>25</b>	<b>1.999</b>	11.00
	<i>45% Ceniza de paja de trigo</i>	5	25	1.965	11.00

**Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos Universidad Cesar Vallejo**

Descripción: en esta recolección de datos rescatamos que la Calicata N°3 presenta la densidad máxima seca más elevada llegando a tener 1.881 g/cm<sup>3</sup> y la Calicata N°4 presenta la densidad máxima seca más pobre llegando a

tener 1.782 g/cm<sup>3</sup>. Y con la adición de 35% de ceniza de paja de trigo se obtiene la óptima densidad máxima seca llegando a tener 1.999 g/cm<sup>3</sup>.

Interpretación: de la recolección podemos destacar que la zona de Cascajal Izquierdo presenta un suelo que requiere regular contenido de humedad para obtener su densidad máxima seca teniendo para la Calicata N°1 una Humedad Optima de 11.4 %, para la Calicata N°2 una Humedad Optima de 10.5 %, para la Calicata N°3 una Humedad Optima de 11.3 % y para la Calicata N°4 una Humedad Optima de 12.5 %.

**Tabla N°4:** Cuadro Comparativo de Proctor Modificado

<b>CALICATA N°4</b>	<b>0.1" C.B.R. A 95% DE MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	<b>0.1" C.B.R. A 100% DE MAXIMA DENSIDAD SECA</b>
<i>C-4PATRON NATURAL</i>	13.3 %	14 %
<i>25% Ceniza de paja de trigo</i>	19 %	20 %
<b>35% Ceniza de paja de trigo</b>	<b>30.4 %</b>	<b>32 %</b>
<i>45% Ceniza de paja de trigo</i>	21.85 %	23 %

**Fuente:** Laboratorio de Mecánica de Suelos Universidad Cesar Vallejo

Descripción: en esta recolección de datos rescatamos que a 0.1" al 100 % de penetración de la máxima densidad seca del suelo patrón se obtiene un CBR de 15%, adicionando 25% de ceniza de paja de trigo se obtiene un CBR de 20%, adicionando 35% de ceniza de paja de trigo se obtiene un CBR de 32%, adicionando 45% de ceniza de paja de trigo se obtiene un CBR de 23%.

Interpretación: de la recolección de los datos podemos destacar que adicionando al 35% de ceniza de paja de trigo se obtiene 32 % de CBR, siendo una subrasante de categoría excelente según el Manual de Carreteras de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, por consecuente 35% de adición de ceniza de paja de trigo es el óptimo porcentaje para el mejoramiento de la subrasante de los suelos de la zona Cascajal Izquierdo.

#### IV. DISCUSIONES

1. Rico nos explica que la resistencia de los suelos es debido al esfuerzo cortante y que según la clasificación de cada tipo de suelo se torna distinciones por sus mismas propiedades, en donde los suelos con baja resistencia poseen propiedades que son muy débiles y deben ser mejorados, es así que en esta tesis se empleó esta parte tan importante para poder concretar el objetivo de la presente investigación pues fuimos en busca de la mejora de un suelo con subestructura débil, estamos hablando de un suelo arcilloso, alcanzando mejorar las propiedades para que el suelo este bien compactado y no tenga fallas, ya que obtiene un buen índice de resistencia y corroboramos esta información brindada por Rico ya que acierta en lo que nos dice de las propiedades que pueden ser mejoradas si siguen un respectivo proceso.
2. En la Investigación que realizo Leonardo Behak en Uruguay investigo estabilizar el suelo arcilloso con adición de ceniza de cascara de arroz, explicando en sus ensayos de granulometría que es un suelo clasificado SC con un índice de grupo (7) obteniendo mucha variación en el contenido de humedad de sus muestras, también su índice de plasticidad es muy alto obteniendo resultados que oscila de 12.12% de I.P. al 17.56% de I.P. Después este proceso adiciono ceniza de cascara de arroz para realizarle el ensayo de proctor modificado, obteniendo buenos resultados dando como lectura 1.89gr/cm<sup>3</sup> con un contenido humedad de 8.2%. por consecuente el proceso de análisis de resistencia del suelo brindándonos el CBR con un valor de 27.21% y es por ello que su metodología empleada en la adición de la ceniza de cascara de arroz al 30 % es similar a la presente investigación por lo tanto coincidimos que la investigación de Leonardo Behak es asertiva ya que comparándola con la presente tesis podemos decir que el suelo clasificado como CL según SUCS, con un índice de grupo 2, teniendo en cuenta que el índice de plasticidad I.P. oscila entre 11% y 12% Evaluando su compactación a través del Proctor Modificado adicionando y sin adicionar cenizas de caña de azúcar se obtuvo un valor máximo de densidad seca 1.999

gr/cm<sup>3</sup> con 11% de contenido de humedad y por consecuente el resultado final alcanzó un CBR de 32%. Todo ello logrado con una adición de ceniza de paja de trigo al 35%. Esto hace que una buena investigación con desechos de productos agrícolas sean confiables para la estabilización de los suelos arcillosos.

3. En la investigación que Roció Pérez Callantes en el Perú en el 2012, en su tesis de investigación, Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos, según su granulometría es arcilloso su clasificación de suelo SC con un índice de grupo (6) con un contenido de humedad que alcanzó el 25.02%. Nos brinda la investigación que su límite de Consistencia a mediante de los ensayos de límite líquido y límite plástico obtienen un índice de plasticidad que oscila entre 18.29% I.P y 11.21% de I.P. Mediante la adición de cenizas de los carbón arroja un resultado de Proctor modificado del suelo adicionado, alcanzando 1.46gr/cm<sup>3</sup> con un contenido de humedad óptimo de 5.9% y por consecuente el resultado final alcanzó un CBR de 35.20% es por ello que se garantiza dicha investigación como fuente confiable ya que es un elemento agrícola y que tienen similitud en su aspecto metodológico donde la manipulación intencionada de la variable independiente en adicionar el 35% de cenizas, comparando las investigaciones podemos indicar que el suelo clasificado en la presente tesis también es altamente arcilloso el cual está clasificado como un CL con un índice de grupo 2, teniendo en cuenta que el índice de plasticidad I.P. oscila entre 11% y 12% evaluando su compactación a través del Proctor Modificado adicionando y sin adicionar cenizas de paja de trigo se obtuvo un valor máximo de densidad seca 1.999 gr/cm<sup>3</sup> con 11% de contenido de humedad y por consecuente el resultado final alcanzó un CBR de 32%. Todo ello logrado con una adición de ceniza de paja de trigo de 35%. Ambos métodos nos dan resultados similares y que el suelo arcilloso trabaja bien con la adición requerida en las propiedades mecánicas del CBR.



4. El investigador Nelson Sánchez Pérez en su estudio de estabilización de subrasante en suelos arcillosos con adición de ceniza de panca de maíz con fines de pavimentación donde concluyo que el suelo es altamente arcilloso en el tramo de Socosani a Yura en el departamento de Arequipa según sus calicatas y su clasificación según SUCS nombro un tipo SC con un índice de grupo 11 obteniendo un índice de plasticidad I.P. que oscila de 14.69% y 12.85%, y que el suelo adicionado y sin adición se realizó el ensayo el Proctor modificado alcanzando 1.67gr/cm<sup>3</sup> de densidad seca con un contenido de humedad al 7.9% esto indicó que la investigación de Nelson Sánchez Pérez llego a concretar una ceniza capaz de estabilizar el suelo arcilloso con un índice de CBR al 19.32% y es por ello que su metodología empleada en la adición de la ceniza de panca de maíz al 18 % es similar a esta tesis el cual tienen un resultado parecido por lo tanto coincidimos sus procedimientos correctos y podemos decir que el suelo clasificado en la presente investigación también es altamente arcilloso clasificado como un CL con un índice de grupo 2, además tener en cuenta que el índice de plasticidad I.P. oscila entre 11% y 12% donde evaluando su compactación a través del Proctor Modificado adicionando y sin adicionar cenizas de caña de azúcar se obtuvo un valor máximo de densidad seca 1.999 gr/cm<sup>3</sup> con 11% de contenido de humedad y por consecuente la resistencia del suelo con adición de cenizas de paja de trigo alcanzó un CBR de 32%. Todo ello logrado con una adición de ceniza de paja de trigo al 35%. Esto resume que los buenos métodos que se han realizado en ambos estudios den confiabilidad a la presente investigación.
  
5. Según Valle Arias la estabilización de los suelos es la manipulación intencionada para mejorar sus propiedades, éstas pueden ser físicas químicas o mecánicas para tener el mejor uso del suelo. En la presente investigación que se viene realizando se consigue corroborar esta información debida, que la muestra extraída de las calicatas fueron sometidas a manipulaciones de estabilización en adición logrando mejorar las propiedades mecánicas del suelo arcilloso.

## V. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó que la ceniza de paja de trigo es una puzolana artificial agrícola de clase N, contiene un elevado porcentaje de sílice que al adicionar en porcentajes a los suelos de Cascajal Izquierdo produce un intercambio de iones logrando el mejoramiento de sus propiedades mecánicas.
2. Mediante el Ensayo de Análisis Térmico Diferencial se concluyó que para no perder sus propiedades puzolánicas, la óptima temperatura de calcinación de la paja de trigo sea a una temperatura controlada de 550 °C.
3. Mediante el ensayo Químico se concluyó que la ceniza de paja de trigo contiene elevadas propiedades silíceas teniendo un dióxido de sílice de 73.86%, 0.24% óxido de aluminio, 0.37% óxido de hierro, 1.3% trióxido de azufre, 1.67% de humedad y 6.71% de pérdida por calcinación.
4. Mediante los ensayos realizados se concluyó que el tipo de suelo de las muestras obtenidas de Cascajal Izquierdo, es un suelo clasificado según ASHTO - A6 y mediante SUCS predomina el suelo clase CL por consiguiente los estratos clasificados según los tamices en donde quedan retenidos las gravas, las arenas y finos, predomina los con un elevado rango. Donde el contenido de humedad de cada calicata oscila entre 3.05% y 3.28%. El índice de plasticidad del suelo arcilloso obtiene un índice de plasticidad elevada alcanzando un 12 de I.P el cual conlleva a tener un suelo con baja resistencia.
5. De acuerdo a los ensayos realizados se concluye que la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo arcilloso con adición de ceniza paja de trigo alcanzo un valor de 1.999 gr/cm<sup>3</sup> con un contenido de humedad de 11%, el cual demuestra que la máxima densidad seca con adición estuvo por encima de la densidad seca del patrón que llego a 1.782 gr/cm<sup>3</sup> con un contenido de humedad de 12.5%. El suelo arcilloso logra

estabilizar con la adición al 25% de ceniza de paja de trigo un CBR de 20%, con la adición al 35% de ceniza de paja de trigo un CBR de 32% y finalmente con la adición al 45% de ceniza de paja de trigo un CBR de 23%. La muestra patrón no es favorable pues su baja resistencia en comparación alcanza un valor de 14% de CBR.

6. Debido a las propiedades de mecánica de capacidad de resistencia a la penetración suelo se concluye que el suelo arcilloso logra la óptima estabilización con la adición al 35% de ceniza de paja de trigo, en relación al peso seco de la muestra del suelo y el óptimo contenido de humedad, alcanzando un CBR de 32%.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Chimbote realice la mejora de la subrasante en el caserío de Cascajal Izquierdo aplicando las Cenizas de paja de trigo para estabilizar el suelo natural, se recomienda que el porcentaje adecuado para adicionar es 35% del peso del material a estabilizar.
2. Le recomiendo a los futuros tesista emplear la Ceniza de paja de trigo para lograr estabilizar otro tipo de suelos y con otros materiales, teniendo como antecedente que el suelo arcilloso tiene un buen comportamiento con la ceniza agrícola.
2. Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Chimbote utilizar las cenizas de paja de trigo como estabilizante ya que es material muy barato y de fácil accesibilidad, previo estudio del tipo del suelo de cada zona.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

- BELTRÁN, Mario y COPADO, José. Estabilización de un suelo arcilloso con cal hidratada, para ser utilizada como capa subrasante de pavimentos en la colonia San Juan Capistrano de Ciudad Obregón, Son. Tesis (Tesis en Ingeniería Civil). México, 2011. Disponible en web:  
[http://biblioteca.itson.mx/dac\\_new/tesis/310\\_copado\\_jose.pdf](http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/310_copado_jose.pdf)
  
- BELTRÁN, Raúl. Diseño Geotécnico y estructural de una cimentación en arcilla expansiva. Tesis (Maestro en Ingeniería Civil). México, 2009. Disponible en web:  
<https://es.scribd.com/document/249167955/Diseno-Geotecnico-y-estructural-de-Una-Cimentacion-en-Arcillas-Expansivas>
  
- CAÑAR, Tiviano. Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinada con ceniza de carbón. Tesis (Tesis en Ingeniería Civil). Ecuador, 2017. Disponible en web:  
<http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25266/1/Tesis%201115%20-%20Ca%C3%B1ar%20Tiviano%20Edwin%20Santiago.pdf>
  
- CUBAS, Kevin y FALEN, José. Evaluación de las Cenizas de Carbón para la Estabilización de suelos mediante activación alcalina Y aplicación en carreteras no pavimentadas. Tesis (Tesis en Ingeniería Civil). Perú, 2016. Disponible en web:  
<http://repositorio.uss.edu.pe/xmlui/handle/uss/3134>
  
- JARA, Robinson. Efecto de la Cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso. Tesis (Tesis en Ingeniería Civil). Perú, 2014. Disponible en web:  
<http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/686/T%20631.4%20J37%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Lima, Perú, 2013. Disponible en web: [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/P\\_recientes/4515.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf)
  
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Manual de carreteras: Diseño Geométrico (DG). Lima, Perú, 2013. Disponible en web: [http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/DISE%C3%91O%20GEOMETRICO%20DE%20CARRETERAS%20%28DG-2013%29.pdf](http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/DISE%C3%91O%20GEOMETRICO%20DE%20CARRETERAS%20%28DG-2013%29.pdf)
  
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Manual de ensayos de materiales. Lima, Perú, 2016. Disponible en web: [https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf](https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf)
  
- MORALES, Daniel. Valoración de las Cenizas de Carbón para la Estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas. Tesis (Tesis en Ingeniería Civil). Colombia, 2015. Disponible en web: <http://repository.udem.edu.co/handle/11407/1236>
  
- LENCINAS, Fredd y INCAHUANACO, Becker. Evaluación De Mezclas De Concreto Con Adiciones De Ceniza De Paja De Trigo Como Sustituto En Porcentaje Del Cemento Portland Puzolánica IP En La Zona Altiplánica. Tesis (Tesis en Ingeniería Civil). Perú, 2017. Disponible en web: [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3973/Lencinas\\_Valeriano\\_Fredd\\_Cristian\\_Incahuanaco\\_Callata\\_Becker\\_Iran.pdf?sequence=1](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3973/Lencinas_Valeriano_Fredd_Cristian_Incahuanaco_Callata_Becker_Iran.pdf?sequence=1)

- PEREZ, Roció. Estabilización De Suelos Arcillosos Con Cenizas De Carbón Para Su Uso Como Subrasante Mejorada Y/O Sub Base De Pavimentos. Tesis (Maestría en Geotecnia). Perú, 2011. Disponible en web: [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1313/1/perez\\_cr.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1313/1/perez_cr.pdf)
  
- SALDIVAR, Verónikha. Estudio De Tres Variables En La Obtención De Pulpa Celulósica, Con Proceso De Alto Rendimiento, A Partir Del Tallo De Arroz (Oryza Sativa L.). Tesis (Tesis en Ingeniería Forestal). Perú, 2005. Disponible en web: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/505/K50-S2-T.pdf?sequence=1>

## ANEXOS

### 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

**TÍTULO:**

“Estabilización de los suelos del caserío de Cascajal Izquierdo con fines de pavimentación, utilizando ceniza de paja de trigo – Distrito Chimbote, Ancash - 2018”

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Administración y Seguridad de la Construcción

**DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:**

En el caserío de Cascajal Izquierdo se presenta suelos arcillosos los cuales son muy pocos recomendables para desarrollar cualquier obra de infraestructura civil, debido a que su capacidad portante es baja y no cumplen las exigencias de las normas técnicas emitidas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Es por esta razón que la presente investigación se enfoca en evaluar la influencia que tiene la ceniza de paja de trigo como estabilizante de subrasante de los suelos de la zona.

Para el mejoramiento de suelos arcillosos es recomendable la puzolana artificial, las puzolanas artificiales son materiales silíceos que pueden llegar a controlar la expansión, reducir el índice de plasticidad e incrementar la capacidad portante. La estabilización mediante Suelo-CenizaVolante se obtiene por calcinación de la paja de trigo mediante horno a altos grados de temperatura.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	DIMENSIONES	INDICADORES	JUSTIFICACION
¿Qué influencia ejerce la ceniza de paja de trigo en la estabilización de los suelos del caserío de Cascajal Izquierdo con fines de pavimentación - Distrito Chimbote, Ancash - 2018?	<p><b>General:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar la influencia de la ceniza de paja de trigo como estabilizante de los suelos del Caserío de Cascajal Izquierdo con fines de pavimentación - Distrito Chimbote, Ancash - 2018</li> </ul>	La ceniza de paja de trigo influirá positivamente como estabilizante en el suelo del caserío de Cascajal Izquierdo para fines de pavimentación.	Activación de la ceniza	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis Térmico Diferencial de la ceniza de paja de trigo</li> </ul>	<p>La justificación metodológica busca explicar el desarrollo de un nuevo método para estabilizar el suelo de la zona, y llegar a la estabilización óptima utilizando varios porcentajes la ceniza de paja de trigo en la subrasante del suelo arcilloso para mejorar las características físicas – químicas del suelo.</p> <p>El presente estudio servirá para nuevas investigaciones ya que el fin es generar nuevos conocimientos para la estabilización.</p> <p>La presente investigación es importante porque resolverá el problema de contaminación de la zona agrícola, utilizando los residuos de la paja de trigo y se aprovechara los mismos recursos de la zona que está al alcance de todos.</p>
			Reactivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Combustión a 550°C de la ceniza de paja de trigo</li> <li>Tiempo de Combustión 2 horas</li> <li>Peso kg en porcentajes del 25%,35%,45% de cenizas de paja de trigo</li> </ul>	
			Propiedades Químicas de la ceniza	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis Químico de la ceniza de paja de trigo</li> </ul>	
			Propiedades Físicas de los suelos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D 422 – MTC E 107)</li> </ul>	
	<p><b>Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar el óptimo grado centígrado mediante el ensayo de Análisis Térmico Diferencial</li> </ul>				



	<p>(DTA) y realizar la combustión de la paja de trigo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar las propiedades estabilizantes puzolánicas mediante el ensayo Químico a la ceniza de paja de trigo.</li> <li>• Determinar las propiedades físicas del suelo de la zona Cascajal Izquierdo.</li> <li>• Determinar las propiedades mecánicas del suelo de la zona Cascajal Izquierdo, sin y con el adicionamiento de la ceniza de paja de trigo.</li> <li>• Analizar los resultados obtenidos para conseguir el óptimo porcentaje de adicionamiento de ceniza de paja de trigo para la mejor estabilización del suelo de Cascajal Izquierdo.</li> </ul>		<p>Propiedades Mecánicas de los suelos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensayo de Límites de Consistencia (ASTM D 4318 – MTC E 110/111)</li> <li>• Ensayo de Contenido de humedad (ASTM D 2216 – MTC E 108)</li> <li>• Ensayo de CBR (ASTM D 1883 – MTC E 132)</li> <li>• Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D 1557 – MTC E 115)</li> </ul>	<p>El fin de esta investigación es beneficiar en primer lugar a la población ya que a través de este estudio se podrá realizar pavimentos con una buena estructura del suelo para que a la larga no existan problemas con la infraestructura vial de la zona, y en segundo lugar a los constructores debido a que este material es más económico.</p> <p>Los resultados que se obtendrán de esta investigación propondrán una nueva solución a los problemas del suelo de Cascajal Izquierdo, se ahorrará energía y evitará buscar material en otras canteras.</p>
--	--	--	--	--	--

## 2. MATERIAL FOTOGRAFICO

Foto N°1: Tomando una muestra del suelo de Cascajal Izquierdo.



Foto N°2: Carretera 102 que cruza por Cascajal Izquierdo.



Foto N°3: Área de cultivo en Cascajal Izquierdo.



Foto N°4: Calicata N°02 en la progresiva 0+485m en Cascajal Izquierdo.



Foto N°5: Muestra de las cuatro calicatas en sacos.



Foto N°6: Recolección de la paja de trigo en la zona Cascajal Izquierdo.



Foto N°7: Paja de Trigo en la Universidad Cesar Vallejo antes de la calcinación.



Foto N°8: Ceniza de paja de Trigo a 550 °C.



Foto N°9: Muestras secas en el horno del laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Cesar Vallejo.



Foto N°10: Tamizado de las muestras obtenidas de las calicatas.



Foto N°11: Ensayo Proctor Modificado de las muestras obtenidas de las calicatas.



Foto N°12: Ensayo CBR de las muestras obtenidas de las calicatas.



# **3. PROTOCOLOS PARA LOS ENSAYOS**





## ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

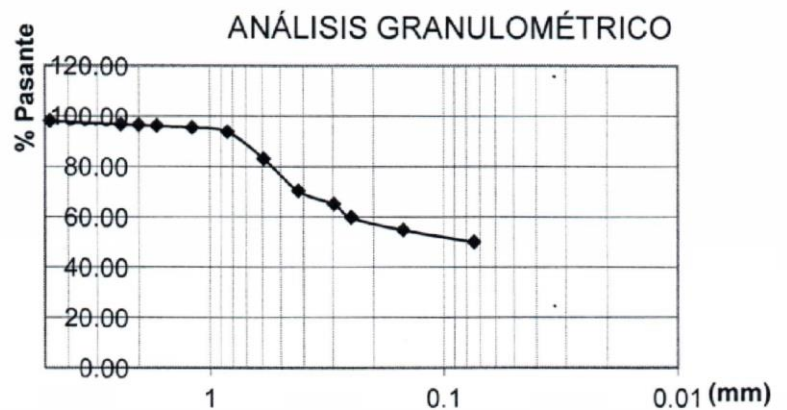
(NORMA TECNICA PERUANA NTP 400.012, ASTM D422)

TESIS

TESISTA :  
ASUNTO :  
LUGAR :  
UNIDAD :

TABLA: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Desing. del Tamiz US	A Peso Retenido gr.	B % Pasante
3/4		
1/2		
3/8		
1/4		
Nº 4		
Nº 8		
Nº 10		
Nº 12		
Nº 16		
Nº 20		
Nº 30		
Nº 40		
Nº 50		
Nº 60		
Nº 100		
Nº 200		
P Nº 200		



Grava (%)	1.60
Arena (%)	43.50
Finos (%)	54.90
Límite Líquido	17
Límite Plástico	NP
Índice Plasticidad	17
Clasif. SUCS	CL
Clasif. AASHTO	A6
Contenido de Humedad	11.66

**Nota:**

SUCS: Arcilla de baja plasticidad arenosa

AASHTO: Suelo arcilloso

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio



## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

### TESIS

TESISTA :  
ASUNTO :  
LUGAR :  
UNIDAD :

TABLA: COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

Peso suelo + molde	gr					
Peso molde	gr					
Peso suelo húmedo compactado	gr					
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>					
Peso volumétrico húmedo	gr					
Recipiente	N°					
Peso del suelo húmedo+tara	gr					
Peso del suelo seco + tara	gr					
Tara	gr					
Peso de agua	gr					
Peso del suelo seco	gr					
Contenido de agua	%					
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>					
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )						
Humedad óptima (%)						

### Nota:

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio



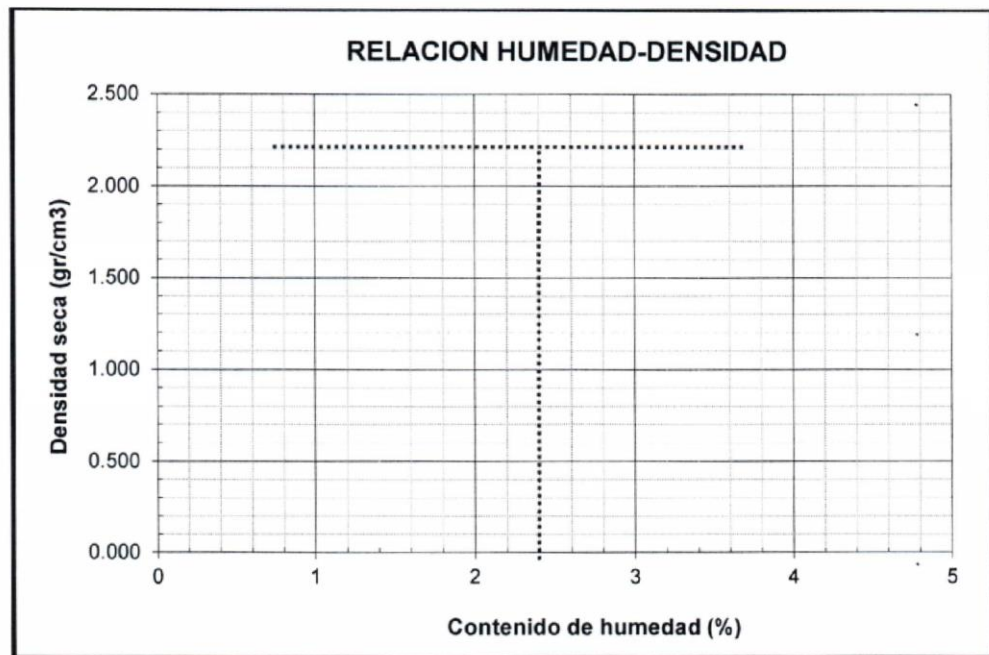
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

TESIS

TESISTA :  
ASUNTO :  
LUGAR :  
UNIDAD :



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

CAMPUS CHIMBOTE  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000

  
**Lener Hamilton Villanueva Vásquez**  
TÉCNICO DE LABORATORIO

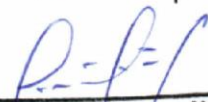
fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

		Laboratorio Mecánica de Suelos, Pavimentos y Concreto									
		CBR de Suelos (Laboratorio) MTC E 132 - 2000									
Nombre Cliente :											
Proyecto :											
Ubicación Proyecto :											
Datos necesarios para el ensayo											
Preparación de muestra :		Húmeda		Área Pistón de Penetración :		20.1 cm <sup>2</sup>					
% agua inicial muestra :											
% de agua a adicional :											
Compactación de Especímenes											
Molde N°	13		14		15						
N° Capa	5		5		5						
Golpes por capa N°	56		25		10						
Cond. de la muestra	No Saturado	Saturada	No Saturado	Saturada	No Saturado	Saturada					
Peso molde + Suelo húmedo											
Peso de molde (gr)	9688		7635		8897						
Peso del suelo húmedo (gr)											
Volumen del molde (cc)	2123		2123		2123						
Densidad húmeda (gr/cc)											
Contenido de humedad de los especímenes											
Tarro N°											
Tarro + Suelo húmedo ( gr. )											
Tarro + Suelo seco ( gr. )											
Peso del Agua ( gr. )											
Peso del tarro ( gr. )											
Peso del suelo seco ( gr. )											
Humedad (%)											
Densidad seca (gr/cc)											
Expansión											
Fecha	Hora lec.	Hora	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
26/04/17	10:00am	24	0.023								
27/04/17	10:00am	48	0.028								
28/04/17	10:00am	72	0.033								
29/04/17	10:00am	96	0.038								
Penetración											
Penetración mm	Carga Estándar Kg/cm <sup>2</sup>	Molde de 56 golpes/capa			Molde de 25 golpes/capa			Molde de 10 golpes/capa			
		Dial	Kg/cm <sup>2</sup>	Corregida	Dial	Kg/cm <sup>2</sup>	Corregida	Dial	Kg/cm <sup>2</sup>	Corregida	
0.63											
1.27											
1.90											
2.54	70.31										
3.17											
3.81											
5.08	105.46										
7.62											
10.16											
12.70											
Observación											
El muestreo e identificación de las muestras fue realizada por el Solicitante											

CAMPUS CHIMBOTE  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000

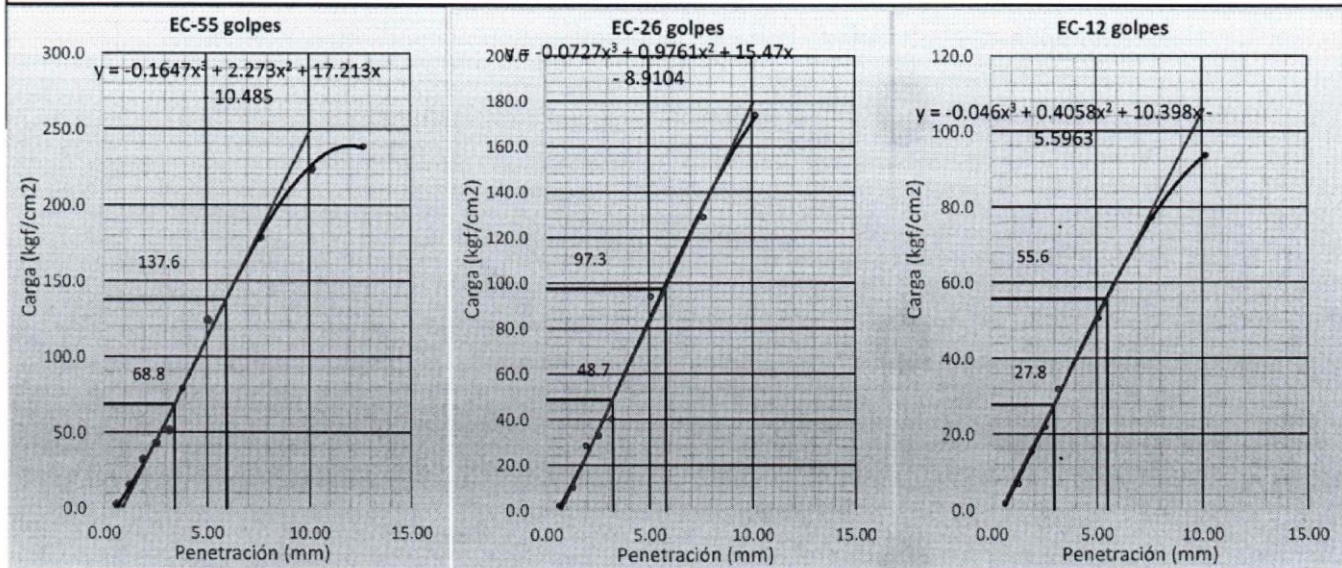
  
**Lener Hamilton Villanueva Vásquez**  
TECNICO DE LABORATORIO

fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe

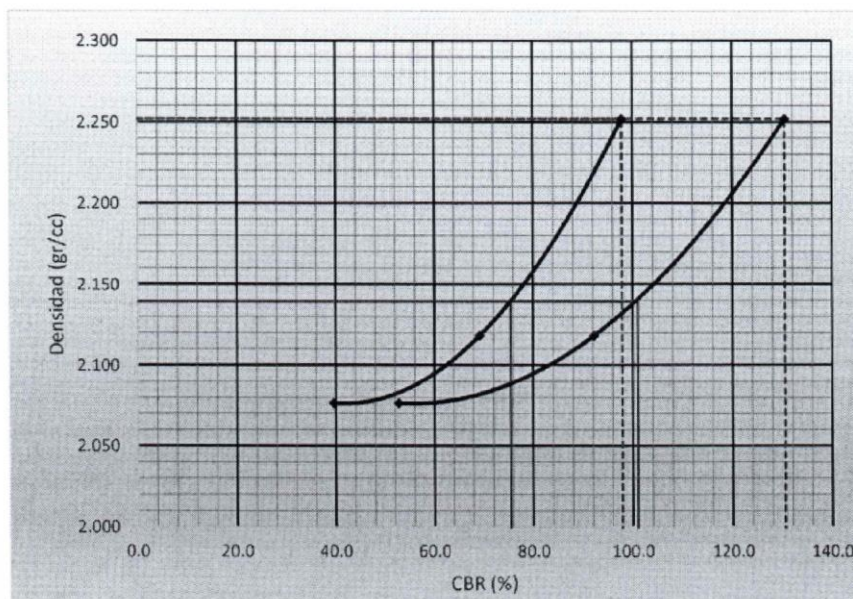


Nombre Cliente :  
Proyecto :  
Ubicación Proyecto :

Grafico Penetracion CBR



Carga(2.54mm)	68.82	Carga(5.08mm)	137.64	Carga(2.54mm)	48.7	Carga(5.08mm)	97.3	Carga(2.54mm)	27.8	Carga(5.08mm)	55.6
---------------	-------	---------------	--------	---------------	------	---------------	------	---------------	------	---------------	------



Proctor / Densidad Natural / O.C.H.	
Máxima Dens. Seca (gr/cc)	2.252
95% de la M.D.S. (gr/cc)	2.139
Densidad Natural (gr/cc)	-
Optimo Humedad (%)	8.00%

N golpes	C.B.R. (1")	C.B.R. (2")	Densidad
56	97.9	130.5	2.252
25	69.2	92.3	2.118
10	39.6	52.8	2.076

RESULTADOS DE C.B.R. (1")	
C.B.R. al 100% de la M.D.S.	97.9
C.B.R. al 95% de la M.D.S.	75.5

RESULTADOS DE C.B.R. (2")	
C.B.R. al 100% de la M.D.S.	130.5
C.B.R. al 95% de la M.D.S.	101.0

% de Expansión	No Presenta
----------------	-------------

Observación

El muestreo e identificación de las muestras fue realizada por el Solicitante

CAMPUS CHIMBOTE  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO

fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe

**4. CERTIFICADO ANALISIS  
TERMICO DIFERENCIAL DE LA  
CENIZA DE PAJA DE TRIGO**



Trujillo, 12 de abril del 2018

**INFORME N° 81 - ABR-18**

**Solicitante:** Bruno Díaz Trujillo – Universidad Cesar Vallejo-Chimbote

**RUC/DNI:** 76425002

**Supervisor:** .....

**1. MUESTRA:** Ceniza Paja de trigo (1.0 gr)

N° de Muestras	Código de Muestra	Cantidad de muestra ensayada	Procedencia
1	CPT-81AB	12.1 mg	.....

**2. ENSAYOS A APLICAR**

- Análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido DSC/ Análisis térmico Diferencial DTA.
- Análisis Termogravimétrico TGA.

**3. EQUIPO EMPLEADO Y CONDICIONES**

- Analizador Térmico simultáneo TG\_DTA\_DSC Cap. Máx.: 1600°C SetSys\_Evolution, cumple con normas ASTM ISO 11357, ASTM E967, ASTM E968, ASTM E793, ASTM D3895, ASTM D3417, ASTM D3418, DIN 51004, DIN 51007, DIN 53765.
- Tasa de calentamiento: 20 °C/min
- Gas de Trabajo - Flujo: Nitrógeno, 10 ml/min
- Rango de Trabajo: 25 – 850 °C.
- Masa de muestra analizada: 12.1 mg.

**Jefe de Laboratorio:** Ing. Danny Chávez Novoa

**Analista responsable:** Ing. Danny Chávez Novoa



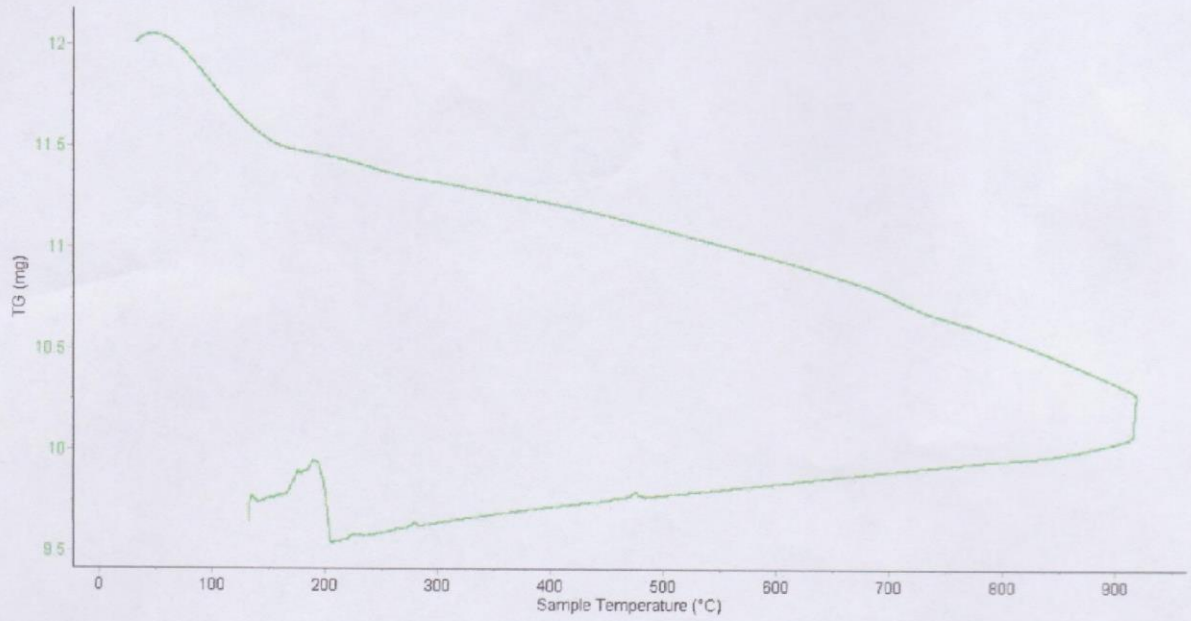


Trujillo, 12 de abril del 2018

INFORME N° 81 - ABR-18

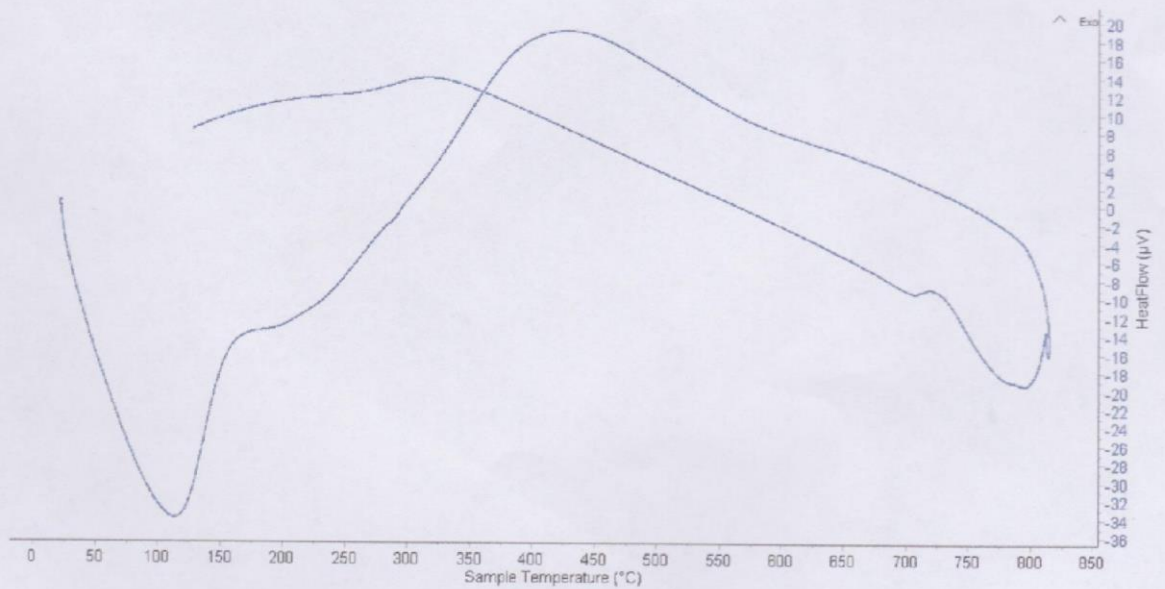
#### 4. Resultados:

##### I- Curva de pérdida de masa - Análisis Termo gravimétrico.



II-

##### III-Curva Calorimétrica DSC



*[Handwritten signature]*





Trujillo, 12 de abril del 2018

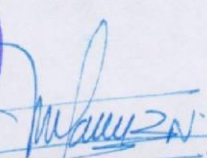
INFORME N° 81 - ABR-18

## 5. CONCLUSION:

1. Según el análisis termogravimétrico se muestra una importante pérdida del material conforme se aumenta la temperatura, la evidencia se da en el rango entre 80 y 130°C y después el material pierde masa muy lentamente hasta completar la temperatura del ensayo. Se identifica una pérdida total de aproximadamente 15% de la masa inicial cuando se alcanza la máxima temperatura del ensayo.
2. De acuerdo al análisis calorimétrico, se puede mostrar un pico de absorción térmica a 110°C, una banda exotérmica muy ligera en torno a 350 y 550°C, indicando algún posible cambio estructural y de las características en el material.

Trujillo, 12 de abril del 2018



  
Ing. Danny Mesías Chávez  
Jefe de Laboratorio de Polímeros  
Departamento Ingeniería de Materiales - UNT

Danny M. Chávez Nov.  
ING. MATERIALES  
R. C. P. 84953

# **5. INFORME DE COMBUSTIÓN DE LA PAJA DE TRIGO**



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO DE CALCINACIÓN DE PAJA DE TRIGO

**PROYECTO:** “ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018”

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

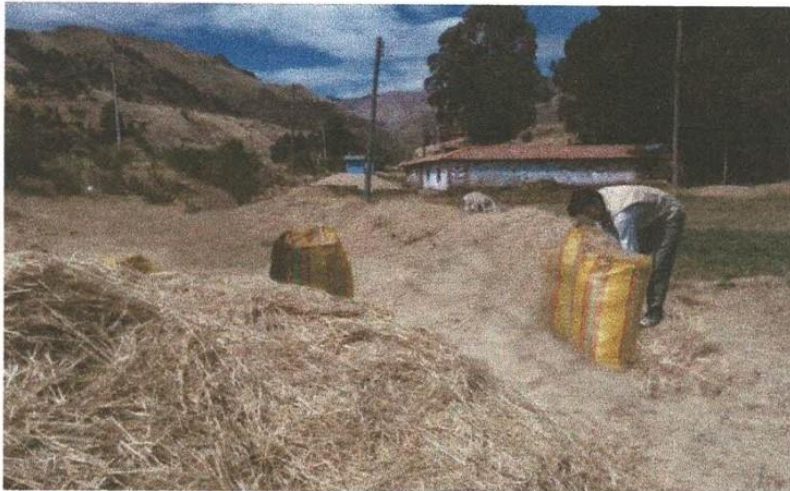
**ASUNTO :** ENSAYO DE CALCINACION DE PAJA DE TRIGO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA TRIGO PRECALCINADO

### INFORME Y PROCESO DE CALCINACIÓN

Para la obtención de la materia prima para la calcinación primero ubicamos el lugar de donde se recolectaría, los lugares más recomendables son las zonal alto andinas donde predomina el cultivo de este producto.



En esta imagen se aprecia la obtención de materia prima en la zona caraz donde se acumula posterior a la separación del grano de la planta o también llamada paja, para luego ser trasladadas al laboratorio.

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

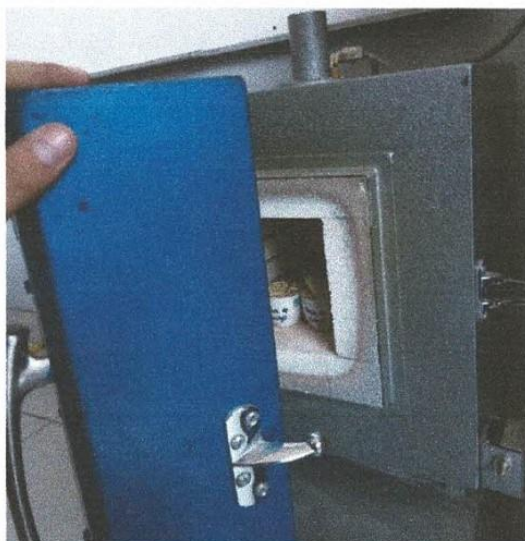
*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
[ucv.edu.pe](http://ucv.edu.pe)



Ya en el laboratorio se procede a su triturado a partículas más pequeñas para colocarlos en pocillos de porcelana para su pre calcinación y luego colocarlos al horno mufla.



Se coloca la paja de trigo en posillos pequeños para su pre calcinación a una baja temperatura de 80°C por un lapso de 3 horas solo para posterior a ello realizar la calcinación.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO



En las imágenes observamos la colocación de la paja de trigo precalcinado al horno en un crisol de porcelana el cual soportara altas temperaturas como 550°C el cual es lo requerido para su calcinación en el horno mufla en el laboratorio de química en la Universidad Cesar Vallejo.



El horno Mufla de 6L que se aprecia en la imagen es de propiedad de la Universidad Cesar Vallejo el cual llega hasta temperaturas de 1200°C para poder realizar ensayos, ya colocados las muestras se regula la temperatura a ensayar.

CAMPUS CHIMBOTE  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



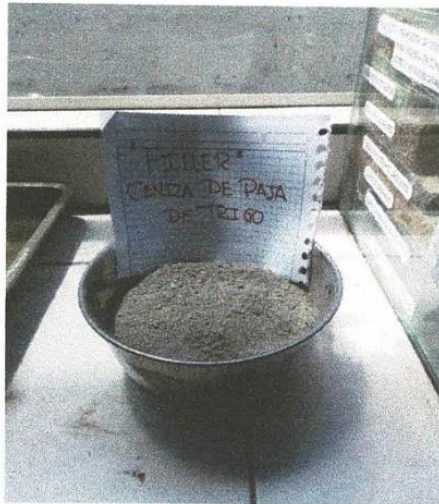
Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TECNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO



Después de la calcinación se retira del horno mufla con guantes térmicos por su alta temperatura luego se coloca en una fuente para su enfriamiento y luego se tamiza obteniendo el filler de paja de trigo, para luego ser utilizado en los fines requeridos.

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
JEFE DE LABORATORIO



# **6. CERTIFICADO ANALISIS QUIMICO DE LA CENIZA DE PAJA DE TRIGO**



### LASACI

## INFORME DE ANÁLISIS

SOLICITANTE	: DIAZ TRUJILLO BRUNO ALEXANDER
TESIS	: "Estabilización de los suelos del caserío de Cascajal Izquierdo con fines de Pavimentos, utilizando cenizas de paja de Trigo-Distrito Chimbote-Ancash-2018"
MUESTRA	: Cenizas de Paja de Trigo
FECHA DE INGRESO	: 16 DE ABRIL DEL 2018
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

DETERMINACION	UNIDADES	RESULTADOS
HUMEDAD	%	1.67
SiO <sub>2</sub>	%	73.86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0.24
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0.37
SO <sub>3</sub>	%	1.3
PERDIDA DE CALCINACION	%	6.71

Método de Ensayo para sulfatos por digestión-espectrofotometro  
Método de ensayo por Absorcion Atomica de hierro y aluminio

TRUJILLO, 19 DE ABRIL DEL 2018





# **7. INFORME DE ESTUDIO FÍSICO DEL SUELO**



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

## INFORME TÉCNICO DE ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

### PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“Estabilización de los suelos del caserío de cascajal izquierdo con fines de pavimentación, utilizando ceniza de paja de trigo – distrito Chimbote, Ancash - 2018”



**Solicitante:** Bruno Alexander Diaz Trujillo

**Apoyo técnico:** Lener H. Villanueva Vásquez

**NUEVO CHIMBOTE, ABRIL DE 2018**

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## INDICE

1.0.- ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS.....	3
1.1 GENERALIDADES.....	3
1.2 METODOLOGIA DE TRABAJO.....	4
2.0.- UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....	6
2.1 CLIMA Y TEMPERATURA.....	8
3.0.- GEOLOGIA DEL AREA EN ESTUDIO.....	9
4.0.- GEOLOGIA REGIONAL.....	13
4.1.- GEOLOGIA LOCAL.....	13
4.2.- TECTONISMO.....	14
5.0.- TRABAJOS DE CAMPO.....	14
6.0.- ENSAYOS DE LABORATORIO.....	15
7.0.- ENSAYOS ESTANDAR.....	15
8.0.-CLASIFICACION DE SUELOS.....	16
9.0.-CARACTERISTICAS DEL TERRENO DE FUNDACION.....	16
10.- DETERMINACION DEL POTENCIAL DE EXPANSION.....	16
11.- DE LOS TERRENOS COLINDANTES.....	17
12.- DATOS GENERALES DE LA ZONA.....	17
13.- EFECTO DE SISMO.....	19
14.- DESCRIPCION DEL PERFIL ESTRATIGRAFICO.....	23
15.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	25

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv\_peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



1.00 ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.

1.1. - GENERALIDADES

**Objetivos**

El objetivo principal del presente estudio de investigación consiste en realizar el estudio de geotecnia y mecánica de suelos, en el marco de la mejora del Estudio Definitivo del Proyecto de investigación "Estabilización de los suelos del caserío de cascajal izquierdo con fines de pavimentación, utilizando ceniza de paja de trigo – distrito Chimbote, Ancash - 2018"

El estudio de suelos está orientado a determinar las características físico-mecánicas en las áreas donde se emplazará el proyecto de investigación, con el propósito de estimar su comportamiento así como sus propiedades de esfuerzo y deformación, proporcionándose las condiciones mínimas, capacidad portante admisible, asentamientos diferenciales y las recomendaciones necesarias.

Para alcanzar el objetivo principal, se requiere alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Elaboración de un estudio geológico que sirva de marco para las investigaciones geotécnicas.
- ✓ Realización de los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.
- ✓ Interpretación de los resultados de las investigaciones geotécnicas de campo y los ensayos de laboratorio.
- ✓ Elaboración de los perfiles estratigráficos y establecimiento de las consideraciones geotécnicas.
- ✓ Elaboración de las recomendaciones técnicas y tipo de edificación.





## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Los objetivos secundarios fueron alcanzados mediante la implementación de una metodología de estudio adecuada y la ejecución de un plan de trabajo, que guardaron correspondencia con los términos de referencia establecidos para el presente estudio.

### 1.2.- Metodología y plan de trabajo

#### Metodología

El conjunto de actividades de campo, laboratorio y gabinete contemplados en la ejecución de las investigaciones geotécnicas, ha sido implementado en tres fases:

##### a) Fase preliminar

Esta fase de trabajo estuvo programada para desarrollarse en un lapso de quince días, durante el cual se realizaron las siguientes actividades:

- Recopilación de información básica existente.
- Planeamiento de las distintas actividades de campo y laboratorio de mecánica de suelos, incluyendo el desplazamiento e instalación del personal técnico, equipos de laboratorio y el apoyo logístico correspondiente.

##### b) Fase de campo y ensayos de laboratorio

- Exploración de campo para el estudio geológico del área de estudio con fines geotécnicos.

Clasificación visual manual de las muestras, Se tomaron muestras alteradas y disturbadas para su análisis en el laboratorio anotando en una libreta sus propiedades físicas observables para complementar los resultados que se obtengan en el laboratorio para los correspondientes ensayos de mecánica de suelos

Los resultados tanto de laboratorio como de campo son plasmados en un perfil estratigráfico que representa la variabilidad de los suelos que conforman el terreno de fundación.

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



**Mg. Víctor Rolando Rojas Silva**  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

**Lener Hamilton Villanueva Vásquez**  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb.com/ucv\_peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

De los materiales encontrados en los diversos estratos (capas), se tomaron muestras selectivas en forma representativa, los cuales se colocaron en bolsas de polietileno (doble), las que fueron descritas e identificadas siguiendo la norma ASTM D-2488 "Practica Recomendable para la Descripción de Suelos", para posteriormente ser trasladados al laboratorio.

### c) Fase de gabinete

Interpretación de los resultados de las investigaciones geotécnicas de campo, ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.

- Elaboración de los perfiles geotécnicos representativos del suelo donde se emplazará la obra en mención. Asimismo, la presentación de las profundidades de las napas freáticas encontradas (en caso de presentarse) y los parámetros físicos de suelo con fines de cimentación.
- Recomendaciones técnicas y diseño estructural de cimentación, consideraciones constructivas y sismo resistentes de las obras.
- Conclusiones y recomendaciones del estudio geotécnico.

### 1.3.- Plan de trabajo

#### a) Planteamiento del estudio

El planeamiento del estudio geotécnico, ha sido realizado como una parte del sistema interno de control de calidad. Esto incluyó:

- La definición del área del estudio.
- Identificación de las tareas de campo, laboratorio y gabinete a ser emprendidas, y los alcances de las mismas.
- Elaboración de metodologías para cada una de las actividades de campo, laboratorio y trabajos de gabinete.
- Establecimiento de la secuencia de actividades y la interdependencia de las mismas.

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



**Mg. Víctor Rolando Rojas Silva**  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

**Lener Hamilton Villanueva Vásquez**  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv\_peru  
@ucv\_peru

#saliradelante

ucv.edu.pe



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

- Procedimientos de interpretación y discusión de los resultados de campo y laboratorio.
- Estimación de los recursos requeridos para el cumplimiento de cada una de las tareas, y determinación de las tareas críticas en cuanto al tiempo y recursos que demanden.

Para el estudio geotécnico, las actividades han sido agrupadas en dos frentes de trabajo:

- Frente de excavación de calicatas.
- Frente de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos granulometría, límites de consistencia, contenido de humedad.

El planteamiento del estudio ha sido basado en los mejores datos disponibles en la literatura técnica, normas y manuales técnicos, y la experiencia en campo del técnico.

### b) Programa de actividades y recursos logísticos

La empresa, ha cumplido con los recursos humanos y logísticos ofrecidos en su propuesta técnica-económica, es decir, se ha mantenido el staff de ingenieros y personal técnico, así como los recursos logísticos ofrecidos y obrero en su totalidad.

### 2.0.- Ubicación del área de estudio

El presente proyecto de investigación se ejecutará en el caserío de cascajal izquierdo perteneciente al Distrito de Chimbote, Provincia del Santa, Departamento de Ancash, Región Ancash. Específicamente el proyecto de investigación es "Estabilización de los suelos del caserío de cascajal izquierdo con fines de pavimentación, utilizando ceniza de paja de trigo – distrito Chimbote, Ancash - 2018"

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



**Mg. Victor Rolando Rojas Siles**  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

**Lener Hamilton Villanueva Vásquez**  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv\_peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
[ucv.edu.pe](http://ucv.edu.pe)



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO



FIGURA

Nº 01: Mapa provincial del departamento de Ancash. La zona en estudio se encuentra en la Provincia de Santa.



FIGURA Nº 02: La zona en estudio se encuentra en las zonas rurales del caserío de cascajal izquierdo.

CAMPUS CHIMBOTE  
 Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
 Av. Central Nuevo Chimbote  
 Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
 Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv\_peru  
 @ucv\_peru  
 #saliradelante  
 ucv.edu.pe

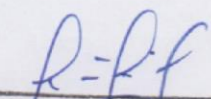




FIGURA N° 03: Mapa del Perú. La zona en estudio se encuentra en el Distrito de Chimbote, Provincia de Santa, Departamento de Ancash.

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000

  
**Mg. Victor Rolando Rojas Silva**  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

  
**Lener Hamilton Villanueva Vásquez**  
TÉCNICO DE LABORATORIO





## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

### 2.1.- CLIMA Y TEMPERATURA:

El distrito de Chimbote presenta un clima soleado. Las temperaturas en el área varían entre 23°C a 26°C en promedio durante los meses de verano (Noviembre a Abril) y a una temperatura promedio mínima de 15 °C durante los meses de invierno (Mayo a Octubre). El promedio de temperatura en verano es de 26°C y el promedio en invierno es de 18°C.

### PRECIPITACION:

Muy raras veces llueve en la región y se sabe de décadas que transcurren sin ella. El régimen de lluvias en la cuenca es relativamente homogéneo, conteniendo en el año dos épocas definidas, una humedad correspondiente a los meses de verano y otra seca ocurriendo básicamente en los meses restantes se pueden considerar como transición entre estas épocas. Se ha observado que el mes de máximas precipitaciones en todas las estaciones analizadas es el mes de marzo y el de mínimas precipitaciones es el mes de Julio.

### HUMEDAD ATMOSFÉRICA:

Como es normal para las zonas costeras, se considera el distrito de Chimbote está en una zona húmeda. El vapor de agua desempeña un rol importante en la evolución de los fenómenos atmosféricos y en las características fundamentales del clima. Una de las formas de expresar el contenido de vapor de agua del aire es por medio de la humedad relativa en las cuatro estaciones meteorológicas ubicadas en Santa. La humedad relativa media mensual histórica es de 73%. Se dispone de información de horas de sol en las estaciones del Puerto de Chimbote y Rinconada en las cuales se establece que el promedio de horas de brillo solar varía de 7 a 9 horas en los meses de verano y en los meses de invierno varía de 5 a 7 horas.

CAMPUS CHIMBOTE  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Víctor Rolando Rojas Siles*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

3.0.- GEOLOGIA DEL AREA EN ESTUDIO

### 3.1. GEOMORFOLOGIA

#### 3.1.1 PRINCIPALES AGENTES MODELADORES

Dentro de los principales que han dado origen a las geoformas actuales, se tiene el agua y el viento como los que han jugado un papel muy importante. Las intensas lluvias que se producen en la región costanera después de largos periodos de sequía, origina grandes torrentes que descienden por las diversas quebradas, los materiales acarreados por dichos torrentes se han acumulado en las planicies bajas en formas de grandes abanicos.

#### 3.1.2. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS.

Las unidades geomorfológicas mayores son la faja costanera, los valles de la vertiente pacífica y las estribaciones de la cordillera occidental, dentro de las cuales se pueden identificar en la zona las siguientes unidades menores.

Cuadrángulo de Chimbote, los afloramientos de gabros y rocas asociados se encuentran en la Isla Blanca, cerró señal Taricay y cerro Tambo. Los afloramientos de gabros tienen coloraciones oscuras que se diferencian de las rocas adyacentes por su mayor resistencia a la erosión. En algunos casos tienen morfología resaltante, como el caso del Cerro Tortugas, Cerro Prieto, Cerro Samanco, etc.

Los componentes intrusivos iniciales del Batolito de la costa Varían en un rango desde gabro a diorita, según sus características jeroglíficas se han separado en los mapas geológicos respectivos cuerpos de gabro, diorita, microdiorita a diablia y un complejo de diques, cada uno de ellos tiene una forma y distribución espacial.

### 3.2. SUPER UNIDAD SANTA ROSA

El lado Oeste del Batolito está compuesto por un complejo muy variado de tonalita acida. Las características petrográfica y de campo de este complejo son muy similares a las del complejo de la región Chancay – Huaura (Cobbing yPitcher, 1972).

Ya que el complejo de la tonalita acida de la región de Casma representa claramente

CAMPUS CHIMBOTE  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb: ucv.peru  
@ucvchimbote  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

la continuación hacia el norte, del Complejo Tonalita Santa Rosa de Cobbing y Pitcher; Child R. (1976) prefiere mantener el nombre y sin embargo cambia la denominación de "Complejo" por la de "Super Unidad"

La súper unidad Santa Rosa es la más amplia de las unidades intrusivas que forman el Batolito cubriendo aproximadamente el 60 % del área total, correspondiente a las rocas intrusivas. Aflora en una extensa franja que va desde Chimbote en el Norte, hasta la quebrada Berna Puquio en el Sur (Culebras) y se prolonga más hacia el Sur a los Cuadrángulos adyacentes

### 3.2.1. DEPOSITOS CUATERNARIOS

La evidencia del levantamiento y erosión de la región se sustenta en la presencia de terrazas marinas levantadas, depósitos marinos recientes, terrazas aluviales levantadas, depósitos aluviales recientes, depósitos eólicos estabilizados y acumulaciones eólicas en actividad, etc. Todos estos depósitos fluvio-aluviales depósitos residuales y aun los deslizamientos constituyen la cobertura del material reciente que recubren gran parte del área de estudio y por simplificación de le ha agrupado como depósitos marinos, eólicos y aluviales.

### 3.2.2. DEPOSITOS MARINOS

Se encuentran distribuidos a lo largo del litoral, especialmente en las bahías y efitrantes; consiste de arenas semiconsolidadas con estratificación sesgada, cuyos componentes son cuarzo de 1 a 3 milímetros, granos oscuros de rocas volcánicas finas en algunos casos con fragmentos de conchas en una matriz de arena gruesa. Los remanentes de depósitos marinos levantados en general se inclinan suavemente hacia el Oeste.

### 3.2.3. DEPOSITOS EOLICOS

Se pueden distinguir dos tipos de arenas eólicas; los montículos de arenas eólicas; los montículos de arena estabilizadas y depósitos de arena en movimiento continua evolución.

CAMPUS CHIMBOTE  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb @ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Las arenas estabilizadas se observan al Este de la ciudad de Chimbote, al Sur de Samanco, etc.

Los procesos eólicos trabajan rápidamente las arenas y cubren los depósitos de playas, estos últimos representan la fuente principal del material eólico que se transporta hacia el continente, El avance continuo de las arenas ha definido cuerpos alargados, longitudinales conocidos como médanos que avanzan hacia el continente sobre yaciendo a rocas cretáceas.

### 3.2.4 DEPOSITOS ALUVIALES

Como se observa en los mapas geológicos los depósitos aluviales son más abundantes en el cuadrángulo de Casma, en estrecha relación con la mayor extensión de rocas plutónicas, las cuales son más fácilmente erosionables, originando depósitos arenosos gruesos y limoarcillas

En los depósitos aluviales se incluyen la terrazas los rellenos de quebradas y valles, así como los depósitos recientes que constituyen las pampas o llanuras aluviales, las terrazas están formadas por gravas arenas y limos que en algunos casos sobreyacen directamente al basamento rocosos, en otros casos constituyen una secuencia gruesa de depósitos aluviales mal seleccionados con clastos de litologías diversas.

En general los depósitos aluviales son más gruesos a heterogéneos hacia el Este, en cambio hacia el Oeste son de fragmentometría más fina y características más homogéneas, por lo que son explotados como agregados y material de construcción.

### GEOLOGÍA GENERAL:

La ciudad de Chimbote y sus alrededores está enmarcada dentro de las siguientes geomorfologías:

Unidad de playas.

Unidad de pantano.

CAMPUS CHIMBOTE  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



**Mg. Víctor Zelando Rojas Silva**  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

**Lener Hamilton Villanueva Vásquez**  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv\_peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Unidad de depósitos aluviales de Shisho.

Unidad de colinas.

Unidad de dunas.

### c) Unidad de playas

Se ubica a lo largo de la costa de la bahía de Chimbote y Santa, con un ancho promedio de 10 a 30 m. Está constituido de arenas gruesas, arenas finas y conchas marinas, con intercalaciones de arcillas en los laterales.

### d) Unidad de pantanos

Limitada por la unidad de playas y ubicada dentro del gran abanico aluvial de Santa, presentándose con nivel freático casi superficial y en las áreas distantes del cono aluvial a consecuencia de la crecida del río Shisho, cuyas aguas se infiltran y fluyen subterráneamente hacia el mar.

En épocas de ocurrencia del Fenómeno "El Niño", el área de pantanos aumenta de extensión superficial, provocando inestabilidades.

### e) Unidad de depósitos aluviales del río Shisho

Se encuentra a lo largo del cono aluvial, ensanchándose cerca a la desembocadura del río Shisho en el Océano Pacífico. Los depósitos aluviales se extienden desde Chimbote hasta Santa.

Dentro de esta unidad se encuentra el cauce fluvial del río Shisho, que en épocas de crecidas produce la erosión local y general del cauce e inundación de las planicies inundables, comprometiendo la seguridad de las obras de ingeniería emplazadas en el cauce y faja marginal del río.

Dicha unidad está constituida de arenas, limos y gravas en profundidades de 5 m a 10 m. El nivel freático varía desde 0,00 m (pantano) hasta 1.50 m de profundidad (áreas limítrofes del abanico).

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



**Mg. Victor Rolando Rojas Silva**  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

**Lener Hamilton Villanueva Vásquez**  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv\_peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
[ucv.edu.pe](http://ucv.edu.pe)



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

### f) Unidad de colinas

Es parte de la vertiente andina, constituida de rocas graníticas cubiertas superficialmente con arenas eólicas, formando colinas suaves y onduladas cuyas pendientes varían de 3° a 10°, como se observa en el reservorio R-III y alrededores. En esta unidad se aprecian depósitos coluviales y proluviales, de granulometría heterométrica.

### g) Unidad de dunas

Son depósitos eólicos ubicados en la margen derecha del río Shisho tienen un espesor de 10 m a 20 m aproximadamente.

## 4.0.- GEOLOGÍA REGIONAL:

Geológicamente, a nivel regional se han reconocido las siguientes unidades estratigráficas:

### a) Cretáceo.-

#### Grupo Casma

Es una secuencia volcánica andesítica, conformada por lavas y brechas, de composición básicamente de andesita y porfírica que presentan fenocristales de plagioclasas anfíboles y en menor proporción piroxenos. También se observan alteraciones de tipo propilítico, cloritización y silicificación incipiente. En la ciudad de Chimbote el volcánico se encuentra expuesto principalmente en el extremo norte por los cerros Chimbote y Tambo Real, y en el extremo Sur-Este por los cerros Península y División.

La edad de los depósitos anteriores ha sido ubicada a fines del periodo jurásico y creácico superior.

### b) Intrusivos.-

Este segundo tipo de afloramiento existente en la zona se encuentra representado por formaciones de granodiorita, cuya coloración oscila entre gris oscuro y gris claro, su grano varía entre medio y grueso; teniendo su mejor exposición en el lado Este de la ciudad, en las colinas de las Pampas de Chimbote.

CAMPUS CHIMBOTE  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv\_peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

### c) Cuaternario.-

Son los más predominantes en el área de estudio, formada por extensos depósitos la arena eólica, formando muchas veces colinas de poca elevación. Se nota la presencia de materiales aluvionales y fluviales formando depósitos a lo largo del lecho antiguo del Río Shisho, así como en el extremo Norte de la ciudad, conocidos como Cascajal, La Mora, etc. y están constituidos principalmente por los siguientes depósitos:

### 4.2.- Tectonismo

Esta región es considerada como un área de concentración sísmica caracterizada por movimientos con hipocentros entre 40 y 70 Km. de profundidad frente al litoral de Chimbote y en la falla de Cerro península en Samanco, con relación a los focos sísmicos indicados se estima que en 70 años se puede alcanzar una magnitud de 6.9 mb y una aceleración de 0.28g para condiciones medidas de cimentación en material blando.

### 5.0.- Trabajo de campo

#### **Calicata.**

Con la finalidad de definir el perfil estratigráfico se realizó la apertura de una calicata a cielo abierto de aproximadamente 1.50 mts. De profundidad, el promedio de mi calicata dentro del Sector, denominándola como C-1, C-2, C-3 y C-4, la cual se ubican en el área de estudio, la ubicación de dicha calicata se muestra en el croquis adjunto.

El plano mostrando la ubicación de los sondeos efectuadas, se presenta en el Anexo.

- La relación resumida de las prospecciones realizadas así como los registros de excavaciones se incluyen en el Anexo.

CAMPUS CHIMBOTE  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe





## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**5.1.- Muestreo:** se tomaron muestras alteradas o disturbadas de cada estrato, las cuales fueron guardadas y selladas y enviadas al laboratorio, realizándose ensayos con fines de identificación y clasificación.

### *Registro de sondaje*

Paralelamente al avance de las excavaciones de los sondeos, se realizó el registro de excavación vía clasificación manual visual según ASTM D2488, descubriéndose las principales características de los suelos encontrados tales como; espesor tipo de suelo, color, plasticidad, humedad, compacidad etc.

Una apropiada inferencia de los diferentes estratos constitutivos del subsuelo del lugar del emplazamiento de la obra.

### **6.0.- Ensayos de laboratorio.-**

#### *Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos*

Con las muestras alteradas obtenidas de los sondeos realizados, se han ejecutado los siguientes ensayos estándar: 4 ensayo de análisis granulométrico por tamizado, 4 ensayos de límite líquido y 4 límite plástico, 4 ensayo de contenido de humedad, Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de Universidad Cesar Vallejo, han sido clasificadas utilizando el Sistema Unificado de

Clasificación (SUCS) y American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Los ensayos fueron realizados de acuerdo a las

Norma Peruana E.050 de Mecánica de Suelos, American Society for Testing and Materials (ASTM), American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Los resultados de los ensayos de mecánica de suelos estándar se presentan en el Anexo.

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



**Mg. Víctor Rolando Rojas Silva**  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

**Lener Hamilton Villanueva Vásquez**  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv\_peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
[ucv.edu.pe](http://ucv.edu.pe)



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**7.0.- ENSAYOS ESTARDAR:** con las muestras representativas extraídas se realizaron los siguientes ensayos:

1. Análisis Granulométrico. ASTM D 422
2. Contenidos de Humedad. ASTM D 2216
3. Clasificación de los suelos SUCS, ASTM D 2487
4. Descripción visual de los suelos ASTM D 2487

### 8.0.- CLASIFICACION DE SUELO

Las muestras ensayadas se han clasificado de acuerdo a American Association of State Highway Oficial (AASHTO) y al Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCCS).

### 9.0.- CARACTERISTICAS DEL TERRENO DE FUNDACION.-

De acuerdo al análisis efectuado de la estratigrafía del subsuelo y a los ensayos de laboratorio realizado, se concluye que el suelo natural más desfavorable encontrado en el área de estudio, es del tipo A-6, está conformado por un material que presenta las siguientes características:

- |                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| -Permeabilidad                    | - Alta |
| - Expansión                       | - Baja |
| - Valor como terreno de fundación | - Baja |
| - Característica de Drenaje       | - Baja |

### 10.- DETERMINACION DEL POTENCIAL DE EXPANSIÓN.

De acuerdo a Seed, Woodward y Lundgren, establecieron la siguiente tabla de potencial de expansión determinada en laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



**Mg. Victor Rolando Rojas Silva**  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

**Lener Hamilton Villanueva Vásquez**  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv\_peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
[ucv.edu.pe](http://ucv.edu.pe)



INDICE DE PLASTICIDAD	POTENCIAL DE EXPANSION
0 -15	BAJO
15 -35	MEDIO
35 - 55	ALTO
>55	MUY ALTO

Se ha estimado el potencial de expansión para cada uno de los puntos de investigación del área en estudio, según los ensayos realizados se desprende que hay presencia de suelos poco o nada expansibles.

#### 11.00.- DE LOS TERRENOS COLINDANTES

- En el área del proyecto de investigación no se ha podido verificar otros estudios Similares al presente.
- ✓ *De las cimentaciones adyacentes*
  - Se ha verificado que la mayoría de las edificaciones adyacentes son de material rustico de tan solo 01 piso. Por la ubicación de las obras previstas en el proyecto, las edificaciones adyacentes no afectaran a las edificaciones a realizarse.

#### 12.00.- DATOS GENERALES DE LA ZONA.

a) **Geodinámica Externa.** – Respecto a este fenómeno lo que se puede anotar es que la zona en estudio se encuentra dentro de la región Media de Sismicidad en el Perú en la Zona 4 cuyo factor es  $Z = 0.45$ , el cual se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

Como un antecedente relativamente cercano tenemos el terremoto del 31 de Mayo de 1970, el cual fue uno de los más catastróficos de la Historia, su epicentro fue localizado a  $9.4^\circ$  Latitud Sur y  $79.3^\circ$  Longitud Oeste, el cual produjo una

CAMPUS CHIMBOTE  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



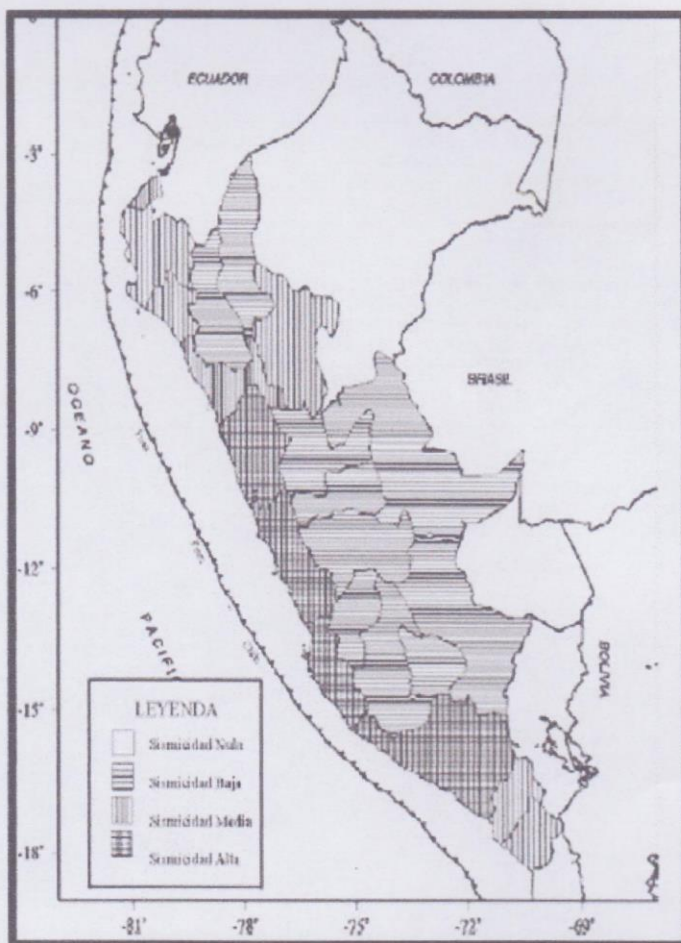


## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

aceleración de 0.24g. La magnitud calculada fue de 7.5° en la escala de Richter, la cual fue menor al Sismo del 26 de febrero de 1619 que alcanzó 7.8° en la escala de Richter.

ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

**Fuente:** Norma Técnica E.030 "Diseño Sismo resistente" Del Reglamento Nacional De Edificaciones 2016.



**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



**Mg. Victor Rolando Rojas Silva**  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

**Lener Hamilton Villanueva Vásquez**  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb: [ucv\\_peru](#)  
[@ucv\\_peru](#)  
#saliradelante  
[ucv.edu.pe](#)



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

- b) **terrenos colindantes.**- Adyacentes al terreno se encuentran viviendas y construcciones de la población

### 13.00- EFECTO DE SISMO

La zona de estudio corresponde al distrito de Chimbote en el departamento de Ancash, la cual se encuentra dentro de la zona 4 del mapa de zonificación sísmica del Perú de acuerdo a la Norma de Diseño Sismorresistente E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones (2016) como se puede observar en la figura 1.

En la figura 2 se muestra el mapa de distribución de máximas intensidades en el Perú. Las fuerzas sísmicas horizontales pueden calcularse de acuerdo a las normas de diseño sismorresistente según la siguiente relación:

$$V = \frac{ZUCS}{R} .P$$

- ✓ Para la zona donde se cimentara, el suelo de cimentación es arena limosa la cual tendrá los siguientes parámetros sísmicos: S es el factor Suelo con un valor de  $S=1.1$ , para un periodo predominante de  $T_p=1.0$  s, y Z es el factor de la zona 4 resultando  $Z=0.45g$ .

Para el análisis seudo estático se ha empleado una aceleración máxima de  $0.42g$ , y según la literatura técnica internacional para la selección del coeficiente del análisis seudo estático se ha considerado la mitad de la aceleración máxima de la zona y cuyo valor es  $0.21$ .

CAMPUS CHIMBOTE  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO





## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

En la figura 3 se muestra los valores de isoaceleraciones para un periodo de retorno de 500 años y para una vida útil de 50 años, con una excedencia de 10%.



FIGURA N° 1: Mapa de Zonificación Sísmica del Perú, según el Reglamento Nacional de Edificaciones (2016).

CAMPUS CHIMBOTE  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Relando Rojas Silva  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Lener Hamilton Vilamueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



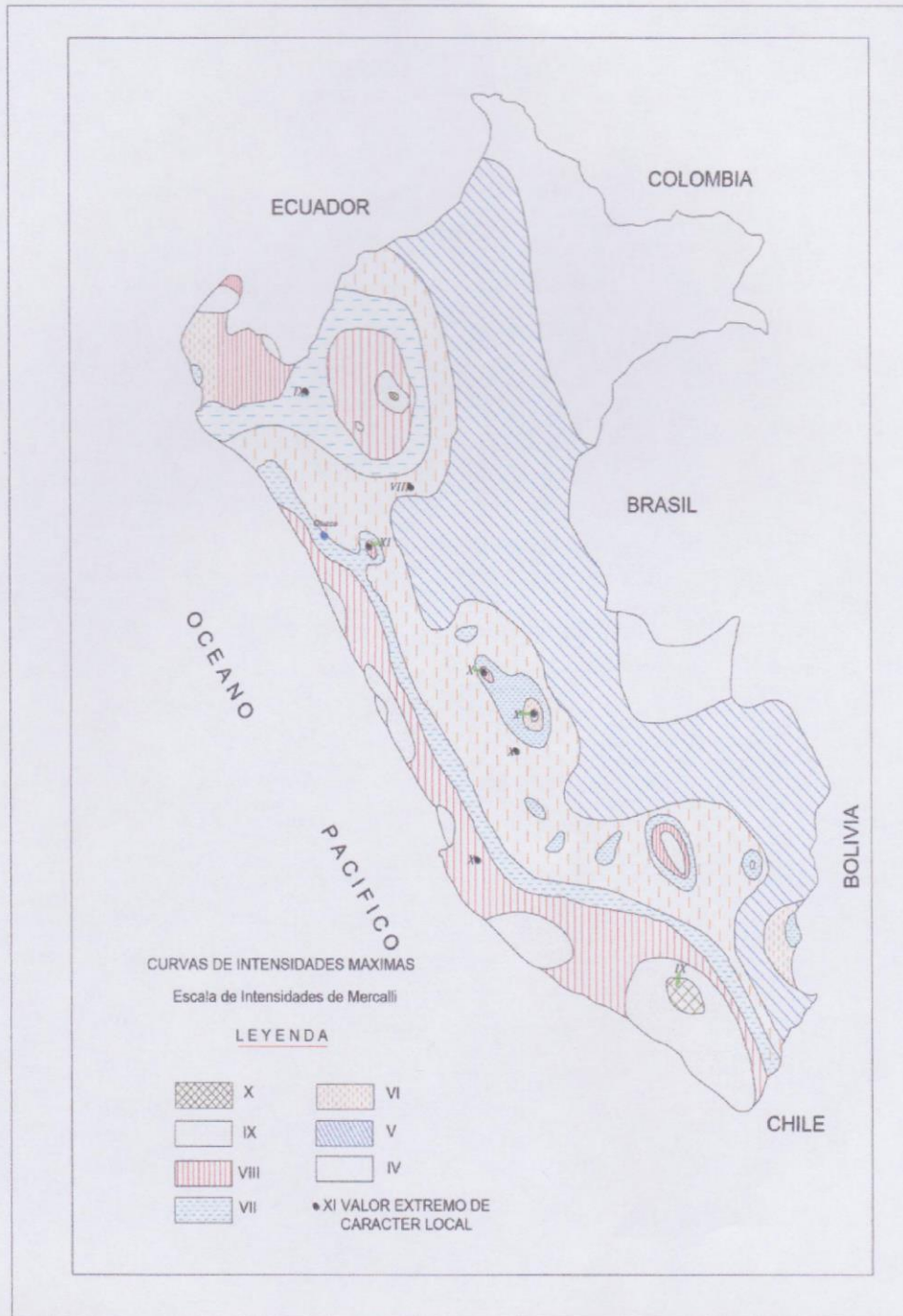


FIGURA N° 2: Mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas (Alva et al., 1984).

CAMPUS CHIMBOTE  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO



FIGURA N°3: Mapa de Isoaceleraciones para 475 años de Periodo de Retorno

CAMPUS CHIMBOTE  
 Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
 Av. Central Nuevo Chimbote  
 Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



**Mg. Victor Rolando Rojas Silva**  
 Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*[Handwritten signature]*

**Lener Hamilton Villandeva Vásquez**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



fb: ucv\_peru  
 @ucv\_peru  
 #saliradelante  
 ucv.edu.pe





#### 14.00 - DESCRIPCION DEL PERFIL ESTRATIGRAFICO.

En base a los ensayos de campo se deduce la siguiente conformación:

La calicata N° 01, 02, 03 y 04, Tiene una profundidad de 1.50 m. No presenta nivel freático a la profundidad de 1.50 m; Está conformado por una capa uniforme de un suelo arcilloso, además presenta 0.10 m de tierra de cultivo por acarreo de avenida de color gris oscuro, con presencia de finos plásticos, condición in situ: no saturado y en estado compacto.

#### 15.0- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Basándose en los trabajos de campo y ensayos de laboratorio realizados, así como el análisis efectuado, se puede concluir lo siguiente:

- El suelo encontrado en esta zona presenta una capa superficial de terreno de cultivo, luego una capa uniforme de suelo arcilloso o también llamado, arcilla de baja plasticidad arenosa la cual nos una inestabilidad al encontrarse en contacto con agua..
- No se cuenta con napa freática.
- El perfil geotécnico descrito precedentemente se considera de buena calidad mecánica en general, los suelos arcillosos en contacto con una humedad optima se llega considerar de buena calidad mecánica para terrenos con fines de pavimentación.





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ANEXOS

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villalueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucvchimbote  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ANEXO ENSAYOS DE ANALISIS GRANULOMETRICO

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



**Mg. Victor Rolando Rojas Silva**  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

**Lener Hamilton Villanueva Vásquez**  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
[ucv.edu.pe](http://ucv.edu.pe)



**ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

(NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.012, ASTM D422)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

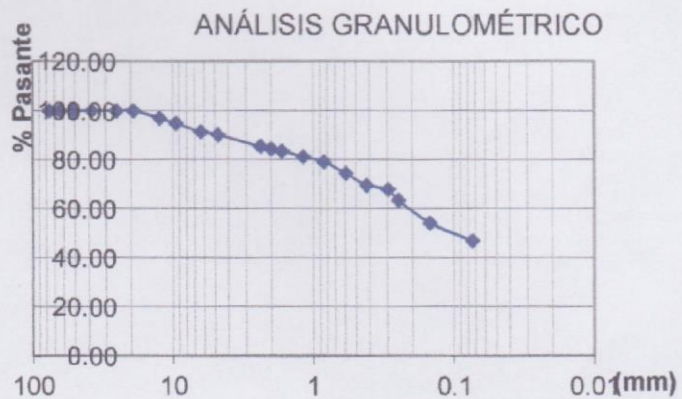
**ASUNTO :** ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 01

**TABLA: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

Desing. del Tamiz US	A Peso Retenido gr.	B % Pasante
1/2	61.10	3.06
3/8	43.10	2.16
1/4	65.00	3.25
Nº 4	26.00	1.30
Nº 8	95.90	4.80
Nº 10	20.90	1.05
Nº 12	16.90	0.85
Nº 16	43.90	2.20
Nº 20	43.00	2.15
Nº 30	94.40	4.72
Nº 40	96.20	4.81
Nº 50	37.50	1.88
Nº 60	87.00	4.35
Nº 100	185.90	9.30
Nº 200	145.50	7.28
P Nº 200	937.70	46.89



Grava (%)	8.46
Arena (%)	44.65
Finos (%)	46.89
Límite Líquido	12.00
Límite Plástico	NP
Índice Plasticidad	12.00
Clasif. SUCS	SC
Clasif. AASHTO	A6
Contenido de Humedad	3.26

**Nota:**

SUCS: Suelo arcilloso

AASHTO: Arena arcillosa

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



**Mg. Victor Rolando Rojas Silva**  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

**Lener Hamilton Villanueva Vásquez**  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



## ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

(NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.012, ASTM D422)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

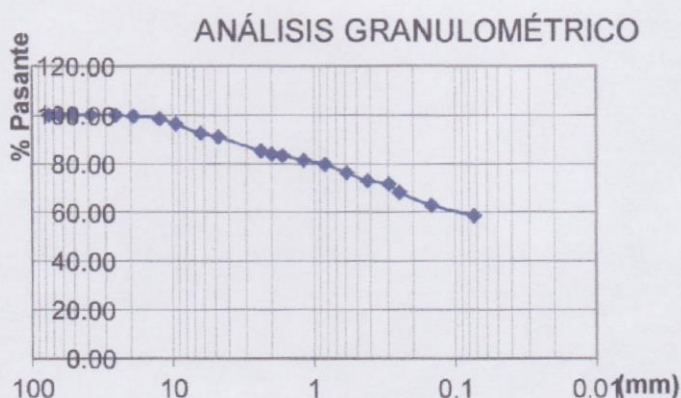
**ASUNTO :** ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 02

**TABLA: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

Desing. del Tamiz US	A Peso Retenido gr,	B % Pasante
1	0.00	0.00
3/4	7.60	0.38
1/2	19.50	0.98
3/8	45.10	2.26
1/4	77.70	3.89
Nº 4	29.00	1.45
Nº 8	114.40	5.72
Nº 10	24.70	1.24
Nº 12	13.30	0.67
Nº 16	37.30	1.87
Nº 20	34.70	1.74
Nº 30	70.10	3.51
Nº 40	65.80	3.29
Nº 50	25.90	1.30
Nº 60	70.10	3.51
Nº 100	103.70	5.19
Nº 200	86.90	4.35
P Nº 200	1174.20	58.71



Grava (%)	7.50
Arena (%)	33.80
Finos (%)	58.70
Límite Líquido	12.00
Límite Plástico	NP
Índice Plasticidad	12.00
Clasif. SUCS	CL
Clasif. AASHTO	A6
Contenido de Humedad	3.25

**Nota:**

SUCS: Suelo arcilloso

AASHTO: Arcilla baja plasticidad arenosa.

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



**Mg. Victor Rolando Rojas Silva**  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

**Lener Hamilton Villanueva Vásquez**  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

(NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.012, ASTM D422)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

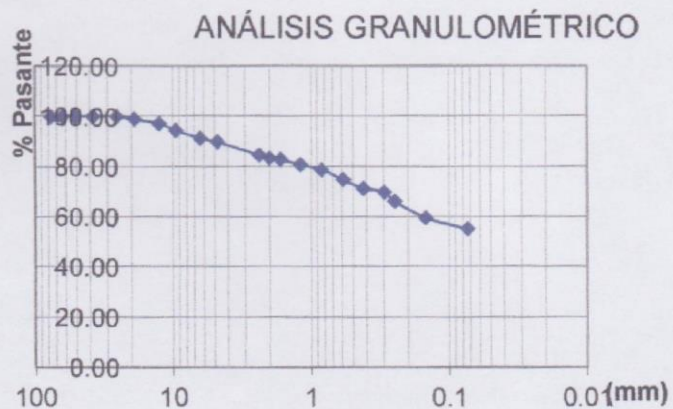
**ASUNTO :** ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 03

**TABLA: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

Desing. del Tamiz US	A Peso Retenido gr.	B % Pasante
1	0.00	0.00
3/4	22.50	1.13
1/2	35.50	1.78
3/8	52.60	2.63
1/4	61.80	3.09
Nº 4	32.90	1.65
Nº 8	101.80	5.09
Nº 10	23.50	1.18
Nº 12	15.40	0.77
Nº 16	39.30	1.97
Nº 20	40.10	2.01
Nº 30	80.30	4.02
Nº 40	70.80	3.54
Nº 50	27.50	1.38
Nº 60	75.40	3.77
Nº 100	130.70	6.54
Nº 200	90.70	4.54
P Nº 200	1099.20	54.96



Grava (%)	8.62
Arena (%)	36.42
Finos (%)	54.96
Límite Líquido	11.00
Límite Plástico	NP
Índice Plasticidad	11.00
Clasif. SUCS	CL
Clasif. AASHTO	A6
Contenido de Humedad	3.28

**Nota:**

SUCS: Suelo arcilloso

AASHTO: Arcilla baja plasticidad arenosa.

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



**Mg. Victor Rolando Rojas Silva**  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Masquez



fb/ucv\_peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



## ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

(NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.012, ASTM D422)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO - DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

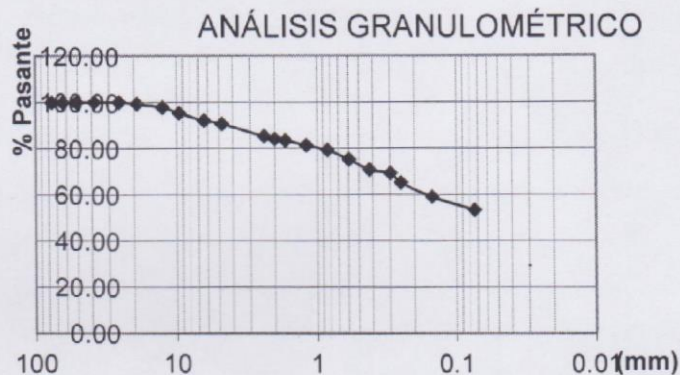
**ASUNTO :** ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C - 04

**TABLA: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

Desing. del Tamiz US	A Peso Retenido gr.	B % Pasante
1	0.00	0.00
3/4	15.50	0.78
1/2	27.20	1.36
3/8	48.70	2.44
1/4	64.20	3.21
Nº 4	28.00	1.40
Nº 8	108.00	5.40
Nº 10	22.80	1.14
Nº 12	14.30	0.72
Nº 16	42.30	2.12
Nº 20	41.40	2.07
Nº 30	79.40	3.97
Nº 40	88.90	4.45
Nº 50	30.10	1.51
Nº 60	82.50	4.13
Nº 100	125.00	6.25
Nº 200	112.60	5.63
P Nº 200	1069.10	53.46



Grava (%)	7.78
Arena (%)	38.76
Finos (%)	53.46
Límite Líquido	12.00
Límite Plástico	NP
Índice Plasticidad	12.00
Clasif SUCS	CL
Clasif AASHTO	A6
Contenido de Humedad	3.05

**Nota:**

SUCS: Suelo arcilloso

AASHTO: Arcilla baja plasticidad arenosa.

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Lenny Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## FOTOGRAFIAS

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villacueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe

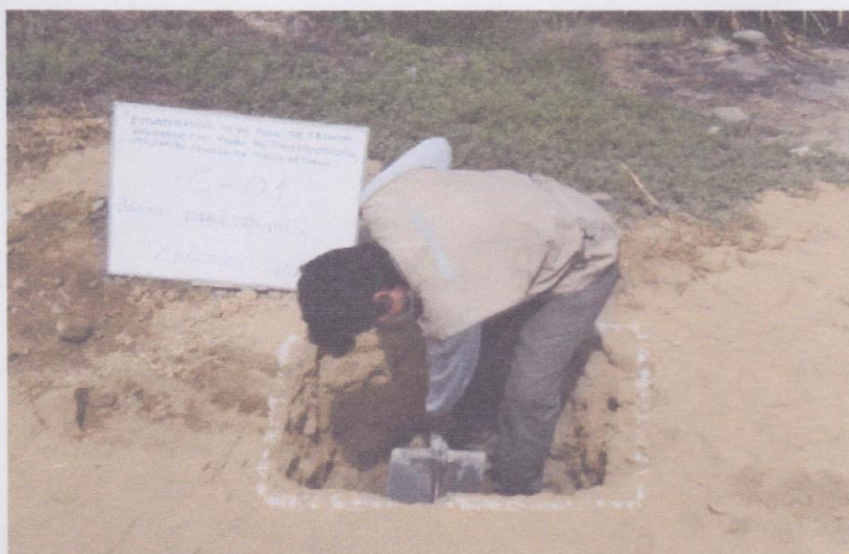




UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO



En la imagen se observa donde se realizará el ensayo, vía alterna en caserío cascajal izquierdo.



En la imagen se aprecia la realización de la calicata para la toma de muestra a una profundidad de 1.50 m

CAMPUS CHIMBOTE  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



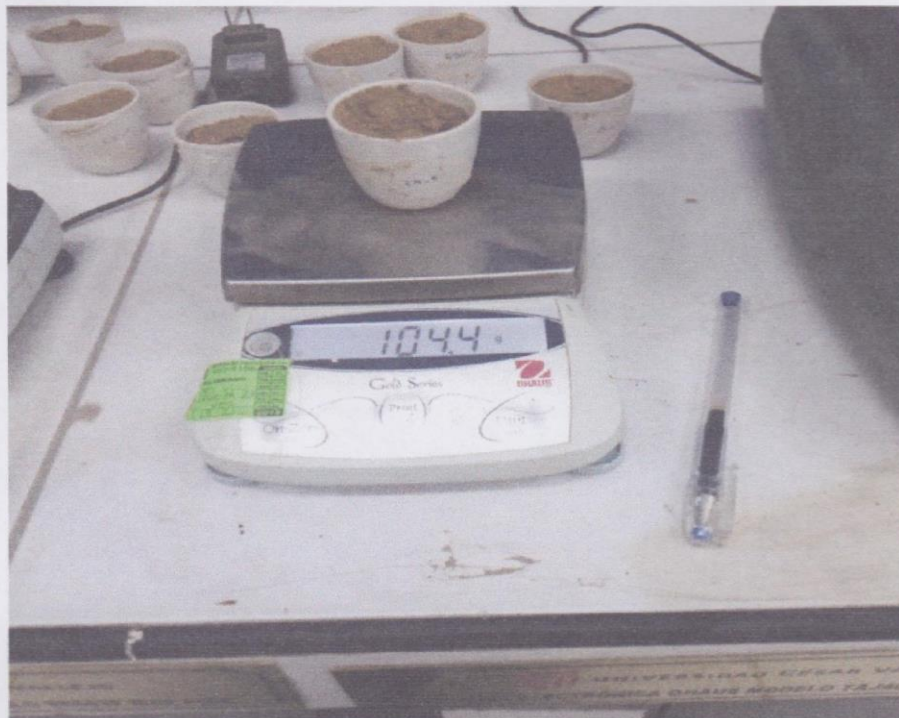
fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO



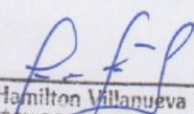
En la imagen se aprecia la medición de la calicata para ver la profundidad a la cual se tomara la muestra.



En la imagen se aprecia el pesado de las taras y el pesado de la tara más la muestra para la obtención del contenido de humedad

CAMPUS CHIMBOTE  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000

  
**Mg. Victor Rolando Rojas Silva**  
Ingeniero de la Especialidad de Ingeniería Civil

  
**Lener Hamilton Villanueva Vásquez**  
TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO



En la imagen se aprecia el pesado de la muestra para empezar con la realización del tamizado



En la imagen se aprecia la realización del tamizado el cual tomara entre unos 10 minutos

CAMPUS CHIMBOTE  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/UCV-CHIMBOTE  
@ucv\_peru  
#saliradelante

ucv.edu.pe

# **8. CERTIFICADO DE ESTUDIO MECÁNICO DEL SUELO**



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 01

**TABLA: COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

Porcentaje de Agua		3%	6%	9%	12%	15%	
Peso suelo + molde	gr	5751.10	5887.70	5958.80	5946.00	5975.50	
Peso molde	gr	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	
Peso suelo húmedo compactado	gr	1674.60	1811.20	1882.30	1869.50	1899.00	
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	913.35	913.35	913.35	913.35	913.35	
Peso volumétrico húmedo	gr	1.83	1.98	2.06	2.05	2.08	
Recipiente	N°	01	02	03	04	05	
Peso del suelo húmedo+tara	gr	142.60	115.40	140.40	149.50	145.80	
Peso del suelo seco+tara	gr	135.90	106.50	126.80	132.40	125.50	
Tara	gr	27.50	11.40	11.70	26.60	26.20	
Peso de agua	gr	6.70	8.90	13.60	17.10	20.30	
Peso del suelo seco	gr	108.40	95.10	115.10	105.80	99.30	
Contenido de agua	%	<b>6.18</b>	<b>9.36</b>	<b>11.82</b>	<b>16.16</b>	<b>20.44</b>	
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.727</b>	<b>1.813</b>	<b>1.843</b>	<b>1.762</b>	<b>1.726</b>	
						Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.846</b>
						Humedad óptima (%)	<b>11.40</b>

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Homilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

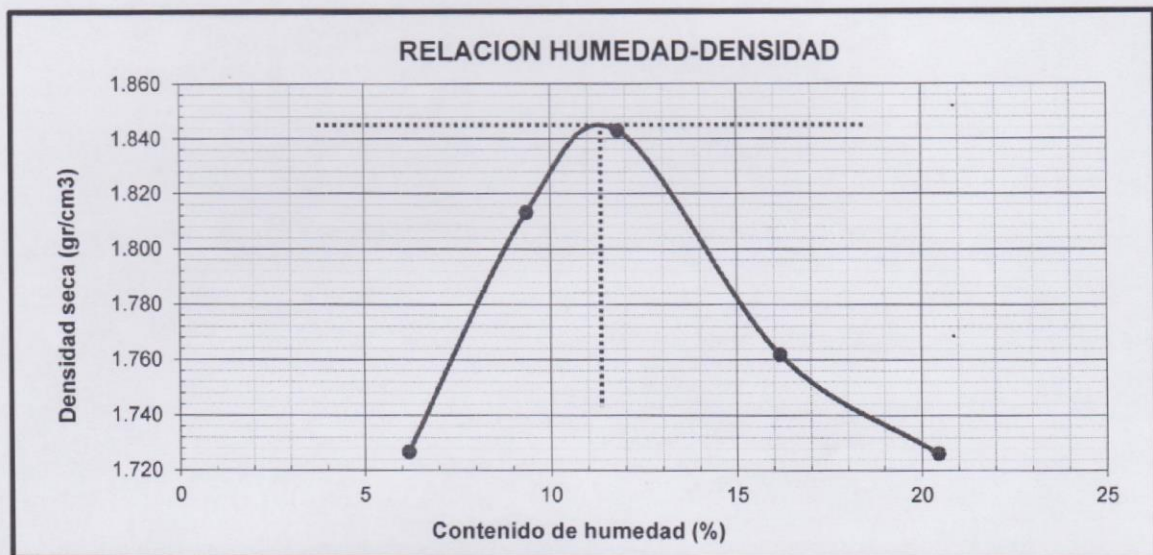
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO - DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C - 01



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucvperu  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 01 CON 25% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO

**TABLA: COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

Porcentaje de Agua		3%	6%	9%	12%	15%	
Peso suelo + molde	gr	5914.30	6035.80	6101.40	6039.80	6023.20	
Peso molde	gr	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	
Peso suelo húmedo compactado	gr	1837.80	1959.30	2024.90	1963.30	1946.70	
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	913.35	913.35	913.35	913.35	913.35	
Peso volumétrico húmedo	gr	2.01	2.15	2.22	2.15	2.13	
Recipiente	N°	01	02	03	04	05	
Peso del suelo húmedo+tara	gr	143.50	144.30	143.50	144.50	160.10	
Peso del suelo seco+tara	gr	136.90	134.20	129.20	126.30	136.80	
Tara	gr	26.40	28.20	28.40	26.40	26.40	
Peso de agua	gr	6.60	10.10	14.30	18.20	23.30	
Peso del suelo seco	gr	110.50	106.00	100.80	99.90	110.40	
Contenido de agua	%	<b>5.97</b>	<b>9.53</b>	<b>14.19</b>	<b>18.22</b>	<b>21.11</b>	
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.899</b>	<b>1.959</b>	<b>1.942</b>	<b>1.818</b>	<b>1.760</b>	
						Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	1.962
						Humedad óptima (%)	11.20

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

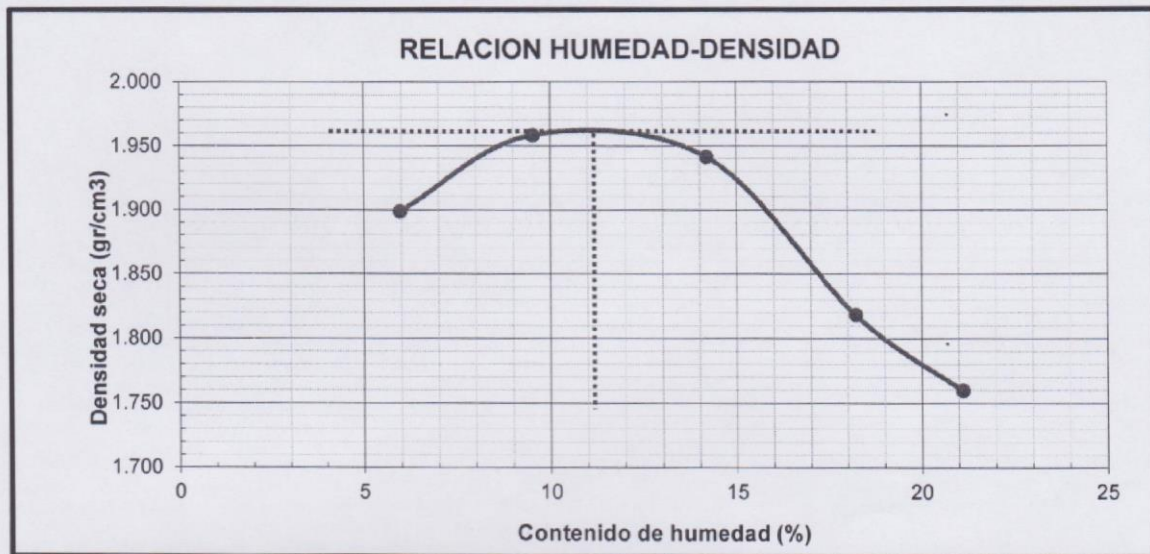
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 01 CON 25% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv\_peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 01 CON 35% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO

**TABLA: COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

Porcentaje de Agua		3%	6%	9%	12%	15%
Peso suelo + molde	gr	5867.00	5988.40	6100.90	6097.10	6044.90
Peso molde	gr	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50
Peso suelo húmedo compactado	gr	1790.50	1911.90	2024.40	2020.60	1968.40
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	913.35	913.35	913.35	913.35	913.35
Peso volumétrico húmedo	gr	1.96	2.09	2.22	2.21	2.16
Recipiente	N°	01	02	03	04	05
Peso del suelo húmedo+tara	gr	146.20	151.90	152.50	170.10	152.70
Peso del suelo seco+tara	gr	138.80	142.80	139.20	150.30	131.30
Tara	gr	26.60	27.70	28.00	28.00	28.50
Peso de agua	gr	7.40	9.10	13.30	19.80	21.40
Peso del suelo seco	gr	112.20	115.10	111.20	122.30	102.80
Contenido de agua	%	<b>6.60</b>	<b>7.91</b>	<b>11.96</b>	<b>16.19</b>	<b>20.82</b>
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.839</b>	<b>1.940</b>	<b>1.980</b>	<b>1.904</b>	<b>1.784</b>
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )						1.983
Humedad óptima (%)						11.60

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Vianueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

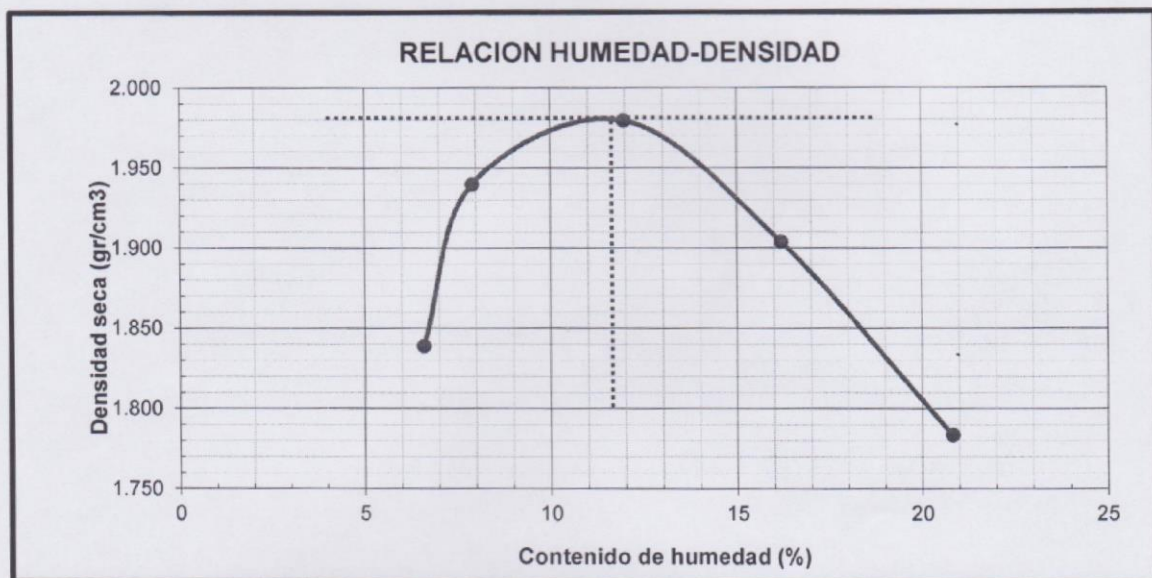
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 01 CON 35% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villantueva Vásquez*  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 01 CON 45% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO

**TABLA: COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

Porcentaje de Agua		3%	6%	9%	12%	15%
Peso suelo + molde	gr	5922.10	6014.20	6092.10	6098.90	6084.50
Peso molde	gr	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50
Peso suelo húmedo compactado	gr	1845.60	1937.70	2015.60	2022.40	2008.00
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	913.35	913.35	913.35	913.35	913.35
Peso volumétrico húmedo	gr	2.02	2.12	2.21	2.21	2.20
Recipiente	N°	01	02	03	04	05
Peso del suelo húmedo+tara	gr	157.50	150.90	148.30	175.10	164.50
Peso del suelo seco+tara	gr	148.80	139.72	132.80	152.20	139.60
Tara	gr	26.20	28.00	26.50	21.20	27.80
Peso de agua	gr	8.70	11.18	15.50	22.90	24.90
Peso del suelo seco	gr	122.60	111.72	106.30	131.00	111.80
Contenido de agua	%	<b>7.10</b>	<b>10.01</b>	<b>14.58</b>	<b>17.48</b>	<b>22.27</b>
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.887</b>	<b>1.929</b>	<b>1.926</b>	<b>1.885</b>	<b>1.798</b>
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )						1.933
Humedad óptima (%)						12.00

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Eblando Rojas Silva  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv\_peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

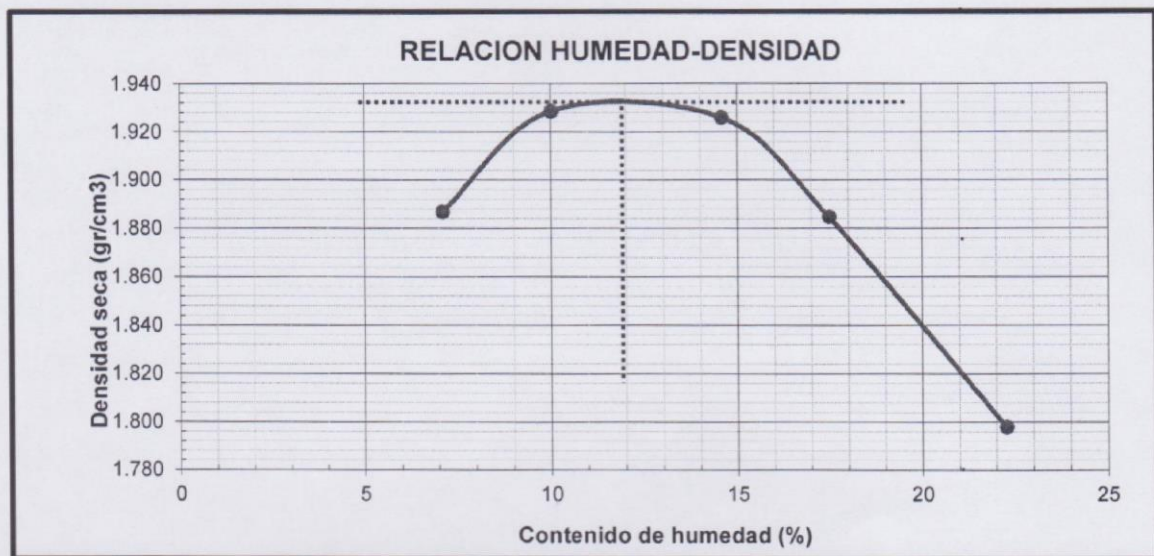
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 01 CON 45% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv-peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 02

**TABLA: COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

Porcentaje de Agua		3%	6%	9%	12%	15%
Peso suelo + molde	gr	5423.40	5894.10	5885.50	5706.30	5575.20
Peso molde	gr	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50
Peso suelo húmedo compactado	gr	1346.90	1817.60	1809.00	1629.80	1498.70
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	913.35	913.35	913.35	913.35	913.35
Peso volumétrico húmedo	gr	1.47	1.99	1.98	1.78	1.64
Recipiente	Nº	01	02	03	04	05
Peso del suelo húmedo+tara	gr	124.80	122.10	111.00	158.60	168.60
Peso del suelo seco+tara	gr	118.20	112.40	100.01	140.50	144.80
Tara	gr	16.40	11.60	11.10	27.80	27.70
Peso de agua	gr	6.60	9.70	10.99	18.10	23.80
Peso del suelo seco	gr	101.80	100.80	88.91	112.70	117.10
Contenido de agua	%	<b>6.48</b>	<b>9.62</b>	<b>12.36</b>	<b>16.06</b>	<b>20.32</b>
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.385</b>	<b>1.815</b>	<b>1.763</b>	<b>1.537</b>	<b>1.364</b>
<i>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</i>						1.820
<i>Humedad óptima (%)</i>						10.50

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv\_peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

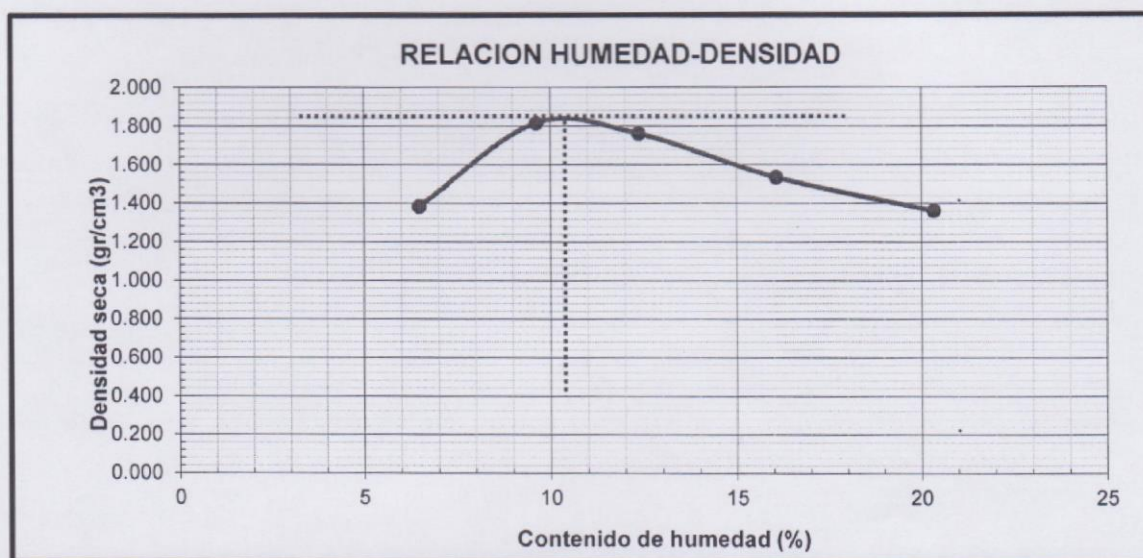
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 02



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Bolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



**ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"  
**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO  
**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO  
**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO  
**UNIDAD :** MUESTRA C – 02 CON 25% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO

**TABLA: COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

Porcentaje de Agua		3%	6%	9%	12%	15%
Peso suelo + molde	gr	5820.90	5911.40	6020.20	6032.00	6048.40
Peso molde	gr	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50
Peso suelo húmedo compactado	gr	1744.40	1834.90	1943.70	1955.50	1971.90
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	913.35	913.35	913.35	913.35	913.35
Peso volumétrico húmedo	gr	1.91	2.01	2.13	2.14	2.16
Recipiente	N°	01	02	03	04	05
Peso del suelo húmedo+tara	gr	133.80	131.20	141.20	169.10	123.60
Peso del suelo seco+tara	gr	127.10	122.40	126.10	147.50	105.40
Tara	gr	16.30	16.30	21.20	26.50	15.90
Peso de agua	gr	6.70	8.80	15.10	21.60	18.20
Peso del suelo seco	gr	110.80	106.10	104.90	121.00	89.50
Contenido de agua	%	6.05	8.29	14.39	17.85	20.34
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.801	1.855	1.860	1.817	1.794
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )						1.864
Humedad óptima (%)						12.00

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
 Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
 Av. Central Nuevo Chimbote  
 Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
 Director de la Escuela De Ingeniería Civil

Lener Hamilton Manueva Vásquez  
 TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
 @ucv\_peru  
 #saliradelante  
 ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

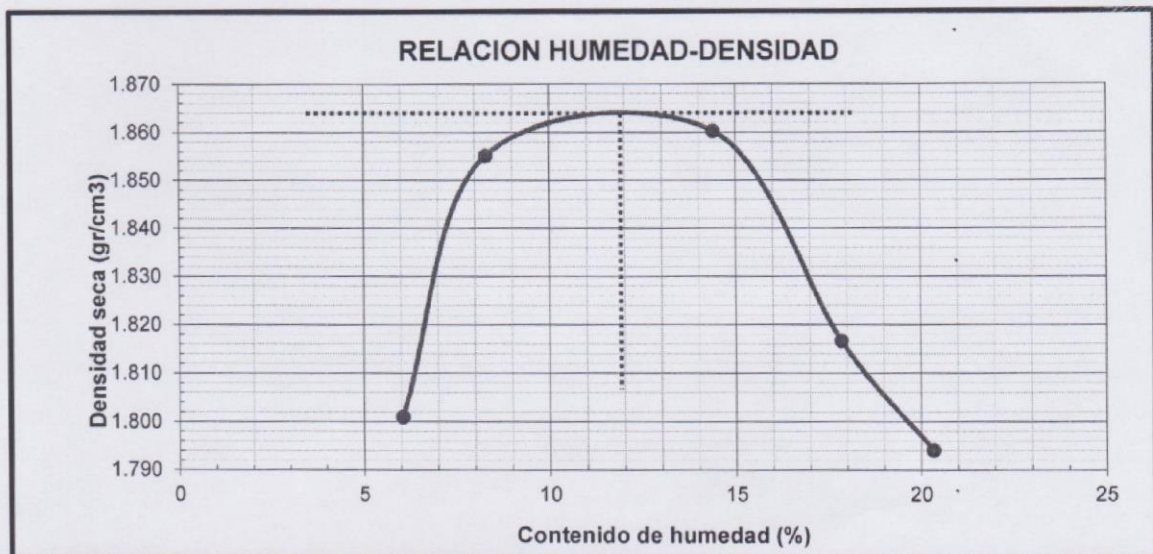
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 02 CON 25% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe





**ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 03 CON 35% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO

**TABLA: COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

Porcentaje de Agua		3%	6%	9%	12%	15%
Peso suelo + molde	gr	5911.30	6034.70	6122.40	6087.20	6028.00
Peso molde	gr	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50
Peso suelo húmedo compactado	gr	1834.80	1958.20	2045.90	2010.70	1951.50
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	913.35	913.35	913.35	913.35	913.35
Peso volumétrico húmedo	gr	2.01	2.14	2.24	2.20	2.14
Recipiente	Nº	01	02	03	04	05
Peso del suelo húmedo+tara	gr	160.20	139.40	163.20	159.60	165.60
Peso del suelo seco+tara	gr	152.80	129.80	146.10	136.90	141.50
Tara	gr	26.60	27.80	26.40	11.80	27.50
Peso de agua	gr	7.40	9.60	17.10	22.70	24.10
Peso del suelo seco	gr	126.20	102.00	119.70	125.10	114.00
Contenido de agua	%	<b>5.86</b>	<b>9.41</b>	<b>14.29</b>	<b>18.15</b>	<b>21.14</b>
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.898</b>	<b>1.960</b>	<b>1.960</b>	<b>1.863</b>	<b>1.764</b>
<i>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</i>						<b>1.971</b>
<i>Humedad óptima (%)</i>						<b>12.00</b>

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villa Nueva Vásquez*  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

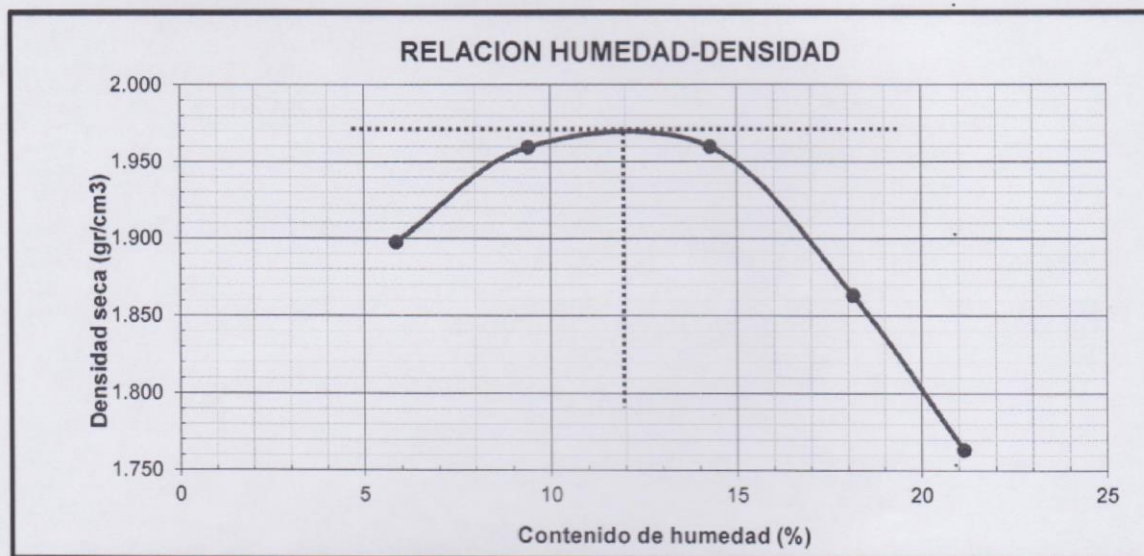
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 02 CON 35% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



**ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 02 CON 45% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO

**TABLA: COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

Porcentaje de Agua		3%	6%	9%	12%	15%
Peso suelo + molde	gr	5908.70	6023.10	6078.00	6042.30	6011.50
Peso molde	gr	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50
Peso suelo húmedo compactado	gr	1832.20	1946.60	2001.50	1965.80	1935.00
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	913.35	913.35	913.35	913.35	913.35
Peso volumétrico húmedo	gr	2.01	2.13	2.19	2.15	2.12
Recipiente	N°	01	02	03	04	05
Peso del suelo húmedo+tara	gr	152.60	174.90	160.20	140.20	162.80
Peso del suelo seco+tara	gr	144.70	162.40	145.60	121.70	137.90
Tara	gr	28.00	26.70	27.80	16.20	21.10
Peso de agua	gr	7.90	12.50	14.60	18.50	24.90
Peso del suelo seco	gr	116.70	135.70	117.80	105.50	116.80
Contenido de agua	%	<b>6.77</b>	<b>9.21</b>	<b>12.39</b>	<b>17.54</b>	<b>21.32</b>
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.879</b>	<b>1.952</b>	<b>1.950</b>	<b>1.831</b>	<b>1.746</b>
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )						1.965
Humedad óptima (%)						11.00

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv\_peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

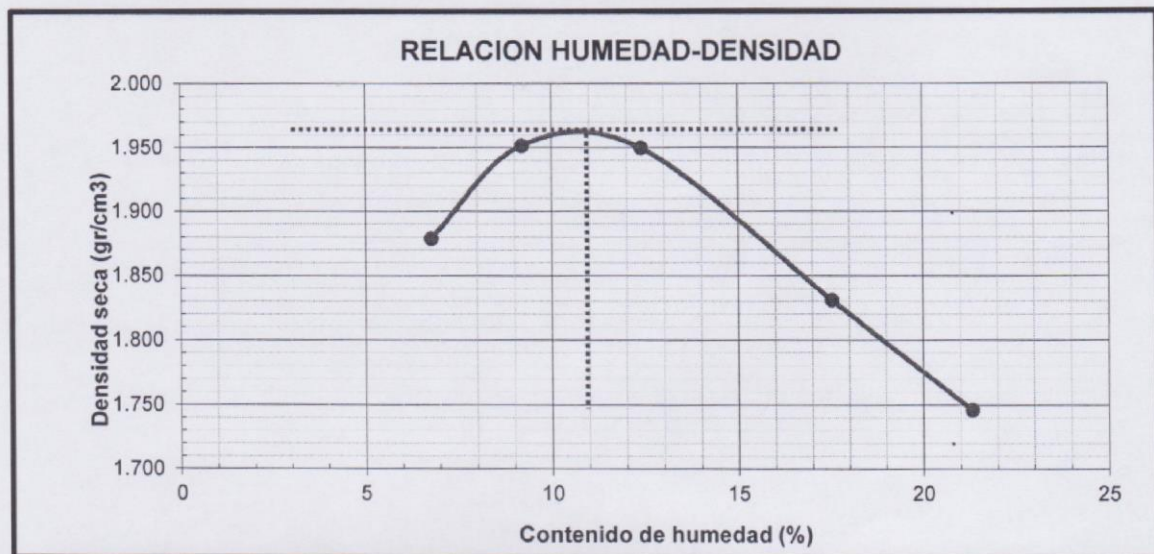
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 02 CON 45% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 03

**TABLA: COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

Porcentaje de Agua		3%	6%	9%	12%	15%
Peso suelo + molde	gr	5827.40	5952.70	6010.20	5983.20	5979.60
Peso molde	gr	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50
Peso suelo húmedo compactado	gr	1750.90	1876.20	1933.70	1906.70	1903.10
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	913.35	913.35	913.35	913.35	913.35
Peso volumétrico húmedo	gr	1.92	2.05	2.12	2.09	2.08
Recipiente	N°	01	02	03	04	05
Peso del suelo húmedo+tara	gr	126.70	135.80	128.70	142.10	129.70
Peso del suelo seco+tara	gr	121.80	125.40	116.90	124.60	110.30
Tara	gr	26.70	16.30	27.80	26.20	21.10
Peso de agua	gr	4.90	10.40	11.80	17.50	19.40
Peso del suelo seco	gr	95.10	109.10	89.10	98.40	89.20
Contenido de agua	%	<b>5.15</b>	<b>9.53</b>	<b>13.24</b>	<b>17.78</b>	<b>21.75</b>
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.823</b>	<b>1.875</b>	<b>1.870</b>	<b>1.772</b>	<b>1.711</b>
<i>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</i>						<b>1.881</b>
<i>Humedad óptima (%)</i>						<b>11.30</b>

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

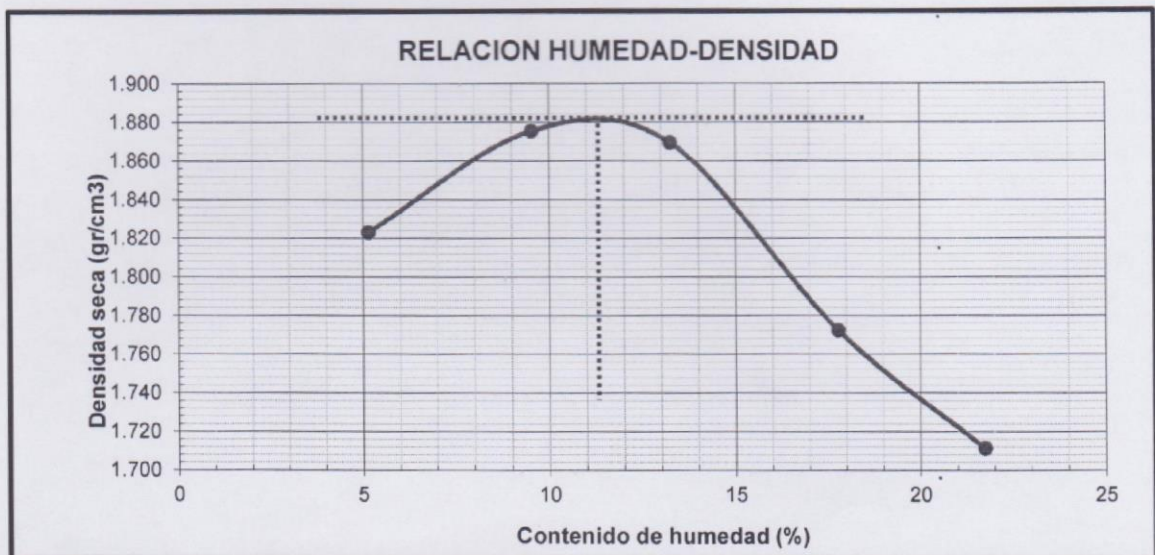
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 03



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



**ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 03 CON 25% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO

**TABLA: COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

Porcentaje de Agua		3%	6%	9%	12%	15%
Peso suelo + molde	gr	5902.30	6038.50	6117.40	6074.90	5947.60
Peso molde	gr	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50
Peso suelo húmedo compactado	gr	1825.80	1962.00	2040.90	1998.40	1871.10
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	913.35	913.35	913.35	913.35	913.35
Peso volumétrico húmedo	gr	2.00	2.15	2.23	2.19	2.05
Recipiente	Nº	01	02	03	04	05
Peso del suelo húmedo+tara	gr	112.10	142.10	135.40	140.60	103.00
Peso del suelo seco+tara	gr	107.30	132.10	121.90	123.80	87.10
Tara	gr	21.30	33.10	27.80	26.30	12.10
Peso de agua	gr	4.80	10.00	13.50	16.80	15.90
Peso del suelo seco	gr	86.00	99.00	94.10	97.50	75.00
Contenido de agua	%	<b>5.58</b>	<b>10.10</b>	<b>14.35</b>	<b>17.23</b>	<b>21.20</b>
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.893</b>	<b>1.951</b>	<b>1.954</b>	<b>1.866</b>	<b>1.690</b>
<i>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</i>						<b>1.952</b>
<i>Humedad óptima (%)</i>						<b>12.50</b>

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

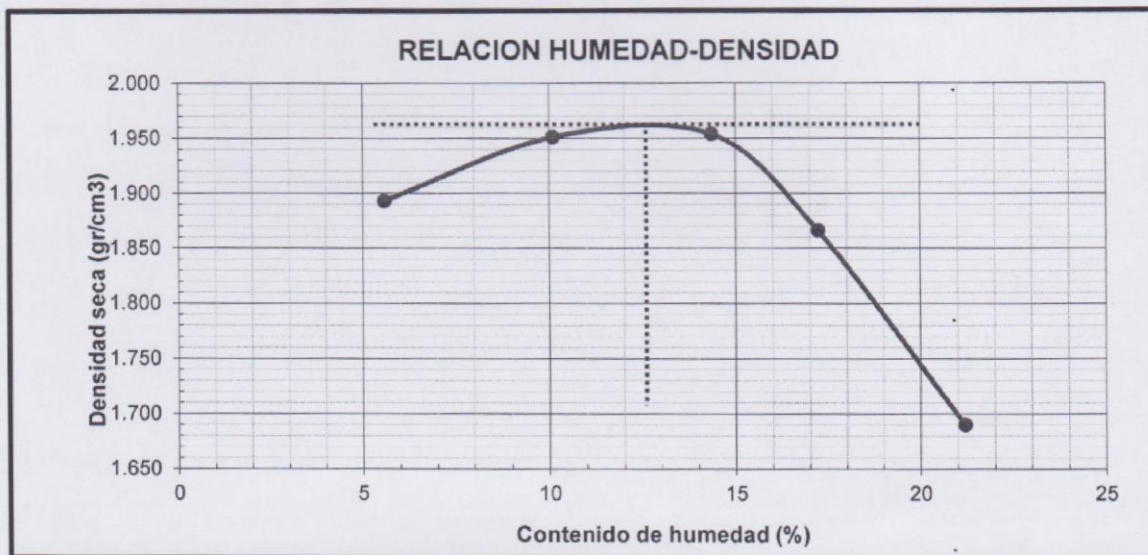
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO - DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C - 03 CON 25% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe





**ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"  
**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO  
**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO  
**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO  
**UNIDAD :** MUESTRA C – 03 CON 35% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO

**TABLA: COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

Porcentaje de Agua		3%	6%	9%	12%	15%
Peso suelo + molde	gr	5826.30	5929.50	6046.90	6096.80	6061.20
Peso molde	gr	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50
Peso suelo húmedo compactado	gr	1749.80	1853.00	1970.40	2020.30	1984.70
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	913.35	913.35	913.35	913.35	913.35
Peso volumétrico húmedo	gr	1.92	2.03	2.16	2.21	2.17
Recipiente	Nº	01	02	03	04	05
Peso del suelo húmedo+tara	gr	121.60	134.60	147.20	132.70	121.40
Peso del suelo seco+tara	gr	116.40	125.90	132.30	115.60	104.20
Tara	gr	16.40	11.30	11.10	16.10	21.40
Peso de agua	gr	5.20	8.70	14.90	17.10	17.20
Peso del suelo seco	gr	100.00	114.60	121.20	99.50	82.80
Contenido de agua	%	<b>5.20</b>	<b>7.59</b>	<b>12.29</b>	<b>17.19</b>	<b>20.77</b>
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.821</b>	<b>1.886</b>	<b>1.921</b>	<b>1.888</b>	<b>1.799</b>
<i>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</i>						<b>1.922</b>
<i>Humedad óptima (%)</i>						<b>12.50</b>

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
 Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
 Av. Central Nuevo Chimbote  
 Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
 Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
 @ucv\_peru  
 #saliradelante  
 ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

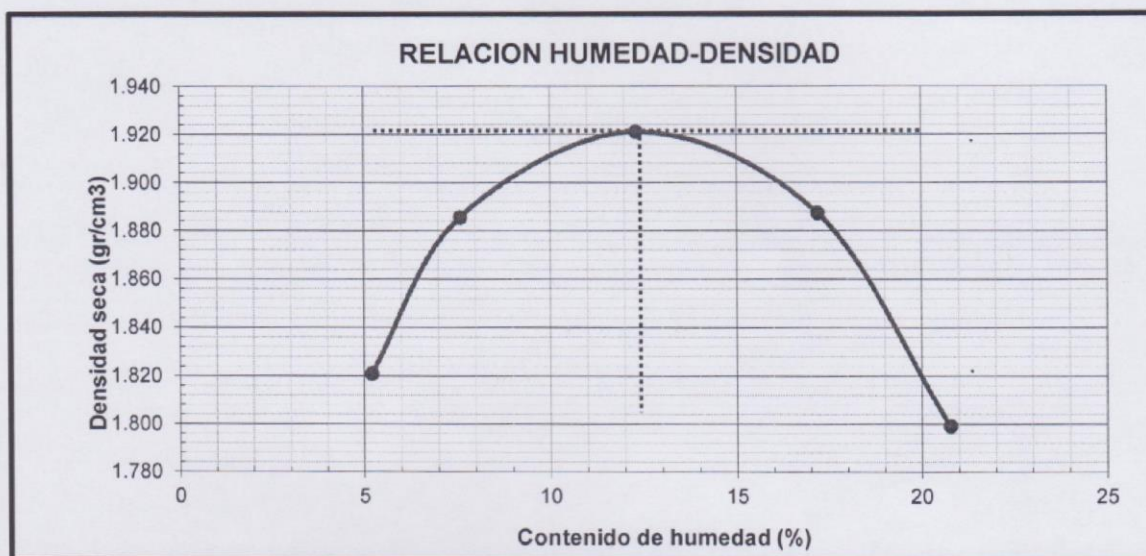
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 03 CON 35% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela De Ingenieria Civil

Lener Hamilton Vmanueva Vásquez  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 03 CON 45% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO

**TABLA: COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

Porcentaje de Agua		3%	6%	9%	12%	15%
Peso suelo + molde	gr	5933.40	6006.80	6078.20	6121.10	6105.40
Peso molde	gr	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50
Peso suelo húmedo compactado	gr	1856.90	1930.30	2001.70	2044.60	2028.90
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	913.35	913.35	913.35	913.35	913.35
Peso volumétrico húmedo	gr	2.03	2.11	2.19	2.24	2.22
Recipiente	N°	01	02	03	04	05
Peso del suelo húmedo+tara	gr	120.90	123.20	134.50	146.50	159.90
Peso del suelo seco+tara	gr	113.80	114.10	120.50	127.80	137.10
Tara	gr	11.70	16.00	11.90	16.90	27.90
Peso de agua	gr	7.10	9.10	14.00	18.70	22.80
Peso del suelo seco	gr	102.10	98.10	108.60	110.90	109.20
Contenido de agua	%	<b>6.95</b>	<b>9.28</b>	<b>12.89</b>	<b>16.86</b>	<b>20.88</b>
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.901</b>	<b>1.934</b>	<b>1.941</b>	<b>1.916</b>	<b>1.838</b>
<i>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</i>						<b>1.942</b>
<i>Humedad óptima (%)</i>						<b>12.00</b>

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
[ucv.edu.pe](http://ucv.edu.pe)



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

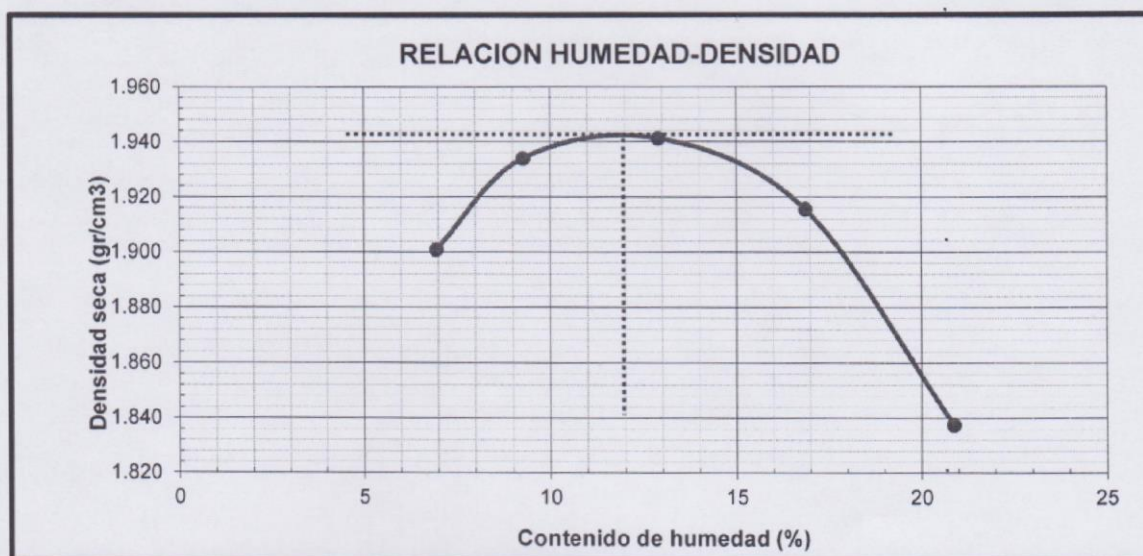
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 03 CON 45% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Bolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 04

**TABLA: COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

Porcentaje de Agua		3%	6%	9%	12%	15%
Peso suelo + molde	gr	5752.10	5822.60	5902.90	5942.70	5987.80
Peso molde	gr	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50
Peso suelo húmedo compactado	gr	1675.60	1746.10	1826.40	1866.20	1911.30
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	913.35	913.35	913.35	913.35	913.35
Peso volumétrico húmedo	gr	1.83	1.91	2.00	2.04	2.09
Recipiente	Nº	01	02	03	04	05
Peso del suelo húmedo+tara	gr	132.10	142.10	137.20	129.10	149.80
Peso del suelo seco+tara	gr	125.20	131.50	124.00	113.30	129.10
Tara	gr	16.60	11.70	16.00	12.00	27.90
Peso de agua	gr	6.90	10.60	13.20	15.80	20.70
Peso del suelo seco	gr	108.60	119.80	108.00	101.30	101.20
Contenido de agua	%	6.35	8.85	12.22	15.60	20.45
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.725	1.756	1.782	1.768	1.737
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )						1.782
Humedad óptima (%)						12.50

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villalueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

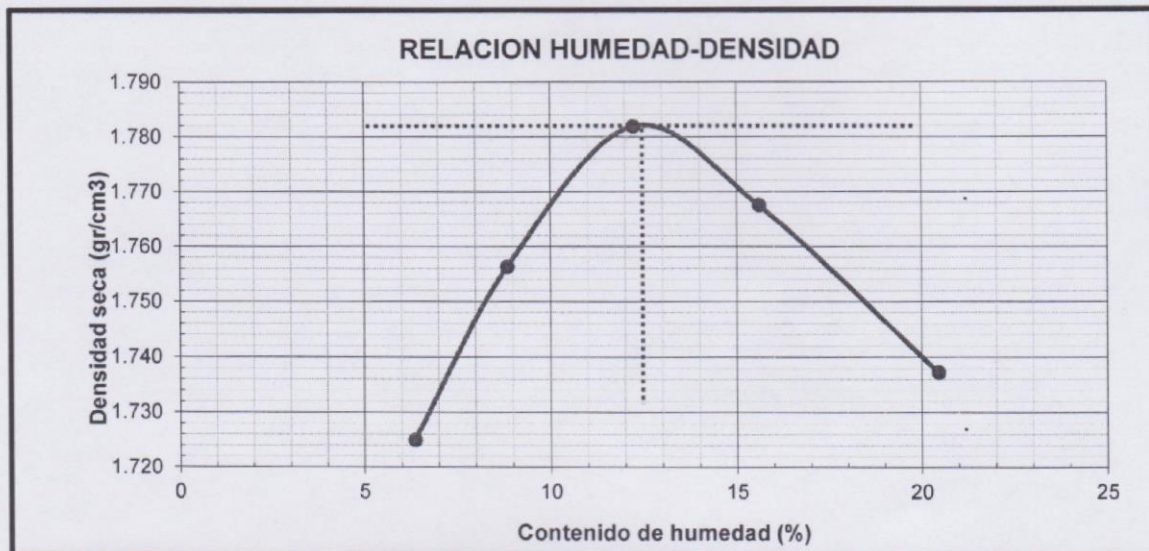
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 04



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



**ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"  
**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO  
**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO  
**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO  
**UNIDAD :** MUESTRA C – 04 CON 25% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO

**TABLA: COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

Porcentaje de Agua		3%	6%	9%	12%	15%
Peso suelo + molde	gr	5934.10	6071.50	6108.80	6074.50	6066.40
Peso molde	gr	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50
Peso suelo húmedo compactado	gr	1857.60	1995.00	2032.30	1998.00	1989.90
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	913.35	913.35	913.35	913.35	913.35
Peso volumétrico húmedo	gr	2.03	2.18	2.23	2.19	2.18
Recipiente	N°	01	02	03	04	05
Peso del suelo húmedo+tara	gr	132.20	135.20	135.60	148.20	148.20
Peso del suelo seco+tara	gr	126.30	125.20	120.80	130.80	126.10
Tara	gr	16.70	27.70	11.90	26.10	11.60
Peso de agua	gr	5.90	10.00	14.80	17.40	22.10
Peso del suelo seco	gr	109.60	97.50	108.90	104.70	114.50
Contenido de agua	%	<b>5.38</b>	<b>10.26</b>	<b>13.59</b>	<b>16.62</b>	<b>19.30</b>
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.930</b>	<b>1.981</b>	<b>1.959</b>	<b>1.876</b>	<b>1.826</b>
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )						<b>1.981</b>
Humedad óptima (%)						<b>11.00</b>

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
 Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
 Av. Central Nuevo Chimbote  
 Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
 Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
 @ucv\_peru  
 #saliradelante  
 ucv.edu.pe

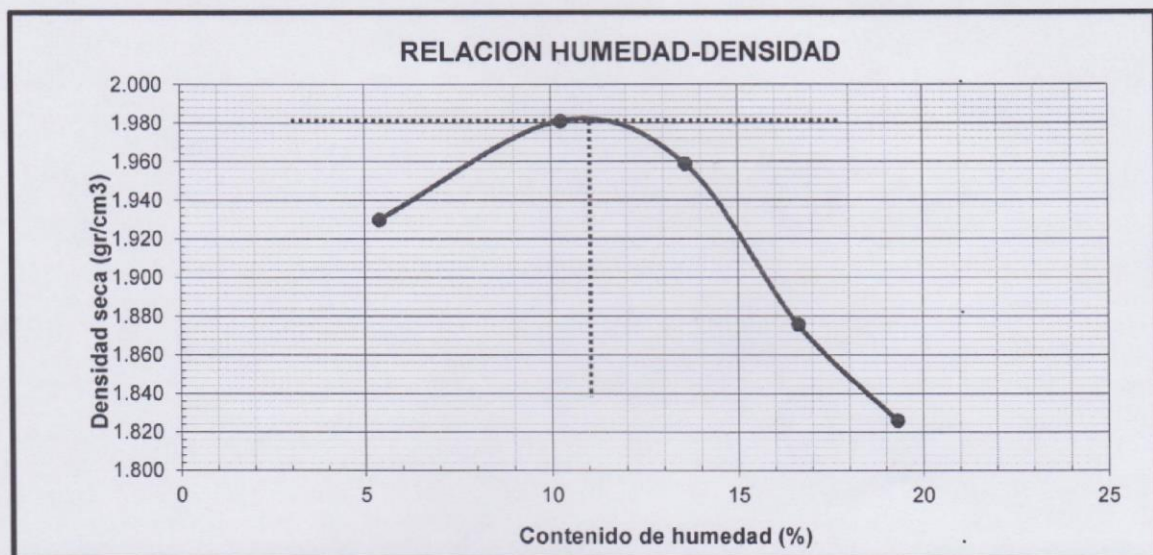


UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

- PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"
- SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO
- ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO
- LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO
- UNIDAD :** MUESTRA C – 04 CON 25% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Jilanaquea Vásquez*  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe





**ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 04 CON 35% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO

**TABLA: COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

Porcentaje de Agua		3%	6%	9%	12%	15%
Peso suelo + molde	gr	5905.30	6027.50	6120.90	6144.80	6145.40
Peso molde	gr	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50
Peso suelo húmedo compactado	gr	1828.80	1951.00	2044.40	2068.30	2068.90
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	913.35	913.35	913.35	913.35	913.35
Peso volumétrico húmedo	gr	2.00	2.14	2.24	2.26	2.27
Recipiente	Nº	01	02	03	04	05
Peso del suelo húmedo+tara	gr	132.40	125.30	136.70	146.10	159.90
Peso del suelo seco+tara	gr	125.80	117.40	123.70	127.80	138.10
Tara	gr	16.10	16.30	15.10	11.90	27.90
Peso de agua	gr	6.60	7.90	13.00	18.30	21.80
Peso del suelo seco	gr	109.70	101.10	108.60	115.90	110.20
Contenido de agua	%	<b>6.02</b>	<b>7.81</b>	<b>11.97</b>	<b>15.79</b>	<b>19.78</b>
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.889</b>	<b>1.981</b>	<b>1.999</b>	<b>1.956</b>	<b>1.891</b>
<i>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</i>						<b>1.999</b>
<i>Humedad óptima (%)</i>						<b>11.00</b>

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
 Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
 Av. Central Nuevo Chimbote  
 Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
 Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
 @ucv\_peru  
 #saliradelante  
 ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

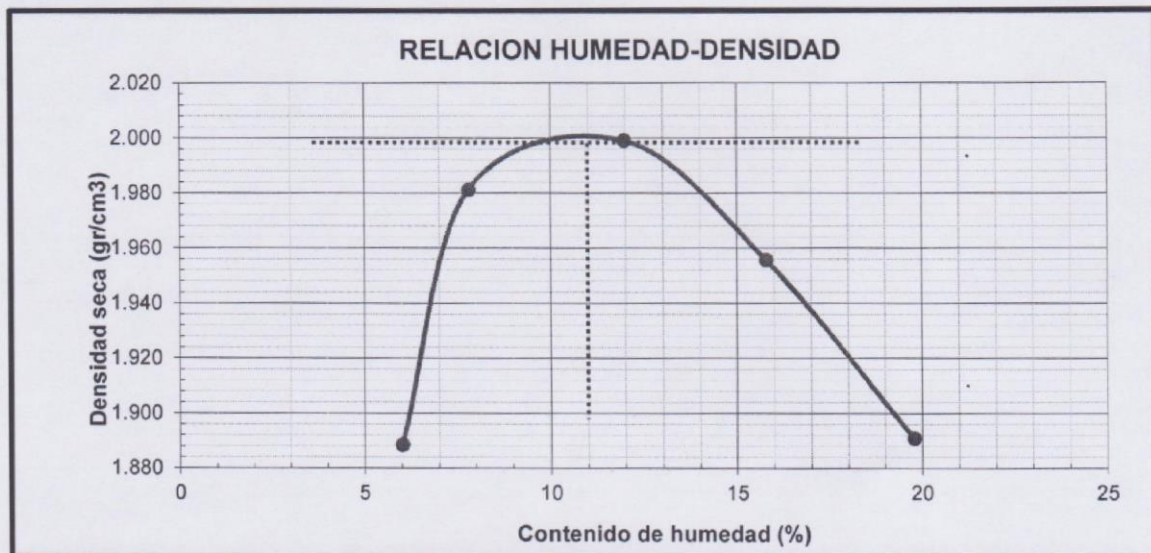
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO - DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C - 04 CON 35% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Vlasqueva Vásquez*  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 04 CON 45% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO

**TABLA: COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**

Porcentaje de Agua		3%	6%	9%	12%	15%
Peso suelo + molde	gr	5906.40	6001.40	6102.40	6081.90	6031.30
Peso molde	gr	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50	4076.50
Peso suelo húmedo compactado	gr	1829.90	1924.90	2025.90	2005.40	1954.80
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	913.35	913.35	913.35	913.35	913.35
Peso volumétrico húmedo	gr	2.00	2.11	2.22	2.20	2.14
Recipiente	N°	01	02	03	04	05
Peso del suelo húmedo+tara	gr	124.10	141.30	142.30	135.20	138.70
Peso del suelo seco+tara	gr	118.10	132.80	128.60	116.60	119.30
Tara	gr	16.40	27.90	26.60	11.90	27.90
Peso de agua	gr	6.00	8.50	13.70	18.60	19.40
Peso del suelo seco	gr	101.70	104.90	102.00	104.70	91.40
Contenido de agua	%	<b>5.90</b>	<b>8.10</b>	<b>13.43</b>	<b>17.77</b>	<b>21.23</b>
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.892</b>	<b>1.950</b>	<b>1.955</b>	<b>1.864</b>	<b>1.766</b>
<i>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</i>						<b>1.965</b>
<i>Humedad óptima (%)</i>						<b>11.00</b>

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.141, ASTM D 1557)

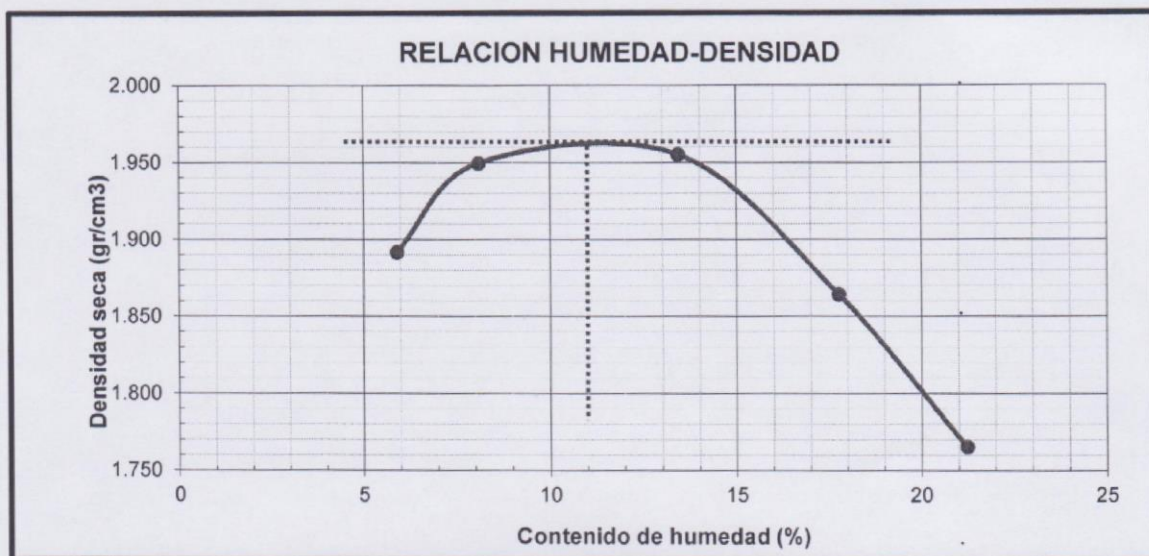
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 04 CON 45% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



### ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C. B. R.)

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.145, ASTM D 1883)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE CBR

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 04

MOLDE N°	1	X	3			
N° DE CAPAS	5	5	5			
N° DE GOLPES POR CAPA	56	25	10			
MUESTRA	SATURADA	SIN SATURAR	SATURADA	SIN SATURAR	SATURADA	SIN SATURAR
VOLUMEN DE MOLDE	2123		2123		2123	
PESO DE MOLDE	8688		7635		8567	
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO	13796		12432		13280	
PESO DEL SUELO HUMEDO	5108		4797		4713	
DENSIDAD HUMEDA	2.41		2.26		2.22	
RECIPIENTE N°	18		7		2	
PESO DE RECIPIENTE	0.0		0.0		0.0	
PESO DE RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	437.0		400.0		590.0	
PESO DE RECIPIENTE + SUELO SECO	350.0		335.0		485.0	
PESO DE AGUA	87.0		65.0		105.0	
PESO DE SUELO SECO	350.0		335.0		485.0	
CONTENIDO DE HUMEDAD	24.9		19.4		21.6	
DENSIDAD SECA	1.93		1.89		1.82	

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C. B. R.)

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.145, ASTM D 1883)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO - DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE CBR

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C - 04

### PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (pulg.)	PATRÓN (Lb/pulg <sup>2</sup> )	56 GOLPES			25 GOLPES			10 GOLPES		
		DIAL	CARGA	CARGA UNITARIA	DIAL	CARGA	CARGA UNITARIA	DIAL	CARGA	CARGA UNITARIA
0.025		9	144	48	6	114	38	4	94	31
0.050		20	253	84	13	183	61	8	134	45
0.075		28	332	111	19	243	81	12	174	58
0.100	1000	35	402	134	23	283	94	18	233	78
0.150		47	520	173	36	411	137	26	312	104
0.200	1500	54	590	197	49	540	180	44	491	164
0.250		82	867	289	74	788	263	68	729	243
0.300		104	1085	362	99	1036	345	85	897	299
0.400		121	1254	418	107	1115	372	93	976	325
0.500		143	1472	491	128	1323	441	102	1066	355

### Nota:

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

#### CAMPUS CHIMBOTE

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



## ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C. B. R.)

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.145, ASTM D 1883)

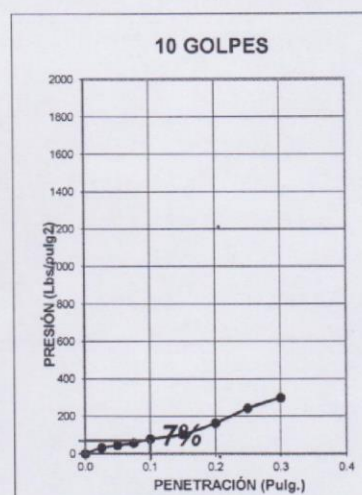
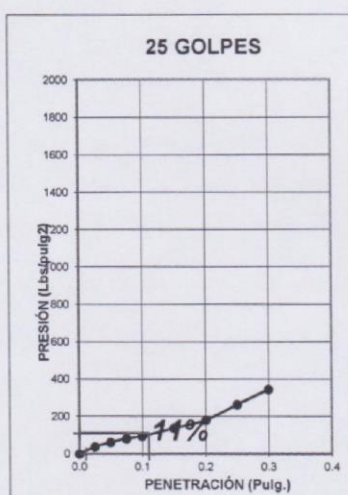
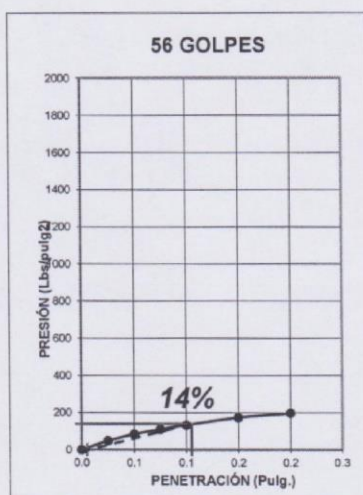
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE CBR

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 04



PENETRACIÓN (PULG.)	C.B.R. A 95% DE MAXIMA DENSIDAD SECA	C.B.R. A 100% DE MAXIMA DENSIDAD SECA
0,1"	13.3%	14%

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



### ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C. B. R.)

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.145, ASTM D 1883)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE CBR

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 04 + 25% CENIZA DE PAJA DE TRIGO

MOLDE N°	1		X		3	
N° DE CAPAS	5		5		5	
N° DE GOLPES POR CAPA	56		25		10	
MUESTRA	SATURADA	SIN SATURAR	SATURADA	SIN SATURAR	SATURADA	SIN SATURAR
VOLUMEN DE MOLDE	2123		2123		2123	
PESO DE MOLDE	8688		7635		8567	
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO	13796		12432		13280	
PESO DEL SUELO HUMEDO	5108		4797		4713	
DENSIDAD HUMEDA	2.41		2.26		2.22	
RECIPIENTE N°	18		7		2	
PESO DE RECIPIENTE	0.0		0.0		0.0	
PESO DE RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	437.0		400.0		590.0	
PESO DE RECIPIENTE + SUELO SECO	350.0		335.0		485.0	
PESO DE AGUA	87.0		65.0		105.0	
PESO DE SUELO SECO	350.0		335.0		485.0	
CONTENIDO DE HUMEDAD	24.9		19.4		21.6	
DENSIDAD SECA	1.93		1.89		1.82	

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Mg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingenieria Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C. B. R.)

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.145, ASTM D 1883)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE CBR

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 04 + 25% CENIZA DE PAJA DE TRIGO

### PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (pulg.)	PATRÓN (Lb/pulg <sup>2</sup> )	56 GOLPES			25 GOLPES			10 GOLPES		
		DIAL	CARGA	CARGA UNITARIA	DIAL	CARGA	CARGA UNITARIA	DIAL	CARGA	CARGA UNITARIA
0.025		15	203	68	10	154	51	7	124	41
0.050		25	302	101	19	243	81	12	174	58
0.075		34	392	131	24	293	98	21	263	88
0.100	1000	43	481	160	33	382	127	24	293	98
0.150		56	610	203	45	501	167	32	372	124
0.200	1500	72	768	256	64	689	230	54	590	197
0.250		96	1006	335	87	917	306	78	828	276
0.300		116	1204	401	105	1095	365	95	996	332
0.400		142	1462	487	135	1393	464	113	1175	392
0.500		168	1720	573	142	1462	487	125	1294	431

### Nota:

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

### CAMPUS CHIMBOTE

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



*Hg. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C. B. R.)

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.145, ASTM D 1883)

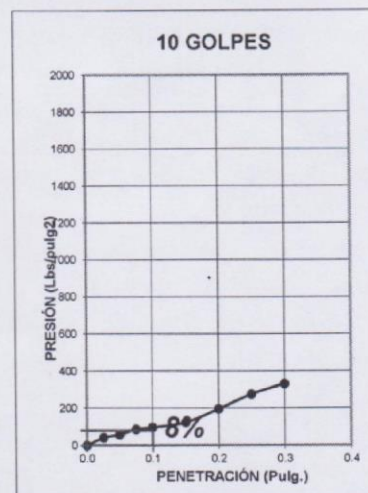
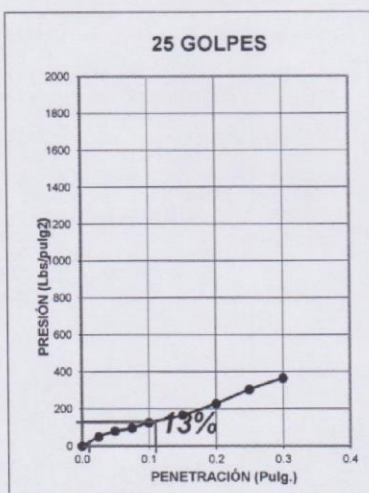
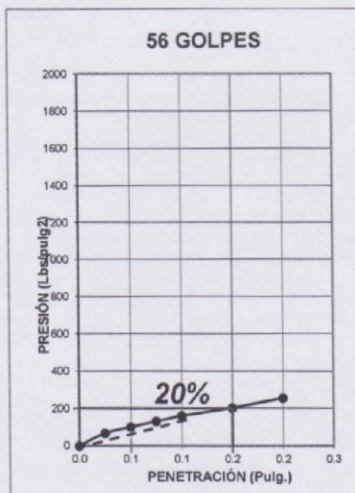
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE CBR

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 04 + 25% CENIZA DE PAJA DE TRIGO



PENETRACIÓN (PULG.)	C.B.R. A 95% DE MAXIMA DENSIDAD SECA	C.B.R. A 100% DE MAXIMA DENSIDAD SECA
0,1"	19%	20%

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela De Ingenieria Civil

Lener Hamilton Vidanueva Vásquez  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C. B. R.)

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.145, ASTM D 1883)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE CBR

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 04 + 35% CENIZA DE PAJA DE TRIGO

MOLDE N°	1	X	3			
N° DE CAPAS	5	5	5			
N° DE GOLPES POR CAPA	56	25	10			
MUESTRA	SATURADA	SIN SATURAR	SATURADA	SIN SATURAR	SATURADA	SIN SATURAR
VOLUMEN DE MOLDE	2123		2123		2123	
PESO DE MOLDE	8688		7635		8567	
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO	13796		12432		13280	
PESO DEL SUELO HUMEDO	5108		4797		4713	
DENSIDAD HUMEDA	2.41		2.26		2.22	
RECIPIENTE N°	18		7		2	
PESO DE RECIPIENTE	0.0		0.0		0.0	
PESO DE RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	437.0		400.0		590.0	
PESO DE RECIPIENTE + SUELO SECO	350.0		335.0		485.0	
PESO DE AGUA	87.0		65.0		105.0	
PESO DE SUELO SECO	350.0		335.0		485.0	
CONTENIDO DE HUMEDAD	24.9		19.4		21.6	
DENSIDAD SECA	1.93		1.89		1.82	

### Nota:

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Lener Hamilton Ymanueva Vásquez  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C. B. R.)

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.145, ASTM D 1883)

PROYECTO: "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO - DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

SOLICITANTE: BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

ASUNTO : ENSAYO DE CBR

LUGAR : CASCAJAL IZQUIERDO

UNIDAD : MUESTRA C - 04 + 35% CENIZA DE PAJA DE TRIGO

PENETRACIÓN

Table with 11 columns: PENETRACIÓN (pulg.), PATRÓN (Lb/pulg2), 56 GOLPES (DIAL, CARGA, CARGA UNITARIA), 25 GOLPES (DIAL, CARGA, CARGA UNITARIA), 10 GOLPES (DIAL, CARGA, CARGA UNITARIA). Rows show penetration values from 0.025 to 0.500.

Nota:

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

CAMPUS CHIMBOTE
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires
Av. Central Nuevo Chimbote
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000

Mg. Victor Rolando Rojas Silva
Director de la Escuela De Ingenieria Civil

Tecnico de Laboratorio
P. P. P.



fb/ucv.peru
@ucv\_peru
#saliradelante
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C. B. R.)

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.145, ASTM D 1883)

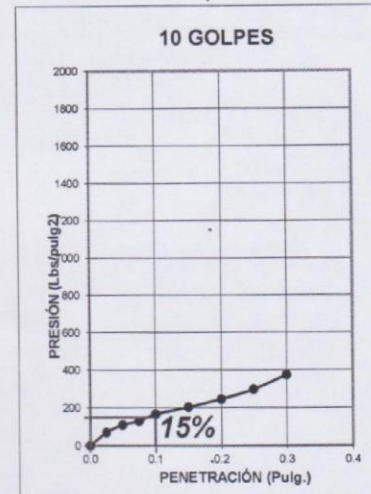
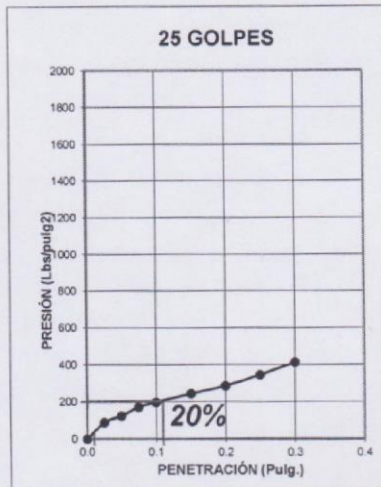
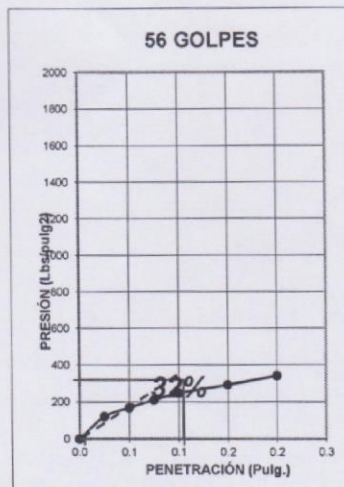
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO - DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE CBR

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C - 04 + 35% CENIZA DE PAJA DE TRIGO



PENETRACIÓN (PULG.)	C.B.R. A 95% DE MAXIMA DENSIDAD SECA	C.B.R. A 100% DE MAXIMA DENSIDAD SECA
0,1"	30.4%	32%

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



## ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C. B. R.)

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.145, ASTM D 1883)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE CBR

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 04 + 45% CENIZA DE PAJA DE TRIGO

MOLDE N°	1	X	3			
N° DE CAPAS	5	5	5			
N° DE GOLPES POR CAPA	56	25	10			
MUESTRA	SATURADA	SIN SATURAR	SATURADA	SIN SATURAR	SATURADA	SIN SATURAR
VOLUMEN DE MOLDE	2123		2123		2123	
PESO DE MOLDE	8688		7635		8567	
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO	13796		12432		13280	
PESO DEL SUELO HUMEDO	5108		4797		4713	
DENSIDAD HUMEDA	2.41		2.26		2.22	
RECIPIENTE N°	18		7		2	
PESO DE RECIPIENTE	0.0		0.0		0.0	
PESO DE RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	437.0		400.0		590.0	
PESO DE RECIPIENTE + SUELO SECO	350.0		335.0		485.0	
PESO DE AGUA	87.0		65.0		105.0	
PESO DE SUELO SECO	350.0		335.0		485.0	
CONTENIDO DE HUMEDAD	24.9		19.4		21.6	
DENSIDAD SECA	1.93		1.89		1.82	

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**

Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C. B. R.)

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.145, ASTM D 1883)

**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO – DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE CBR

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C – 04 + 45% CENIZA DE PAJA DE TRIGO

### PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (pulg.)	PATRÓN (Lb/pulg <sup>2</sup> )	56 GOLPES			25 GOLPES			10 GOLPES		
		DIAL	CARGA	CARGA UNITARIA	DIAL	CARGA	CARGA UNITARIA	DIAL	CARGA	CARGA UNITARIA
0.025		25	302	101	16	213	71	11	164	55
0.050		35	402	134	22	273	91	16	213	71
0.075		42	471	157	34	392	131	26	312	104
0.100	1000	51	560	187	44	491	164	39	441	147
0.150		66	709	236	58	630	210	47	520	173
0.200	1500	82	867	289	61	659	220	52	570	190
0.250		96	1006	335	79	838	279	69	739	246
0.300		107	1115	372	94	986	329	84	887	296
0.400		122	1264	421	114	1185	395	104	1085	362
0.500		144	1482	494	134	1383	461	120	1244	415

### Nota:

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TECNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C. B. R.)

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.145, ASTM D 1883)

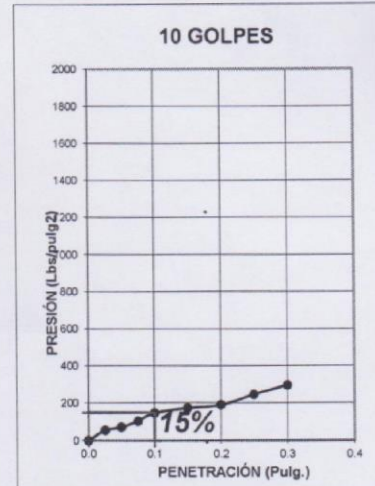
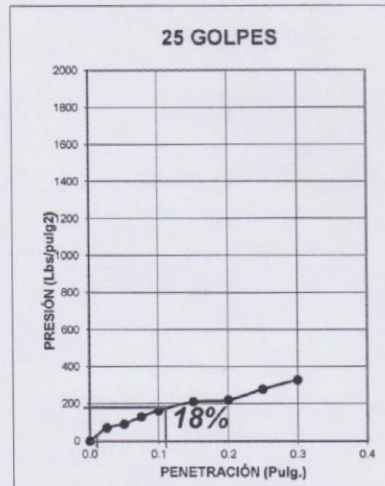
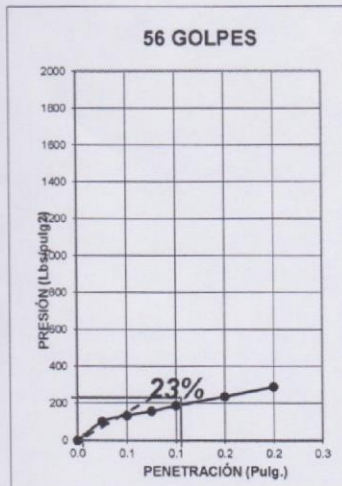
**PROYECTO:** "ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO - DISTRITO CHIMBOTE, ANCASH - 2018"

**SOLICITANTE:** BRUNO ALEXANDER DIAZ TRUJILLO

**ASUNTO :** ENSAYO DE CBR

**LUGAR :** CASCAJAL IZQUIERDO

**UNIDAD :** MUESTRA C - 04 + 45% CENIZA DE PAJA DE TRIGO



PENETRACIÓN (PULG.)	C.B.R. A 95% DE MAXIMA DENSIDAD SECA	C.B.R. A 100% DE MAXIMA DENSIDAD SECA
0,1"	21.85%	23%

**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



**9. CERTIFICADO DE  
CALIBRACIÓN DE EQUIPOS  
DEL LABORATORIO**



Punto de Precisión SAC

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LB - 527 - 2017

Página: 1 de 3

Expediente : T 241-2017  
Fecha de Emisión : 2017-06-26

1. Solicitante : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.  
Dirección : AV. VICTOR LARCO NRO. 1770 URB. LAS FLORES -  
VICTOR LARCO HERRERA - TRUJILLO - LA LIBERTAD

2. Instrumento de Medición : BALANZA

Marca : OHAUS  
Modelo : EB30  
Número de Serie : 80313911113

Alcance de Indicación : 30000 g

División de Escala de Verificación ( e ) : 10 g

División de Escala Real ( d ) : 1 g

Procedencia : CHINA

Identificación : NO INDICA

Tipo : ELECTRÓNICA

Ubicación : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

Fecha de Calibración : 2017-06-23

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados 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.

PUNTO DE PRECISIÓN 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.

#### 3. Método de Calibración

La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-001 3ra Edición, 2009; Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII del SNM-INDECOPI.

#### 4. Lugar de Calibración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES de UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.  
NUEVO CHIMBOTE - ANCASH



Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



Punto de Precisión SAC

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LB - 527 - 2017

Página: 2 de 3

## 5. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	21,5 °C	21,7 °C
Humedad Relativa	68 %	68 %

## 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	Certificado de calibración
INACAL - DM	Pesas (exactitud F1 y F2)	LM-C-140-2017
		LM-102-2017 / LM-043-2017
		LM-044-2017 / LM-045-2017

## 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 III, según la Norma Metroológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".

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.

## 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)			Temp. (°C)		
	Inicial 21,5			Final 21,6		
	Carga L1= 15 000 g			Carga L2= 30 000 g		
	I(g)	ΔL(g)	E(g)	I(g)	ΔL(g)	E(g)
1	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,8	-0,3
2	15 000	0,5	0,0	30 000	0,9	-0,4
3	15 000	0,8	-0,3	30 000	0,5	0,0
4	15 000	0,6	-0,1	29 999	0,4	-0,9
5	15 000	0,7	-0,2	30 000	0,8	-0,3
6	15 000	0,7	-0,2	30 000	0,8	-0,3
7	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,9	-0,4
8	15 000	0,8	-0,3	29 999	0,3	-0,8
9	15 000	0,5	0,0	30 000	0,6	-0,1
10	15 000	0,9	-0,4	30 000	0,8	-0,3
Diferencia Máxima			0,4			0,9
Error máximo permitido ±	20 g			± 30 g		



Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



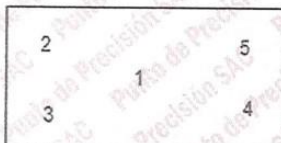
Punto de Precisión SAC

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LB - 527 - 2017

Página: 3 de 3



Vista Frontal

### ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Determinación de E <sub>0</sub>				Determinación del Error corregido				
	Carga mínima (g)	l(g)	ΔL(g)	E <sub>0</sub> (g)	Carga (g)	l(g)	ΔL(g)	E(g)	Ec(g)
1	10	10	0,6	-0,1	10 000	10 000	0,8	-0,3	-0,2
2		10	0,8	-0,3		10 001	0,3	1,2	1,5
3		10	0,6	-0,1		10 000	0,9	-0,4	-0,3
4		10	0,9	-0,4		9 999	0,4	-0,9	-0,5
5		10	0,7	-0,2		10 001	0,5	1,0	1,2
					Error máximo permitido : ± 20 g				

(\*) valor entre 0 y 10 e

### ENSAYO DE PESAJE

Carga L(g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				emp(**) ±(g)
	l(g)	ΔL(g)	E(g)	Ec(g)	l(g)	ΔL(g)	E(g)	Ec(g)	
10	10	0,5	0,0						10
20	20	0,3	0,2	0,2	20	0,6	-0,1	-0,1	10
500	500	0,6	-0,1	-0,1	500	0,7	-0,2	-0,2	10
1 000	1 000	0,8	-0,3	-0,3	1 000	0,3	0,2	0,2	10
2 000	2 000	0,6	-0,1	-0,1	2 000	0,9	-0,4	-0,4	10
5 000	5 000	0,7	-0,2	-0,2	5 000	0,9	-0,4	-0,4	10
10 000	10 000	0,9	-0,4	-0,4	10 000	0,6	-0,1	-0,1	20
15 000	15 000	0,8	-0,3	-0,3	15 000	0,4	0,1	0,1	20
20 000	20 000	0,3	0,2	0,2	20 000	0,8	-0,3	-0,3	20
25 000	25 000	0,5	0,0	0,0	24 999	0,5	-1,0	-1,0	30
30 000	29 999	0,6	-1,1	-1,1	29 999	0,6	-1,1	-1,1	30

(\*\*) error máximo permitido

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

$$R_{\text{corregida}} = R + 0,0000195 \times R$$

$$U_R = 2 \sqrt{0,327 \text{ g}^2 + 0,0000000502 \times R^2}$$

R : Lectura de la balanza    ΔL : Carga Incrementada    E : Error encontrado    E<sub>0</sub> : Error en cero    E<sub>c</sub> : Error corregido

R : en g

FIN DEL DOCUMENTO



Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



Punto de Precisión SAC

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 194 - 2017

Página : 1 de 2

Expediente : T 241-2017  
Fecha de emisión : 2017-06-26

1. Solicitante : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.

Dirección : AV. VICTOR LARCO NRO. 1770 URB. LAS FLORES -  
VICTOR LARCO HERRERA - TRUJILLO - LA LIBERTAD

2. Descripción del Equipo : PRENSA CBR

Modelo de Prensa : CBR-P01

Serie de Prensa : 21513007

Marca de Celda : OAP

Modelo de Celda : DEF-A

Serie de Celda : SSV827

Capacidad de Celda : 5 t

Marca de indicador : HIWEIGH

Modelo de Indicador : 315-X5

Serie de Indicador : 0012665

### 3. Lugar y fecha de Calibración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C. - NUEVO CHIMBOTE - ANCASH  
23 - JUNIO - 2017

### 4. Método de Calibración

La Calibración se realizó de acuerdo a la norma ASTM E4.

### 5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO O INFORME	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	AEP TRANSDUCERS	INF-LE 057	UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
INDICADOR	AEP TRANSDUCERS		

### 6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	25,1	25,6
Humedad %	63	63

### 7. Resultados de la Medición

Los errores de la prensa se encuentran en la página siguiente.

### 8. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados 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.

Punto de Precisión 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.

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 292-2095

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Punto de Precisión SAC

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 194 - 2017

Página : 2 de 2

TABLA N° 1

SISTEMA DIGITAL "A" kgf	SERIES DE VERIFICACIÓN (kgf)				PROMEDIO "B" kgf	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE 1	SERIE 2	ERROR (1) %	ERROR (2) %			
500	497,40	496,70	0,52	0,66	497,05	0,59	0,14
1000	994,20	996,35	0,58	0,36	995,28	0,47	-0,21
1500	1497,35	1498,90	0,18	0,07	1498,13	0,13	-0,10
2000	2001,45	2001,40	-0,07	-0,07	2001,43	-0,07	0,00
2500	2495,75	2501,55	0,17	-0,06	2498,65	0,05	-0,23
3000	3006,70	3007,60	-0,22	-0,25	3007,15	-0,24	-0,03
3500	3509,70	3511,50	-0,28	-0,33	3510,60	-0,30	-0,05
4000	4005,36	4006,24	-0,13	-0,16	4005,80	-0,14	-0,02

### NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN

- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:  

$$Ep = ((A-B) / B) * 100 \quad Rp = Error(2) - Error(1)$$
- La norma exige que Ep y Rp no excedan el 1,0 %
- Coefficiente Correlación:  $R^2 = 1$

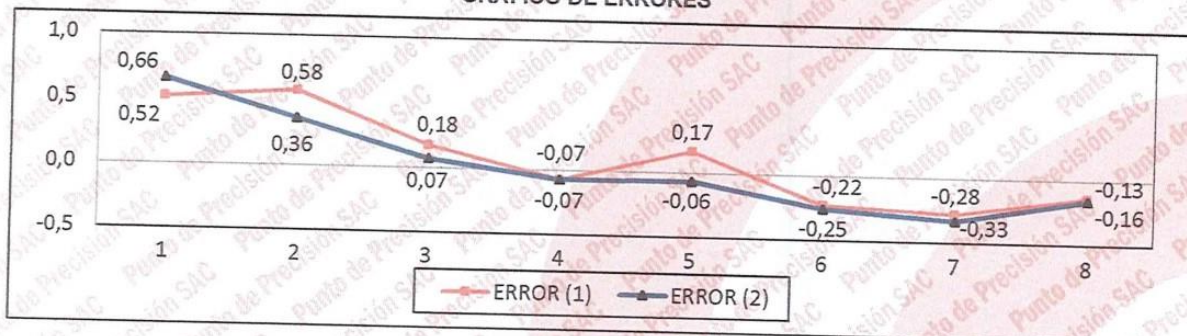
Ecuación de ajuste :  $y = 0,9961x + 6,9134$

Donde: x : Lectura de la pantalla  
y : Fuerza promedio (kgf)

GRÁFICO N° 1



GRÁFICO DE ERRORES



  
 Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 292-2095

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

# **10. NORMAS DE CENIZA VOLANTE**



# Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C618; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

## 1. Scope\*

1.1 This specification covers coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete where cementitious or pozzolanic action, or both, is desired, or where other properties normally attributed to fly ash or pozzolans may be desired, or where both objectives are to be achieved.

**NOTE 1.** Finely divided materials may tend to reduce the entrained air content of concrete. Hence, if a fly ash or natural pozzolan is added to any concrete for which entrainment of air is specified, provision should be made to ensure that the specified air content is maintained by air content tests and by use of additional air-entraining admixture or use of an air-entraining admixture in combination with air-entraining hydraulic cement.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as standard. No other units of measurement are included in this standard.

1.3 The text of this standard references notes and footnotes, which provide explanatory information. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of the standard.

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:<sup>2</sup>

- C125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates
- C311 Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete

## 3. Terminology

### 3.1 Definitions:

3.1.1 The terms used in this specification are defined in Terminology C125.

<sup>1</sup>This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.24 on Supplementary Cementitious Materials.

Current edition approved Dec. 15, 2012. Published January 2013. Originally approved in 1968. Last previous edition approved in 2012 as C618-12. DOI: 10.1520/C0618-12a.

<sup>2</sup>For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

3.1.2 *fly ash*—the finely divided residue that results from the combustion of ground or powdered coal and that is transported by flue gasses.

**NOTE 2.** This definition of fly ash does not include, among other things, the residue resulting from: (1) the burning of municipal garbage or any other refuse with coal; (2) the injection of lime directly into the boiler for sulfur removal; or (3) the burning of industrial or municipal garbage in incinerators commonly known as "incinerator ash."

## 4. Classification

4.1 *Class N*—Raw or calcined natural pozzolans that comply with the applicable requirements for the class as given herein, such as some diatomaceous earths; opaline cherts and shales; tuffs and volcanic ashes or pumicites, calcined or uncalcined; and various materials requiring calcination to induce satisfactory properties, such as some clays and shales.

4.2 *Class F*—Fly ash that meets the applicable requirements for this class as given herein. This class of fly ash has pozzolanic properties.

4.3 *Class C*—Fly ash that meets the applicable requirements for this class as given herein. This class of fly ash, in addition to having pozzolanic properties, also has some cementitious properties.

**NOTE 3.** Class F fly ash is typically produced from burning anthracite or bituminous coal, but may also be produced from subbituminous coal and from lignite. Class C fly ash is typically produced from burning lignite or subbituminous coal, and may also be produced from anthracite or bituminous coal. Class C fly ashes typically have total calcium contents, expressed as calcium oxide (CaO), that are higher than Class F fly ashes.

## 5. Ordering Information

5.1 The purchaser shall specify any supplementary optional physical requirements.

5.2 The purchaser shall indicate which procedure, A or B, shall be used when specifying requirements for effectiveness in contribution to sulfate resistance under Table 3.

## 6. Chemical Composition

6.1 Fly ash and natural pozzolans shall conform to the requirements as to chemical composition prescribed in Table 1.



**TABLE 1 Chemical Requirements**

	Class		
	N	F	C
Silicon dioxide (SiO <sub>2</sub> ) plus aluminum oxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) plus iron oxide (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), min, %	70.0	70.0	50.0
Sulfur trioxide (SO <sub>3</sub> ), max, %	4.0	5.0	5.0
Moisture content, max, %	3.0	3.0	3.0
Loss on ignition, max, %	10.0	6.0 <sup>d</sup>	6.0

<sup>d</sup>The use of Class F pozzolan containing up to 12.0 % loss on ignition may be approved by the user if either acceptable performance records or laboratory test results are made available.

**TABLE 2 Physical Requirements**

	Class		
	N	F	C
<i>Fineness:</i>			
Amount retained when wet-sieved on 45 µm (No. 325) sieve, max, %	34	34	34
<i>Strength activity index:<sup>a</sup></i>			
With portland cement, at 7 days, min, percent of control	75 <sup>b</sup>	75 <sup>b</sup>	75 <sup>b</sup>
With portland cement, at 28 days, min, percent of control	75 <sup>b</sup>	75 <sup>b</sup>	75 <sup>b</sup>
Water requirement, max, percent of control	115	105	105
<i>Soundness:<sup>c</sup></i>			
Autoclave expansion or contraction, max, %	0.8	0.8	0.8
<i>Uniformity requirements:</i>			
The density and fineness of individual samples shall not vary from the average established by the ten preceding tests, or by all preceding tests if the number is less than ten, by more than:			
Density, max variation from average, %	5	5	5
Percent retained on 45-µm (No. 325), max variation, percentage points from average	5	5	5

<sup>a</sup>The *strength activity index* with portland cement is not to be considered a measure of the compressive strength of concrete containing the fly ash or natural pozzolan. The mass of fly ash or natural pozzolan specified for the test to determine the *strength activity index* with portland cement is not considered to be the proportion recommended for the concrete to be used in the work. The optimum amount of fly ash or natural pozzolan for any specific project is determined by the required properties of the concrete and other constituents of the concrete and is to be established by testing. *Strength activity index* with portland cement is a measure of reactivity with a given cement and is subject to variation depending on the source of both the fly ash or natural pozzolan and the cement.

<sup>b</sup>Meeting the 7 day or 28 day *strength activity index* will indicate specification compliance.

<sup>c</sup>If the fly ash or natural pozzolan will constitute more than 20 % by mass of the cementitious material in the project mixture, the test specimens for autoclave expansion shall contain that anticipated percentage. Excessive autoclave expansion is highly significant in cases where water to cementitious material ratios are low, for example, in block or shotcrete mixtures.

Note 4—The chemical component determinations and the limits placed on each do not predict the performance of the fly ash or natural pozzolan with hydraulic cement in concrete, but collectively help describe composition and uniformity of the material.

## 7. Physical Properties

7.1 Fly ash and natural pozzolans shall conform to the physical requirements prescribed in Table 2. Supplementary optional physical requirements are shown in Table 3.

## 8. Methods of Sampling and Testing

8.1 Sample and test the fly ash or natural pozzolan in accordance with the requirements of Test Methods C311.

8.2 Use cement of the type proposed for use in the work and, if available, from the mill proposed as the source of the cement, in all tests requiring the use of hydraulic cement.

## 9. Storage and Inspection

9.1 The fly ash or natural pozzolan shall be stored in such a manner as to permit easy access for proper inspection and identification of each shipment.

9.2 Inspection of the material shall be made as agreed upon by the purchaser and the seller as part of the purchase contract.

## 10. Rejection

10.1 The purchaser has the right to reject material that fails to conform to the requirements of this specification. Rejection shall be reported to the producer or supplier promptly and in writing.

10.2 The purchaser has the right to reject packages varying more than 5 % from the stated weight. The purchaser also has the right to reject the entire shipment if the average weight of the packages in any shipment, as shown by weighing 50 packages taken at random, is less than that specified.

10.3 The purchaser has the right to require that material in storage prior to shipment for a period longer than 6 months after testing be retested. The purchaser has the right to reject such material if it fails to meet the fineness requirements.

## 11. Packaging and Package Marking

11.1 When the fly ash or natural pozzolan is delivered in packages, the class, name, and brand of the producer, and the

**TABLE 3 Supplementary Optional Physical Requirements**

NOTE 1 These optional requirements apply only when specifically requested.

	Class		
	N	F	C
Increase of drying shrinkage of mortar bars at 28 days, max. difference, in %, over control <sup>a</sup>	0.03	0.03	0.03
Uniformity Requirements: In addition, when air-entraining concrete is specified, the quantity of air-entraining agent required to produce an air content of 18.0 vol % of mortar shall not vary from the average established by the ten preceding tests or by all preceding tests if less than ten, by more than, %	20	20	20
Effectiveness in Controlling Alkali-Silica Reaction <sup>b</sup> Expansion of test mixture as percentage of low-alkali cement control, at 14 days, max. %	100	100	100
Effectiveness in Contributing to Sulfate Resistance: <sup>c</sup> Procedure A: Expansion of test mixture: For moderate sulfate exposure after 6 months exposure, max. % For high sulfate exposure after 6 months exposure, max. %	0.10 0.05	0.10 0.05	0.10 0.05
Procedure B: Expansion of test mixture as a percentage of sulfate resistance cement control after at least 6 months exposure, max. %	100	100	100

<sup>a</sup> Determination of compliance or noncompliance with the requirement relating to increase in drying shrinkage will be made only at the request of the purchaser.

<sup>b</sup> Fly ash or natural pozzolans meeting this requirement are considered as effective in controlling alkali silica reactions as the use of the low-alkali control cement used in the evaluation. However, the fly ash or natural pozzolan shall be considered effective only when used at percentages by mass of the total cementitious material equal to or exceeding that used in the tests and when the alkali content of the cement to be used does not exceed that used in the tests by more than 0.05 %. See Appendix X1, Test Methods C311.

<sup>c</sup> Fly ash or natural pozzolan shall be considered effective only when the fly ash or natural pozzolan is used at percentages, by mass, of the total cementitious material within 2 % of those that are successful in the test mixture or between two percentages that are successful, and when the  $C_3A$  content of the project cement is less than, or equal to, that which was used in the test mixtures. See Appendix X2 of Test Method C311.

weight of the material contained therein, shall be plainly marked on each package. Similar information shall be provided in the shipping invoices accompanying the shipment of packaged or bulk material.

## 12. Supplier's Certification

12.1 Upon request of the purchaser, in the contract or the order, a supplier's report shall be furnished stating the results of tests made on samples of the material and certifying the product conforms to all applicable requirements of this specification. In addition, the report shall include the percentages of

magnesium oxide ( $MgO$ ), sodium oxide ( $Na_2O$ ), potassium oxide ( $K_2O$ ), and calcium oxide ( $CaO$ ), all determined as described in Test Methods C311. The report shall also include the total alkali content of the material, expressed as equivalent percentage of sodium oxide ( $Na_2O_e$ ).

NOTE 5 Guidance on preparing the supplier's report is provided in Appendix X1.

## 13. Keywords

13.1 fly ash; natural pozzolan; pozzolans

## APPENDIX

(Nonmandatory Information)

### X1. SUPPLIER'S CERTIFICATION REPORT

X1.1 To provide uniformity for reporting the results of tests performed on pozzolans under this specification, and affirming

compliance to the applicable limits of this standard, an example report of analysis is shown in Fig. X1.1.

**REPORT OF POZZOLAN ANALYSIS**

<b>Plant:</b>	XYZ Power Station	<b>Date:</b>	March 10, 20XX
<b>Supplier:</b>	ABC Materials Company		
<b>Product Class:</b>	CLASS F		
<b>Sampling Period:</b>	January 10, 20XX to February 10, 20XX	<b>Type:</b>	Composite

**STANDARD REQUIREMENTS (ASTM C618 Tables 1 and 2)**

Chemical Composition (mass %)	Result	ASTM C618-12a Limits		
		Class N	Class F	Class C
Silicon Oxide (SiO <sub>2</sub> )	61			
Aluminum Oxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	18			
Iron Oxide (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T))	5.2			
SUM (SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T))	84.2	70.0 min.	70.0 min.	50.0 min.
Sulfur Trioxide (SO <sub>3</sub> )	2.3	4.0 max.	5.0 max.	5.0 max.
Calcium Oxide (CaO)	6			
Magnesium Oxide (MgO)	1			
Sodium Oxide (Na <sub>2</sub> O)	0.7			
Potassium Oxide (K <sub>2</sub> O)	0.8			
Sodium Oxide Equivalent (Na <sub>2</sub> O + 0.658K <sub>2</sub> O)	1.2			
Moisture Content	0.5	3.0 max.	3.0 max.	3.0 max.
Loss on Ignition	0.2	10.0 max.	6.0 max.	6.0 max.
<b>Physical Tests</b>				
Fineness				
Retained on a 45- $\mu$ m sieve (%)	12.0	34 max.	34 max.	34 max.
Strength Activity Index				
Ratio to Control @ 7 days	94	75 min.	75 min.	75 min.
Ratio to Control @ 28 days	103	75 min.	75 min.	75 min.
Water Requirement (% of Control)	98	115 max.	105 max.	105 max.
Soundness				
Autoclave Expansion (%)	0.05	0.8 max.	0.8 max.	0.8 max.
Density (grams per cubic cm)	2.45			
Uniformity (average established from ten preceding tests or all tests if less than 10 values are available)				
Fineness (percentage points from avg.)	-1.1	+5 max.	+5 max.	+5 max.
Density (percentage points from avg.)	+1.5	+5 max.	+5 max.	+5 max.

**SUPPLEMENTARY OPTIONAL PHYSICAL REQUIREMENTS (ASTM C618 Table 3)**

No tests requested

Signature: \_\_\_\_\_ Title: \_\_\_\_\_

**FIG. X1.1 Example of a Supplier's Report**
**SUMMARY OF CHANGES**

Committee C09 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, C618 – 12, that may impact the use of this specification. (Approved December 15, 2012)

- |  |  |
|--|--|
| (1) Added new Section 12 Supplier's Certification.             | (3) Added example of a supplier's report in new Appendix X1. |
| (2) Added new Note 5 to refer to example of supplier's report. |  |

Committee C09 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, C618 – 08a, that may impact the use of this specification. (Approved February 1, 2012)

(1) Revised Note 3 to remove reference to 10 % CaO.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)/COPYRIGHT).*

# **11. MANUAL DE CARRETERAS**



PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

Viceministerio  
de Transportes

Dirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

---

# CAPÍTULO IV

## SUELOS

---



## SUELOS

En este capítulo se desarrollan pautas para identificar las características y la clasificación de los suelos que se utilizarán en la construcción de los pavimentos de las carreteras del Perú.

La exploración e investigación del suelo es muy importante tanto para la determinación de las características del suelo, como para el correcto diseño de la estructura del pavimento. Si la información registrada y las muestras enviadas al laboratorio no son representativas, los resultados de las pruebas aun con exigencias de precisión, no tendrán mayor sentido para los fines propuestos.

### 4.1 Exploración de suelos y rocas

AASHTO para la investigación y muestreo de suelos y rocas recomienda la aplicación de la norma T 86-90 que equivale a la ASTM D420-69; para el presente manual, se aplicará para todos los efectos el procedimiento establecido en las normas MTC E 101, MTC E 102, MTC E 103 y MTC E 104, que recoge los mencionados alcances de AASHTO y ASTM. En este capítulo se dan pautas complementarias para llevar a cabo el muestreo e investigación de suelos y rocas.

Para la exploración de suelos y rocas primero deberá efectuarse un reconocimiento del terreno y como resultado de ello un programa de exploración e investigación de campo a lo largo de la vía y en las zonas de préstamo, para de esta manera identificar los diferentes tipos de suelo que puedan presentarse.

El reconocimiento del terreno permitirá identificar los cortes naturales y/o artificiales, definir los principales estratos de suelos superficiales, delimitar las zonas en las cuales los suelos presentan características similares, asimismo identificar las zonas de riesgo o poco recomendables para emplazar el trazo de la vía.

El programa de exploración e investigación de campo incluirá la ejecución de calicatas o pozos exploratorios, cuyo espaciamiento dependerá fundamentalmente de las características de los materiales subyacentes en el trazo de la vía. Generalmente están espaciadas entre 250 m y 2,000 m, pero pueden estar más próximas dependiendo de puntos singulares, como en los casos de:

- cambio en la topografía de la zona en estudio;
- por la naturaleza de los suelos o cuando los suelos se presentan en forma errática o irregular
- delimitar las zonas en que se detecten suelos que se consideren pobres o inadecuados;
- zonas que soportarán terraplenes o rellenos de altura mayor a 5.0 m;
- zonas donde la rasante se ubica muy próxima al terreno natural ( $h < 0.6$  m);
- en zonas de corte, se ubicarán los puntos de cambio de corte a terraplén o de terraplén a corte, para conocer el material a nivel de sub rasante.

De las calicatas o pozos exploratorios deberán obtenerse de cada estrato muestras representativas en número y cantidades suficientes de suelo o de roca, o de ambos, de cada material que sea importante para el diseño y la construcción. El tamaño y tipo de la muestra requerida depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, y del equipo de ensayo a ser usado.

Con las muestras obtenidas en la forma descrita, se efectuarán ensayos en laboratorio y finalmente con los datos obtenidos se pasará a la fase de gabinete, para consignar en forma gráfica y escrita los resultados obtenidos, asimismo se determinará un perfil estratigráfico de los suelos (eje y bordes), debidamente acotado en un espesor no menor a 1.50 m, teniendo como nivel superior la línea de sub rasante del diseño geométrico vial y debajo de ella, espesores y tipos de suelos del terraplén y los del terreno natural, con indicación de sus propiedades o características y los parámetros básicos para el diseño de pavimentos. Para obtener el perfil estratigráfico en zonas donde existirán cortes cerrados, se efectuarán métodos geofísicos de prospección que permitan determinar la naturaleza y características de los suelos y/o roca subyacente (según Norma MTC E 101).

#### 4.2 Caracterización de la sub rasante

Con el objeto de determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la sub rasante se llevarán a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.5 m de profundidad mínima; el número mínimo de calicatas por kilómetro, estará de acuerdo al [cuadro 4.1](#).

Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada, dentro de la faja que cubre el ancho de la calzada, a distancias aproximadamente iguales; para luego, si se considera necesario, densificar la exploración en puntos singulares del trazo de la vía, tal como se mencionan en el [numeral 4.1](#) del presente manual.

**Cuadro 4.1**  
**Número de Calicatas para Exploración de Suelos**

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"><li>Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li><li>Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li><li>Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li></ul>	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"><li>Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li><li>Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li><li>Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li></ul>	
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"><li>4 calicatas x km</li></ul>	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"><li>3 calicatas x km</li></ul>	
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"><li>2 calicatas x km</li></ul>	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA $\leq$ 200 veh/día, de una calzada.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"><li>1 calicata x km</li></ul>	

Fuente: Elaboración Propia, teniendo en cuenta el Tipo de Carretera establecido en la RD 037-2008-MTC/14 y el Manual de Ensayo de Materiales del MTC





El número de calicatas indicado en el **cuadro 4.1**, se aplica para pavimentos nuevos, reconstrucción y mejoramiento. En caso, de estudios de factibilidad o prefactibilidad se efectuará el número de calicatas indicadas en el referido cuadro espaciadas cada 2.0 km en vez de cada km. En caso de estudios a nivel de perfil se utilizará información secundaria existente en el tramo del proyecto, de no existir información secundaria se efectuará el número de calicatas del **cuadro 4.1** espaciadas cada 4.0 km en vez de cada km. En el caso de refuerzo o rehabilitación de pavimentos se tendrá en cuenta los resultados de las mediciones deflectométricas (deflectograma) y la sectorización de comportamiento homogéneo, efectuando por cada sector homogéneo (mínimo 4 calicatas) en correspondencia con los puntos de ensayo, una calicata donde la deflexión es máxima, una segunda calicata donde la deflexión es cercana a la deflexión característica, una tercera calicata donde la deflexión es cercana a la deflexión promedio y una cuarta calicata donde la deflexión ha sido mínima.

Las calicatas y ensayos efectuados en los estudios de preinversión (factibilidad, prefactibilidad o perfil), formarán parte del estudio definitivo, resultando que para el definitivo será sólo necesario efectuar calicatas y ensayos complementarios a los de estudios de preinversión, los mismos que sirven eventualmente, además como comprobatorios.

En caso el tramo tenga una longitud entre 500 m y 1,000 m el número de calicatas a realizar será la cantidad de calicatas para un kilómetro indicada en el **cuadro 4.1**. Si el tramo tiene una longitud menor a 500 m, el número de calicatas a realizar será la mitad de calicatas indicada en el **cuadro 4.1**.

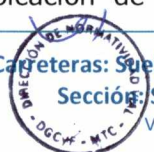
Si a lo largo del avance del estacado las condiciones topográficas o de trazo, muestran por ejemplo cambios en el perfil de corte a terraplén; o la naturaleza de los suelos del terreno evidencia un cambio significativo de sus características o se presentan suelos erráticos o irregulares, se deben ejecutar más calicatas por kilómetro en puntos singulares, que verifiquen el cambio.

También se determinará la presencia o no de suelos orgánicos, suelos expansivos, napa freática, rellenos sanitarios, de basura, etc., en cuyo caso las calicatas deben ser más profundas, delimitando los sectores con sub rasante pobre o inadecuada que requerirá, para determinar el tipo de estabilización o mejoramiento de suelos de la sub rasante, de estudios geotécnicos de estabilidad y de asentamientos donde el Ingeniero Responsable sustente en su Informe Técnico que la solución adoptada según la naturaleza del suelo, alcanzará estabilidad volumétrica, adecuada resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad. Este tipo de estudios también se realizarán en caso de terraplenes con altura mayor a 5.0 m. En este caso, los valores representativos resultado de los ensayos será sólo válida para el respectivo sector.

Donde se encuentre macizo rocoso dentro de la profundidad de investigación, se deberá aplicar lo establecido en la norma MTC E 101.

#### 4.2.1 Registros de excavación

De los estratos encontrados en cada una de las calicatas se obtendrán muestras representativas, las que deben ser descritas e identificadas mediante una tarjeta con la ubicación de la calicata (con coordenadas UTM WGS84), número de



muestra y profundidad y luego colocadas en bolsas de polietileno para su traslado al laboratorio. Así mismo, durante la ejecución de las investigaciones de campo se llevará un registro en el que se anotará el espesor de cada uno de los estratos del subsuelo, sus características de gradación y el estado de compacidad de cada uno de los materiales. Así mismo se extraerán muestras representativas de la subrasante para realizar ensayos de Módulos de resiliencia ( $M_R$ ) o ensayos de CBR para correlacionarlos con ecuaciones de  $M_R$ , la cantidad de ensayos dependerá del tipo de carretera (ver [cuadro 4.2](#)).

**Cuadro 4.2**  
**Número de Ensayos  $M_R$  y CBR**

Tipo de Carretera	Nº $M_R$ y CBR
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none"><li>• Calzada 2 carriles por sentido: 1 <math>M_R</math> cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido</li><li>• Calzada 3 carriles por sentido: 1 <math>M_R</math> cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido</li><li>• Calzada 4 carriles por sentido: 1 <math>M_R</math> cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido</li></ul>
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none"><li>• Calzada 2 carriles por sentido: 1 <math>M_R</math> cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido</li><li>• Calzada 3 carriles por sentido: 1 <math>M_R</math> cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido</li><li>• Calzada 4 carriles por sentido: 1 <math>M_R</math> cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido</li></ul>
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"><li>• 1 <math>M_R</math> cada 3 km y 1 CBR cada 1 km</li></ul>
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cada 1.5 km se realizará un CBR</li><li>• (*)</li></ul>
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cada 2 km se realizará un CBR</li><li>• (*)</li></ul>
Carreteras con un IMDA $\leq$ 200 veh/día, de una calzada.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cada 3 km se realizará un CBR</li></ul>

Fuente: Elaboración Propia, teniendo en cuenta el Tipo de Carretera establecido en la RD 037-2008-MTC/14 y el Manual de Ensayo de Materiales del MTC

(\*): La necesidad de efectuar los ensayos de módulos de resiliencia, será determinado en los respectivos términos de referencia, previa evaluación de la zona de estudio y la importancia de la obra.

El número de ensayos indicado en el [cuadro 4.2](#), se aplica para pavimentos nuevos, mejoramiento y rehabilitación. En caso, de estudios de factibilidad o prefactibilidad se efectuará el número de ensayos indicados en el referido cuadro, por 2 veces la longitud indicada (ejemplo, para Carreteras de Tercera Clase "Cada 4.0 km se realizará un CBR" en lugar de un CBR cada 2.0 km. En caso de estudios a nivel de perfil se utilizará información secundaria existente en el tramo del proyecto, de no existir información secundaria se efectuará el número de ensayos del [cuadro 4.2](#), por 3 veces la longitud indicada (ejemplo, para Carreteras de Segunda Clase "Cada 4.5 km se realizará un CBR" en lugar de un CBR cada 1.5 km). Para el caso de refuerzo o rehabilitación de pavimentos, se tendrá en cuenta las mediciones deflectométricas (deflectograma) y la sectorización de comportamiento homogéneo, efectuando por cada sector homogéneo (mínimo dos CBR) en correspondencia con los puntos de ensayo, un CBR donde la deflexión ha

sido máxima y el segundo CBR donde la deflexión es cercana a la deflexión característica.

Los ensayos de  $M_R$  o de CBR efectuados en los estudios de preinversión (factibilidad, prefactibilidad o perfil), formarán parte del estudio definitivo, resultando que para el definitivo será sólo necesario efectuar ensayos complementarios a los de estudios de preinversión, los mismos que sirven eventualmente, además como comprobatorios.

En caso el tramo tenga una longitud menor a la indicada, en el **cuadro 4.2**, para el número de  $M_R$  o de CBR a realizar, la cantidad de ensayos indicada en el cuadro debe ser tomada como mínima.

Se podrán realizar ensayos in situ, como el CBR en el terreno según ensayo MTC E 133-2000 y el ensayo mediante Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), cuya principal limitación se presenta en las mediciones de suelos con bolonería, pero resulta muy útil en suelos finos o blandos, donde precisamente se requiere de mayores evaluaciones del suelo y sus estratos, por lo que en este caso debe efectuarse este tipo de ensayos que permitirá tramificar mejor la capacidad soporte de la sub rasante. La cantidad de ensayos mínima será igual al número de calicatas indicado en el **cuadro 4.1**.

Los ensayos utilizando el LWD (deflectómetro de impacto liviano) o el SPT (ensayo de penetración estándar), se efectuarán de acuerdo al Manual de Ensayos de Materiales del MTC vigente, complementariamente se podrán utilizar las normas internacionales ASTM o AASHTO.

### 4.3 Descripción de los suelos

Los suelos encontrados serán descritos y clasificados de acuerdo a la metodología para construcción de vías, la clasificación se efectuará obligatoriamente por AASHTO y SUCS, se utilizarán los signos convencionales de los **cuadros 4.3 y 4.4**:

**Cuadro 4.3**  
**Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación AASHTO**

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A - 1 - a		A - 5
	A - 1 - b		A - 6
	A - 3		A - 7 - 5
	A - 2 - 4		A - 7 - 6
	A - 2 - 5		Materia Orgánica
	A - 2 - 6		Roca Sana
	A - 2 - 7		Roca Desintegrada
	A - 4		

Fuente: Simbología AASHTO



**Cuadro 4.4**  
**Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación SUCS**

	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de materia fino, variación en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
	Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcillosa
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa		Limo orgánico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino		Limo orgánico de plasticidad baja o mediano, arcilla grava, arcillaarenosa, arena limosa, arcilla magra
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios		Limo orgánico y arcilla limosa orgánica, baja plasticidad
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedios		Limo inorgánico, suelo fino gravoso o limoso, micacea o diatometacea, limo elástico

	Arcilla inorgánica de elevada plasticidad, arcilla gravosa
	Arcilla orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limo orgánico
	Turba, suelo considerablemente orgánico

Fuente: Manual de Ensayos de Materiales – Norma MTC E101, Símbolos gráficos para suelos

Las propiedades fundamentales a tomar en cuenta son:

- a. Granulometría:** representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas (Ensayo MTC E 107). A partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar.

El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño.

De acuerdo al tamaño de las partículas de suelo se definen los siguientes términos:

**Cuadro 4.5**  
**Clasificación de suelos según Tamaño de partículas**

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
		Arena media: 2.00 mm – 0.425mm
		Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

**b. La Plasticidad:** es la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por tanto la plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica, por lo que es necesario determinar los Límites de Atterberg.

Los Límites de Atterberg establecen cuán sensible es el comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad (agua), definiéndose los límites correspondientes a los tres estados de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites de Atterberg que miden la cohesión del suelo son: el límite líquido (LL, según ensayo MTC E 110), el límite plástico (LP, según ensayo MTC E 111) y el límite de contracción (LC, según ensayo MTC E 112).

Límite Líquido (LL), cuando el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse.

Límite Plástico (LP), cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

Límite de Contracción (retracción), cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad.

Además del LL y del LP, una característica a obtener es el Índice de plasticidad IP (ensayo MTC E 111) que se define como la diferencia entre LL y LP:

$$IP = LL - LP$$

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso. En tal sentido, el suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse según lo siguiente:



**Cuadro 4.6**  
**Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad**

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Se debe tener en cuenta que, en un suelo el contenido de arcilla, de acuerdo a su magnitud puede ser un elemento riesgoso en un suelo de sub rasante y en una estructura de pavimento, debido sobre todo a su gran sensibilidad al agua.

- c. Equivalente de Arena:** Es la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo o material arcilloso en los suelos o agregados finos (ensayo MTC E 114). Es el ensayo que da resultados parecidos a los obtenidos mediante la determinación de los límites de Atterberg, aunque menos preciso. Tiene la ventaja de ser muy rápido y fácil de efectuar.

El valor de Equivalente de Arena (EA) es un indicativo de la plasticidad del suelo:

**Cuadro 4.7**  
**Clasificación de suelos según Equivalente de Arena**

Equivalente de Arena	Característica
si EA > 40	el suelo no es plástico, es arena
Si 40 > EA > 20	el suelo es poco plástico y no heladizo
si EA < 20	el suelo es plástico y arcilloso

- d. Índice de Grupo:** es un índice normado por AASHTO de uso corriente para clasificar suelos, está basado en gran parte en los límites de Atterberg. El índice de grupo de un suelo se define mediante la fórmula:

$$IG = 0.2 (a) + 0.005 (ac) + 0.01(bd)$$

Donde:

- a** = F-35 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 -74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.
- b** = F-15 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 -74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.
- c** = LL - 40 (LL = límite líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.
- d** = IP-10 (IP = índice plástico). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20 o más.

El Índice de Grupo es un valor entero positivo, comprendido entre 0 y 20 o más. Cuando el IG calculado es negativo, se reporta como cero. Un índice cero significa un suelo muy bueno y un índice > 20, un suelo no utilizable para caminos.

**Cuadro 4.8**  
**Clasificación de suelos según Índice de Grupo**

Índice de Grupo	Suelo de Sub rasante
IG > 9	Inadecuado
IG está entre 4 a 9	Insuficiente
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 – 2	Bueno
IG está entre 0 – 1	Muy Bueno

- e. Humedad Natural:** Otra característica importante de los suelos es su humedad natural; puesto que la resistencia de los suelos de sub rasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que estos suelos presenten.

La determinación de la humedad natural (ensayo MTC E 108) permitirá comparar con la humedad óptima que se obtendrá en los ensayos Proctor para obtener el CBR del suelo (ensayo MTC E 132). Sí la humedad natural resulta igual o inferior a la humedad óptima, el Proyectista propondrá la compactación normal del suelo y el aporte de la cantidad conveniente de agua. Sí la humedad natural es superior a la humedad óptima y según la saturación del suelo, se propondrá, aumentar la energía de compactación, airear el suelo, o reemplazar el material saturado.

- f. Clasificación de los suelos:** Determinadas las características de los suelos, según los acápite anteriores, se podrá estimar con suficiente aproximación el comportamiento de los suelos, especialmente con el conocimiento de la granulometría, plasticidad e índice de grupo; y, luego clasificar los suelos.

La clasificación de los suelos se efectuará bajo el sistema mostrado en el [cuadro 4.9](#). Esta clasificación permite predecir el comportamiento aproximado de los suelos, que contribuirá a delimitar los sectores homogéneos desde el punto de vista geotécnico.

A continuación se presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundidos, AASHTO y ASTM (SUCS):

**Cuadro 4.9**  
**Correlación de Tipos de suelos AASHTO – SUCS**

Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM –D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: US Army Corps of Engineers

Para completar la información se presenta el [cuadro 4.10](#), que muestra la Clasificación de los Suelos basada en AASHTO M 145 y/o ASTM D 3282.



**Cuadro 4.10**  
**Clasificación de los Suelos basada en AASHTO M 145 y/o ASTM D 3282**



Clasificación general	Suelos granulares 35% máximo que pasa por tamiz de 0.075 mm (N° 200)							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.075 mm (N° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
<b>Análisis granulométrico</b> % que pasa por el tamiz de:												
2 mm (N° 10)	máx. 50											
0.425 mm (N° 40)	máx. 30	máx. 50	mín. 51									
F: 0.075 mm (N° 200)	máx. 15	máx. 25	máx. 10	Máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	mín. 36	mín. 36	mín. 36	mín. 36	mín. 36
<b>Características de la fracción que pasa el 0.425 (N° 40)</b>												
<b>Características de la fracción que pasa del tamiz (N° 40)</b>												
<b>LL: Límite de Líquido</b>				máx. 40	mín. 41	máx. 40	mín. 41	máx. 40	Mín. 41	máx. 40	mín. 41	mín. 41
<b>IP: Índice de Plasticidad</b>	máx. 6	máx. 6	NP	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11 <sup>(a)</sup>	mín. 11 <sup>(b)</sup>
<b>Tipo de material</b>	Piedras, gravas y arenas		Arenas Finas	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
<b>Estimación general del suelo como sub rasante</b>	Excelente a bueno						Regular a insuficiente					

(a) Índice de Plasticidad del subgrupo A-7-5: es igual o menor que LL-30.

(b) Índice de Plasticidad del subgrupo A-7-6: es mayor que LL-30.

- Cuando se requiera relacionar los grupos con el Índice de Grupo (IG), estos deben mostrarse entre paréntesis después del símbolo del grupo, ejemplo: A-18:182-6 (3), A-4(5),A-7-5 (17), etc  
 $IG = (F-35) [0.2+0.005 ((LL-40))] +0.01 (F-15)(IP-10)$ .





- g. Ensayos CBR:** (ensayo MTC E 132), una vez que se haya clasificado los suelos por el sistema AASHTO y SUCS, para caminos contemplados en este manual, se elaborará un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo o tramo en estudio, a partir del cual se determinará el programa de ensayos para establecer el CBR que es el valor soporte o resistencia del suelo, que estará referido al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm.

Para la obtención del valor CBR de diseño de la sub rasante, se debe considerar lo siguiente:

1. En los sectores con 6 o más valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la sub rasante considerando el promedio del total de los valores analizados por sector de características homogéneas.
2. En los sectores con menos de 6 valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la sub rasante en función a los siguientes criterios:
  - Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.
  - Si los valores no son parecidos o no son similares, tomar el valor crítico (el más bajo) o en todo caso subdividir la sección a fin de agrupar subsectores con valores de CBR parecidos o similares y definir el valor promedio. La longitud de los subsectores no será menor a 100 m.

Son valores de CBR parecidos o similares los que se encuentran dentro de un determinado rango de categoría de sub rasante, según **Cuadro 4.11**.

3. Una vez definido el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificará a que categoría de sub rasante pertenece el sector o subtramo, según lo siguiente:

**Cuadro 4.11**  
**Categorías de Sub rasante**

Categorías de Sub rasante	CBR
S <sub>0</sub> : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Elaboración propia





## h. Ensayo de Módulo Resiliente

El método de diseño de pavimentos predominante en nuestro medio, es el correspondiente a la metodología AASHTO 1993 y el parámetro de importancia requerido por dicha metodología es el Módulo Resiliente ( $M_R$ ) o Elástico del material que conforma el par Pavimento-Subrasante.

Debido a lo especializado en la realización del ensayo de Módulo Resiliente, se cuenta con las publicaciones Design Pamphlet for the Determination of Design Subgrade in support of the 1993 AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures (Publicación N° FHWA-RD-97-083) y Design Pamphlet for the Determination of Layered Elastic Moduli for Flexible Pavement Design in Support of the 1993 AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures (Publicación N° FHWA-RD-97-077). Además la Guía AASHTO, recomendó para esa edición de 1993 el uso de una correlación  $M_R$ -CBR, solo para casos de suelos finos y  $CBR \leq 10\%$  obtenido por el método del Cuerpo de Ingenieros USA.

En décadas pasadas y a nivel mundial diversos investigadores hallaron para diferentes tipos de suelos, correlaciones aplicables a su propia realidad y que algunos diseñadores las adoptaron. Uno de estas correlaciones es la planteada por TRRL en 1983 para valores de CBR entre 2% a 12%, la misma que se contempló utilizar en el proyecto NCHRP 1-37A, pero que evaluada a través del proyecto 1-40A del mismo programa NCHRP. Se cuestionó su confiabilidad debido al procedimiento seguido en su determinación (técnicas de propagación de ondas) por lo que no es tomada en cuenta en la última edición de la guía AASHTO-2008 (manual MEPDG), recomendándose más bien (Tabla 11-10) valores característicos de  $M_R$  de acuerdo al tipo de suelo.

Para fines de diseño de pavimentos nuevos, se deben obtener los respectivos Módulos de Resiliencia ( $M_R$ ) mediante el desarrollo del Ensayo en laboratorio. en vez del uso de correlaciones debido a que sus resultados son muy sensibles a los factores relacionados a las propiedades del suelo y procedimientos de ensayo CBR -recordar que es la condición de un suelo sumergido- y por ende tendrían un gran sesgo, por lo que la tendencia de las instituciones especializadas en el tema inciden más en el desarrollo del ensayo de Módulo Resiliente; otra opción a sopesar desde el punto de vista de ingeniería es la adopción de valores típicos del  $M_R$  según las características del suelo o material en estudio.

Para ejecutar el ensayo de Módulo Resiliente se utilizará la norma MTC E 128 (AASHTO T274). El Módulo de resiliencia es una medida de la propiedad elástica de suelos, reconociéndole ciertas características no lineales. El Módulo de resiliencia se usa directamente en el diseño de pavimentos flexibles; y, para el diseño de pavimentos rígidos, debe convertirse a módulo de reacción de la sub rasante (valor k).



Con fines ilustrativos los catálogos de estructuras de pavimentos, mostrados en el presente manual, tienen un carácter referencial, por lo que necesariamente tendrán que ser validados en razón a los criterios expuestos en los párrafos precedentes.

A manera referencial se presenta la **Figura 4.1** de correlaciones típicas entre las clasificaciones y características de los suelos y el Módulo de Resiliencia, preparado por la NAPA Information Series 117 "Guidelines for Use of HMA Overlays to Rehabilitate PCC Pavements", 1994 y que está incluida en el documento Appendix CC-1 "Correlation of CBR values with soil index properties".

#### 4.4 Ensayos de laboratorio

Con las muestras extraídas de las calicatas efectuadas, se realizarán los siguientes ensayos de laboratorio:

- Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E 107.
- Límite Líquido ASTM D-4318, MTC E 110.
- Límite Plástico ASTM D-4318, MTC E 111.
- Contenido de humedad ASTM D-2216, MTC E 108.
- Clasificación SUCS ASTM D-2487
- Contenido Sulfatos ASTM D-516
- Contenido Cloruros ASTM D-512
- Contenido Sales Solubles Totales MTC E 219.
- Clasificación AASHTO M-145

#### Ensayos Especiales

- California Bearing Ratio ASTM D-1883, MTC E 132, o Módulo resiliente de suelos de sub rasante AASHTO T 274, MTC E 128.
- Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC E 115.
- Equivalente de Arena ASTM D-2419, MTC E 114.
- Ensayo de Expansión Libre ASTM D-4546
- Colapsabilidad Potencial ASTM D-5333
- Consolidación Uniaxial ASTM D-2435

Los ensayos deben ser ejecutados en laboratorios competentes que cuenten con:

- Personal calificado
- Instalaciones que faciliten la correcta ejecución de los ensayos
- Métodos y procedimientos apropiados para la realización de los ensayos, siguiendo las Normas de Ensayos del MTC o normas internacionales como ASTM o AASHTO, incluyendo técnicas estadísticas para el análisis de los datos de ensayo.
- Equipos debidamente calibrados, que garanticen la exactitud o validez de los resultados de los ensayos. Antes del inicio de los ensayos o de la puesta en servicio el proveedor debe presentar los respectivos certificados de





calibración de sus equipos, emitidos por Laboratorios de Calibración acreditados.

- Aseguramiento de calidad de los resultados de los ensayos.
- Informe de resultados de cada ensayo, presentado en forma de informe de ensayo o certificado de ensayo, que exprese el resultado de manera exacta, clara, sin ambigüedades y objetivamente, de acuerdo con las instrucciones específicas de los métodos de ensayo.

## 4.5 Informe de exploración

### 4.5.1 Perfil estratigráfico

En base a la información obtenida de los trabajos de campo y ensayos de laboratorio se realizará una descripción de los diferentes tipos de suelos encontrados en las calicatas o pozos. Una vez que se haya clasificado los suelos por el sistema AASHTO, se elaborará un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo o tramo en estudio, a partir del cual se determinará los suelos que controlarán el diseño y se establecerá el programa de ensayos para definir el CBR de diseño para cada sector homogéneo.

### 4.5.2 Sectorización

Para efectos del diseño de la estructura del pavimento se definirán sectores homogéneos donde, a lo largo de cada uno de ellos, las características del material del suelo de fundación o de la capa de sub rasante se identifican como uniforme. Dicha uniformidad se establecerá sobre la base de las características físico-mecánicas de los suelos (Clasificación, plasticidad). El proceso de sectorización requiere de análisis y criterio del proyectista, teniendo en cuenta las características del material de suelo de la sub rasante, el tráfico vial, el drenaje y/o subdrenaje, microclimas y otros aspectos que considere el Ingeniero Responsable.

Para la identificación de los sectores de características homogéneas, se tendrá en cuenta los resultados de las prospecciones y ensayos, previamente a ello se deberá establecer una estrategia para efectuar el programa exploratorio y, a partir de ello, se ordenará la toma de las muestras necesarias de cada perforación, de manera de poder evaluar aquellas características que siendo determinantes en su comportamiento, resulten de sencilla e indiscutible determinación.

### 4.5.3 Cortes y terraplenes

Los taludes de corte dependerán de la naturaleza del terreno y de su análisis de estabilidad (Estudio Geotécnico), pudiendo utilizarse (a modo referencial) las siguientes relaciones de corte en talud (V: H), que son apropiados para los tipos de materiales (rocas y suelos) indicados en el [cuadro 4.12](#).



**Cuadro 4.12**  
**Taludes de Corte**

CLASE DE TERRENO	TALUD (V: H)		
	V ≤ 5m	5m < V ≤ 10m	V > 10m
Roca Fija	10 : 1	10 : 1 (*)	(**)
Roca Suelta	6 : 1 - 4 : 1	4 : 1 - 2 : 1 (*)	(**)
Conglomerados Cementados	4 : 1	(*)	(**)
Suelos Consolidados Compactos	4 : 1	(*)	(**)
Conglomerados Comunes	3 : 1	(*)	(**)
Tierra Compacta	2 : 1 - 1 : 1	(*)	(**)
Tierra Suelta	1 : 1	(*)	(**)
Arenas Sueltas	1 : 2	(*)	(**)
Zonas blandas con abundante arcillas o zonas humedecidas por filtraciones	1 : 2 hasta 1 : 2	(*)	(**)

(\*) Requiere Banqueta o análisis de estabilidad

(\*\*) Requiere Análisis de Estabilidad

Nota: La relación V: H, indica que V corresponde a la altura vertical del talud y H la distancia horizontal.

Los taludes de relleno igualmente estarán en función de los materiales empleados, pudiendo utilizarse (a modo de taludes de relleno referenciales) los siguientes que son apropiados para los tipos de material incluidos en el siguiente cuadro:

**Cuadro 4.13**  
**Taludes de Relleno**

Materiales	Talud (V : H)		
	V ≤ 5m	5m < V ≤ 10m	V > 10m
Enrocado	1 : 1	(*)	(**)
Suelos diversos compactados (mayoría de suelos)	1 : 1.5	(*)	(**)
Arenas Limpias	1 : 2	(*)	(**)

(\*) Requiere Banqueta o análisis de estabilidad

(\*\*) Requiere Análisis de Estabilidad

#### 4.5.4 Sub rasante

Se considerarán como materiales aptos para las capas de la sub rasante suelos con  $CBR \geq 6\%$ . En caso de ser menor (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), se procederá a la estabilización de los suelos, para lo cual se analizarán alternativas de solución, de acuerdo a la naturaleza del suelo, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más conveniente técnica y económica. En el **Capítulo 9** Estabilización de Suelos, se describen diversos tipos de estabilización de suelos.

Para poder asignar la categoría de sub rasante indicada en el **cuadro 4.10**, los suelos de la explanación debajo del nivel superior de la sub rasante, deberán tener un espesor mínimo de 0.60 m del material correspondiente a la



categoría asignada, caso contrario se asignará a la categoría inmediata de calidad inferior.

El nivel superior de la sub rasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una sub rasante excelente - muy buena ( $CBR \geq 20\%$ ); a 0.80 m cuando se trate de una sub rasante buena - regular ( $6\% \leq CBR < 20\%$ ); a 1.00 m cuando se trate de una sub rasante pobre ( $3\% \leq CBR < 6\%$ ); y, a 1.20 m cuando se trate de una sub rasante inadecuada ( $CBR < 3\%$ ). En caso necesario, se colocarán subdrenes o capas anticontaminantes y/o drenantes o se elevará la rasante hasta el nivel necesario.

Cuando la capa de sub rasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material separador de 10 cm. de espesor como mínimo o un geosintético, según lo justifique el Ingeniero Responsable.

Se estabilizarán las zonas húmedas locales o áreas blandas o sub rasantes inadecuadas, cuya estabilización o mejoramiento será materia de un estudio geotécnico de estabilidad y de asentamientos donde el Ingeniero Responsable analizará según la naturaleza del suelo diversas alternativas como estabilización con cal o cemento, estabilización química de suelos, geosintéticos, pedraplenes, enrocados, capas de arena, reemplazo, etc; definiendo y justificando en su Informe Técnico la solución adoptada, donde se indicará que con la solución adoptada el suelo alcanzará estabilidad volumétrica, adecuada resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad.

En zonas sobre los 4,000 msnm, se evaluará la acción de los friajes o las heladas en los suelos. En general, la acción de congelamiento está asociada con la profundidad de la napa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento. En el caso de presentarse en los últimos 0.60 m de la sub rasante, suelos susceptibles al congelamiento por acción climática, se reemplazará este suelo en el espesor comprometido o se levantará la rasante con un relleno granular adecuado, hasta el nivel necesario. Son suelos susceptibles al congelamiento, por acción climática rigurosa, los suelos limosos, igualmente los suelos que contienen más del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm; con excepción de las arenas finas uniformes que aunque contienen hasta el 10% de materiales de tamaño inferior a los 0.02 mm, no son susceptibles al congelamiento. En general, son suelos no susceptibles los que contienen menos del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm.

La curva granulométrica de la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0.074 mm (Nº 200) se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios (según Norma MTC E 109).





PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

Viceministerio  
de Transportes

Dirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

---

# CAPÍTULO IX

## ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

---





## ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de sub rasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos. En cambio cuando se estabiliza una subbase granular o base granular, para obtener un material de mejor calidad se denomina como subbase o base granular tratada (con cemento o con cal o con asfalto, etc).

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación.

El manual ilustra diferentes metodologías de estabilización como: mejoramiento por sustitución de suelos de la sub rasante, estabilización mecánica de suelos, mejoramiento por combinación de suelos, suelos estabilizados con cal, cemento, escorias, emulsión asfáltica, estabilización química del suelo, estabilización con geosintéticos (geotextiles, geomallas u otros). Sin embargo, debe destacarse la significación que adquiere contar con ensayos de laboratorio, que demuestren la aptitud y tramos construidos que ratifiquen el buen resultado. Además, se debe garantizar que tanto la construcción como la conservación vial, puedan realizarse en forma simple, económica y con el equipamiento disponible.

### 9.1 Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos

- 1) Se considerarán como materiales aptos para las capas de la sub rasante suelos con  $CBR \geq 6\%$ . En caso de ser menor (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un Estudio Especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo, donde el Ingeniero Responsable analizará diversas alternativas de estabilización o de solución, como: Estabilización mecánica, Reemplazo del suelo de cimentación, Estabilización con productos o aditivos que mejoran las propiedades del suelo, Estabilización con geosintéticos (geotextiles, geomallas u otros), Pedraplenes, Capas de arena, Elevar la rasante o cambiar el trazo vial si las alternativas analizadas resultan ser demasiado costosas y complejas.
- 2) Cuando la capa de sub rasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material anticontaminante de 10 cm. de espesor como mínimo o un geotextil, según lo justifique el Ingeniero Responsable.





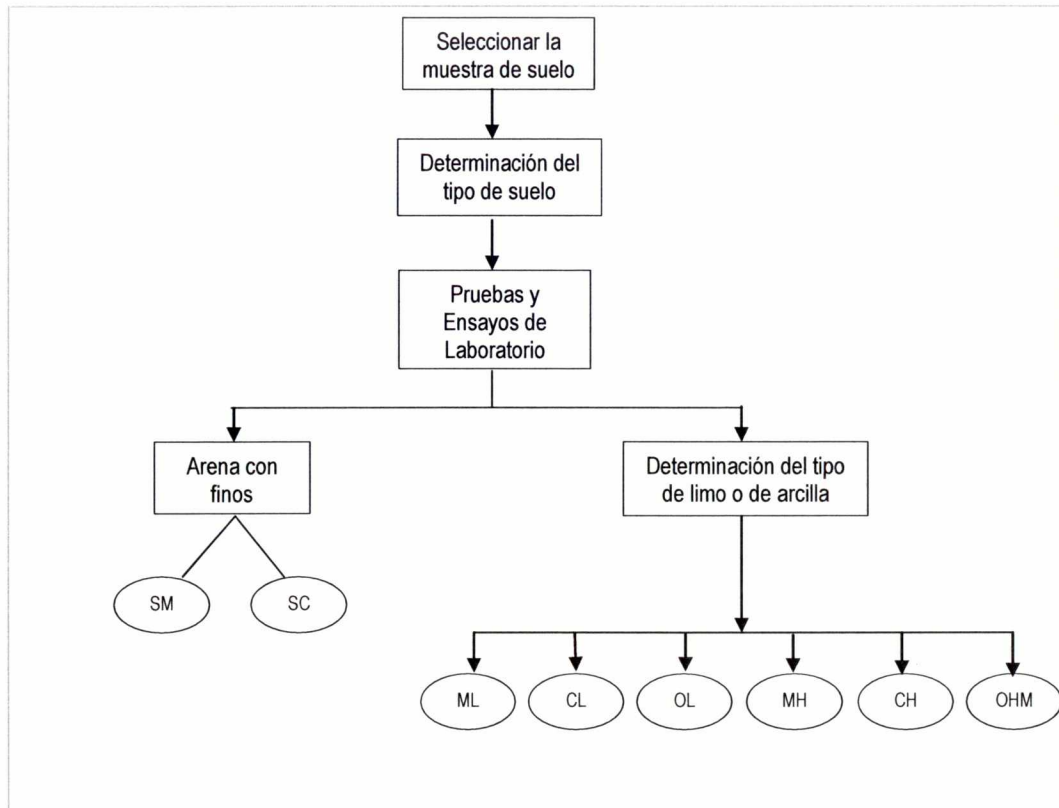
- 3) La superficie de la sub rasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una sub rasante extraordinaria y muy buena; a 0.80 m cuando se trate de una sub rasante buena y regular; a 1.00 m cuando se trate de una sub rasante pobre y, a 1.20 m cuando se trate de una sub rasante inadecuada. En caso necesario, se colocarán subdrenes o capas anticontaminantes y/o drenantes o se elevará la rasante hasta el nivel necesario.
- 4) En zonas sobre los 4,000 msnm, se evaluará la acción de las heladas en los suelos. En general, la acción de congelamiento está asociada con la profundidad de la napa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento. Si la profundidad de la napa freática es mayor a la indicada anteriormente (1.20 m), la acción de congelamiento no llegará a la capa superior de la sub rasante. En el caso de presentarse en la capa superior de la sub rasante (últimos 0.60 m) suelos susceptibles al congelamiento, se reemplazará este suelo en el espesor comprometido o se levantará la rasante con un relleno granular adecuado, hasta el nivel necesario. Son suelos susceptibles al congelamiento, los suelos limosos. Igualmente los suelos que contienen más del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm, con excepción de las arenas finas uniformes que aunque contienen hasta el 10% de materiales de tamaño inferior a los 0.02mm, no son susceptibles al congelamiento. En general, son suelos no susceptibles los que contienen menos del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm.

La curva granulométrica de la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0.074 mm (Nº 200) se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios (según Norma MTC E 109).

- 5) Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente. Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas.



**Figura 9.1**  
**Proceso para la Identificación del Tipo del suelo**

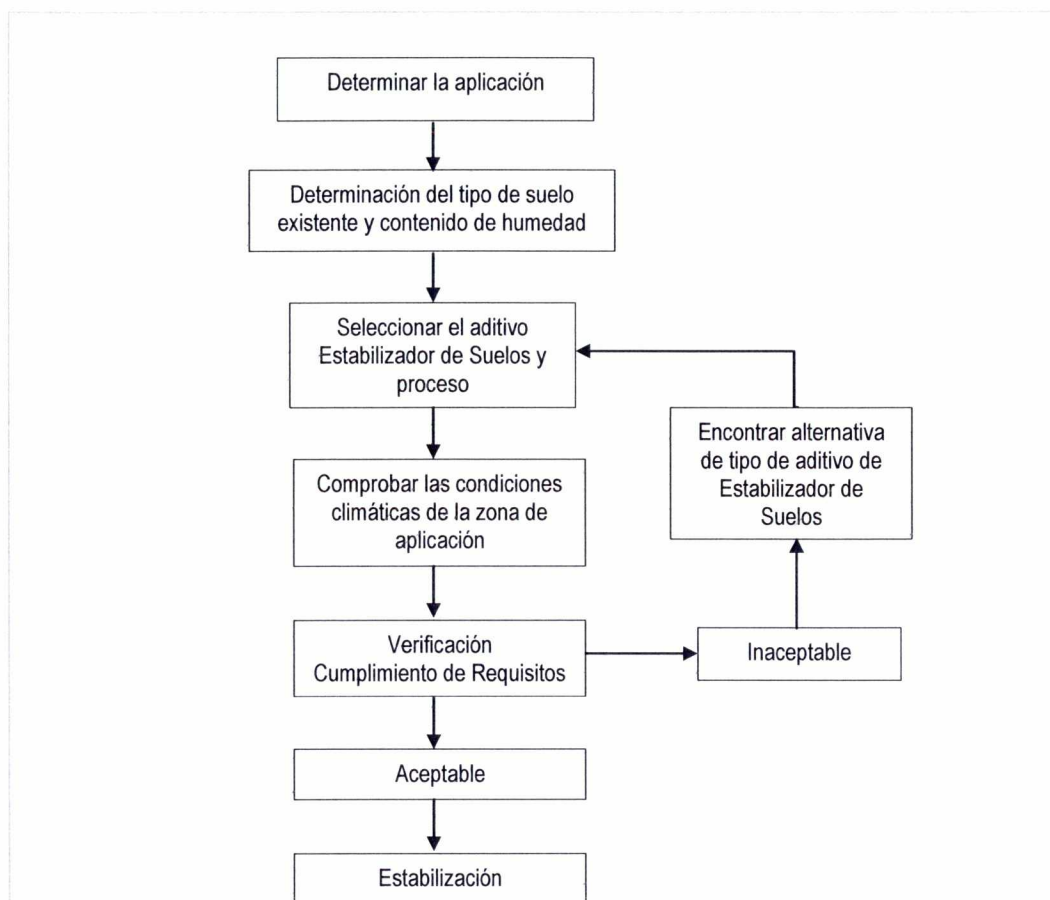


- 6) Los factores que se considerarán al seleccionar el método más conveniente de estabilización son:
- Tipo de suelo a estabilizar
  - Uso propuesto del suelo estabilizado
  - Tipo de aditivo estabilizador de suelos
  - Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará
  - Disponibilidad del tipo de aditivo estabilizador
  - Disponibilidad del equipo adecuado
  - Costos comparativos

El siguiente diagrama sintetiza un procedimiento para determinar el método apropiado de estabilización:



**Figura 9.2**  
**Proceso de selección del Tipo de Estabilización**



- 7) A continuación se presentan dos guías referenciales para la selección del tipo de estabilizador, que satisface las restricciones y observaciones de cada tipo de suelo.





**Cuadro 9.1**  
**Guía Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador**

Área	Clase de suelo	Tipo de Estabilizador Recomendado		Restricción en LL e IP del suelo	Restricción en el porcentaje que pasa la malla 200	Observaciones
1 A	SW o SP	(1)	Asfalto			
		(2)	Cemento Portland			
		(3)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1 B	SW - SM o SP - SM o SW - SC o SP - PC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		
		(2)	Cemento Portland	IP no excede de 30		
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1 C	SM o SC o SM-SC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	
		(2)	Cemento Portland	(b)		
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 A	GW o GP	(1)	Asfalto			Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Portland			El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 B	GW - GM o GP - GM o GW - GC o GP-GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Portland	IP no excede de 30		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 C	GM o GC o GM - GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Portland	(b)		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Ceniza	IP no excede de 25		
3	CH o CL o MH o ML o OH o OL o ML-CL	(1)	Cemento Portland	LL no menor de 40 IP no menor de 20		Suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios
		(2)	Cal	IP no menor de 12		
IP = Índice Plástico (b) $IP = 20 + (50 - \text{porcentaje que pasa la Malla N° 200}) / 4$				Sin restricción u observación No es necesario aditivo estabilizador		Fuente: US Army Corps of Engineers





**Cuadro 9.2**  
**Guía Complementaria Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador**

Tipo de Estabilizador Recomendado	Normas Técnicas	Suelo <sup>(1)</sup>	Dosificación <sup>(3)</sup>	Curado (Apertura Al Tránsito) <sup>(5)</sup>	Observaciones
Cemento	EG-CBT-2008 Sección 3068 ASTM C150 AASHTO M85	A-1,A-2,A-3,A-4,A-5,A-6 y A-7 LL > 40% IP ≥ 18% CMO <sup>(2)</sup> < 1.0% Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) < 0.2% Abrasión < 50% Durabilidad SO <sub>4</sub> Ca <sup>(4)</sup> - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO <sub>4</sub> Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	2 - 12%	7 días	Diseño de mezcla de acuerdo a recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)
Emulsión	ASTM D2397 o AASHTO M208	A-1, A-2 y A3 Pasante malla N° 200 ≤ 10% IP ≤ 8% Equiv. Arena ≥ 40% CMO <sup>(2)</sup> < 1.0% Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) < 0.6% Abrasión < 50% Durabilidad SO <sub>4</sub> Ca <sup>(4)</sup> - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO <sub>4</sub> Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	4 - 8%	Mínimo 24 horas	Cantidad de aplicación a ser definida de acuerdo a resultados del ensayo Marshall modificado o Illinois
Cal	EG-CBT-2008 Sección 3078 AASHTO M216 ASTM C977	A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7 10% ≤ IP ≤ 50% CMO <sup>(2)</sup> < 3.0% Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) < 0.2% Abrasión < 50%	2 - 8%	Mínimo 72 horas	Para IP > 50%, se puede aplicar cal en dos etapas Diseño de mezcla de acuerdo a la Norma ASTM D 6276
Cloruro de Calcio	ASTM D98 ASTM D345 ASTM E449 MTC E 1109	A-1, A-2, y A-3 IP ≤ 15% CMO <sup>(2)</sup> < 3.0% Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) < 0.2% Abrasión < 50%	1 a 3% en peso del suelo seco	24 horas	
Cloruro de Sodio	EG-CBT-2008 Sección 309B ASTM E534 MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 8% ≤ IP ≤ 15% CMO <sup>(2)</sup> < 3.0% Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m <sup>3</sup>	07 días	La cantidad de sal depende de los resultados (dosificación) y tramo de prueba
Cloruro de Magnesio	MTC E 1109	A-1, A-2 y A-3 IP ≤ 15% CMO <sup>(2)</sup> < 3.0% pH: mínimo 5 Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m <sup>3</sup>	48 horas	La cantidad de sal depende de los resultados de laboratorio (dosificación) y tramo de prueba
Enzimas	EG-CBT-2008 Sección 308B MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 6% ≤ IP ≤ 15% 4.5 < pH < 8.5 CMO <sup>(2)</sup> No debe contener Abrasión < 50% % < N° 200: 10 - 35%	1L / 30-33 m <sup>3</sup>	De acuerdo a Especificaciones del fabricante	
Aceites sulfonados		Aplicable en suelos con partículas finas limosas o arcillosas, con LL bajo, arcillas y limos muy plásticos CMO <sup>(2)</sup> < 1.0% Abrasión < 50%		De acuerdo a Especificaciones del fabricante	

Fuente: Estudios Especiales del MTC



- (1) Espesor de tratamiento por capas de 6 a 8"  
Tamaño máximo: 2", debe carecer de restos vegetales  
Los suelos naturales, materiales de bancos de préstamo o mezcla de ambos que sean objeto de estabilización, deben estar definidos en el Expediente Técnico del Proyecto
- (2) CMO: Contenido de materia orgánica
- (3) Los diseños o dosificaciones deben indicar: fórmula de trabajo, tipo de suelo, cantidad de estabilizador, volumen de agua, valor de CBR o resistencia a compresión simple o resultados de ensayos Marshall modificado o Illinois, según corresponda al tipo de estabilizador aplicado
- (4) Para altitudes mayores a 3000 msnm
- (5) Después de finalizado el proceso de compactación

## 9.2 Estabilización mecánica de suelos

Con la Estabilización Mecánica de Suelos se pretende mejorar el material del suelo existente, sin cambiar la estructura y composición básica del mismo. Como herramienta para lograr este tipo de estabilización se utiliza la compactación, con la cual se reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo.

## 9.3 Estabilización por combinación de suelos

La estabilización por combinación de suelos considera la combinación o mezcla de los materiales del suelo existente con materiales de préstamo.

El suelo existente se disgregará o escarificará, en una profundidad de quince centímetros (15 cm) y luego se colocará el material de préstamo o de aporte. Los materiales disgregados y los de aporte se humedecerán o airearán hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación y previa eliminación de partículas mayores de setenta y cinco milímetros (75 mm), sí las hubiere. Luego se procederá a un mezclado de ambos suelos, se conformará y compactará cumpliendo las exigencias de densidad y espesores hasta el nivel de sub rasante fijado en el proyecto.

El suelo de aporte para el mejoramiento se aplicará en los sitios indicados en los documentos del proyecto, en cantidad tal, que se garantice que la mezcla con el suelo existente cumpla las exigencias de la **Sección 207** del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, vigente.

## 9.4 Estabilización por sustitución de los suelos

Cuando se prevea la construcción de la sub rasante mejorada solamente con material adicionado, pueden presentarse dos situaciones, sea que la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o que éste deba ser excavado previamente y reemplazado por el material de adición.

En el primer caso, el suelo existente se deberá escarificar, conformar y compactar a la densidad especificada para cuerpos de terraplén, en una profundidad de quince centímetros (15 cm). Una vez se considere que el suelo de soporte esté debidamente preparado, autorizará la colocación de los materiales, en espesores que garanticen la obtención del nivel de sub rasante y densidad exigidos, empleando el equipo de compactación adecuado. Dichos materiales se humedecerán o airearán, según sea necesario, para alcanzar la humedad más apropiada de compactación, procediéndose luego a su densificación.





En el segundo caso, el mejoramiento con material totalmente adicionado implica la remoción total del suelo natural existente, de acuerdo al espesor de reemplazo. Una vez alcanzado el nivel de excavación indicado, conformado y compactado el suelo, se procederá a la colocación y compactación en capas de los materiales, hasta alcanzar las cotas exigidas.

#### 9.4.1 Procedimiento para determinar el espesor de reemplazo en función al valor soporte o resistencia del suelo

Este procedimiento de cálculo para determinar en sectores localizados, el espesor de material a reemplazar se aplicará solo en casos de sub rasantes pobres, con suelos de plasticidad media, no expansivos y con valores soporte entre  $CBR \geq 3\%$  y  $CBR < 6\%$ , calculándose según lo siguiente:

- a) Se calculará el número estructural SN del pavimento para 20 años, el material a emplear tendrá un  $CBR \geq 10\%$  e IP menor a 10, o en todo caso será similar. Cuando en los sectores adyacentes al sector de sustitución de suelos presentan un  $CBR > 10\%$ , para el cálculo del SN se utilizará el mayor valor de CBR de diseño, que representa el material de reemplazo, este número estructural SN calculado se denominará SNm (mejorado), luego se calculará el SN del pavimento para el CBR del material de sub rasante existente (menor a 6%), que se denominará SNe (existente).
- b) Se realizará la diferencia algebraica de números estructurales

$$\Delta SN = SNe - SNm$$

- c) Habiéndose escogido el material de reemplazo ( $CBR \geq 10\%$ ) a colocar (según SNm calculado), se obtendrán los valores correspondientes de coeficiente estructural ( $a_i$ ) y coeficiente de drenaje ( $m_i$ ), luego de obtener dichos valores se procederá a obtener el espesor E, aplicando la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\Delta SN}{a_i \times m_i}$$

Siendo:

- E : Espesor de reemplazo en cm.
- $a_i$  : Coeficiente estructural del material a colocar / cm
- $m_i$  : Coeficiente de drenaje del material a colocar.

- d) Espesores recomendados de material a reemplazar.







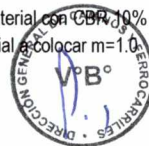
### Cuadro 9.3 Espesores Recomendados para Estabilización por Sustitución de Suelos

$3\% \leq \text{CBR} \leq 6\%$

Tráfico		Espesor de Reemplazo con Material CBR>10% (cm)
0	25 000	25.0
25 001	75 000	30.0
75 001	150 000	30.0
150 001	300 000	35.0
300 001	500 000	40.0
500 001	750 000	40.0
750 001	1 000 000	45.0
1 000 001	1 500 000	55.0
1 500 001	3 000 000	55.0
3 000 001	5 000 000	60.0
5 000 001	7 500 000	60.0
7 500 001	10 000 000	65.0
10 000 001	12 500 000	65.0
12 000 001	15 000 000	65.0
15 000 001	20 000 000	70.0
20 000 001	25 000 000	75.0
25 000 001	30 000 000	75.0

**Notas:**

1. Coeficiente estructural del material con CBR=10%  $a=0.021$
2. Coeficiente drenaje del material a colocar  $m=1.0$





## 9.5 Suelos estabilizados con cal

El suelo-cal se obtiene por mezcla íntima de suelo, cal y agua. La cal que se utiliza es óxido cálcico (cal anhidra o cal viva), obtenido por calcinación de materiales calizos, o hidróxido cálcico (cal hidratada o cal apagada). Estas cales se llaman también aéreas por la propiedad que tienen de endurecerse en el aire, una vez mezcladas con agua, por acción del anhídrido carbónico.

La experiencia demuestra que los productos de la hidratación del cemento pueden ser reproducidos combinando dos o más componentes primarios de este producto como:  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en las proporciones adecuadas y en presencia de agua.

Como la mayoría de los suelos contienen sílice y aluminio silicatos, la incorporación de cal anhidra ( $\text{CaO}$ ) o de cal hidratada ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) y agua en cantidad apropiada se puede obtener la composición deseada.

La Cal que se use para la construcción de Suelo-Cal puede ser Cal viva o hidratada y debe satisfacer los requisitos establecidos en la **Sección 301.B** del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, vigente; la Especificación AASHTO M-216 o ASTM C-977.

Al mezclar el suelo con la cal, se produce una reacción rápida de floculación e intercambio iónico, seguida de otra muy lenta de tipo puzolánico, con formación de nuevos productos químicos. La sílice y alúmina de las partículas del suelo se combinan con la cal en presencia de agua para formar silicatos y aluminatos cálcicos insolubles.

Uno de los efectos más importantes de la cal en el suelo, es el de cambiar apreciablemente su plasticidad. Por ejemplo suelos de plasticidad  $\text{IP} < 15$ , aumentan tanto el LL como el LP, y también muy ligeramente su IP; en cambio, en los suelos de plasticidad con  $\text{IP} > 15$ ) disminuye el IP.

También aumenta la humedad óptima de compactación, lo que permite la densificación de suelos de elevada humedad natural, que de otro modo no permitirían la construcción de la capa de rodadura sobre ellos.

Los suelos más apropiados para estabilizar con cal son los de granulometría fina de cierta plasticidad.

En cortes e incluso en terraplenes, donde se evidencien suelos arcillosos, resulta conveniente mejorar el suelo con un pequeño porcentaje de cal para proteger la explanación y formar una plataforma para la construcción de la capa de rodadura.

Al mezclar el suelo con cal éste se vuelve más friable y granular. Al aumentar su límite plástico y humedad óptima de compactación permite su puesta en obra con mayor facilidad.

Es frecuente que la mezcla se realice en dos fases, con un período intermedio de reacción de 1 - 2 días. La aplicación más usual de las estabilizaciones con cal es en sub rasantes y como capa de rodadura, en zonas de suelos arcillosos y/o con canteras de materiales granulares lejanos.





La National Lime Association resume las propiedades que se obtienen después de una estabilización o mejoramiento con cal, en lo siguiente:

- i) Reducción del índice de plasticidad, debido a una reducción del límite líquido y a un incremento del límite plástico.
- ii) Reducción considerable del ligante natural del suelo por aglomeración de partículas.
- iii) Obtención de un material más trabajable y fiable como producto de la reducción del contenido de agua en los suelos (rotura fácil de grumos).
- iv) La cal ayuda a secar los suelos húmedos lo que acelera su compactación.
- v) Reducción importante del potencial de contracción y del potencial de hinchamiento.
- vi) Incremento de la resistencia a la comprensión simple de la mezcla posterior al tiempo de curado alcanzando en algunos casos hasta un 40% de incremento.
- vii) Incremento de la capacidad portante del suelo (CBR).
- viii) Incremento de la resistencia a la tracción del suelo.
- ix) Formación de barreras impermeables que impiden la penetración de aguas de lluvia o el ascenso capilar de aguas subterráneas.

La experiencia americana ha demostrado que una estabilización con cal tiene excelentes resultados, en los siguientes casos:

- a) Materiales compuestos por mezclas de grava y arcilla para su uso como capa granular superficial con una incorporación de 2 a 4% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en peso.
- b) Suelos altamente arcillosos para usarlos como capa granular superficial (5 a 10% de cal en peso) o como capa inferior (1 a 3% de cal en peso).

Debe tenerse en cuenta, el problema del posible fisuramiento de estas estabilizaciones o de bases tratadas con cal, debido a una falta o descuido en el curado que hace perder humedad a la capa estabilizada, en el periodo previo a la colocación de la siguiente capa. Este proceso se agrava cuando la carretera se ubica en zonas calurosas; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con cal.

## 9.6 Suelos estabilizados con cemento

El material llamado suelo-cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. A diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están puntualmente unidos entre sí. Por ello, el suelo-cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto.

El contenido óptimo de agua se determina por el ensayo proctor como en la compactación de suelos.

Las propiedades del suelo-cemento dependen de:





- Tipo y cantidad de suelo, cemento y agua.
- Ejecución.
- Edad de la mezcla compactada y tipo de curado.

Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A-1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media ( $LL < 40$ ,  $IP < 18$ ).

La resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad-óptima aumentan o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo.

La dosificación de cemento para Suelo Cemento puede fijarse aproximadamente en función del tipo de suelo, según lo siguiente:

**Cuadro 9.4**  
**Rango de Cemento Requerido en Estabilización Suelo Cemento**

Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A - 1 - a	3 - 5
A - 1 - b	5 - 8
A - 2	5 - 9
A - 3	7 - 11
A - 4	7 - 12
A - 5	8 - 13
A - 6	9 - 15
A - 7	10 - 16

Fuente: Federal Highway Administration (FHWA)

Es conveniente que la compactación se inicie cuando la humedad in situ sea la prescrita y en todo caso, en menos de una hora a partir del mezclado, y se debe terminar entre 2 y 4 horas, según las condiciones atmosféricas. A nivel de sub rasante, se exige un grado de compactación mínimo 95% según AASHTO T180 en la capa de afirmado el mínimo es de 100%.

Debe tenerse en cuenta, el problema del posible fisuramiento de estas estabilizaciones o de bases tratadas con cemento, debido a una falta o descuido en el curado que hace perder humedad a la capa estabilizada, en el periodo previo a la colocación de la siguiente capa. Este proceso se agrava cuando la carretera se ubica en zonas calurosas; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con cemento.

### 9.7 Suelos estabilizados con escoria

Hoy en día las escorias de acería o de otros hornos de fundición se emplean en muchas partes del mundo, en la fabricación del cemento, como agregados en la fabricación de hormigón, como material de base y subbase en los pavimentos, en la estabilización de sub rasantes, en la carpeta asfáltica formando parte del ligante bituminoso; en la agricultura también se ha encontrado aplicación, así como en el tratamiento de aguas residuales. Al emplearse este subproducto en construcción de infraestructura vial se evita





explotar nuevas canteras, manteniendo el paisaje de la zona; como no requiere procesar los agregados se reduce el consumo de energía y combustibles, y se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente.

En caso de escasez de finos, se podrá efectuar una mezcla de escoria, arena fina y cal. La cal a utilizar será la indicada en la **Sección 301.B** Suelo Estabilizado con Cal, del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, vigente; no obstante, en este caso no se admitirá el uso de cal viva, porque podría causar expansión en el suelo.

En los suelos estabilizados con escoria y cal el porcentaje estimado en peso de cal se encuentra en 1.5 y 3% y de la escoria entre 35% - 45% en volumen. La utilización de grados con tamaño máximo limitado al de las arenas facilita los trabajos de mantenimiento sin desgastar prematuramente las cuchillas de motoniveladoras ni formar estrías sobre la calzada.

Además tamaño de agregados mayores a 1 cm al ser despedidos por la acción del tránsito pueden provocar daños a los vehículos así como a las personas.

### 9.8 Estabilización con cloruro de sodio

El principal uso de la sal es como control del polvo en bases y superficies de rodadura para tránsito ligero. También se utiliza en zonas muy secas para evitar la rápida evaporación del agua de compactación.

La sal es un estabilizante natural, compuesto aproximadamente por 98% de NaCl y un 2% de arcillas y limos, cuya propiedad fundamental, al ser higroscópico, es absorber la humedad del aire y de los materiales que le rodean, reduciendo el punto de evaporación y mejorando la cohesión del suelo. Su poder coagulante conlleva a un menor esfuerzo mecánico para lograr la densificación deseada, debido al intercambio iónico entre el Sodio y los minerales componentes de la matriz fina de los materiales, produciéndose una acción cementante.

Los suelos que se usen para la construcción de Suelo-Sal deben estar limpios y no deben tener mas de tres por ciento (3%) de su peso de materia orgánica.

El índice de plasticidad del suelo debe ser mayor a 8%, pero para la fracción de suelos que pasa la malla N°200 el requerimiento mínimo es de 12%. No obstante, para mayores índices de plasticidad del suelo, se permite aceptar para la fracción de suelos que pasa la malla #200, menores valores de IP hasta un límite no menor a 9%.

El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo no debe ser mayor de 1/3 del espesor de la capa compactada de Suelo-Sal. El espesor total de la capa de suelo estabilizado con sal será de 150 mm o 200 mm, según se especifique en el Proyecto.

La Sal (cloruro de sodio) se produce mediante 3 métodos, el más antiguo consiste en el empleo del calor solar para producir la evaporación del agua salada, con lo que se obtienen los residuos de sal. Otro método consiste en la





extracción directa de las minas de sal y el tercer método consiste en la evaporación del agua de mar mediante el empleo de hornos.

El cloruro de sodio se presenta en forma de cristales, fácilmente solubles en agua, los cuales son higroscópicos y se les consigue en el mercado constituyendo cristales grandes o polvo fino y con diferentes grados de pureza.

Las características típicas de la sal (cloruro de sodio) son:

**Cuadro 9.5**  
**Características Típicas de Sal (Cloruro de Sodio)**

Características	Límites
Cloruro de sodio, %	98.00 – 99.70
Humedad, %	2.00 – 3.60
Materia insoluble, %	0.007 – 0.175
Ion calcio, %	0.035 – 0.910
Ion magnesio, %	0.002 – 0.074
Ion sulfato, %	0.125 – 0.355
Tamiz 4.75 mm (Nº 4)	20 – 55%
Tamiz 1.18 mm (Nº 16)	50 – 70%
% Pasa Tamiz 1.18 mm (Nº 16)	13% max

Normalmente la cantidad de sal está comprendida entre 50 y 80 kg/m<sup>3</sup> de suelo a estabilizar. No obstante, la cantidad adecuada de sal depende de los resultados que se obtengan del tramo de prueba.

El agua que se use para la construcción de Bases de Suelo – Sal debe estar limpia, no debe contener materia orgánica y debe estar libre de aceites, ácidos y álcalis perjudiciales.

Se podrá incorporar al agua, sal (Cloruro de Sodio), produciendo salmuera o también podrá aplicarse el agua de mar, mediante riego de salmueras, verificando que la cantidad de agua regada contenga la dosis adecuada de sal.

La mezcla sobre la vía es el conjunto de operaciones que, mediante el mezclado sobre la plataforma de la vía del suelo con la Sal y con el agua, utilizando el equipo adecuado, permite obtener la mezcla de Suelo – Sal que satisfaga los requisitos establecidos. Para mezclar es más adecuado el uso de rastras con discos rotatorios. La compactación se puede iniciar en cualquier momento luego de perfilada la superficie con el equipo adecuado al tipo de suelo. Cuando se observe que se ha perdido la sal por efecto del tránsito o las lluvias, la superficie debe rociarse con 450grs de sal por cada metro cuadrado.





## 9.9 Estabilización con cloruro de calcio

Este producto trabaja de forma similar a la sal común, pero es preferible debido al efecto oxidante que tiene el cloruro de sodio. En todo caso, el cloruro de calcio ayuda al proceso de compactación y contribuye con la resistencia del suelo, previene el desmoronamiento de la superficie y es un paliativo del polvo.

Las características higroscópicas de este producto ayudan a mantener la humedad en la superficie del camino.

Se puede utilizar de dos formas:

- En granos regulares o Tipo I
- En hojuelas o pelotillas o Tipo II

La dosificación es de 1% - 2% de cloruro de calcio en peso respecto del suelo seco. El mezclado, compactación y terminación son similares a los de la estabilización con cloruro de sodio; generalmente se aplica disuelto en agua mediante riego al comienzo de la temporada seca.

El suelo a estabilizar deberá presentar las siguientes características:

- Agregado grueso (1" - N° 4) de 10 - 60%
- Agregado fino menor que la malla N° 200 de 10 - 30%
- Índice plástico IP = 4 - 15%
- Sulfatos 001% máximo.

## 9.10 Estabilización con cloruro de magnesio

El cloruro de magnesio (MgCl) es un cloruro en forma de cristales de color blanco, más efectivo que el cloruro de calcio para incrementar la tensión superficial produciendo una superficie de rodado más dura. Químicamente, el cloruro de magnesio está constituido aproximadamente por un 10.5% de magnesio, un 33.5% de cloro, un 52% de agua y un 4% de impurezas, grasoso al tacto por su gran contenido de humedad. Para el uso vial presenta las siguientes propiedades útiles:

- Higroscópica: Posee la capacidad de absorber humedad del ambiente, incluso en zonas sumamente áridas.
- Ligante: Cohesiona las partículas finas, permitiendo consolidar la carpeta de rodado.
- Resistente a la evaporación: Posee una baja tensión de vapor, lo que permite que no se pierda la humedad absorbida.
- Baja temperatura de congelamiento: -32.8 °C.
- Altamente soluble en agua: Permite elaborar una solución en forma rápida y sencilla.

En los caminos pavimentados, el cloruro de magnesio puede utilizarse para prevenir la formación de hielo sobre la calzada ("anti-icing"), o bien para derretir hielo ya formado sobre el pavimento ("de-icing"), debido a que permite bajar el punto de congelamiento del agua e impedir la formación de hielo, a temperaturas ambientales por debajo de los -5 °C.





En los caminos no pavimentados, se utiliza bajo dos formas de aplicación diferentes:

- Como tratamiento supresor de polvo: el camino no pavimentado (afirmado) debe ser previamente preparado, humedecido, compactado, y estar libre de deterioro en superficie.

De preferencia, el material deberá contener una proporción de material fino en el orden del 10 al 20% para asegurar cohesión (en tal sentido, mejor si son finos plásticos), y al menos un 20% de material granular con tamaño superior a 10 mm para asegurar un mínimo de estabilidad estructural.

Sobre esta capa se aplica una serie de riegos de salmuera de cloruro de magnesio, cuya disolución debe ser homogénea y estar en proporción 1,5 a 1 con el agua (en peso), con lo cual la salmuera tendrá una densidad de 1,25 tn/m<sup>3</sup>.

Se recomienda aplicar unos 4 l/m<sup>2</sup> de riego sobre el camino, pudiendo variar la dosis en función de la geometría del camino, tránsito futuro, o también de la proporción de finos plásticos. De esta manera, se consigue una costra superficial durable que reduce casi por completo la dispersión del polvo causada por el tránsito vehicular, mejorando sensiblemente las condiciones ambientales en la zona aledaña.

- Como estabilizador superficial: en este caso, se debe mezclar la parte superior de la capa de afirmado con el producto diluido en agua, en un espesor variable entre 7 y 15 cm de acuerdo al diseño efectuado.

La dosis de cloruro de magnesio se aplica, en una proporción de entre 3 y 5% en peso de suelo seco, depende del grado de plasticidad en el material a tratar (a mayor IP, menor cantidad requerida de MgCl).

El material debe ser trabajado con maquinaria y mezclado en forma homogénea, y se debe humectar hasta alcanzar su humedad óptima considerando el aporte de la salmuera de cloruro de magnesio, y descontando la humedad natural del afirmado. Posteriormente, el material ya humectado debe ser apropiadamente distribuido y compactado con rodillo liso vibratorio.

### 9.11 Estabilización con productos asfálticos

La mezcla de un suelo con un producto asfáltico puede tener como finalidad:

1. Un aumento de su estabilidad por las características aglomerantes del ligante que envuelve las partículas del suelo.
2. Una impermeabilización del suelo, haciéndolo menos sensible a los cambios de humedad y por tanto más estable en condiciones adversas.

La dosificación necesaria de ligante es función principalmente de la granulometría (superficie específica) del suelo. Los suelos más adecuados son los granulares con pocos finos, de reducida plasticidad, que presentan menos del 20% que pasa la malla N°200, LL < 30 e IP < 10.







Los materiales asfálticos usualmente empleados son las emulsiones asfálticas y los asfaltos fluidificados de viscosidad media. La mezcla se hace con frecuencia in situ, y la elección del ligante asfáltico dependerá de la granulometría del suelo, de su contenido de humedad y de las condiciones climáticas. La granulometría puede ser abierta, cerrada con finos o cerrada sin finos, pero una mayor superficie específica exigirá un ligante de curado y rotura más lentos, para permitir una mezcla mas adecuada. En zonas con temperaturas elevadas, también deberán usarse productos de curado y rotura más lentos, estos podrán ser mas viscosos.

En el caso de las estabilizaciones con emulsiones asfálticas se emplea un emulsificante, tal como un agente químico utilizado como emulsificante y definido como tenso activo o surfactante aniónico o catiónico, que determinará la clasificación de las emulsiones como aniónicas, catiónicas o no iónicas.

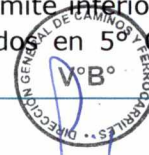
Se tienen emulsiones de fraguado lento, medio y rápido, de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico que se emplea. Una emulsión asfáltica es una dispersión de asfalto en agua en forma de pequeñas partículas de diámetro de entre 3 y 9 micras.

Este tipo de aglutinantes puede usarse casi con cualquier tipo de material aunque por economía se recomienda que se emplee en suelos gruesos o en materiales triturados que no presenten un alto índice de plasticidad; puede usarse también con las arcillas pero solo le procura impermeabilidad; además, para el caso de suelos plásticos, con otros productos se logra mayor eficiencia y economía.

Es importante que el material pétreo que se va a mejorar, presente cierta rugosidad para que exista un anclaje adecuado con la película asfáltica, situación que se agrava sí el material pétreo no es afín con el producto asfáltico. Algunos productos asfálticos contienen agua y si esto no se toma en cuenta se pueden presentar problemas muy serios al momento de compactar, la prueba que más comúnmente se emplea en el laboratorio para determinar el porcentaje adecuado de asfalto a utilizar se conoce como "prueba de valor soporte florida modificada" y el procedimiento consiste en elaborar especímenes de pétreos que presentan cierta humedad usando diferentes porcentajes de asfalto, se compactan con carga estática.

Después de esto se pesan y se meten a curar al horno a una temperatura de 60° C, se sacan y se penetran hasta la falla o bien hasta que tengan una profundidad de 6.35 mm registrándose la carga máxima en Kg, se efectúa una gráfica para obtener el porcentaje óptimo de emulsión y se recomienda que el material por mejorar presente un equivalente de arena mayor de 40% y el porcentaje de emulsión varíe en un porcentaje de 1.

El procedimiento constructivo se desarrolla de la manera siguiente: la capa a mejorar ya tiene que estar completamente terminada. No se debe hacer la estabilización cuando hay mucho viento, menos de 5° C o lluvia. Las estabilizaciones se ejecutarán cuando la temperatura ambiente, a la sombra, sea superior a 15° C, no obstante, sí la temperatura ambiente tiene tendencia a aumentar, podrá fijarse en 10° C la temperatura límite inferior para poder ejecutar la mezcla; estos límites podrán ser rebajados en 5° C, cuando la





aplicación del ligante se efectúe directamente en la máquina de una sola pasada o en la mezcladora de la planta fija.

La dosificación depende de la granulometría del suelo, suelos finos requieren mayor cantidad de asfalto, así suelos plásticos muy finos no pueden estabilizarse a un costo razonable debido a la dificultad para pulverizarlos y la cantidad de bitumen exigido. En general, la cantidad de asfalto utilizado varía entre un 4% y un 7% y en todo caso la suma de agua para compactación más el asfalto no debe exceder a la cantidad necesaria para llenar los vacíos de la mezcla compactada.

El proceso de curado en la estabilización con asfalto tiene una gran importancia, depende de muchas variables, como cantidad de asfalto aplicado, humedad y viento, cantidad de lluvias y la temperatura ambiente; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con asfalto.

### 9.12 Estabilización con geosintéticos

A diferencia de los suelos, los geosintéticos proporcionan resistencia a la tracción y una mejora significativa en el rendimiento y construcción de pavimentos.

La experiencia internacional que se tiene hasta ahora de los geosintéticos, respecto al comportamiento frente a los agentes agresivos y respecto a su resistencia mecánica, ha permitido la diversificación funcional de los geosintéticos; así tenemos, que la función drenante y anticontaminante es la misión específica de los geotextiles; la función específica de armado o refuerzo del terreno (o de la explanada) o de los pavimentos, está en el ámbito de las geomallas; y, la función de impermeabilización o protección está en el campo de las geomembranas.

Las funciones de separación y filtro de los geotextiles y la función de refuerzo de las geomallas, se pueden combinar para proporcionar una estabilización mecánica de los suelos de sub rasante inadecuada. Las geomallas también se pueden utilizar para reforzar o separar la capa de base de un pavimento flexible ya que nos permite mejorar el valor de soporte y así mejorar el comportamiento de la estructura del pavimento y los geotextiles se pueden colocar en la interfase de subbase - base: (i) para permitir el drenaje de la subbase, cuando se evidencie un mal drenaje, por ejemplo por la utilización de una base densa o cerrada; y / o (ii) para permitir el rápido drenaje de la capa de base.

Las condiciones consideradas óptimas para el uso de geosintéticos, en la construcción de carreteras:

1. Suelos Clasificados según:
  - Clasificación SUCS: SC, CL, CH, ML, MH, OL, OH y PT
  - Clasificación AASHTO: A-5, A-6, A-7-5 y A-7-6
2. Baja resistencia al corte y sin drenaje
  - $T_f = C_u < 2,000$  libras por pie cuadrado (90 kPa)
  - CBR < 3 (muestra saturada, CBR determinado según la norma ASTM D 4429)





- R-valor  $\sim <20$  (Determinado según la norma AASHTO T 190)
- MR  $\sim <4500$  psi (30 MPa) (Determinado según la norma AASHTO T 274)

### 3. Nivel freático alto

4. Sensibilidad alta ( $S > 8$ , como resultado de la relación entre la resistencia a la compresión no confinada en estado inalterado y la resistencia a la compresión no confinada en estado remoldeado, de una muestra de suelo cohesivo, determinado según el ensayo MTC E 121).

En estas condiciones, los geosintéticos pueden funcionar como separadores para evitar la contaminación o entremezcla de los agregados del afirmado, subbase o base de la carretera y el suelo de la sub rasante; migración de finos se ha observado aun en suelos con CBR 8%. Asimismo, el filtro es necesario, porque los suelos por debajo de un CBR de 3%, suelen ser húmedos y saturados, en tal sentido, el agua existente puede drenar a través de los geosintéticos sin que se produzca transporte de sólidos. También los geosintéticos en su función de refuerzo permitirán, a través del tiempo, la disipación de los esfuerzos y reducción de tensiones en la subbase y mejoramiento de la capacidad de carga.

Según el documento ETL1110-1-189 del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, existen varios tipos de geomallas: geomallas extruídas (extruded), geomallas tejidas (woven), geomallas soldadas (welded) y compuestos de geomallas (geogrid composites). Las geomallas extruídas son formadas de láminas de polímero las cuales son perforadas, calentadas y estiradas en dos direcciones para mejorar sus propiedades físicas. Las geomallas tejidas son fabricadas de fibras de polímero tejidas y luego recubiertas para aumentar su resistencia a la abrasión. Las geomallas soldadas son fabricadas soldando las uniones de una malla de cintas extruídas de polímero. Finalmente, los compuestos de geomalla son geomallas formadas en combinación con otro geosintético para resolver una aplicación geotécnica en particular. De acuerdo a la experiencia internacional, las geomallas extruídas han tenido un mejor comportamiento estructural en aplicaciones de refuerzo de pavimentos.

Se han identificado tres mecanismos de refuerzo de las geomallas en el refuerzo de suelos y pavimentos: confinamiento lateral de las partículas, mejoramiento de la capacidad portante del terreno natural y el efecto membrana tensionada (ETL 1110-1-189).

### **Confinamiento Lateral**

Este mecanismo se logra a través de la trabazón de las partículas granulares con el refuerzo. Las geomallas aumentan el módulo de la capa reforzada al confinar las partículas e impedir su movimiento natural ante la aplicación de las cargas vehiculares. La trabazón mecánica aumenta la rigidez de la base reduciendo las deformaciones verticales en la interfase inferior y los ahuellamientos en la superficie de rodadura.





## Mejoramiento de la Capacidad Portante del Terreno Natural

La rigidez de la geomalla permite distribuir las cargas aplicadas en una mayor área disminuyendo los esfuerzos cortantes y verticales en el terreno natural blando. Básicamente se traslada el plano de falla de la estructura del pavimento de un material no competente (blando) a materiales de mejor comportamiento estructural como la base/subbase.

### Efecto Membrana Tensionada

Este mecanismo se presenta cuando ocurre un ahuellamiento o deformación considerable en el terreno natural debido a una carga vehicular, desarrollándose unos esfuerzos que son soportados por la resistencia a la tensión del refuerzo. Este efecto de membrana tensionada desarrolla en el refuerzo una resistencia vertical y un confinamiento hacia abajo, aumentando la resistencia al corte del terreno natural. Este mecanismo de refuerzo para desarrollarse necesita una deformación significativa de la superficie de la carretera, que no siempre es admisible en caminos pavimentados, y adicionalmente, el tráfico debe ser canalizado.

Hasta hace unos años, el efecto membrana tensionada se consideraba el mecanismo principal de refuerzo. Luego de años de investigación se ha determinado que cuando se quiere reforzar la capa granular el mecanismo principal es el confinamiento lateral. En el refuerzo de capas granulares las deformaciones en la estructura del pavimento son mínimas por lo que el efecto membrana tensionada no se alcanza a desarrollar. Cuando se quiere hacer un mejoramiento del terreno natural, los mecanismos principales son el mejoramiento de la capacidad portante y el efecto membrana tensionada.

De acuerdo al USACE y AASHTO, existen diferentes tipos de geomallas, no obstante que presentan una apariencia similar, pero no necesariamente tienen el mismo beneficio estructural. Por lo tanto, en caso de que el Ingeniero Responsable decida utilizar geosintéticos para la estabilización de suelos, analizará y sustentará la conveniencia de aplicación del tipo de geosintético que incluirá en su diseño, definiendo si se aplicará para una función drenante, filtro, anticontaminante, refuerzo o protección.



## CAPÍTULO I CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS

### SECCIÓN 101 Clasificación por demanda

Las carreteras del Perú se clasifican, en función a la demanda en:

#### **101.01 Autopistas de Primera Clase**

Son carreteras con IMDA (Índice Medio Diario Anual) mayor a 6 000 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central mínimo de 6.00 m; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3.60 m de ancho como mínimo, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

#### **101.02 Autopistas de Segunda Clase**

Son carreteras con un IMDA entre 6000 y 4 001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central que puede variar de 6.00 m hasta 1.00 m, en cuyo caso se instalará un sistema de contención vehicular; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3.60 m de ancho como mínimo, con control parcial de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

#### **101.03 Carreteras de Primera Clase**

Son carreteras con un IMDA entre 4 000 y 2 001 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.60 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

#### **101.04 Carreteras de Segunda Clase**

Son carreteras con IMDA entre 2 000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.30 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

#### **101.05 Carreteras de Tercera Clase**

Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3.00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2.50 m, contando con el sustento técnico correspondiente.

Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase.

### **101.06 Trochas Carrozables**

Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4.00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m.

La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar.



PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

Viceministerio  
de Transportes

Dirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

---

**SECCION N° 1      SUELOS**

---

**MTC E 101****MUESTREO DE SUELOS Y ROCAS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Es el muestreo e investigación de suelos y rocas con base en procedimientos normales, mediante los cuales deben determinarse las condiciones de los suelos y rocas.

**2.0 FINALIDAD Y ALCANCE**

- 2.1 Establecer los procedimientos adecuados de muestreo de suelos y rocas, que permitirán la correlación de los respectivos datos con las propiedades del suelo, tales como plasticidad, permeabilidad, peso unitario, compresibilidad, resistencia y gradación; y de la roca, tales como resistencia, estratigrafía, estructura y morfología.

**3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS**

- 3.1 ASTM D 420: Standard Guide to Site Characterization for Engineering Design and Construction Purposes

**4.0 EQUIPOS MATERIALES E INSUMOS****4.1 EQUIPO**

El equipo requerido para una investigación por debajo de la superficie, depende de varios factores, tales como el tipo de material a investigar, profundidad de exploración, naturaleza del terreno, y utilización de la información. Entre ellos se indica los siguientes:

- Barrenos manuales, excavadoras y palas, para depósitos superficiales de suelo hasta profundidades de 3 -15 pies (1-5 m).
- Equipos de percusión y lavado.
- Barrenos y taladros rotatorios motorizados, con formas adecuadas, muestreadores y tubos saca núcleos, para la investigación y muestreo tanto de rocas como de suelos.
- Aparatos geofísicos utilizados para la investigación sub superficial que pueden ser:
  - Instrumentos sísmicos, con recepción simple o múltiple mediante geófonos, de señales originadas por golpes de martillo, explosivos u otras fuentes de energía.
  - Aparato de resistividad de suelos, para medir la resistencia del suelo o roca al paso de una corriente continua o alterna.
  - Aparatos nucleares, para medir humedad y peso unitario de suelos o rocas.
  - Muestreadores de turba, para investigar áreas compuestas por suelos orgánicos.
- Herramientas manuales pequeñas, tales como llaves de tubo y palas, constituyen parte del equipo necesario. Para determinados suelos finos plásticos de la selva, los denominados "posteadores".
- Frascos de cierre hermético, para humedad de muestras (aproximadamente de 4 a 8 onzas) de capacidad, de vidrio, metal o plástico, que puedan sellarse; además, recipientes herméticos o bolsas de tejido cerrado, libres de material contaminante, de manera que no haya pérdida de partículas finas y que tengan una capacidad de por lo menos 16 kg (35 lb); también cajas apropiadas para muestras de núcleos de roca.
- Accesorios complementarios: Brújula, inclinómetro, nivel de mano, cámara fotográfica, estacas y cinta métrica.
- Instrumentos para medir asentamientos y movimientos del terreno in situ.

**4.2 REACTIVOS**

- Ácido clorhídrico normal diluido con gotero, para la determinación de carbonatos al identificar minerales en rocas y suelos.





## 5.0 MUESTRA

5.1 Deben obtenerse muestras representativas de suelo o roca, o de ambos, de cada material que sea necesario para la investigación. El tamaño y tipo de la muestra requerida, depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, y las limitaciones del equipo de ensayo a ser usado.

**Nota 1.** El tamaño de las muestras alteradas, en bruto, puede variar a criterio del responsable de la investigación, pero se sugiere las siguientes cantidades:

- Clasificación visual: 0,50 kg – 50 – 500 g.
- Análisis granulométrico y constantes de suelos no granulares: 0,50 a 2,5 kg.
- Ensayo de compactación y granulometría de suelo-agregado granular: 20 - 40 kg.
- Producción de agregados o ensayo de propiedades de agregados: 50 - 200 kg.

5.2 Debe identificarse cuidadosamente cada muestra con la respectiva perforación o calicata y con la profundidad a la cual fue tomada. Colóquese una identificación dentro del recipiente o bolsa, ciérrase en forma segura, protéjase del manejo rudo y márquese exteriormente con una identificación apropiada. Guárdense muestras para la determinación de la humedad natural en recipientes de cierre hermético para evitar pérdidas de la misma. Cuando el secado de muestras puede afectar la clasificación y los resultados de los ensayos, las muestras deben ser protegidas para la pérdida de humedad.

5.3 Deberá tomarse muestras de suelo y agua para determinar la acidez, el pH y el contenido de compuestos metálicos del material, cuando pueda esperarse que causen un cambio inaceptable en su medio ambiente. El tamaño de la muestra no deberá ser menor de 2,5 kg.

### 5.4 CLASIFICACION DEL MATERIAL

5.4.1 Las muestras para ensayos de suelos y rocas deberán enviarse al laboratorio para los ensayos de clasificación física y mecánica respectiva, de acuerdo con las instrucciones del especialista geotécnico.

5.4.2 Las muestras tomadas, deben servir como mínimo para realizar los siguientes ensayos de laboratorio:

- Análisis granulométrico por tamizado MTC E 107.
- Análisis granulométrico por hidrómetro MTC E 109
- Humedad natural MTC E 108
- Determinación del límite líquido MTC E 110
- Determinación del límite plástico MTC E 111
- Determinación del límite de contracción, si se encuentra alta actividad de los finos MTC E 112.
- Gravedad específica de los suelos MTC E 113.

5.4.3 Las muestras tomadas deben servir para la realización de los siguientes ensayos en construcción de terraplenes:

- Los mencionados en el numeral 5.4.2 que antecede.
- Relación humedad-densidad compactada a la energía Proctor Modificado MTC E 115.
- CBR de materiales compactados MTC E 132.
- Módulo Resiliente sobre muestras compactadas a la energía Proctor Modificado MTC E 128.
- Compresión triaxial no consolidada, no drenada (cu) y consolidada no drenada con medida de presión de poros (MTC E 131), para materiales compactados a la energía Proctor Modificado, que se van a utilizar en terraplenes mayores de 7,00 m de altura.
- Consolidación unidimensional para materiales compactados para las mismas condiciones del ensayo anterior.

5.4.4 Las muestras tomadas deben servir para la realización de los siguientes ensayos para subrasantes:

- Los mencionado en el numeral 5.4.2 que antecede.
- Relación humedad-densidad compactada a la energía de Proctor Modificado MTC E 115.
- CBR MTC E 132.



- Módulo Resiliente sobre muestras inalteradas MTC E 128.

**Nota 2.** Si se ha realizado la determinación de CBR in situ (MTC E 133) no se considerará necesario la ejecución de la prueba de laboratorio. Sólo se permitirá la prueba in situ cuando los suelos de subrasante tengan un tamaño máximo de 19,1mm (3/4”).

5.4.5 Las muestras para materiales granulares a utilizarse en capas de base y sub base, deben provenir de materiales procesados en planta o laboratorio, y servirán como mínimo para los siguientes ensayos:

- Los mencionados en el [numeral 5.4.2](#) que antecede, excepto el límite de contracción.
- Relación humedad-densidad compactada a la energía Proctor Modificado MTC E 115.
- CBR sobre muestras compactadas MTC E 132.
- Módulo Resiliente MTC E 128.
- Determinación de equivalente de arena MTC E 114.
- Peso unitario y vacíos MTC E 203.
- Gravedad específica y absorción de agregados finos y gruesos MTC E 205 y MTC E 206.
- Abrasión en la máquina de Los Ángeles MTC E 207.
- Durabilidad en sulfato de sodio y en sulfato de magnesio MTC E 209.
- Porcentaje de caras fracturadas en los agregados MTC E 210.
- Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados MTC E 221.
- Porcentaje de partículas livianas MTC E 211 (opcional).
- Arcilla en terrones y partículas desmenuzables MTC E 212.
- Contenido de Sales Totales MTC E 219.

5.4.6 Las muestras de los materiales a usarse en la evaluación de concretos hidráulicos que deben provenir de materiales procesados en planta o laboratorio, servirán como mínimo para los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico por tamizado MTC E 107.
- Cantidad de material fino que pasa el tamiz 200 MTC E 202.
- Peso unitario y vacío de los agregados MTC E 203.
- Gravedad específica y absorción de los agregados MTC E 205 y MTC E 206.
- Abrasión en la máquina de Los Ángeles MTC E 207.
- Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de Magnesio MTC E 209.
- Porcentaje de caras fracturadas MTC E 210.
- Partículas livianas en los agregados MTC E 211.
- Contenido de Sales MTC E 219.
- Arcilla de terrones y partículas desmenuzables MTC E 212.
- Impurezas orgánicas en el agregado fino MTC E 213.
- Índice de durabilidad en los agregados MTC E 214.
- Carbón y lignito en arenas MTC E 215.
- Determinación de la reactividad agregado / álcali MTC E 217.
- Determinación cuantitativa de los compuestos de azufre en los agregados MTC E 218.
- Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados MTC E 221.
- Equivalente de Arena MTC E 114.

5.4.7 Las muestras para los materiales pétreos a utilizarse en la elaboración de concretos asfálticos, deben provenir de materiales procesados en planta o laboratorio, y servirán como mínimo para la realización de los siguientes ensayos:

- Petrografía, difracción de rayos X y polaridad de agregados (evaluación de petrografos) (1).
- Análisis granulométrico por tamizado MTC E 107.
- Análisis por hidrómetro del relleno mineral (material que pasa la malla No. 200) MTC E 109 (1).
- Peso unitario y vacíos de los agregados MTC E 203.
- Gravedad específica y absorción de los agregados MTC E 205 y MTC E 206.
- Abrasión en la máquina de Los Ángeles MTC E 207.
- Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio MTC E 209.



- Porcentaje de caras fracturadas MTC E 210.
- Partículas livianas en los agregados MTC E 211. (1)
- Arcilla de terrones y partículas desmenuzables MTC E 212. (1)
- Impurezas orgánicas en el agregado fino MTC E 213. (1)
- Índice de durabilidad en los agregados MTC E 214. (1)
- Sales solubles MTC E 219. (1)
- Riedel Weber MTC E 220.
- Índice Plástico (por la malla Nº 40 y Nº 200).
- Equivalente de Arena MTC E 114.
- Adherencia agregado – bitumen MTC E 519.
- Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados MTC E 221.

## 6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Los procedimientos recomendados para el muestreo en el sitio, la identificación de muestras y los ensayos a realizar, son los siguientes:

- Calicatas y trincheras: Excavaciones a cielo abierto, hasta la profundidad deseada, tomando las precauciones necesarias para evitar el desprendimiento de material de las paredes que pueda afectar la seguridad del trabajador o contaminar la muestra que se espera obtener.
- Investigación y muestreo del suelo mediante barrenos y muestreadores: Procedimiento útil para la determinación del nivel freático. La profundidad con esta clase de barreno está limitada por las condiciones agua-suelo, las características del suelo y el equipo empleado.
- Ensayo de penetración estándar (SPT) y muestreo de suelos: Procedimiento para obtener muestras y medir la resistencia del suelo a la penetración de un muestreador normalizado, fundamentalmente para suelos no cohesivos, pudiendo ser usado en suelos cohesivos para recuperar muestras o para determinar un valor cualitativo de la resistencia.
- Método para muestreo de suelos con tubo de pared delgada, MTC E 120: Procedimiento para recobrar muestras de suelo relativamente inalteradas, adecuadas para ensayos de laboratorio.
- Ensayo de corte con veleta en suelo cohesivo, MTC E 122: Procedimiento para medir in situ la resistencia al corte de suelos cohesivos blandos, mediante la rotación de una veleta de cuatro hojas en un plano horizontal.

6.2 La investigación del suelo y roca comprenderá entre otros lo siguiente:

- Revisión de cualquier información disponible sobre la geología y la formación de la roca o del suelo, o de ambas, sobre las condiciones del nivel freático en el sitio y en las vecindades.
- Determinación del nivel freático y del material de fundación firme, bien sea roca o suelos de adecuada capacidad de soporte.
- Investigación en el sitio de los materiales superficiales y del subsuelo mediante perforaciones de percusión y lavado, rotación, barrenos manuales o mecánicos de espiral, calicatas y métodos geofísicos.
- Identificación del suelo y de los tipos de roca en el terreno con registros de la profundidad a la cual se presentan y de la localización de sus discontinuidades estructurales.
- Recuperación de muestras representativas inalteradas y remoldeadas para ensayos de caracterización del suelo o de la roca, y de los materiales para la construcción.
- Evaluación del comportamiento de instalaciones existentes en la vecindad inmediata del sitio propuesto, con respecto al material de fundación y el medio ambiente.
- Instrumentación en el sitio para medir movimientos por medio de inclinómetro, placa de asentamiento, etc.

6.3 DETERMINACION DEL PERFIL DE SUELOS

6.3.1 Un perfil detallado de suelos deberá desarrollarse únicamente donde la relación continua entre profundidades y datos de los diferentes tipos de suelo y roca, sea económicamente justificable para el proyecto en cuestión.

6.3.2 Pueden emplearse métodos geofísicos de exploración para complementar los datos de las perforaciones y afloramientos, y para interpolar entre los hoyos. Los métodos sísmicos y de



resistividad eléctrica, pueden resultar particularmente valiosos cuando las diferencias nítidas en las propiedades de materiales sub superficiales contiguas están indicadas.

El método de refracción sísmica es especialmente útil para determinar la profundidad a la cual se halla la roca o en sitios donde estratos sucesivamente más densos son encontrados.

El método de resistividad eléctrica es igualmente útil para determinar la profundidad de la roca, evaluando formaciones estratificadas donde un estrato más denso descansa sobre uno menos denso, y en la investigación de canteras de arena-grava o de otros materiales de préstamo.

Las investigaciones geofísicas pueden ser una guía útil para programar los sitios de perforaciones y calicatas. En lo que sea posible, la interpretación de estudios geofísicos deberá ser verificada por perforaciones o excavaciones de prueba.

- 6.3.3 La profundidad de las calicatas o perforaciones para carreteras, aeropuertos, o áreas de estacionamiento, deberá ser al menos de 1,5 m (5 pies) por debajo del nivel proyectado para la subrasante, pero circunstancias especiales pueden aumentar o disminuir esa profundidad. Los sondeos para estructuras o terraplenes deberán llevarse por debajo del nivel de influencia de la carga propuesta, determinado mediante un análisis superficial de transmisión de esfuerzos.

Donde el drenaje pueda ser afectado por materiales permeables, acuíferos o materiales impermeables que lo puedan obstaculizar, las perforaciones deberán prolongarse suficientemente dentro de estos materiales para determinar las propiedades hidrogeológicas y de ingeniería, relevantes para el diseño del proyecto.

En todas las zonas de préstamo, las perforaciones deberán ser suficientes en número y profundidad, para obtener las cantidades requeridas de material que cumpla los requerimientos de calidad especificada.

- 6.3.4 Los registros de perforaciones deberán incluir:

- Descripción de cada sitio o área investigada, con cada hueco, sondeo o calicata, localizado claramente (horizontal y verticalmente) con referencia a algún sistema establecido de coordenadas o a algún sitio permanente.
- Perfil estratigráfico de cada hueco, sondeo o calicata, o de una superficie de corte expuesta, en la cual se muestre claramente la descripción de campo y localización de cada material encontrado, mediante símbolos o palabras.
- Fotografías en colores de núcleos de roca, muestras de suelos y estratos expuestos, pueden ser de gran utilidad. Cada fotografía deberá identificarse con fecha y un número o símbolo específico, una fecha y escala de referencia.
- La identificación de todos los suelos deberá basarse en las presentes normas para la clasificación de los suelos y de los suelos-agregados para construcción de carreteras, en la norma sobre descripción mediante procedimientos manuales y visuales, o en la de identificación de rocas.
- Las áreas acuíferas, drenaje subterráneo y profundidad del nivel freático hallado en cada perforación, calicata o hueco.
- Los resultados de ensayos en sitio (in situ), donde se requieran, como los de penetración o los de veleta u otros ensayos para determinar propiedades de suelos o rocas.
- Porcentaje de recuperación de núcleos e Índice Calidad de Roca en perforaciones de núcleo.
- Representación gráfica de campo y laboratorio y su interpretación facilita el entendimiento y comprensión de condiciones superficiales.

#### 6.4 PERFIL SUBSUPERFICIAL

- 6.4.1 Los perfiles del subsuelo se deben dibujar únicamente en base a perforaciones reales o datos de los cortes. La interpolación entre dichos sitios deberá hacerse con extremo cuidado y con la ayuda de toda la información geológica que se tenga disponible, anotando claramente que tal interpolación o continuidad asumida de estratos, es tentativa.



## 7.0 CALCULOS E INFORME

### 7.1 INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

7.1.1 La extrapolación de datos en áreas locales no investigadas puede hacerse de manera tentativa, únicamente cuando se conozca que existe geológicamente una disposición sub superficial uniforme del suelo y de la roca siendo la interpretación de responsabilidad del especialista. Las propiedades de los suelos y rocas de proyectos importantes, no deberán predecirse solamente con base en la simple identificación o clasificación en el terreno, sino que deberán comprobarse mediante ensayos de laboratorio y de terreno. Las recomendaciones de diseño deben ser formuladas por especialistas en geotecnia o por ingenieros de carreteras familiarizados con los problemas comunes en dichas áreas.

### ANEXO

#### SIMBOLOS GRAFICOS PARA SUELOS

Tanto en los perfiles como en los registros estratigráficos se deberán usar los símbolos que se muestran a continuación.

	Gravas bien graduadas mezcla, grava con poco o nada de materia fino, variación en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
	Gravas mal granuladas, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arenas arcillosas, mezcla de arena-arcillosa
	Gravas limosas mezclas de grava arena limosa		Limos orgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosa o limos arcillosas con ligera plasticidad
	Gravas arcillosas mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino		Limo orgánicos de plasticidad baja o mediano, arcillas gravas, arcillas arenosas, arenas limosas, arcillas magras
	Arenas bien graduadas, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios		Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas, baja plasticidad
	Arenas mal graduadas con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedios		Limos inorgánicos suelos finos granosos o limosos micáceas o diatomáceas, limos elásticos

	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad, arcillas grasosas
	Arcillas orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limos orgánicas
	Turba, suelos considerablemente orgánicos



**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 apresadas 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 108****DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer el método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

**2.0 FINALIDAD Y ALCANCE**

- 2.1 La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.
- 2.2 Este Modo Operativo determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a  $110 \pm 5$  °C\*. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua.

**Nota 1.** (\*) El secado en horno siguiendo en método (a 110 °C) no da resultados confiables cuando el suelo contiene yeso u otros minerales que contienen gran cantidad de agua de hidratación o cuando el suelos contiene cantidades significativas de material orgánico. Se pueden obtener valores confiables del contenido de humedad para los suelos, secándose en un horno a una temperatura de 60 °C o en un desecador a temperatura ambiente.

**3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS**

- 3.1 ASTM D 2216: Standard Test Method of Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock.

**4.0 EQUIPOS y MATERIALES****4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Horno de secado.- Horno de secado termostáticamente controlado, de preferencia uno del tipo tiro forzado, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
- 4.1.2 Balanzas.- De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones:  
De 0,01 g para muestras de menos de 200 g  
De 0,1 g para muestras de más de 200 g.

**4.2 MATERIALES**

- 4.2.1 Recipientes.- Recipientes apropiados fabricados de material resistente a la corrosión, y al cambio de peso cuando es sometido a enfriamiento o calentamiento continuo, exposición a materiales de pH variable, y a limpieza.

**Nota 2.** Los recipientes y sus tapas deben ser herméticos a fin de evitar pérdida de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para prevenir la absorción de humedad de la atmósfera después del secado y antes de la pesada final. Se usa un recipiente para cada determinación.

- 4.2.2 Desecador (opcional).- Un desecador de tamaño apropiado que contenga sílica gel o fosfato de calcio anhidro. Es preferible usar un desecante cuyos cambios de color indiquen la necesidad de su restitución (Ver [Sección 6.3.5](#) del presente ensayo).

**Nota 3.** El sulfato de calcio anhidro se vende bajo el nombre comercial Drier hite.

- 4.2.3 Utensilios para manipulación de recipientes.- Se requiere el uso de guantes, tenazas, o un sujetador apropiado para mover y manipular los recipientes calientes después de que se hayan secado.
- 4.2.4 Otros utensilios.- Se requieren el empleo de cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuarteo, divisores de muestras, etc.



**5.0 MUESTRA**

- 5.1 Las muestras serán preservadas y transportadas de acuerdo a la Norma ASTM D 4220-89 (Practices for Preserving and Transporting Soil Sample), Grupos de suelos B, C ó D. Las muestras que se almacenen antes de ser ensayadas se mantendrán en contenedores herméticos no corrosibles a una temperatura entre aproximadamente 3 y 30 °C y en un área que prevenga el contacto directo con la luz solar. Las muestras alteradas se almacenarán en recipientes de tal manera que se prevenga ó minimice la condensación de humedad en el interior del contenedor.
- 5.2 La determinación del contenido de humedad se realizará tan pronto como sea posible después del muestreo, especialmente si se utilizan contenedores corrosibles: (tales como: tubos de acero de pared delgada, latas de pintura, etc.) ó bolsas plásticas.

**6.0 PROCEDIMIENTO**

**6.1 ESPECIMEN DEL ENSAYO**

- 6.1.1 Para los contenidos de humedad que se determinan en conjunción con algún otro método ASTM, se empleará la cantidad especificada en dicho método si alguna fuera proporcionada.
- 6.1.2 La cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total, si no se toma la muestra total, será de acuerdo a lo siguiente:

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados	
		a ± 0,1%	a ± 1%
2 mm o menos	2,00 mm (Nº 10)	20 g	20 g *
4,75 mm	4,760 mm (Nº 4)	100 g	20 g *
9,5 mm	9,525 mm (3/8")	500 g	50 g
19,0 mm	19,050 mm (3/4")	2,5 kg	250 g
37,5 mm	38,1 mm (1 1/2")	10 kg	1 kg
75,0 mm	76,200 mm (3")	50 kg	5 kg

**Nota.-** \* Se usará no menos de 20 g para que sea representativa.

Si se usa toda la muestra, ésta no tiene que cumplir los requisitos mínimos dados en la tabla anterior. En el reporte se indicará que se usó la muestra completa.

- 6.1.3 El uso de un espécimen de ensayo menor que el mínimo indicado en 6.1.2 requiere discreción aunque pudiera ser adecuado para los propósitos del ensayo. En el reporte de resultados deberá anotarse algún espécimen usado que no haya cumplido con estos requisitos.
- 6.1.4 Cuando se trabaje con una muestra pequeña (menos de 200 g) que contenga partículas de grava relativamente grandes no es apropiado incluirlas en la muestra de ensayo. Sin embargo en el reporte de resultados se mencionará y anotará el material descartado.
- 6.1.5 Para aquellas muestras que consistan íntegramente de roca intacta, el espécimen mínimo tendrá un peso de 500 g. Porciones de muestra representativas pueden partirse en partículas más pequeñas, dependiendo del tamaño de la muestra, del contenedor y la balanza utilizada y para facilitar el secado a peso constante.
- 6.2 SELECCION DEL ESPECIMEN DE ENSAYO
- 6.2.1 Cuando el espécimen de ensayo es una porción de una mayor cantidad de material, el espécimen seleccionado será representativo de la condición de humedad de la cantidad total de material. La forma en que se seleccione el espécimen de ensayo depende del propósito y aplicación del ensayo, el tipo de material que se ensaya, la condición de humedad, y el tipo de muestra (de otro ensayo, en bolsa, en bloque, y las demás).



- 6.2.2 Para muestras alteradas tales como las desbastadas, en bolsa, y otras, el espécimen de ensayo se obtiene por uno de los siguientes métodos (listados en orden de preferencia):
- Si el material puede ser manipulado sin pérdida significativa de humedad, el material debe mezclarse y luego reducirse al tamaño requerido por cuarteo o por división.
  - Si el material no puede ser mezclado y/o dividido, deberá formarse una pila de material, mezclándolo tanto como sea posible. Tomar por lo menos cinco porciones de material en ubicaciones aleatorias usando un tubo de muestreo, lampa, cuchara, frotacho ó alguna herramienta similar apropiada para el tamaño de partícula máxima presente en el material. Todas las porciones se combinarán para formar el espécimen de ensayo.
  - Si no es posible apilar el material, se tomarán tantas porciones como sea posible en ubicaciones aleatorias que representarán mejor la condición de humedad. Todas las porciones se combinarán para formar el espécimen de ensayo.
- 6.2.3 En muestras intactas tales como: bloques, tubos, muestreadores divididos y otros, el espécimen de ensayo se obtendrá por uno de los siguientes métodos dependiendo del propósito y potencial uso de la muestra.
- Se desbastará cuidadosamente por lo menos 3 mm de material de la superficie exterior de la muestra para ver si el material está estratificado y para remover el material que esté más seco o más húmedo que la porción principal de la muestra. Luego se desbastará por lo menos 5 mm., o un espesor igual al tamaño máximo de partícula presente, de toda la superficie expuesta o del intervalo que esté siendo ensayado.
  - Se cortará la muestra por la mitad. Si el material está estratificado se procederá de acuerdo a lo indicado en 6.2.3.c. Luego se desbastará cuidadosamente por lo menos 5 mm, o un espesor igual del tamaño máximo de partícula presente, de la superficie expuesta de una mitad o el intervalo ensayado. Deberá evitarse el material de los bordes que pueda encontrarse más húmedo o más seco que la porción principal de la muestra.

**Nota 4.** El cambio de humedad en suelos sin cohesión puede requerir que se muestre la sección completa. Si el material está estratificado (o se encuentra más de un tipo de material), se seleccionará un espécimen promedio, o especímenes individuales, o ambos. Los especímenes deben ser identificados apropiadamente en formatos, en cuanto a su ubicación, o lo que ellos representen.

### 6.3 PROCEDIMIENTO

- 6.3.1 Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco (y su tapa si es usada).
- 6.3.2 Seleccionar especímenes de ensayo representativos de acuerdo a la [sección 6.2](#) de este ensayo.
- 6.3.3 Colocar el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza (véase 4.1.2 de este ensayo) seleccionada de acuerdo al peso del espécimen. Registrar este valor.

**Nota 5.** Para prevenir la mezcla de especímenes y la obtención de resultados incorrectos, todos los contenedores, y tapas si se usan, deberían ser enumerados y deberían registrarse los números de los contenedores en los formatos del laboratorio. Los números de las tapas deberán ser consistentes con los de los contenedores para evitar confusiones.

**Nota 6.** Para acelerar el secado en horno de grandes especímenes de ensayo, ellos deberían ser colocados en contenedores que tengan una gran área superficial (tales como ollas) y el material debería ser fragmentado en agregados más pequeños.

- 6.3.4 Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. Mantener el secado en el horno a  $110 \pm 5$  °C a menos que se especifique otra temperatura. El tiempo requerido para mantener peso constante variará dependiendo del tipo de material, tamaño de espécimen, tipo de horno y capacidad, y otros factores. La influencia de estos factores generalmente puede ser establecida por un buen juicio, y experiencia con los materiales que sean ensayados y los aparatos que sean empleados.



**Nota 7.** En la mayoría de los casos, el secado de un espécimen de ensayo durante toda la noche (de 12 a 16 horas) es suficiente. En los casos en los que hay duda sobre lo adecuado de un método de secado, deberá continuarse con el secado hasta que el cambio de peso después de dos períodos sucesivos (mayores de 1 hora) de secado sea insignificante (menos del 0,1 %). Los especímenes de arena pueden ser secados a peso constante en un período de 4 horas, cuando se use un horno de tiro forzado.

**Nota 8.** Desde que algunos materiales secos pueden absorber humedad de especímenes húmedos, deberán retirarse los especímenes secos antes de colocar especímenes húmedos en el mismo horno. Sin embargo, esto no sería aplicable si los especímenes secados previamente permanecieran en el horno por un período de tiempo adicional de 16 horas.

- 6.3.5 Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (y se le colocará la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado. Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza usada en **6.3.3** de este ensayo. Registrar este valor. Las tapas de los contenedores se usarán si se presume que el espécimen está absorbiendo humedad del aire antes de la determinación de su peso seco.

**Nota 9.** Colocar las muestras en un desecador es más aceptable en lugar de usar las tapas herméticas ya que reduce considerablemente la absorción de la humedad de la atmósfera durante el enfriamiento especialmente en los contenedores sin tapa.

## 7.0 CALCULOS E INFORME

### 7.1. CALCULOS

- 7.1.1 Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$
$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100 = \frac{M_W}{M_S} \times 100$$

Donde:

- W = es el contenido de humedad, (%)  
M<sub>CWS</sub> = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos  
M<sub>CS</sub> = es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos  
M<sub>C</sub> = es el peso del contenedor, en gramos  
M<sub>W</sub> = es el peso del agua, en gramos  
M<sub>S</sub> = es el peso de las partículas sólidas, en gramos

### 7.3 INFORME

- 7.3.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

- La identificación de la muestra (material) ensayada, tal como el número de la perforación, número de muestra, número de ensayo, número de contenedor, etc.
- El contenido de agua del espécimen con aproximación al 1 % ó al 0,1 %, como sea apropiado dependiendo de la mínima muestra usada. Si se usa este método conjuntamente con algún otro método, el contenido de agua del espécimen deberá reportarse al valor requerido por el método de ensayo para el cual se determinó el contenido de humedad.
- Indicar si el espécimen de ensayo tenía un peso menor que el indicado en **6.1.2** de este ensayo.
- Indicar si el espécimen de ensayo contenía más de un tipo de material (estratificado, etc.).
- Indicar el método de secado si es diferente del secado en horno a 110 ± 5 °C.
- Indicar si se excluyó algún material del espécimen de ensayo.



## 8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Repetibilidad: El coeficiente de variación de un operador simple se encontró en 2,7 %. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos conducidos apropiadamente por el mismo operador con el mismo equipo, no deberían ser considerados con sospecha si difieren en menos del 7,8 % de su media.
- 8.2 Reproducibilidad: El coeficiente de variación multilaboratorio se encontró en 5,0 %. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos conducidos por diferentes operadores usando equipos diferentes no deberán ser considerados con sospecha a menos que difieran en más del 14 ,0 % de su media.



## 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 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
- 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 lutitas 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.

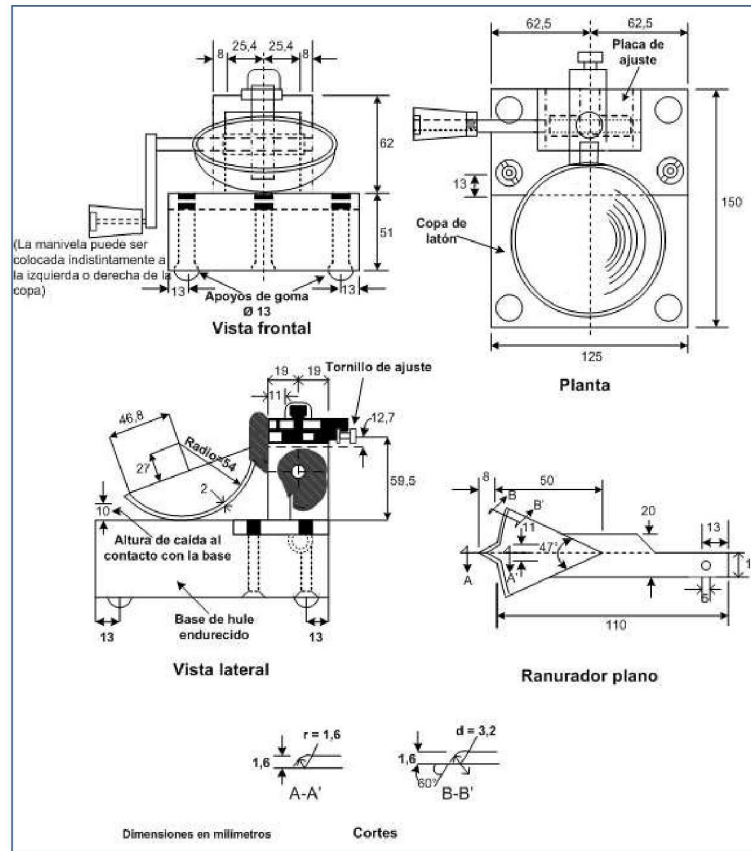


Figura 1: Aparato manual para límite líquido



- 6.1 Utilizando el acanalador, dividir la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa. Cuando se corte la ranura, mantener el acanalador contra la superficie de la copa y trazar un arco, manteniendo la corriente perpendicular a la superficie de la copa en todo su movimiento. En los suelos en los que no se puede hacer la ranura en una sola pasada sin desgarrar el suelo, cortar la ranura con varias pasadas del acanalador. Como alternativa, puede cortarse la ranura a dimensiones ligeramente menores que las requeridas, con una espátula y usar la del acanalador las dimensiones finales de la ranura.
- 6.2 Verificar que no existen restos de suelo por debajo de la copa. Levantar y soltar la copa girando el manubrio a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de la ranura una longitud de 13 mm (1/2 pulg).

**Nota 1.** Se recomienda el uso de una regla graduada para verificar que la ranura se cerró en 13 mm (1/2 pulg).
- 6.3 Verificar que no se haya producido el cierre prematuro de la ranura debido a burbujas de aire, observando que ambos lados de la ranura se hayan desplazado en conjunto aproximadamente con



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 plásticos 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 2µm 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 µm (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 µm (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).



## **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 ( $2\,700\text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$  ( $56\,000\text{ pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$ )).

**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 ( $2\,700\text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$  ( $56\,000\text{ pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$ )).

**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 ( $\frac{3}{4}$ " 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 ( $\frac{3}{4}$  pulg) a Pesos Unitarios y contenido de humedad de la fracción que pasa la malla de 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  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 ( $\frac{3}{8}$  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 ( $\frac{3}{8}$  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 ( $2\ 700\ \text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$  ( $56\ 000\ \text{pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$ )).
- 3.1.2 ASTM D 1557: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort ( $2\ 700\ \text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$  ( $56\ 000\ \text{pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$ )).

### 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 contruidos 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 ( $\frac{3}{8}$  pulg) ó 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  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 ( $\frac{3}{8}$  pulg) ó 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg). Durante la preparación del material granular que pasa la malla  $\frac{3}{4}$  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 ( $\frac{3}{8}$  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 ( $\frac{1}{4}$ pulg) de la parte superior del molde. Si la quinta capa se extiende en más de 6 mm ( $\frac{1}{4}$ pulg) 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 (%)

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

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

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  $0,5 \text{ lbf/pe}^3$ .
- 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



**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
1/2	12,70
2 1/2	63,50
2 5/8	66,70
4	101,60
4 1/2	114,30
4,584	116,43
4 3/4	120,60
6	152,4
6 1/2	165,10
6 5/8	168,30
6 3/4	171,40
8 1/4	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

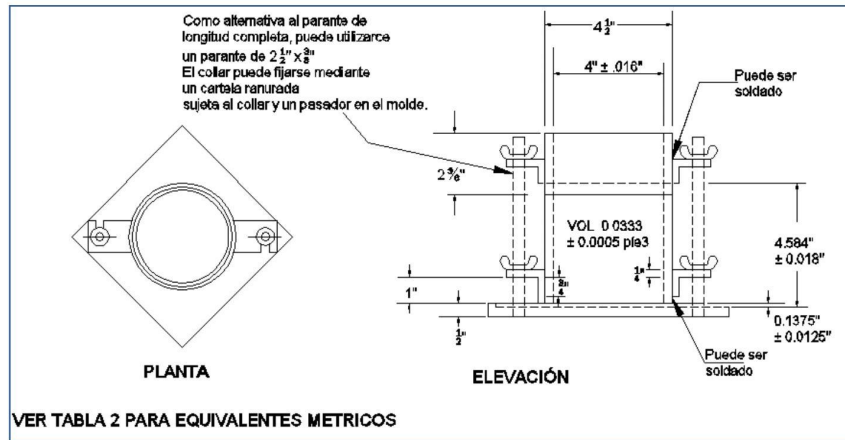


Figura 1: Molde cilíndrico de 4,0 pulg

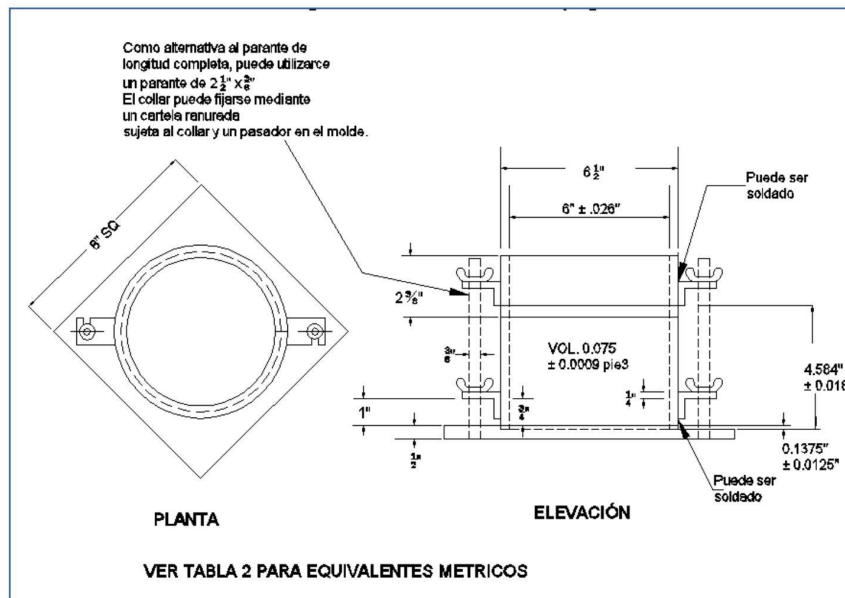


Figura 2: Molde cilíndrico de 6,0 pulg

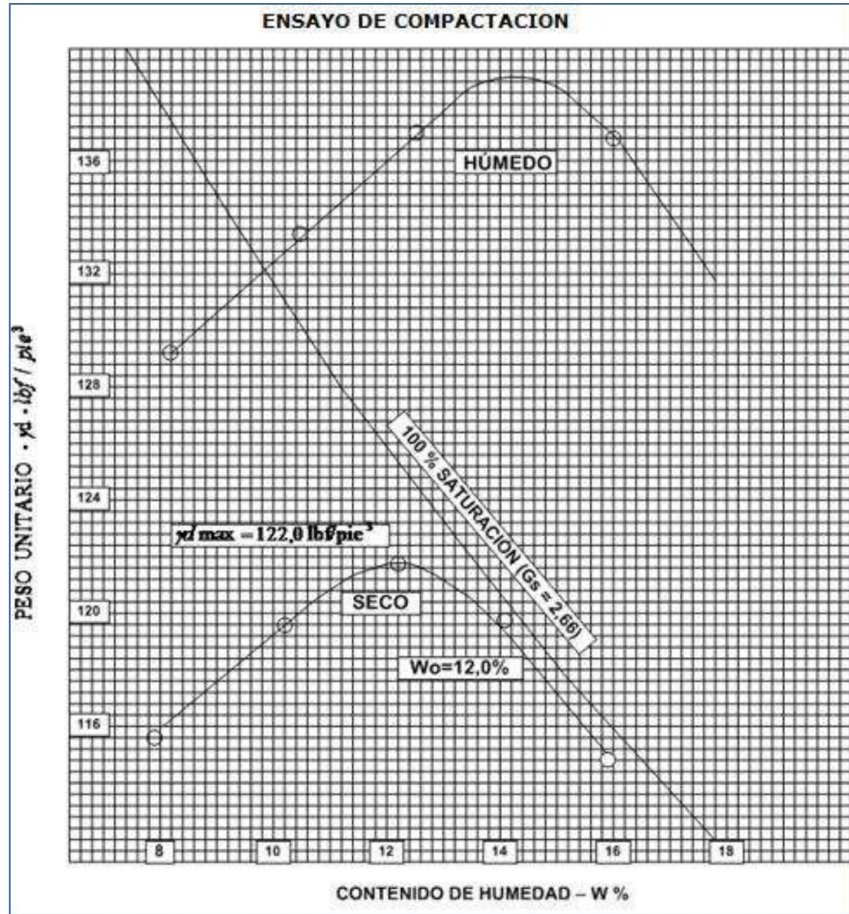


Figura 3. Ejemplo de Gráfico de Curva de Compactación

**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  $61,37 \pm 0,127$  mm ( $2,416 \pm 0,005$ " ) 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).

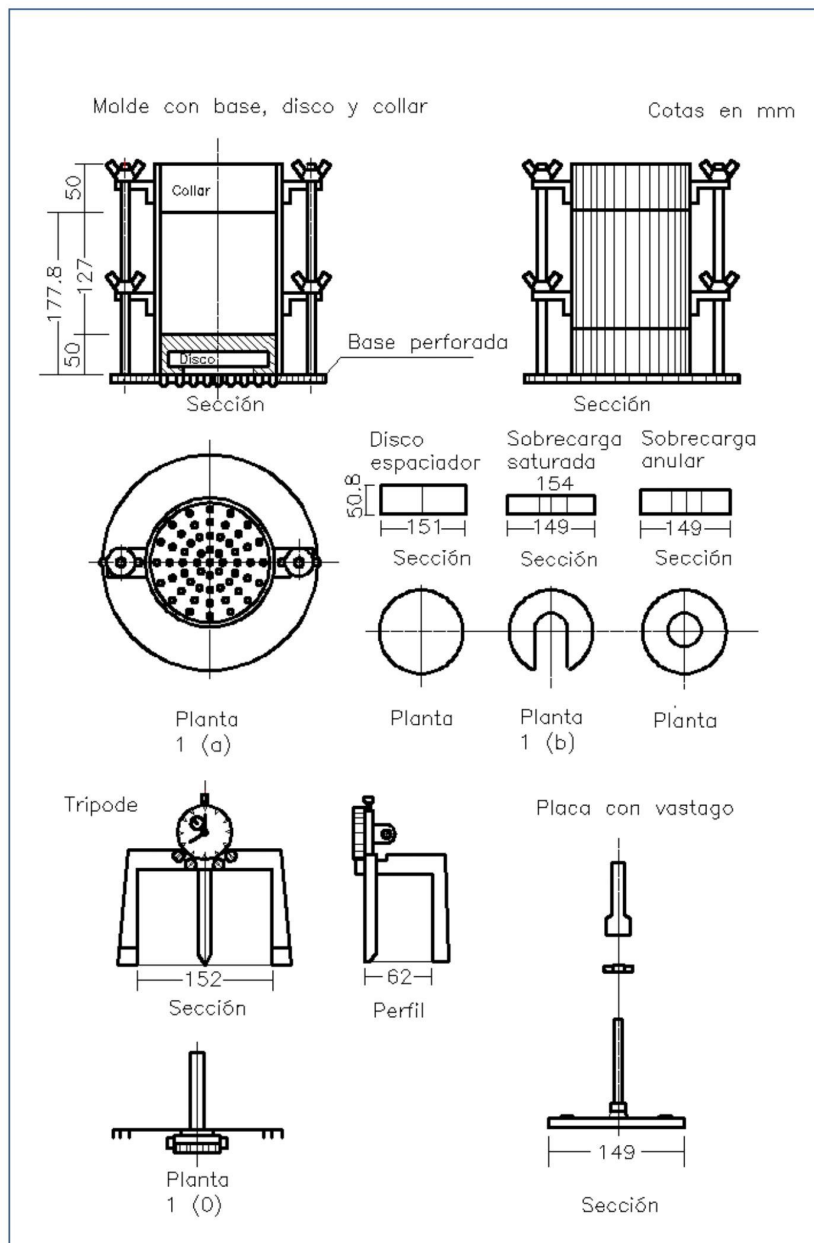


Figura 1.



#### 4.1.5 Aparato medidor de expansión compuesto por:

- Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149,2 mm (5 7/8") de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de 1,6 mm (1/16") de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura (Figura 1d).
- Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0,025 mm (0,001") (véase Figura 1c).

4.1.6 Pesas. Uno o dos pesas anulares de metal que tengan una masa total de  $4,54 \pm 0,02$  kg y pesas ranuradas de metal cada una con masas de  $2,27 \pm 0,02$  kg. Las pesas anular y ranurada deberán tener 5 7/8" a 5 15/16" (149,23 mm a 150,81 mm) en diámetro; además de tener la pesa, anular un agujero central de 2 1/8" aproximado (53,98 mm) de diámetro.

4.1.7 Pistón de penetración, metálico de sección transversal circular, de  $49,63 \pm 0,13$  mm (1,954 ± 0,005") de diámetro, área de 19,35 cm<sup>2</sup> (3 pulg<sup>2</sup>) y con longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración con las sobrecargas precisas de acuerdo con el numeral 6,4, pero nunca menor de 101,6 mm (4").

4.1.8 Dos diales con recorrido mínimo de 25 mm (1") y divisiones lecturas en 0,025 mm (0,001"), uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.

4.1.9 Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.

4.1.10 Estufa, termostáticamente controlada, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

4.1.11 Balanzas, una de 20 kg de capacidad y otra de 1000 g con sensibilidades de 1 g y 0,1 g, respectivamente.

4.1.12 Tamices, de 4,76 mm (No. 4), 19,05 mm (3/4") y 50,80 mm (2").

4.1.13 Misceláneos, de uso general como cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.

## 5.0 MUESTRA

5.1 La muestra deberá ser preparada y los especímenes para la compactación deberán prepararse de acuerdo con los procedimientos dados en los métodos de prueba NTP 339.141 ó NTP 339.142 para la compactación de un molde de 152,4mm (6") excepto por lo siguiente:

- Si todo el material pasa el tamiz de 19mm (3/4"), toda la graduación deberá usarse para preparar las muestras a compactar sin modificación. Si existe material retenido en el tamiz de 19 mm (3/4"), este material deberá ser removido y reemplazado por una cantidad igual de material que pase el tamiz de ¾ de pulgada (19 mm) y sea retenido en el tamiz N° 4 obtenido por separación de porciones de la muestra no de otra forma usada para ensayos.

## 6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 El procedimiento es tal que los valores de la relación de soporte se obtienen a partir de especímenes de ensayo que posean el mismo peso unitario y contenido de agua que se espera encontrar en el terreno. En general, la condición de humedad crítica (más desfavorable) se tiene cuando el material está saturado. Por esta razón, el método original del Cuerpo de Ingenieros de E.U.A. contempla el ensayo de los especímenes después de estar sumergidos en agua por un período de cuatro (4) días confinados en el molde con una sobrecarga igual al peso del pavimento que actuará sobre el material.

6.2 Preparación de la Muestra.- Se procede como se indica en las normas mencionadas (Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos, con equipo estándar o modificado). Cuando más del 75 % en peso de la muestra pase por el tamiz de 19,1 mm (3/4"), se utiliza para el ensayo el material que pasa por dicho tamiz. Cuando la fracción de la muestra retenida en el tamiz de 19,1 mm (3/4") sea





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).

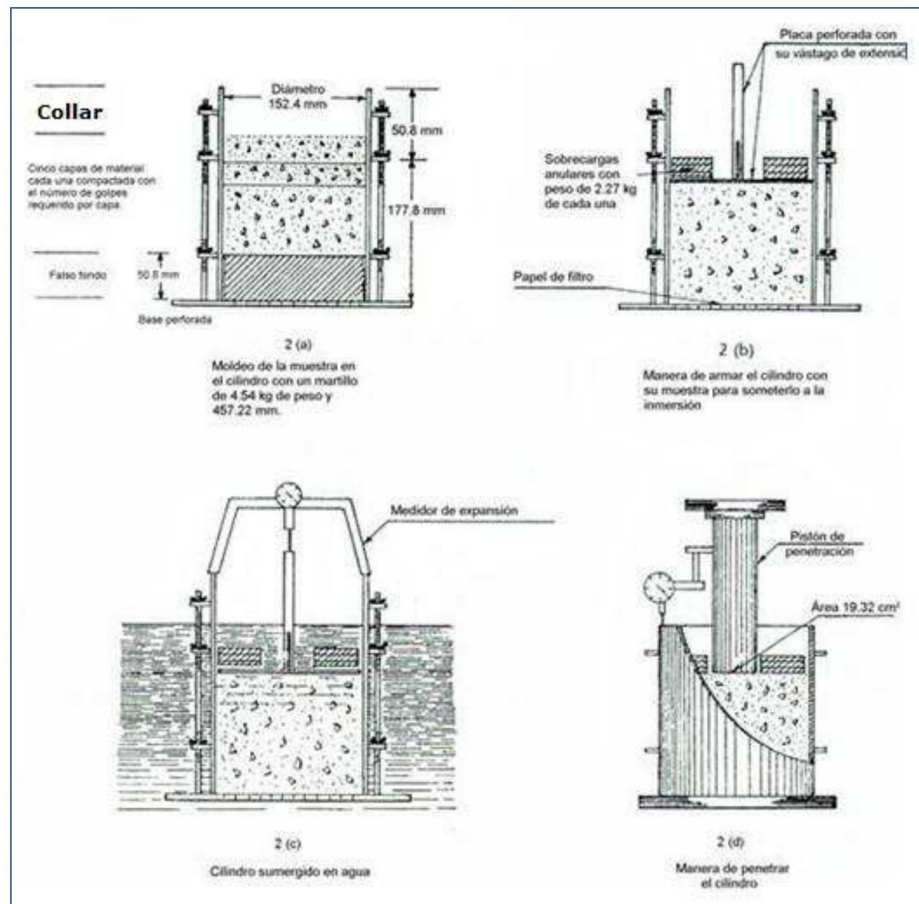
**Nota 2.** A falta de instrucciones concretas al respecto, se puede determinar el espesor de las capas que se han de construir por encima del suelo que se ensaya, bien por estimación o por algún método aproximado. Cada 15 cm (6") de espesor de estructura del pavimento corresponde aproximadamente a 4,54 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 periodo 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, Llévase el conjunto a la prensa y colóquese en el orificio central de la sobrecarga anular, el pistón de penetración y añáde 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:



### Penetración

Milímetros	Pulgadas
0,63	0,025
1,27	0,050
1,90	0,075
2,54	0,100
3,17	0,125
3,81	0,150
5,08	0,200
7,62	0,300
10,16	0,400
12,70	0,500

\* Estas lecturas se hacen si se desea definir la forma de la curva, pero no son indispensables.

Finalmente, se desmonta el molde y se toma de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad.

#### 6.6 PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO SOBRE MUESTRAS INALTERADAS

En el caso de muestras inalteradas se procede como sigue:

- Se trabajará en una calicata de aproximadamente 0,80 x 0,80 m.
- Se nivela la superficie y se coloca el molde en el centro del área de trabajo. El molde se le debe haber adicionado el anillo cortador.
- Posteriormente se excava suavemente alrededor del molde, presionándolo para que corte una delgada capa de suelo a su alrededor.
- Se clava el molde en el suelo poco a poco, con ayuda de herramientas apropiadas, hasta llenarlo, haciendo uso de la técnica para la toma de muestras inalteradas que se describe en la norma MTC E 112. Debe entenderse que por ningún motivo la muestra debe ser golpeada, tanto en el proceso de recuperación en el campo, como en su transporte y trabajo de laboratorio
- Una vez lleno el molde, se parafinan sus caras planas y, cuidando de no golpearlo, se traslada al laboratorio. Cuando se vaya a efectuar el ensayo se quita la parafina de ambas caras y, con ayuda de la prensa y el disco espaciador o de un extractor de muestras, se deja un espacio vacío en el molde equivalente al del disco espaciador, enrasando el molde por el otro extremo. A continuación se procede como con las muestras preparadas en el laboratorio. La operación para dejar ese espacio vacío no es necesaria (7,0" ± 0,16") si se utiliza un molde con 127 mm (5") de altura, en vez de los 177,8 mm, y se monta el collar antes de proceder al ensayo de penetración.

### 7.0 CALCULOS E INFORME

#### 7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Humedad de compactación. El tanto por ciento de agua que hay que añadir al suelo con su humedad natural para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue:

$$\% \text{ de agua a añadir} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100$$

Donde:

H = Humedad prefijada

h = Humedad natural



- 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

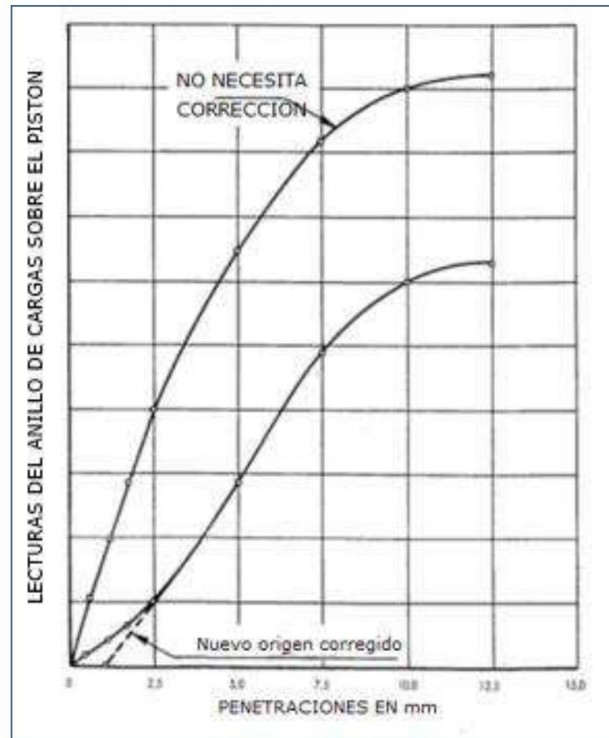
- $L_1$  = Lectura inicial en mm.  
 $L_2$  = Lectura final en mm.

- 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:

- 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.
- De la curva corregida tómense 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.



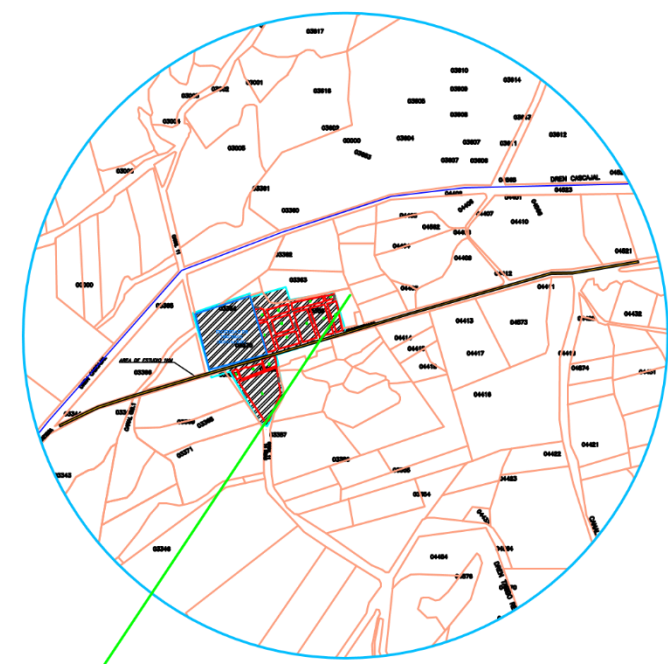
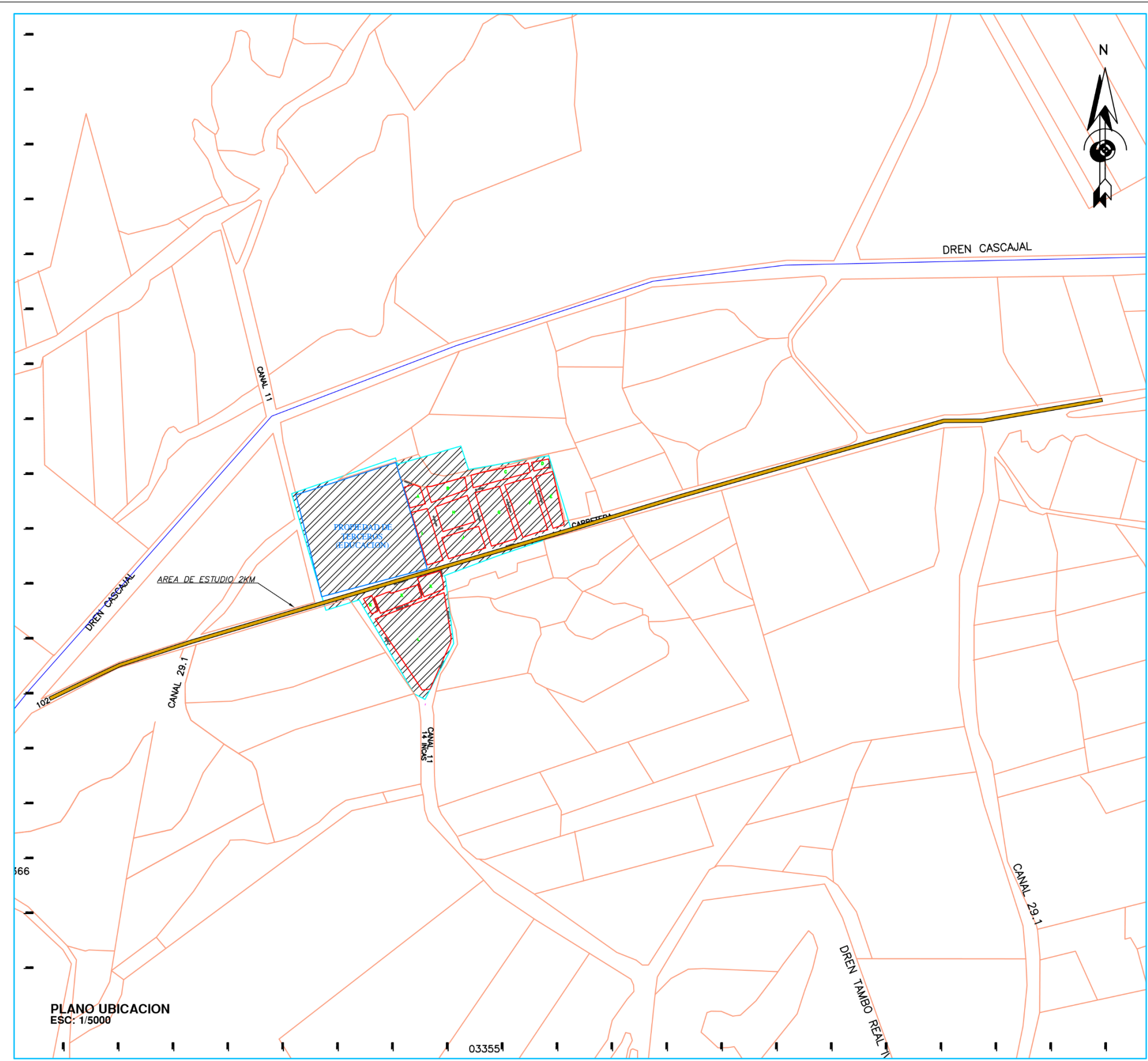
**Figura 3: Curva para cálculo de índice de CBR**

#### 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.).

## **12. PLANOS**



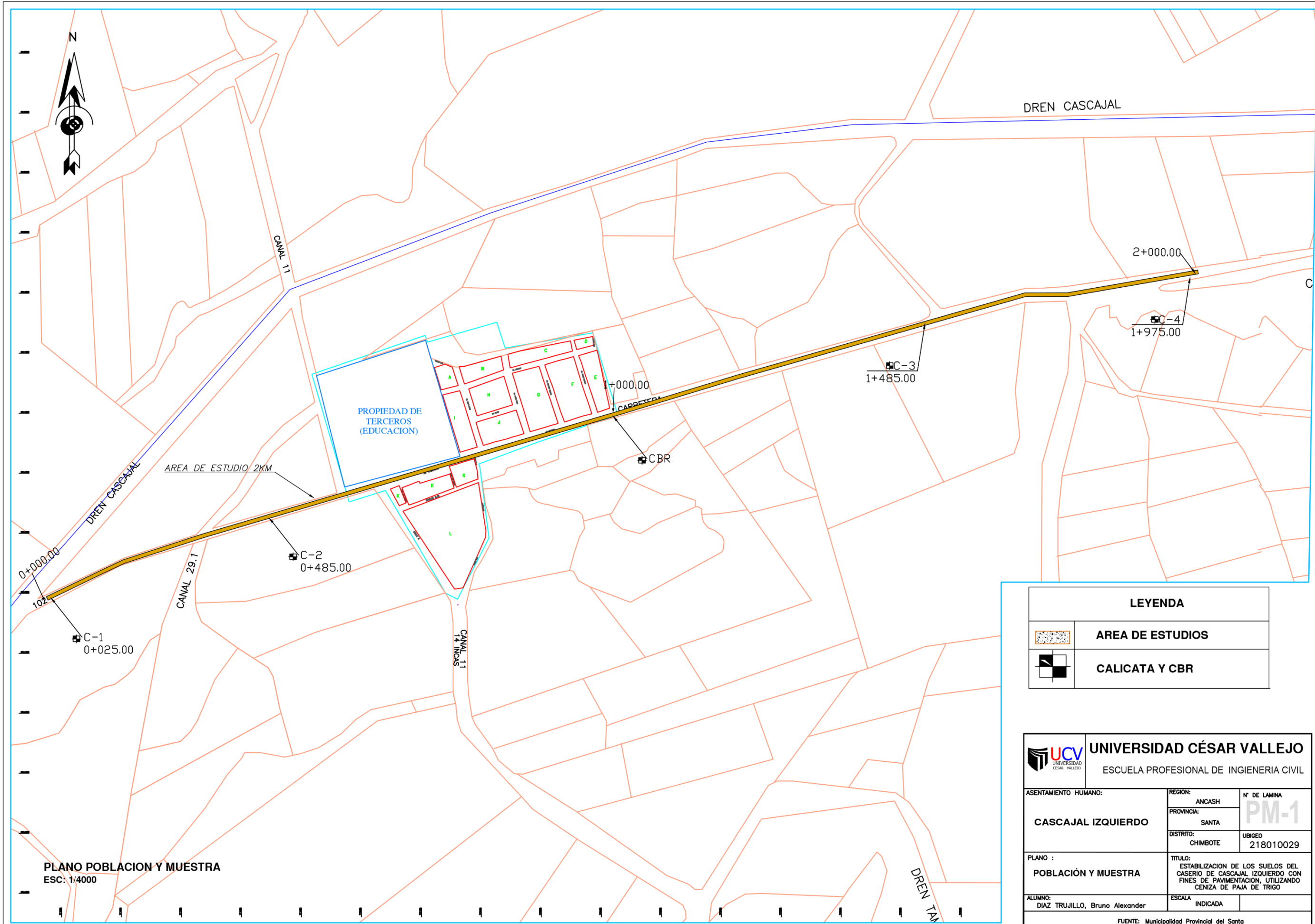
**PLANO DE LOCALIZACION**  
ESC: 1/15000

LEYENDA	
	AREA DE ESTUDIOS
	ZONA CASCAJAL IZQUIERDO

**PLANO UBICACION**  
ESC: 1/5000

		<b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>	
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
ASENTAMIENTO HUMANO:	REGION:	PROVINCIA:	N° DE LAMINA
<b>CASCAJAL IZQUIERDO</b>	ANCASH	SANTA	<b>UL-1</b>
	DISTRITO:	UBIGEO	
	CHIMBOTE	218010029	
PLANO :	TITULO:		
<b>UBICACION Y LOCALIZACION</b>	ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO		
ALUMNO:	ESCALA		
DIAZ TRUJILLO, Bruno Alexander	INDICADA		
FUENTE: Municipalidad Provincial del Santa			





DREN CASCAJAL

2+000.00  
 C-4  
 1+975.00

C-3  
 1+485.00

1+000.00

CBR

C-2  
 0+485.00

C-1  
 0+025.00

AREA DE ESTUDIO 2KM

PROPIEDAD DE TERCEROS (EDUCACION)

CANAL 11

CANAL 29.1

CANAL 11

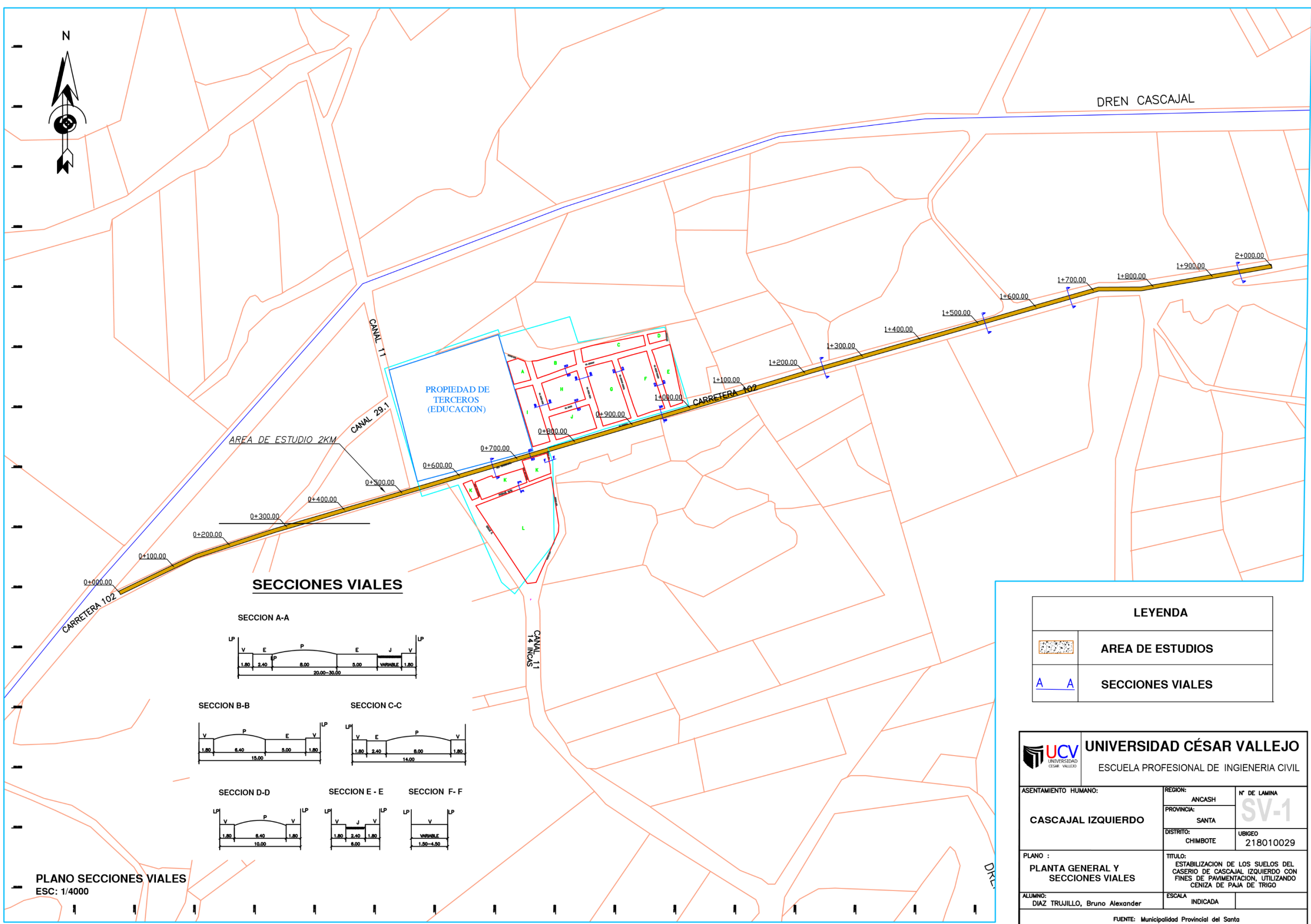
DREN CASCAJAL

DREN TAN

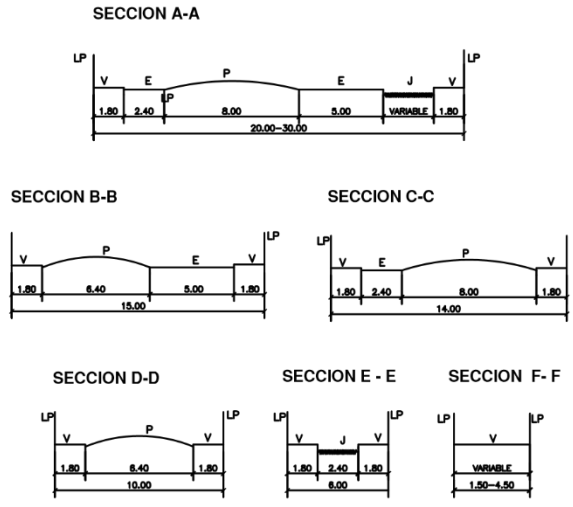
LEYENDA	
	AREA DE ESTUDIOS
	CALICATA Y CBR

		<b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>	
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
ASENTAMIENTO HUMANO:	REGION:	PROVINCIA:	N° DE LAMINA
<b>CASCAJAL IZQUIERDO</b>	ANCASH	SANTA	<b>PM-1</b>
		CHIMBOTE	
			218010029
PLANO :	TITULO:		
<b>POBLACION Y MUESTRA</b>	ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO		
ALUMNO:	ESCALA:		
DIAZ TRUJILLO, Bruno Alexander	INDICADA		
FUENTE: Municipalidad Provincial del Santa			

PLANO POBLACION Y MUESTRA  
 ESC: 1/4000



**SECCIONES VIALES**



LEYENDA	
	AREA DE ESTUDIOS
	SECCIONES VIALES

<b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
ASENTAMIENTO HUMANO: <b>CASCAJAL IZQUIERDO</b>	REGION: ANCASH PROVINCIA: SANTA DISTRITO: CHIMBOTE
PLANO : <b>PLANTA GENERAL Y SECCIONES VIALES</b>	TITULO: ESTABILIZACION DE LOS SUELOS DEL CASERIO DE CASCAJAL IZQUIERDO CON FINES DE PAVIMENTACION, UTILIZANDO CENIZA DE PAJA DE TRIGO
ALUMNO: DIAZ TRUJILLO, Bruno Alexander	ESCALA: INDICADA
FUENTE: Municipalidad Provincial del Santa	

**SV-1**

UBIGEO  
218010029

**PLANO SECCIONES VIALES**  
ESC: 1/4000