



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**“Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de  
carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo,  
Lima 2019”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Civil

**AUTORA:**

Medina Arauco, Gabriela Rosa (ORCID: 0000-0002-4870-7246)

**ASESOR:**

Mg. Minaya Rosario, Carlos Danilo (ORCID: 0000-0002-0655-523X)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

LIMA — PERÚ

2020

## **Dedicatoria**

Dedico esta tesis a mi amor bonito Arali. Desde el momento que te sentí en mi vientre te convertiste en mi fiel compañera, la que conocía mis miedos y sueños, la que me dio su consuelo en cada patadita cuando se asomaba alguna lágrima.

Imaginate en mis brazos era parte de todos los días, ansiaba conocerte y cuando el día llegó, tenía miedo, miedo de no ser una buena madre, de no tener nada que ofrecerte, de no saber cómo cargarte y lastimarte.

Con solo verte supe que daría mi vida por ti, me esforzaría por hacerte feliz, por darte lo mejor y que un día te sientas orgullosa de mi, te convertiste en mi motor y motivo, la que le da sentido a mi vida, la causante de mi anhelo de salir adelante para logro mis metas. Gracias a ti siento esa clase de amor diferente y fuerte con un lazo inquebrantable el amor de madre.

Poco a poco la bebé que arrullaba en mi pecho quedó atrás, mi niña dejó de ser pequeña, más independiente, curiosa, y soñadora. Hoy eres testigo de una de mis metas que logro cumplir gracias a ti, gracias por regalarme tu tiempo, por los momentos sacrificados en nuestra vida como familia, que requirió el cumplimiento de esta tesis, gracias por comprender el significado del sacrificio, gracias por darme la oportunidad de enseñarte que no hay un orden en la vida para lograr tus metas, que puedes ser madre o profesional, o ambas cosas.

Mi amor bonito, recuerda que siempre voy a estar ahí para darte mi mano, secar tus lágrimas y levantarte. Que este logro te inspire a conseguir los tuyos, sé que tendrás muchos, ten por seguro que siempre estaré ahí apoyándote a cumplir tus sueños, ¡No importa lo que quieras!, no tienes que cumplir ningún estereotipo, el mundo es tuyo no hay cosas para hombres ni mujeres, son de quién quiere hacerlas.

Viaja, enamórate, ríe, corre, salta, baila, deja que los rayos del sol te golpeen en la cara, que la lluvia te bañe, no tengas miedo a fracasar que lo único que no tiene solución es la muerte, así que mientras puedas respirar ¡Sé feliz! Porque no hay nada que puedas hacer para que deje de sentirme orgullosa de la maravillosa persona que eres.

## **Agradecimiento**

Agradecer a los docentes que a lo largo de mi carrera han compartido sus experiencias laborales, así mismo a los compañeros de estudios por el apoyo incondicional en todo momento, a los asesores para el desarrollo de esta tesis.

## Índice de Contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	31
3.1. Tipo y diseño de investigación	31
3.2. Variables y operacionalización	32
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis	34
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	35
3.5. Procedimientos	36
3.6. Método de análisis de datos	37
3.7. Aspectos éticos	37
IV. RESULTADOS	38
V. DISCUSIÓN	65
VI. CONCLUSIONES	67
VII. RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS	69
ANEXOS	76

## Índice de tablas

Tabla 1.	Clases de fuerza de subrasante	29
Tabla 2.	Clase de resistencia de subrasante de diseño estimada bajo carreteras selladas en presencia de una capa freática	30
Tabla 3.	Análisis granulométrico (formato)	40
Tabla 4.	Distribución granulométrica (formato para la clasificación)	40
Tabla 5.	Límites de consistencia (formato)	41
Tabla 6.	Proctor modificado (formato para el ensayo)	41
Tabla 7.	Ensayo de relación de soporte california CBR (formato para el ensayo)	41
Tabla 8.	Característica de excavación de las calicatas	42
Tabla 9.	Cantidad de muestra de suelo	42
Tabla 10.	Análisis granulométrico, muestra 01	46
Tabla 11.	Resumen de los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos estándar	46
Tabla 12.	Límites de consistencia	50
Tabla 13.	Clasificación	50
Tabla 14.	Resumen de Proctor Modificado	53
Tabla 15.	Categoría de subrasante (suelo natural)	57
Tabla 16.	Resumen de ensayo de CBR con fines de pavimentos	59

## Índice de figuras

Figura 1.	La plataforma del paso desnivel de la avenida 6 de Agosto e Independencia, en la zona sur, se hunde luego que uno de los tirantes se desprendió. – José Rocha Los Tiempos	2
Figura 2.	Relaciones de densidad seca-contenido de humedad-CBR para suelo arenoso-arcilloso	27
Figura 3.	Distribución de resistencia de subrasante	28
Figura 4.	Ubicación de la calle Santa Úrsula Mz R Lt. 7 AAHH Milagros	39
Figura 5.	Excavación de la calicata 01	39
Figura 6.	Excavación de la calicata	42
Figura 7.	Maderera Green Forest	43
Figura 8.	Vista del lugar de obtención de ceniza	44
Figura 9.	Curva granulométrica, muestra 01	47
Figura 10.	Fórmula límite líquido	48
Figura 11.	Fórmula Índice de plasticidad	49
Figura 12.	Cálculo del índice de plasticidad	50
Figura 13.	Resumen de Proctor Modificado	53
Figura 14.	Cenizas de Carbón Relación Humedad – Densidad	54
Figura 15.	Aserrín Relación Humedad – Densidad	54
Figura 16.	Terreno Natural Relación Humedad - Densidad	55
Figura 17.	Correlaciones típicas entre las clasificaciones y las propiedades de los suelos (suelo natural)	58
Figura 18.	Clasificación de la subrasante para suelo natural	59
Figura 19.	Comparación de Contenido de Humedad en diferentes % según las variables	60
Figura 20.	Comparación de Máxima Densidad Seca en diferentes % según las variables	61
Figura 21.	Comparación de CBR al 100% adicionando diferentes % de aserrín y cenizas de carbón.	62
Figura 22.	Estructura de un pavimento rígido	Anexo

## Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar cuál es el efecto de la adición de aserrín y la ceniza de carbón en las propiedades mecánicas de suelos de Subrasante, Carabaylo, Lima 2019. Es decir, busca la evaluación del efecto que tiene el uso del aserrín y las cenizas de carbón en la subrasante del suelo.

La metodología empleada consistió en el enfoque cuantitativo, diseño no experimental, corte transeccional, alcance explicativo, tipo aplicado. La población fue las calles del distrito de Carabaylo, en Lima, Perú, año 2019; y mediante muestreo intencional se seleccionó como muestra la calle Santa Úrsula Mz. R Lt. 7 del Asentamiento Humano —Milagros II. La unidad de análisis fue el suelo para la estabilización de la subrasante. Se usó el método hipotético-deductivo; se usó como técnicas, la observación y el análisis documental; y el instrumento empleado para recojo de información fue el check list.

Los resultados mostraron que se encontró un suelo de fundación arena arcillosa (SC), con un CBR de 18.1%, el cual pertenece a la categoría S4 subrasante de buena calidad. Después de adicionar los porcentajes de mezcla de 6% aserrín y 20% de cenizas de carbón aumentó el CBR en un 75%, por lo que se afirma la hipótesis alternativa. También se pudo observar que al adicionar cenizas de carbón al 25% se encontró un incremento significativo del CBR en un 45% con respecto al suelo natural; sin embargo, al utilizar los porcentajes de 6% y 8% de aserrín no se encontró los mismos resultados ya que el CBR empezó a disminuir en un 8% y 10% respectivamente.

Se concluyó que la combinación de aserrín y la ceniza de carbón estabilizan la subrasante, en el distrito de Carabaylo, Lima, 2019.

Palabras claves: aserrín, cenizas de carbón, estabilización de la subrasante.

## Abstract

The objective of this research was to determine what is the effect of the addition of sawdust and coal ash on the mechanical properties of soils of Subrasante, Carabayllo, Lima 2019. That is, it seeks the evaluation of the effect that the use of sawdust has and coal ashes in the subgrade of the soil.

The methodology used consisted of the quantitative approach, non-experimental design, transectional cut, explanatory scope, applied type. The population was the streets of the Carabayllo district, in Lima, Peru, year 2019; and by means of intentional sampling, Santa Úrsula Mz. street was selected as a sample. R Lt. 7 of the Human Settlement —Milagros II. The unit of analysis was the soil for stabilization of the subgrade. The hypothetical-deductive method was used; documentary observation and analysis were used as techniques; and the instrument used to collect information was the check list.

The results showed that a clay sand (SC) foundation soil was found, with a CBR of 18.1%, which belongs to the good quality subgrade category S4. After adding the mixing percentages of 6% sawdust and 20% coal ash, the CBR increased by 75%, thus affirming the alternative hypothesis. It was also observed that when adding coal ash to 25% a significant increase in CBR was found by 45% with respect to natural soil; however, when using the percentages of 6% and 8% sawdust, the same results were not found since CBR began to decrease by 8% and 10% respectively.

It was concluded that the combination of sawdust and coal ash stabilize the subgrade, in the Carabayllo district, Lima, 2019.

Keywords: sawdust, coal ash, subgrade stabilization.



## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, se supo que en Argentina se hizo el enripiado de un camino que unía dos ciudades, cuyos trabajos habían de beneficiar a productores zonales y proporcionar garantías para el acceso a una institución educativa, con una inversión de 130'000,000 pesos en una obra reclamada en la zona, cuyo proyecto contempló la puesta en ejecución de un paquete estructural cuyo componente es una subrasante mejorada con un determinado porcentaje de cal para estabilizar el suelo de base, además de la construcción de una base de suelo calcáreo de asiento para la capa de ripio arcilloso actual (Trama Vial, 2019). En Colombia, para las obras para estabilizar la ladera de Campo Alegre y reconstruir 700 metros de vía en dicho sector, se invirtieron \$125 mil millones en obras de ingeniería, calificadas como las más complejas ejecutadas en los últimos años en Barranquilla, cuyos trabajos contemplaron la estabilización del suelo, pavimentación en asfalto de 700 m lineales de doble calzada, sumado a urbanismo, paisajismo y alumbrado público, y además de un encapsulamiento de la subrasante, vale decir, se hizo una construcción sobre 200 pilotes amarrados por tensores, ya que se habían encontrado suelos expansivos en la zona (Contreras, 2018). Se hizo la supervisión de los avances de la construcción del segundo tramo de la avenida Circunvalación de Santo Domingo, la cual es una obra que permitirá la conexión entre regiones distintas y mejorará el tránsito. Contó con la supervisión del ministro de Obras Públicas, el cual constató el avance en la intervención de todos los frentes de obra, realizándose el avance de la construcción de 9 de 14 puentes, asimismo en el avance en la estabilización de suelos subrasantes y construcción de alcantarillas, además de los movimientos de tierra, que se ejecuta en un 96% (Redacción, 2018). En Venezuela, para disminuir costos de construcción para estabilizar las subrasantes de vías y viviendas rurales, se propuso el uso del yeso de Monomeros Colombo Venezolanos (Herrera, 2019). En Bolivia, por no considerar aspectos relacionados con la subrasante, supuso la demolición de un puente por —colapso total, debido a que su alcalde otorgó la buena pro sin licitación alguna. Fue un desperdicio de 13 millones de bolivianos (Eju, 2015).



*Figura 1.* La plataforma del paso desnivel de la avenida 6 de Agosto e Independencia, en la zona sur, se hunde luego que uno de los tirantes se desprendió. – José Rocha Los Tiempos

Fuente: Eju, 2015.

A nivel nacional, se desarrolló un método alternativo para estabilizar suelos arcillosos con ceniza volante de carbón, usado en la construcción de la capa subrasante mejorada de un pavimento, cuya muestra de ceniza volante se obtuvo de la quema de carbón que provenía de la planta termoeléctrica de Ilo, para la evaluación de su aplicabilidad en la subrasante con capacidad de soporte baja de los pavimentos en carreteras, usando la mezcla de ceniza volante con arcilla de mediana plasticidad, una característica que hay en la selva central. Se hizo la comprobación de que la mezcla de ceniza volante en adecuada proporción con un suelo arcilloso presenta una resistencia mayor en la mezcla final, a modo de capa de sub-rasante de un pavimento y que cumpla con especificaciones técnicas para dicho fin. Los resultados mostraron que al haberse adicionado una proporción de ceniza volante en un 20%, la arcilla mejoraba su comportamiento y su resistencia, para su uso como capa de mejorada sub-rasante de pavimentos de volumen de tráfico alto o como un pavimento de volumen de tráfico bajo. El empleo de esta

ceniza contribuía con las tecnologías limpias y el desarrollo sustentable debido a que minimizaba los problemas de contaminación, al lograrse la disminución de los vertederos y rellenos sanitarios para la ceniza volante, otorgando una finalidad aprovechable a la misma (Pérez Collantes, 2014).

Las vías terrestres en todo el mundo son fundamentales para el desarrollo de las naciones, y muchas veces no se cuenta con el debido financiamiento, motivo por el cual se buscan métodos de construcción eficiente partiendo de un criterio de costo-efectividad. Como existen suelos expansivos diversos no uniformes pueden ocasionar asentamiento y daños de estructuras. En el Perú siempre se está a la búsqueda de opciones que permitan de la mejor manera estabilizar los suelos mejorando sus propiedades físico-mecánicas, a fin de que las vías permitan comunicación entre zonas urbanas. Como algunos suelos se presentan arcillosos, no satisfacen los requerimientos impuestos para un proyecto de pavimentación, ya que tienen una baja capacidad de soporte y deficiente calidad debido a su naturaleza. En el distrito de Carabaylo hay estrato superficial de suelos granulares finos y suelos arcillosos, los cuales no son recomendables para ejecutar obras de infraestructura civil, ya que poseen una baja capacidad portante y no cumplen con exigencias normativas exigidas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Como se pretende la mejora de suelos mediante diversas técnicas de estabilización, y el aserrín y la ceniza de carbón pueden ser muy útiles para estabilizar la subrasante de los suelos de la zona, el propósito de esta investigación es determinar si el aserrín y la ceniza de carbón estabilizan la subrasante, en el distrito de Carabaylo, Lima, 2019.

El problema general es: ¿cuál es el efecto de la adición de aserrín y la ceniza de carbón en las propiedades mecánicas de suelos de subrasante, Carabaylo, Lima 2019?

Los problemas específicos son: (a) ¿cuál es el efecto de la adición de aserrín en el valor de la máxima densidad seca óptima contenido de humedad y valor de soporte de California de suelos de subrasante, Carabaylo, Lima 2019?; (b) ¿cuál es el efecto de la adición de ceniza en el valor de la máxima densidad seca óptimo contenido de humedad y valor de soporte de California de suelos de subrasante,

Carabayllo, lima 2019?; (c) ¿cuál es el efecto de la adición combinada de aserrín y ceniza en el valor de la máxima densidad seca óptimo contenido de humedad y valor de soporte de California de suelos de Subrasante, Carabayllo, Lima 2019?

Los resultados de esta investigación se justifican teóricamente, debido a que permite el conocimiento del comportamiento del aserrín y las cenizas de carbón con respecto a la estabilización de la subrasante.

Los resultados de esta investigación se justifican metodológicamente, debido a que los procedimientos empleados pueden ser de utilidad para aquellos que deseen profundizar en la línea de investigación que involucre las variables aquí estudiadas.

Los resultados de esta investigación se justifican prácticamente, ya que de ser satisfactorios, permitirá que los ingenieros civiles usen aserrín y cenizas de carbón para la estabilización de la subrasante.

Los resultados de esta investigación se justifican socialmente, debido a que la población de Carabayllo puede contar con un suelo más resistente por el cual hacer transitar los automóviles y a los peatones.

Los resultados de esta investigación se justifican económicamente, debido a que de ser satisfactorios, podrá usarse aserrín y cenizas de carbón para la estabilización de la subrasante, en vez de otros elementos más costosos.

El objetivo general es determinar cuál es el efecto de la adición de aserrín y la ceniza de carbón en las propiedades mecánicas de suelos de subrasante, Carabayllo, Lima 2019.

Los objetivos específicos son: (a) determinar cuál es el efecto de la adición de aserrín en el valor de la máxima densidad seca óptima contenido de humedad y valor de soporte de California de suelos de subrasante, Carabayllo, Lima 2019; (b) determinar cuál es el efecto de la adición de ceniza en el valor de la máxima densidad seca óptimo contenido de humedad y valor de soporte de California de suelos de Subrasante, Carabayllo, Lima 2019; (c) determinar cuál es el efecto de la adición combinada de aserrín y ceniza en el valor de la máxima densidad seca

optimo contenido de humedad y valor de soporte de California de suelos de Subrasante, Carabayllo, Lima 2019.

La hipótesis general es el aserrín y la ceniza de carbón estabilizan la subrasante, en el distrito de Carabayllo, Lima, 2019.

Las hipótesis específicas son: (a) el aserrín estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabayllo, Lima, 2019; (b) la ceniza de carbón estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabayllo, Lima, 2019.

## II. MARCO TEÓRICO

Con respecto a los antecedentes internacionales se contó con los siguientes.

Adeyanju, Austin, Akinwumi y Busari (2020) en su artículo científico establecieron que su estudio exploró el uso de dos desechos (ceniza de cascarilla de arroz (RHA) y polvo de horno de cemento (CKD)) para mejorar la resistencia mecánica de un suelo subterráneo obtenido de una sección de carretera fallida en Nigeria. Presenta una visión experimental sobre la estabilización del suelo con geopolímero basado en CKD y CKD + RHA. En el geopolímero basado en RHA, la ERC se incluyó como material suplementario para la reducción del activador. Los estabilizadores se mezclaron con el suelo en proporciones variables que variaron de 7.5 a 15% para la estabilización de la ERC. Posteriormente, el porcentaje óptimo de ERC se mezcló con RHA (4–10%) y se activó con hidróxido de sodio (NaOH). El diseño del pavimento también se realizó utilizando PaveXpress teniendo en cuenta las condiciones de carga de tráfico pesado. Se realizaron análisis de costos sobre el espesor del pavimento asfáltico resultante para cada subrasante. Los resultados mostraron una mejora mecánica con ambos estabilizadores. Sin embargo, la estabilización realizada con ERC al 10% y geopolímero 3 (8% de RHA y 10% de ERC) fue la óptima. En general, la estabilización de la ERC se realizó mejor que la estabilización de geopolímero. Además, los resultados mostraron que el pavimento con el espesor más bajo corresponde al óptimo y tuvo la mayor reducción de costos. Esta investigación demostró que se podían ahorrar \$ 60,000 independientemente del estabilizador utilizado, que estaba en conjunto con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS 9, 11 y 12).

Ahmed, Hassan, y Lotfi (2020) en su artículo científico establecieron que la existencia de subrasantes expansivas era un desafío, especialmente durante la construcción del pavimento debido a sus drásticos cambios de volumen. En tal caso, la práctica común era eliminar el suelo expansivo natural y reemplazarlo con un suelo no expansivo. Sin embargo, esta solución se volcía inviable para formaciones profundas y extensas de suelos naturales expansivos. Por lo tanto, se realizaron esfuerzos para mejorar las propiedades del suelo expansivo utilizando

diferentes tipos de estabilizadores. En este trabajo, se investigaron dos tipos de agentes estabilizadores: cal hidratada y subproducto de piedra caliza dolomítica. Se seleccionó un programa de prueba para evaluar el comportamiento de resistencia al oleaje de mezclas de arcilla expansivas con arena preparadas artificialmente. El programa de pruebas incluyó límites de Atterberg, Proctor modificado, oleaje libre, CBR, pH y pruebas de análisis químico. Además, la expansividad y resistencia del suelo después del tratamiento se evaluaron en función de las relaciones propuestas por la literatura y el Código egipcio.

Phanikumar, Raju y Raju (2020) en su artículo científico establecieron que las subrasantes expansivas del suelo, que estaban sujetas a un problema de doble contracción por hinchamiento como consecuencia de la absorción y evaporación del agua, debían mejorarse mediante la estabilización química o el colchón compactado o el refuerzo geosintético para que los pavimentos construidos sobre ellos sean uniformes, estables y seguros. La investigación mostró datos experimentales extensos sobre plasticidad, índice de hinchamiento libre (FSI) y características de compactación de una arcilla expansiva altamente hinchable estabilizada con diferentes contenidos de humo de sílice. En otra serie de pruebas en un suelo de laterita que se ha de utilizar como amortiguador sobre el substrato de arcilla expansivo, se determinaron las propiedades de plasticidad, las características de compactación y las características de resistencia con contenidos variados de humo de sílice. Además, se determinó la RBC de la subrasante de arcilla expansiva en el laboratorio estabilizándola con contenidos variados de humo de sílice y proporcionando un colchón de 50 mm de espesor de suelo laterítico estabilizado con humo de sílice. El límite líquido (LL), el índice de plasticidad (PI) y el índice de hinchamiento libre (FSI) de la arcilla expansiva disminuyeron con el aumento del contenido de humo de sílice. Las características de compactación y resistencia de ambos suelos mejoraron con la estabilización del humo de sílice. El CBR de la arcilla expansiva provista de un amortiguador estabilizado con humo de sílice mejoró significativamente.

Bosco, Retno y Hario (2019) en su artículo científico establecieron que la resistencia de subrasante era el factor principal para determinar el espesor requerido de cualquier pavimento. Por lo tanto, se debían determinar las propiedades de los

materiales de subrasante de un pavimento, ya que podían predecir la vida útil de un pavimento. En esta investigación se examinó la desviación de la resistencia alcanzada por el aserrín y los suelos expansivos estabilizados con cal para la subrasante durante diferentes períodos de curado. La metodología utilizada fue realizar pruebas de laboratorio tales como propiedades físicas y pruebas de propiedades mecánicas para muestras de suelo tratadas y no tratadas. En la primera configuración, el suelo fue sustituido con aserrín en los porcentajes de 0, 3, 5 y 7% del peso seco del suelo, y después de realizar una prueba de resistencia a la compresión no confinada, el porcentaje óptimo de aserrín obtenido fue del 3% . El 3% de aserrín se mezcló con 3% de cal y 94% de tierra para pruebas a largo plazo. Las muestras estabilizadas con aserrín y cal se curaron durante 0, 7, 14 y 28 días, y se analizaron para la prueba de compresión no confinada y la relación de resistencia de California. Con base en el análisis de los resultados, se concluyó que una combinación de aserrín al 3% y cal al 3% mejoró significativamente la relación de rodamiento de California y la resistencia al cizallamiento no confinada, específicamente en períodos de curado posteriores.

Mukiza, Zhang, Liu y Zhang (2019) en su artículo científico establecieron que el lodo era una suspensión altamente alcalina producida durante la extracción de alúmina de la bauxita. Su eliminación generaba una grave contaminación ambiental. La mejor manera de resolver los problemas de eliminación del lodo rojo fue desarrollar tecnologías de utilización económica que consumiesen cantidades significativas de lodo rojo. Este artículo revisó la posibilidad de utilizar lodo rojo como material base de carreteras, estabilizador de suelos subterráneos débiles y también como material subterráneo. Los resultados mostraron que el lodo rojo se podía utilizar para esos fines. También se descubrió que el contenido estabilizador necesario para cumplir un determinado estándar difería debido a las diferencias en los requisitos de un país a otro. Por lo tanto, existía la necesidad de diseñar proporciones con UCS, CBR, características de lixiviación requeridas por el país en el que se pretendiera usar el lodo rojo. Se discutió el efecto de varios estabilizadores en el rendimiento del lodo rojo y se supo que la cal mostró el mejor rendimiento seguido de dolima fina, escoria granulada de alto horno, polvo de horno de cemento y cenizas volantes. Los resultados indicaron que el lodo rojo muestra un



mejor rendimiento como material de subrasante que el suelo natural. Además, el uso sinérgico del lodo rojo y otros desechos también mejoraba las propiedades mecánicas y de durabilidad del material en comparación con el uso del lodo rojo solo. Con base en los beneficios mecánicos, económicos y ambientales, se recomendó usar lodo rojo en la estructura de la base de la carretera en la subrasante que en la base de la carretera. También se sugirió el alcance para futuras investigaciones en esta área.

Sadat, Hashemi, Mahmud, Ghuan, Chin, Kuenzel y Ranjbar (2019) en su artículo científico establecieron que la solidificación y estabilización de los residuos de cenizas de fondo de carbón (CBA) utilizando CEM1 como aglutinante se habían evaluado en caso de lixiviación, así como la posibilidad de utilizar esa mezcla para la industria de la construcción. Para esto, la relación de masa CEM1 / CBA había variado entre 0,5 y 2 y se había evaluado la lixiviación de metales pesados de Cu, Cd, Ni y Pb. Se realizaron dos tipos de pruebas de lixiviación de bloques triturados y de bloques enteros para determinar las propiedades de lixiviación del agua desionizada, el ácido acético y los lixiviados de ácido nítrico. Se demostró que todos los elementos se podían inmovilizar con éxito a casi cero incluso en el caso de un bajo contenido de CEM1. Además, se demostró que se filtraban más metales pesados de la matriz cuando se usa ácido acético en comparación con otros lixiviados. Además de esto, se comprobaron las propiedades mecánicas. Después de 56 días, se midió una resistencia a la compresión entre 25 y 40 MPa de 0,5 a 2 relaciones de masa CEM1 / CBA. Según los resultados de lixiviación y resistencia a la compresión, las mezclas de CEM1 / CBA pudieron considerarse para la industria de la construcción.

Clavería, Triana y Varon (2018) en su investigación estableció lo siguiente. Objetivo: Establecer las características del comportamiento geotécnico de suelos que poseen origen volcánico y han sido estabilizados con ceniza de cascarilla de arroz con bagazo de caña como material de subrasante. Metodología: Diseño experimental. Análisis documental. Trabajo de campo, con ensayos de laboratorio y aplicación de RAMCODES, para investigar y describir cómo se comporta el suelo modificado con CCA y CBCA. Se hizo el análisis correcto usando tablas y gráficas, para predecir el comportamiento de los suelos volcánicos naturales y los

estabilizados, los cuales fueron modificadas sus propiedades mecánicas y mecánicas. Resultados y conclusiones: Se estableció que la compactación, a modo de método estabilizador, había otorgado mejores características mecánicas en suelos volcánicos. El residuo agroindustrial generaba un gran aporte en resistencia del suelo, si se comparaba con lo obtenido en condiciones iniciales. Esto indicaba que la CCA y la CBCA provocaban un efecto cementante en la subrasante por causa de sus propiedades puzolánicas, lo cual evidencia un aumento en la resistencia del suelo volcánico.

Deliz (2017) en su investigación estableció lo siguiente. Objetivo: Realizar la evaluación de la posibilidad de inclusión de escoria blanca procedente de una planta de aceros inoxidable, para usarlas como material granular fino en la estabilización de subrasantes de carreteras, en Cuba. Metodología: Enfoque cuantitativo, diseño experimental, tipo aplicado, alcance descriptivo. Resultados y conclusiones: Al hacer un análisis económico en el uso de escoria blanca para sustituir el cemento en un vial con especificadas dimensiones, se ahorraron 428.00 pesos por cada kilómetro al estabilizar con escoria en reemplazo de cemento; y se contribuye con el desarrollo sostenible ya que se minimiza el impacto ambiental mediante el uso de estos residuos industriales como sustituto del cemento.

Almeida e Hidalgo (2016) en su investigación establecieron lo siguiente. Objetivo: Establecer los procesos de estabilización de suelo mediante el uso de enzimas orgánicas y de suelo-cemento, siendo ello aplicado a suelos arcillosos de subrasante. Metodología: Enfoque cuantitativo. Diseño experimental Tipo aplicado. Se usó métodos de ensayo en laboratorio. La población fue los suelos arcillosos de la ciudad de Puyo, de la Provincia de Pastaza, y la muestra fueron dos calicatas a modo de suelos arcillosos típicos de la ciudad de Puyo. Resultados y conclusiones: La aplicación del agente enzimático como estabilizador de suelos evidenció el incremento en la capacidad portante que ha de tener una arcilla al ser estabilizada con la ceniza vegetal.

Fattah, Joni y Al-Dulaimy (2016) en su artículo científico en revista indizada establecieron lo siguiente. Objetivo: Evaluar la idoneidad de las arenas de dunas como materiales de construcción, además, tal propósito se considera beneficioso

para evaluar los métodos apropiados para la estabilización del suelo o la mejora del suelo y para evaluar la idoneidad de las arenas de dunas como capa subterránea para transportar carreteras y Fundación ferroviaria. Metodología: Se recogieron muestras de arena de dunas de una región en el área de Baiji en la gobernación de Salah-Aldeen, al norte de Irak. Se utilizó un humo de sílice densificado de color gris (SF) y cal (L). Se usaron tres porcentajes para la cal (3%, 6% y 9%) y cuatro porcentajes para el humo de sílice (3%, 6%, 9% y 12%) y el porcentaje óptimo de humo de sílice se mezclaron con los porcentajes de Lima. El CBR sin pintar en las arenas de dunas compactadas trató las arenas de dunas con L-SF mediante la mezcla y el curado durante un período de 1 día. Resultados y conclusiones: El aumento en CBR varió entre 443 - 707% a una penetración de 2.54 mm y 345 - 410% a una penetración de 5.08 mm. 1. La mezcla de L-SF permitió la compactación del suelo a una densidad seca máxima más alta. El tratamiento con L-SF muestra un aumento general en la densidad seca máxima de (1.609 a 1.722) gm / cm<sup>3</sup> de compactación estándar, y de (1.609 a 1.834) gm / cm<sup>3</sup> de compactación modificada a (6% L + 3% SF). 2. El contenido óptimo de agua aumenta de 13.6% a 15.5% a 12% SF de compactación estándar, el aumento en el contenido óptimo de humedad se debe, a pesar de la superficie reducida causada por la floculación y aglomeración, a los contenidos finos adicionales para las muestras que requieren más agua además de la cal libre y el humo de sílice que necesitaban más agua para que se produjeran las reacciones puzolánicas. 3. El CBR no satinado en arenas de dunas compactadas tratadas con L-SF mediante mezcla y curado durante un período de 1 día, exhibió valores de CBR más altos que las arenas de dunas compactadas sin tratar. Además, el CBR de penetración de 5.08 mm de las arenas de duna tratadas es mayor que el CBR de penetración de 2.54 mm. El aumento en CBR varió entre 443 - 707% a una penetración de 2.54 mm y 345 - 410% a una penetración de 5.08 mm. 4. El grado de colapso de las arenas de dunas naturales de Baiji y los suelos tratados mediante la mezcla con la mezcla L-SF se clasifican como "leves" bajo diferentes presiones de remojo. 5. La diferencia en el potencial de colapso entre un porcentaje de L-SF se vuelve muy pequeña. Esto significa que cualquier cantidad adicional de L-SF no mejora considerablemente el control del colapso. El potencial de colapso y el índice de colapso disminuyeron con el contenido de estabilizadores y cayeron a ( $l_e = 1.06\%$ )

a (6% L + 12% SF). Finalmente, el tratamiento con L-SF en arenas dunas generalmente reduce el colapso. La disminución en el índice de colapso varió entre (17.2–36)% a 200 kPa para suelos tratados.

Pérez, Buenaventura y Olarte (2016) en su artículo científico establecieron lo siguiente. Objetivo: Realizar el estudio de la estabilización de un suelo arcilloso usando el ceniza de cuesco de palma africana con cal. Metodología: Se hizo el estudio de las propiedades mecánicas y propiedades hidráulicas, considerando controladas condiciones de temperatura, de humedad relativa y de tiempo de curado, en un suelo arcilloso que ha sido estabilizado en Vichada departamento de Colombia. Debido que el material no cumplía con los requerimientos en construcción de carreteras, distante localización de canteras y condiciones climáticas de la región; fue requerido que sea reemplazado el material casi apenas instalado debido a su pérdida de la capacidad de soporte, debido a la presencia de agua. Resultados: Se llevó a cabo la estabilización del suelo considerando una adición de 7.5% ceniza de cuesco de palma africana y de cal un 4%. Conclusiones: Mediante este uso se contribuye con el desarrollo sostenible otorgando solución ambiental y económica ya que es viable el empleo de depósitos de suelos arcillosos y de ceniza sobrante del proceso del fruto de la palma africana para construir la malla vial de la localidad de estudio.

Con respecto a los antecedentes nacionales se contó con los siguientes.

Quispe (2019) en su investigación estableció lo siguiente. Objetivo: Realizar el estudio del comportamiento mecánico de una arcilla que ha sido mejorada con ceniza de madera relacionada con su comportamiento mecánico con cemento, cal y geomallas biaxial. Metodología: Se hizo ensayos de laboratorio para la caracterización de la ceniza de madera, de la mezcla de arcilla-ceniza, de la mezcla arcilla-cemento, de la arcilla-cal y el refuerzo con geomalla para después darle modelarlo con ayuda de Plaxis 8.2, el cual es un software de elementos finitos, para la obtención de las deformaciones verticales. Resultados: Se comprobó que mediante el uso de la geomalla biaxial se obtuvo las deformaciones menores después con la mezcla arcilla-cemento. Conclusiones: Considerando la arcilla-ceniza por veintiún días se halló un similar comportamiento a la mezcla de arcilla-

cal de siete días, lo cual es un significativo resultado debido a que la ceniza siendo un material residuo de ladrilleras puede tener a un comportamiento mecánico como la cal.

Apolinarez (2018) en su investigación estableció lo siguiente. Objetivo: Establecer los efectos de estabilizar la subrasante mediante la incorporación de ceniza vegetal para la avenida Huarancayo, en Jauja. Metodología: Enfoque cuantitativo. Tipo aplicado. Diseño experimental. La población consistió en las vías del barrio San Antonio, de la provincia de Jauja. Mediante muestreo intencional se seleccionó como muestra de la avenida las cuadras 6 al 11. Se usó técnicas de ensayos de laboratorio, análisis documental de datos y se usó como instrumentos formatos de ensayos de laboratorio y una ficha de análisis de dosificación Ssubrasante – ceniza vegetal. Se usó el software Excel para el procesamiento de datos se utilizó el programa Microsoft Excel. Resultados y conclusiones: Al adicionar 35% de ceniza vegetal es estabilizado el material de subrasante de la vía estudiada. Se logró obtener un CBR mayor a 20% produciendo que el material sea muy bueno, y que cumpla con los parámetros de la norma del manual de carreteras de volumen de tránsito bajo.

Cajaleon (2018) e su investigación estableció lo siguiente. Objetivo: Verificar si el uso de cenizas de cáscaras de arroz otorga estabilización de los suelos arcillosos en la subrasante del km+ 17 de Pimpingos, en Choros, año 2018. Metodología: Se consideró como población los 37 kilómetros que compone el tramo de la carretera Pimpingos – Choros, la muestra fue el kilómetro 17 por ser zona más crítica para realizar la estabilización Se usó como instrumentos los protocolos estandarizados para ensayos directos y confiables. Resultados y conclusiones: Al realizar la estabilización de suelos arcillosos en el tramo de la carretera con cenizas de cascaras de arroz, se obtuvo un tipo de suelo regular lo que antes era un suelo de pobre.

Idrogo (2018) en su investigación estableció lo siguiente. Objetivo: Hacer la evaluación de la resistencia a compresión y de la flexión del adobe compactado con una adición de 8 y 10% de ceniza de eucalipto, mediante el empleo de tierra del caserío Aylambo Bajo, del distrito de Cajamarca. Metodología: Enfoque

cuantitativo. Diseño experimental. Método hipotético-deductivo. Considerando normas técnicas, se hicieron los ensayos requeridos para elaborar el adobe compactado. Resultados: El ensayo a compresión indicó que la adición de 8 y 10% de ceniza de biomasa arbórea (eucalipto) disminuía las propiedades mecánicas del adobe compactado. Una resistencia de 12.62 kg/cm<sup>2</sup> presentó la muestra patrón, la cual superaba de satisfactoria manera la resistencia mínima que indicaba la Norma Técnica E.080. Conclusiones: La adición de ceniza de biomasa arbórea aplicado al suelo del caserío Aylambo Bajo no aportó mejoras a las propiedades mecánicas del adobe compactado.

Vásquez (2018) en su investigación estableció lo siguiente. Objetivo: Establecer la capacidad de soporte al ser estabilizado el suelo de la vía Cascajal habiéndole adicionado el 7% de carbón mineral y el 4% de cal a nivel de subrasante. Metodología: Enfoque cuantitativo. Diseño cuasiexperimental con grupo experimental y grupo control. Tipo aplicado. La población fue el suelo de la carretera Cascajal del km15 al km16. No hubo forma de asegurar la inicial equivalencia de los grupos experimental y control. Resultados y conclusiones: Al habersele adicionado 4% de cal y 7% de carbón al suelo de la vía Cascajal, mejoró su capacidad de soporte comparándolo con el suelo sin adición, y dicha mejora en su capacidad de soporte hace que se hubiera transformado a una categoría de subrasante a una o dos categorías superiores.

Cañar (2017) en su investigación consideró lo siguiente. Objetivo: Estabilizar dos suelos de propiedades diferentes combinando cenizas de carbón y haciendo la evaluación de la capacidad de soporte y de la resistencia al corte por medio de ensayos de laboratorio. Metodología: Enfoque cuantitativo, diseño no experimental, corte transeccional, tipo aplicado. Se llevó a cabo un reconocimiento visual para conocer donde se ubicaba y se extraían los suelos que pertenecían a los cantones de Ambato y de Puyo. Ya identificada la ubicación correspondiente, se procedió a recolectar las muestras para los ensayos de granulometría y límites de Atterberg, a fin de identificar los suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Resultados: Con el objeto de determinar la capacidad de soporte (CBR) de cada uno de los suelos, se hizo el ensayo de compactación o Proctor Modificado lo cual demostró una densidad máxima seca y humedad óptima para

después llevar a cabo el ensayo CBR. Con el mismo procedimiento se procedió con las combinaciones en porcentajes de 20, 23 y 25% de cenizas de carbón. Para determinar la resistencia al corte se llevó a cabo el ensayo de compresión no confinada en los conocidos suelos como de cangahua y de arcilla de alta plasticidad. Conclusiones: Se hizo el análisis comparativo, el cual consistió en una evaluación de propiedades como plasticidad, humedad, resistencia CBR y resistencia al corte de forma estadística entre los dos suelos y sus combinaciones diferentes respectivamente, mediante un detallado análisis de las ventajas y las desventajas del uso de cenizas de carbón para la mejora de las propiedades naturales y su utilización como una subrasante. Las cenizas de carbón adicionadas influyen de manera favorable en los suelos expansivos -como la arcilla-, habiendo formado una compacta masa y aumentando el grado de compactación; mejora la resistencia al corte y su CBR.

Con respecto a las teorías relacionadas con la variable independiente 1: Aserrín, la ceniza de madera consiste en un residuo resultante de la quema de materiales orgánicos en hornos de ladrilleras artesanales que se encuentran en diversos lugares, siendo el carbón, la madera y el aserrín como los más utilizados (Quispe, 2019).

El aserrín consiste en uno de los residuos forestales principales, que consiste en un conjunto de partículas o de polvillo desprendido de la madera al haber sido aserrada; contiene además partículas minúsculas de madera producidas durante el proceso y manejo del aserrado, en donde también se genera la viruta, el cual es un fragmento de residual material con forma de lámina espiral o curvada (Serret, Giralt y Quintero, 2016).

El aserrín o técnicamente el polvo de madera es un desecho de subproductos en forma de gránulos finos de madera que se genera durante las operaciones de trabajo de la madera, como el aserrado, fresado, cepillado, perforación y lijado de madera en industrias madereras que procesan madera para ser suministrada a varias industrias manufactureras aliadas. Este aserrín se usa principalmente en tableros de partículas, aunque tienen otras aplicaciones como la fabricación de pulpa de madera, mantillo, briquetas de carbón y como combustible. En los

aserraderos, donde se generan en grandes cantidades, también se usan en los quemadores de aserrín para producir calor para las operaciones de molienda. Las cenizas de aserrín ha encontrado aplicaciones en la fabricación de hormigón y, más recientemente, en la estabilización del suelo y los bloques de suelo estabilizados. Varios investigadores han trabajado en la utilización de las cenizas de aserrín como estabilizador independiente, así como en combinaciones con aglutinantes primarios como el cemento y la cal (Serret, Giralt y Quintero, 2016).

Edeh (2014) realizó una evaluación de la utilización de la ceniza de aserrín para la estabilización de un suelo tropical usado a modo de material para pavimentos de tránsito alto. Realizó ensayos de caracterización física, de compresión no confinada, de CBR y de compactación, Con respecto a esto último, las curvas de compactación evidenciaron que la densidad seca máxima disminuye y el contenido de humedad se incrementa cuanto mayor sea la cantidad de ceniza de aserrín que se encuentre en la mezcla. Una mezcla con un porcentaje de 30% de ceniza de aserrín mostró mayor valor de CBR así como de compresión no confinada. De conformidad al aumento de la cantidad de ceniza de aserrín, a valores superiores a 30%, la compresión no confinada y el CBR disminuyen hasta llegar a un valor aproximado a cero. Por tanto, con una mezcla de 30% de ceniza de aserrín se cumple con los requerimientos requeridos para ser usada como material de construcción para la subbase de pavimentos.

Siddique (2012) define a la ceniza de madera como el residuo generado por combustión de la madera y los productos de la madera (aserrín, virutas, corteza, etc.). Consiste en un orgánico e inorgánico residuo que queda luego de la combustión de la madera o la fibra de madera sin blanquear. Las maderas que son duras generalmente producen más cenizas que las blandas y que la corteza y las hojas producen más cenizas que las partes leñosas del árbol interiores. En promedio, la quema de madera confiere como resultado un porcentaje de 6 a 10% de cenizas.

Con respecto a las teorías relacionadas con la variable independiente 2: Ceniza de carbón, se afirma que la ceniza de carbón se constituye como uno de los residuos mayores generados por industrias, debido a que se cuenta con una gran cantidad



de este material disponible. Ha demostrado poseer propiedades puzolánicas por medio de una activación alcalina.

Las cenizas de carbón pueden definirse como el residuo inorgánico que resulta de la incineración del material y se encuentran compuestas de originales fases inorgánicas y fases nuevas generadas tanto de materia inorgánica como de materia orgánica del carbón (Rojas, 2015). Son un subproducto reciclable de la producción de energía que requiere supervisión ambiental en su uso y recomendó aplicaciones encapsuladas y no encapsuladas. Los usos encapsulados de las cenizas de carbón incluyen sustitutos parciales del cemento (mezcla con cemento), agregados para productos de concreto, relleno mineral en asfalto y materiales controlados de baja resistencia. Los usos no encapsulados de las cenizas de carbón son rellenos debajo de carreteras / edificios / pavimentos / áreas de estacionamiento, estabilización del suelo y material para el tendido de tuberías (Mtesrt, 2010).

Físicamente, el CBA tiene una forma de partícula semiesférica a esférica y una morfología compleja con una textura superficial rugosa (Seals, Moulton y Ruth, 1972). La superficie rugosa y la forma angular de las cenizas de fondo de carbón generalmente aumentan el enclavamiento de partículas y restringen el movimiento de una partícula a otra, por lo tanto, proporcionan estabilización mecánica a un suelo.

Rifa'i et al. (2009) recomendó el uso de cenizas de fondo de carbón como estabilizador mecánico para suelos blandos basado en resultados de laboratorio que muestran un aumento en los valores de la relación de soporte de California (CBR) al agregar una mezcla de cenizas de fondo de carbón y cenizas volantes de carbón a un suelo blando. Se observó un aumento óptimo de CBR en el rango de 15 a 30 por ciento de las cenizas volantes de carbón agregadas. Además, se observó una disminución en el potencial de hinchamiento del 14% al 0% cuando se usó un contenido de cenizas de carbón del 45% en peso de un suelo blando.

Sin embargo, la adición de cenizas más allá de ese porcentaje redujo la resistencia de la mezcla de cenizas de carbón. Gray y Lin (1972) concluyeron que las cenizas de fondo de carbón compactadas adecuadamente cumplían con los requisitos de

ingeniería para rellenos de carga y sub bases de pavimento.

En línea con las recomendaciones del TAC, se han llevado a cabo investigaciones de laboratorio sobre el uso de cenizas de fondo de carbón como estabilizador mecánico para suelos subterráneos en proyectos de construcción de carreteras. Khodabacus [7] evaluó si una mezcla de tierra y cenizas de fondo de carbón podría usarse como capa de cobertura en la construcción de pavimentos. Dos suelos de grano grueso y uno de grano fino se utilizaron en la investigación. Khodabacus (2012) concluyó que las cenizas de fondo de carbón son un buen estabilizador para el suelo al mejorar la resistencia y disminuir la presión de hinchamiento y recomendó el uso de 30 a 50% en peso de cenizas de fondo de carbón al suelo como estabilizador mecánico. Dirpal (2013) evaluó el efecto de las cenizas de fondo de carbón sobre las propiedades mecánicas de los suelos residuales. Se llevaron a cabo pruebas de compactación y de California Bearing Ratio (CBR) en cenizas de fondo y mezclas de suelo residual en proporciones de 0% de CBA, 20% de CBA y 40% de CBA en peso de suelo residual, respectivamente. La investigación mostró que a medida que la proporción de cenizas de fondo aumentó de 0% a 40%, la densidad seca máxima (MDD) disminuyó y el valor de CBR empapado aumentó de 14% a 23% bajo compactación estándar. Dirpal (2013) concluyó que una mezcla de tierra residual y cenizas de fondo se puede usar como relleno económico diseñado en terraplenes, rellenos y bases de carreteras.

Seenundun (2013) evaluó el uso de desechos de plantas de energía de carbón en rellenos de ingeniería y descubrió que las cenizas de fondo de carbón mejoraron las características de compactación de una muestra de suelo limoso.

Cabe señalar que las características de las cenizas de fondo pueden depender de la fuente de carbón y las operaciones de la planta y, por lo tanto, varían de una planta a otra. Por lo tanto, los valores para las diferentes características informadas por los investigadores se aplican solo a las muestras de cenizas analizadas por esos investigadores y no deben tomarse como absolutos.

Con respecto a las teorías relacionadas con la variable dependiente Estabilización de la subrasante, esta se define como el proceso que se realiza a fin de que los

suelos naturales se encuentren sometidos a cierta manipulación o cierto tratamiento a fin que se pueda aprovechar sus cualidades mejores, mediante la obtención de una capa de asiento firme, durable y estable, con una capacidad que soporte efectos del tránsito y más severas condiciones de clima y, por ende, geotécnicamente asegure el comportamiento de la explanada (Hernández, Mejía y Zelaya, 2016).

El rendimiento a largo plazo de las estructuras de pavimento se ve significativamente afectado por la estabilidad de los suelos subyacentes. Las subrasantes a menudo no brindan el soporte requerido para lograr un rendimiento aceptable bajo la carga del tráfico y las demandas ambientales. Aunque la estabilización es una alternativa efectiva para mejorar las propiedades del suelo, las propiedades de ingeniería derivadas de la estabilización varían ampliamente debido a la heterogeneidad en la composición del suelo, las diferencias en la estructura micro y macro entre los suelos, la heterogeneidad de los depósitos geológicos y las diferencias en las interacciones físicas y químicas entre el suelo y los estabilizadores candidatos. Estas variaciones requieren la consideración de opciones de tratamiento específicas para el sitio que deben validarse mediante pruebas de mezclas de estabilizadores de suelo. El proceso de diseño de la mezcla define una cantidad aceptable de estabilizador para el suelo en cuestión en base a pruebas de consistencia, pruebas de resistencia y, en algunos casos, pruebas de módulo (resiliente). Dentro de cada protocolo de validación de aditivos y diseño de mezclas, se realiza una evaluación del potencial de reacciones perjudiciales de aditivos del suelo (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2009).

El suelo primero debe clasificarse como una categoría de subrasante o un material de categoría base. Para ser clasificado como material base se deben cumplir los siguientes criterios: (1) un máximo del 25 por ciento de la masa del suelo pasa el tamiz No. 200 (0.074 mm o 0.003 in.), (2) no más de 40 el porcentaje de la masa del suelo pasa el tamiz No. 40 (0,42 mm o 0,0165 pulg.),

(3) un índice de plasticidad máximo del 12% y (4) un límite máximo de líquido del 40%. De lo contrario, se clasifica como material de subrasante para fines de

estabilización (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2009).

El sistema de clasificación de suelos AASHTO (M 145) diferencia los suelos, primero en función del tamaño de partícula y en segundo lugar en función de los límites de Atterburg. Si el 35 por ciento o más de la masa del suelo es menor que 75  $\mu\text{m}$  de diámetro, entonces el suelo se considera limo o arcilla y si menos del 35 por ciento de las partículas son más pequeñas que un tamiz de 75 micras, entonces se considera que el suelo ser de grano grueso, ya sea arena o grava. Para propósitos de estabilización, los suelos pueden clasificarse en materiales de base y subrasante en base a fracciones que pasan el tamiz No. 200. Si el 25 por ciento o más pasa por el no. 200 tamices el suelo puede considerarse como una subrasante, y si no, pueden clasificarse como un material base. Sin embargo, una gradación más que simple afecta la definición de una subrasante o base. Para que pueda denominarse material base, el material en cuestión también debe ser un objetivo para su uso como capa base desde una perspectiva estructural. Por otro lado, un suelo de grano grueso in situ con menos del 25 por ciento de finos puede ser, por definición, una subrasante nativa a pesar de que puede lograr la clasificación requerida de una base. Para fines de estabilización, los suelos pueden diferenciarse en estabilización de subrasante (suelo) y estabilización de base (grano grueso) en función del índice de contenido fino (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2009).

La exploración del suelo es una parte vital de la encuesta preliminar de ingeniería para la ubicación, diseño y construcción de carreteras. La exploración del suelo proporciona información sobre las condiciones de los estratos subyacentes que pueden afectar el rendimiento de las estructuras del pavimento (Day, 2001). El proceso también implica la recuperación de muestras de suelo representativas para fines de clasificación y prueba. El propósito general de la exploración del subsuelo es: (a) identificar y localizar estratos de suelo y roca; (b) identificar las condiciones de la capa freática subterránea; (c) establecer condiciones de subsuelo (humedad y densidad); (d) definir características y propiedades de ingeniería relevantes de los materiales del subsuelo mediante muestreo y pruebas in situ; (e) proporcionar una evaluación preliminar de la necesidad de estabilización de los materiales de subgrados, subbase y base; (f) localice materiales adecuados para rellenos,

tratamiento de subrasante, materiales para base y agregado; y (g) identificar las condiciones locales que requieren consideraciones especiales (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2009).

Es recomendable el muestreo continuo de material a una profundidad de al menos 15 pies en lugares donde las fluctuaciones de agua son altas (Texas Department of Transportation, 2008). Para cortes que excedan estas profundidades, el muestreo debe hacerse a la profundidad del lecho de la carretera más 2 pies adicionales. Las muestras deben recogerse cada vez que haya un cambio en las características físicas observadas del material. AASHTO R-13 recomienda que la profundidad de las perforaciones exploratorias o pozos de prueba para los lechos de las carreteras sea de al menos 1,5 m (5 pies) por debajo de la elevación de subrasante propuesta. Las profundidades aburridas y los requisitos de espacio mencionados anteriormente no deben considerarse como mínimos o máximos, sino que deben usarse como guía. En lugares donde la construcción o el rendimiento del proyecto pueden verse afectados por el agua o donde los materiales impermeables bloquean el drenaje interno, los agujeros deben extenderse a una profundidad suficiente para determinar las propiedades de ingeniería e hidrogeológicas relevantes para el diseño del proyecto (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2009).

La exploración y el muestreo del suelo deben realizarse como se describe en las secciones anteriores. El suelo puede clasificarse como una categoría de subrasante o un material de categoría básica sobre la base de AASHTO M145. Un factor de decisión clave en la selección del aditivo de subrasante apropiado es la concentración de sulfatos solubles en agua en el suelo. Las pruebas de sulfato deben realizarse de acuerdo con la versión modificada de AASHTO T 290 o equivalente. Los suelos con niveles de sulfato superiores a 3.000 ppm pueden considerarse problemáticos y deben abordarse por separado desde el punto de vista de la selección de aditivos hasta el diseño y la construcción de la mezcla. El muestreo, las pruebas, la selección del estabilizador y el diseño de la mezcla para estos suelos deben seguir el proyecto de práctica recomendada para estabilizar los suelos que contienen sulfato (Little y Nair, 2008). Un segundo factor clave a tener en cuenta al decidir el tipo de estabilizador a utilizar es la concentración de materia

orgánica en el suelo. El contenido orgánico puede interferir con los mecanismos de ganancia de fuerza y debe determinarse antes de proceder con el diseño de la mezcla con cualquier estabilizador a base de calcio (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2009).

El tipo de césped subterráneo está determinado en gran medida por la ubicación del camino, pero donde los suelos dentro del corredor posible para el camino varían significativamente en resistencia de un lugar a otro, es claramente deseable ubicar el pavimento en los suelos más fuertes si esto sucede. No entrar en conflicto con otras restricciones (ODA, 1993).

La resistencia de las subrasantes de carreteras se evalúa comúnmente en términos del ensayo o prueba CBR (California Bearing Ratio) y esto depende del tipo de suelo, su densidad y su contenido de humedad (ODA, 1993).

Para diseñar el grosor del pavimento de una carretera, la resistencia del subsuelo debe tomarse como la del césped con un contenido de humedad igual a la condición de humedad más húmeda que pueda ocurrir en el subsuelo después de que el camino se abre al tráfico. En los trópicos, las condiciones de humedad de subrasante bajo pavimentos impermeables se pueden clasificar en tres categorías principales:

Categoría 1. Subrasantes donde la capa freática está lo suficientemente cerca de la superficie del suelo para controlar el contenido de humedad de subrasante (ODA, 1993).

El tipo de suelo subterráneo gobierna la profundidad debajo de la superficie del suelo en la cual una capa freática se convierte en la influencia dominante en el contenido de humedad del subsuelo. Por ejemplo, en suelos no plásticos, la capa freática dominará el contenido de humedad de la subrasante cuando se eleva a menos de 1 m de la superficie del suelo, en arcillas arenosas ( $PI < 20\%$ ) la capa freática dominará cuando se eleve a menos de 3 m. de la superficie del camino, y en arcillas pesadas ( $PI > 40$  por ciento) la capa freática dominará cuando se eleve a menos de 7 m de la superficie del camino. Además de las áreas donde la capa freática se mantiene por la lluvia, esta categoría incluye franjas costeras y llanuras

de inundación donde la capa freática se mantiene por el mar, por un lago o por un río (ODA, 1993).

Categoría 2. Subrasantes con capas freáticas profundas y donde la lluvia es suficiente para producir cambios significativos en las condiciones de humedad debajo del suelo. Estas condiciones ocurren cuando la lluvia excede la evapotranspiración durante al menos dos meses del año. La precipitación en tales áreas suele ser mayor de 250 mm por año y a menudo es estacional (ODA, 1993).

Categoría 3. Subrasantes en áreas sin capa freática permanente cerca de la superficie del suelo y donde el clima es seco durante la mayor parte del año con una precipitación anual de 250 mm o menos. La evaluación directa de la resistencia probable o CBR del suelo de subrasante a menudo es difícil de realizar, pero su valor se puede inferir a partir de una estimación del contenido de humedad de densidad y equilibrio (o último) de la subrasante junto con el conocimiento de la relación entre resistencia, densidad y contenido de humedad para el suelo en cuestión. Esta relación debe determinarse en el laboratorio. La densidad del suelo subterráneo se puede controlar dentro de los límites mediante compactación a un contenido de humedad adecuado en el momento de la construcción. El contenido de humedad del suelo subterráneo se rige por el clima local y la profundidad de la capa freática debajo de la superficie del suelo. Por lo tanto, en la mayoría de las circunstancias, la primera tarea es estimar el contenido de humedad de equilibrio como se describe en la Sección 3 1 a continuación. (ODA, 1993).

Con respecto a la estimación del contenido de humedad de la subrasante, el método más fácil de estimar el contenido de humedad de subrasante del diseño es medir el contenido de humedad en subrasantes debajo de los pavimentos existentes en situaciones similares en la época del año en que la capa freática está en su nivel más alto. Estos pavimentos deben tener más de 3 m de ancho y más de dos años y las muestras deben tomarse preferiblemente de debajo de la calzada a unos 0,5 m del borde. Se puede permitir diferentes tipos de suelo en virtud del hecho de que la proporción del contenido de humedad de subrasante al límite de plástico es la misma para diferentes suelos de subrasante cuando la capa freática y las condiciones climáticas son similares Si no hay una carretera adecuada en las

proximidades, el contenido de humedad en la subrasante debajo de un pavimento impermeable se puede estimar a partir de un conocimiento de la profundidad de la capa freática y la relación entre la succión y el contenido de humedad para el suelo subterráneo (ODA, 1993).

Cuando la capa freática no está cerca de la superficie del suelo, la condición de humedad del subsuelo bajo un pavimento impermeable dependerá del equilibrio entre el agua que ingresa al subsuelo a través de los hombros y en los bordes del pavimento durante el clima húmedo y la humedad que sale del suelo evapotranspiración durante períodos secos. Cuando la precipitación anual promedio es mayor de 250 mm al año, la condición de humedad para propósitos de diseño puede tomarse como el contenido óptimo de humedad dado por la Prueba de Compactación Estándar Británica (Luz), método de apisonamiento de 2.5 kg (ODA, 1993).

Al decidir sobre la profundidad de la capa freática en las subrasantes de Categoría 1 o Categoría 2, debe tenerse en cuenta la posibilidad de la existencia de capas freáticas locales encaramadas y no deben tenerse en cuenta los efectos de las inundaciones estacionales (cuando esto ocurre) pasado por alto (ODA, 1993).

En las regiones donde el clima es seco durante la mayor parte del año (precipitación anual de 250 mm o menos), el contenido de humedad del subsuelo bajo un pavimento impermeable será bajo. Para fines de diseño, se debe utilizar un valor del 80 por ciento del contenido óptimo de humedad obtenido en la Prueba de compactación estándar británica (ligera), método de apisonador de 2,5 kg (ODA, 1993).

Los métodos para estimar el contenido de humedad de subrasante para el diseño descrito anteriormente se basan en la suposición de que el suelo es prácticamente impermeable. Los materiales densos unidos a betún, los suelos estabilizados con grietas muy finas y la piedra triturada o grava con más del 15 por ciento de material más fino que el tamiz de 75 micras son impermeables (permeabilidad de menos de 10 metros por segundo) y, por lo tanto, se subgradan bajo. Es improbable que los suelos que incorporan estos materiales se vean influenciados por el agua que se



infiltra directamente desde arriba. Sin embargo, si el agua, desprendida de la superficie del suelo o de otro lugar, puede penetrar en el subsuelo por cualquier motivo, el subsuelo puede volverse mucho más húmedo. La resistencia de las subgradas con condiciones de humedad en la Categoría (1) y la Categoría (2) debe evaluarse sobre la base de muestras de CBR saturadas. El contenido de humedad para el diseño en tales situaciones se puede tomar como el contenido de humedad óptimo dado por la Prueba de compactación estándar británica (ligera), 2 5 kg Thod (ODA, 1993).

Con respecto a la determinación de la fuerza de la subrasante, después de estimar el contenido de humedad de subrasante para el diseño, es posible determinar el valor de CBR de diseño apropiado a la densidad especificada. Se recomienda que los 250 mm superiores de todos las subrasantes se compacten durante la construcción a una densidad relativa de al menos 100 por ciento de la densidad seca máxima lograda en la Prueba de compactación estándar británica (ligera), método de apisonador de 2 5 kg, o al menos el 93 por ciento de la densidad seca máxima lograda en la Prueba de compactación estándar (pesada) británica utilizando el apisonador de 4,5 kg con moderno La planta de compactación debe alcanzarse sin dificultad una densidad relativa del 95% de la densidad obtenida en la prueba de compactación más pesada, pero será necesario un control más estricto del contenido de humedad. La compactación no solo mejorará la resistencia del rodamiento, sino que reducirá la permeabilidad y la compactación posterior al tráfico (ODA, 1993).

Como primer paso, es necesario determinar las propiedades de compactación del suelo subterráneo realizando pruebas de compactación de laboratorio estándar. Las muestras del césped de subrasante en el contenido de humedad de subrasante de diseño se pueden compactar en moldes de CBR a la densidad especificada y analizarse para determinar los valores de CBR (ODA, 1993).

Con arenas sin cohesión, el método apisonador tiende a sobreestimar el contenido óptimo de humedad y subestimar la densidad en seco lograda por el equipo de campo normal. El método de martillo vibratorio es más apropiado para estos materiales (ODA, 1993).

Si las muestras de suelos cohesivos se compactan con un contenido de humedad igual o mayor que el contenido de humedad óptimo, deben dejarse selladas durante 24 horas antes de analizarse para que se disipe el exceso de presión de agua en los poros inducida durante la compactación (ODA, 1993).

Alternativamente, se puede obtener una imagen más completa de la relación entre densidad, contenido de humedad y CBR para el suelo de subrasante midiendo el CBR de las muestras compactadas en varios contenidos de humedad y al menos dos niveles de compactación. El CBR de diseño se obtiene por interpolación. El método es preferible ya que permite hacer una estimación del CBR de subrasante a diferentes densidades y permite calcular los efectos de diferentes niveles de control de compactación en el diseño estructural. La figura 2 muestra una relación típica de densidad seca / contenido de humedad / CBR para un suelo arenoso-arcilloso que se obtuvo al compactar muestras en cinco contenidos de humedad a tres niveles de compactación Compactación estándar británica (pesada), método de apisonamiento de 4,5 kg, norma británica Compactación (ligera), método de apisonamiento de 2 5 kg, y un nivel intermedio de compactación Por interpolación, se obtiene un CBR de subrasante de diseño de aproximadamente el 15 por ciento si se obtiene una densidad relativa del 100 por ciento de la densidad seca máxima obtenida en el estándar británico ( Light) Se especifica la prueba de compactación y se calculó que el contenido de humedad de la subrasante es del 20% (ODA, 1993).

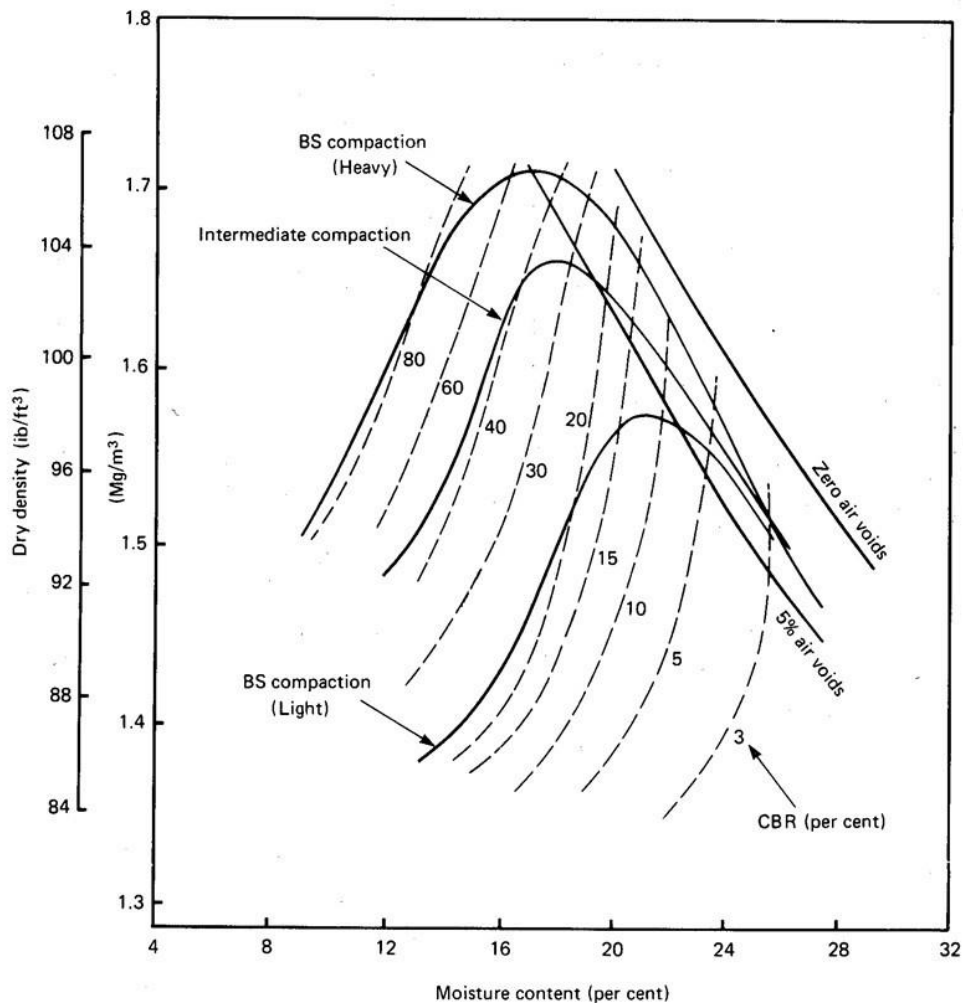


Figura 2. Relaciones de densidad seca-contenido de humedad-CBR para suelo arenoso-arcilloso

Fuente: ODA, 1993.

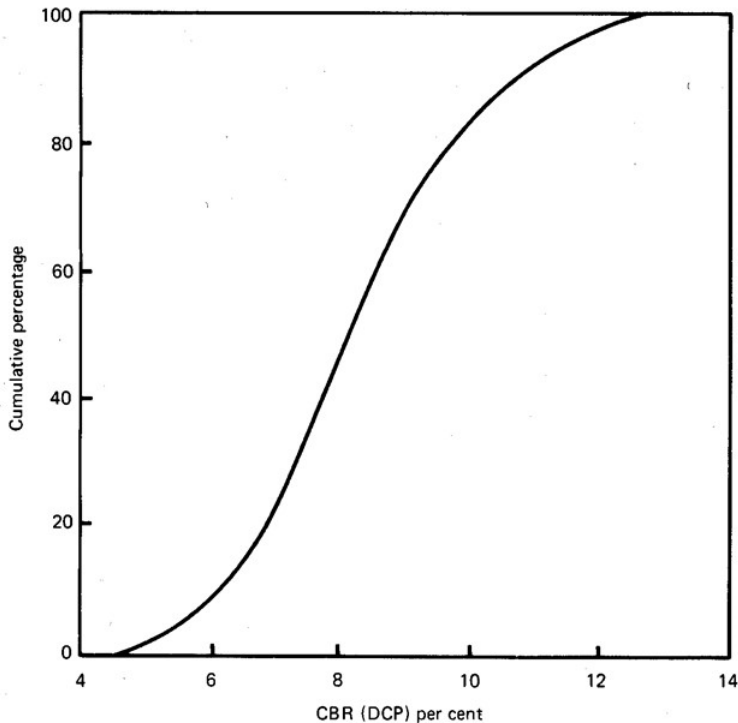
Si se adelanta las condiciones de subrasante saturadas, las muestras compactadas para la prueba de CBR deben saturarse por inmersión en agua durante cuatro días antes de ser analizadas. En todos los demás casos cuando se determina CBR por medición directa, las muestras de CBR no deben sumergirse ya que esto da como resultado sobre diseño.

En áreas donde se han construido carreteras existentes en el mismo subsuelo, se pueden realizar mediciones directas de las fuerzas del subsuelo utilizando un penetrómetro de cono dinámico.

A excepción de las mediciones directas de CBR bajo pavimentos existentes, no se

recomiendan las mediciones de CBR in situ de suelos subterráneos debido a la dificultad de garantizar que las condiciones de humedad y densidad en el momento de la prueba sean representativas de las esperadas bajo el pavimento completado (ODA, 1993).

Cual sea el método utilizado para obtener la resistencia de subrasante, cada muestra o cada prueba generalmente dará resultados diferentes y estos a veces pueden cubrir un rango considerable. Para fines de diseño, es importante que la resistencia de la subrasante no se subestime seriamente para grandes áreas de pavimento o se sobreestime hasta el punto de que exista un riesgo de fallas locales. Ese valor que se excede en un 90 por ciento de las lecturas. La forma más simple de obtener esto es dibujar una distribución de frecuencia acumulativa de la fuerza como se muestra en la figura 3. Si las características de la subrasante cambian significativamente en secciones de la ruta, diferentes resistencias de subrasante Los valores para el diseño deben calcularse para cada sección nominalmente uniforme (ODA, 1993).



*Figura 3.* Distribución de resistencia de subrasante

Fuente: ODA, 1993.

El catálogo estructural requiere que la resistencia de subrasante para el diseño se asigne a una de las seis clases de resistencia que reflejan la sensibilidad del diseño de espesor a la resistencia de subrasante. Las clases se definen en la tabla 1. Para subrasantes con menos de 2 CBR, se requiere un tratamiento especial que no es cubierto en esta nota de ruta (ODA, 1993).

**Tabla 1.**

*Clases de fuerza de subrasante*

Clase	Rango (CBR %)
S1	2
S2	3 – 4
S3	5 – 7
S4	8 – 14
S5	15 – 29
S6	30

Fuente: ODA, 1993.

Si el equipo para realizar pruebas de compactación de laboratorio y CBR no está disponible, se puede obtener una estimación menos precisa de la clase de resistencia mínima de subrasante de la tabla 2. Esta tabla muestra la clase de resistencia mínima estimada para cinco tipos de suelo de subrasante para varias profundidades de la capa freática, suponiendo que la subrasante se compacta a no menos del 95 por ciento de la densidad seca máxima alcanzable en la Prueba de compactación estándar británica (ligera), método de apisonador de 2.5 kg. La tabla 2 es apropiada para las categorías de humedad de subrasante (1) y (2), pero puede usarse para la categoría (3) si las estimaciones de resistencia conservadoras son aceptables (ODA, 1993).

**Tabla 2.**

*Clase de resistencia de subrasante de diseño estimada bajo carreteras selladas en presencia de una capa freática*

Profundidad de la capa freática* desde el nivel de formación (metros)	Clase de resistencia de subrasante				
	Arena no plástica	Arcilla arenosa PI = 10	Arcilla arenosa PI = 20	Arcilla limosa PI = 30	Arcilla pesada PI 40
0.5	S4	S4	S2	S2	S1
1	S5	S4	S3	S2	S1
2	S5	S5	S4	S3	S1
3	S6	S5	S4	S3	S2

\* Se debe utilizar el nivel estacional más alto alcanzado por el agua. Notas:

1. Dado que las clases de resistencia dadas en la tabla 2 se basan en valores estimados de CBR, siempre que sea posible, la CBR debe medirse mediante pruebas de laboratorio con el contenido de humedad apropiado.
2. La Tabla 2 no es aplicable para arcillas cortadas, micáceas, orgánicas o meteorizadas. Se deben realizar pruebas de laboratorio de RBC para estos suelos.

Fuente: ODA, 1993.

### **Dimensiones de la variable dependiente Estabilización de la subrasante**

Las dimensiones de la variable dependiente Estabilización de la subrasante son:

- (a) Resultados del CBR con respecto al aserrín; y (b) Resultados del CBR con respecto a las cenizas de carbón.

### **III. METODOLOGÍA**

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

Esta investigación fue de enfoque cuantitativo, de diseño no experimental, de corte transversal, de tipo aplicado y de alcance o nivel explicativo.

El enfoque cuantitativo usa datos recolectados para probar las hipótesis basándose en una numérica medición y análisis estadístico, para determinar pautas de conducta y comprobar teorías (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Según Hernández et al. (2014) se entiende por diseño a un plan o a una estrategia a seguir, cuyo desarrollo sirve para la obtención de la información requerida para una investigación y dar así respuesta al planteamiento establecido.

Un diseño no experimental considera la realización de un corte transversal, también llamado transeccional, pudiendo tener un alcance explicativo, relacional, descriptivo o exploratorio (Hernández et al, 2014).

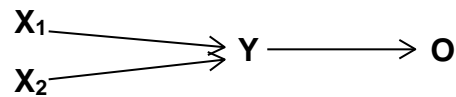
En un diseño causal o de alcance explicativo se establece relaciones entre variables haciendo precisión del sentido de causalidad o de analizar relaciones causales, cuya fundamentación se basa en planteamientos e hipótesis explicativas (Hernández et al, 2014).

El corte transeccional o también llamado transversal consiste en la determinación de un momento para realizar la recopilación de la información de un determinado estudio (Hernández et al, 2014).

La investigación aplicada o de tipo aplicado tiene el objetivo de la creación de una nueva tecnología partiendo de los conocimientos que han sido adquiridos mediante una investigación estratégica a fin de establecer si tales conocimientos han de poder ser aplicados útilmente con o sin un mayor refinamiento para los propósitos que fueron definidos. La información que ha sido obtenida mediante este tipo de investigación ha de ser aplicable también en cualquier lugar y ofreciendo así significativas oportunidades para su difusión, por lo que la mayoría de estas

investigaciones son promovidas por las empresas u organizaciones en general (Málaga, Vera y Oliveros, 2008, pp. 146-147).

## Diseño



Dónde:

X<sub>1</sub>: Variable independiente 1

X<sub>2</sub>: Variable independiente 2

Y: Variable dependiente

O: Observación en la variable dependiente

### 3.2. Variables y operacionalización

X<sub>1</sub>: Variable independiente 1: Aserrín

X<sub>2</sub>: Variable independiente 2: Ceniza de carbón

Y: Variable dependiente Estabilización de la subrasante

### Operacionalización

Con respecto a la operacionalización de variables, ver el Anexo 3.

Para Hernández et al. (2014) la operacionalización se fundamenta en la definición conceptual y definición operacional de la variable. Según Bernal (2010) conceptualizar una variable consiste en definirla a fin de encontrar aclaramiento con respecto a lo que se comprende de ella; es decir, operacionalizar una variable es expresarla desmenuzada en sus indicadores o mínimas partes, haciendo la traducción de sus conceptos hipotéticos en unidades de medición.



## **Definición conceptual**

Aserrín.- Uno de los residuos forestales principales que consiste en un conjunto de partículas o de polvillo desprendido de la madera al haber sido aserrada; contiene además partículas minúsculas de madera producidas durante el proceso y manejo del aserrado, en donde también se genera la viruta, el cual es un fragmento de residual material con forma de lámina espiral o curvada (Serret et al., 2016).

Ceniza de carbón.- Residuo inorgánico que resulta de la incineración del material y se encuentran compuestas de originales fases inorgánicas y fases nuevas generadas tanto de materia inorgánica como de materia orgánica del carbón. (Rojas, 2015).

Estabilización de la subrasante.- Proceso que se realiza a fin de que los suelos naturales se encuentren sometidos a cierta manipulación o cierto tratamiento a fin que se pueda aprovechar sus cualidades mejores, mediante la obtención de una capa de asiento firme, durable y estable, con una capacidad que soporte efectos del tránsito y más severas condiciones de clima y, por ende, geotécnicamente asegure el comportamiento de la explanada (Hernández, Mejía y Zelaya, 2016).

## **Definición operacional**

Aserrín.- El aserrín se mide a través de los parámetros establecidos para una adecuada dosificación en la estabilización de la subrasante.

Ceniza de carbón.- Las cenizas de carbón se miden a través de los parámetros establecidos para una adecuada dosificación en la estabilización de la subrasante.

Estabilización de la subrasante. - La estabilización de la subrasante se mide a través de: (a) Porcentaje de CBR obtenido en la prueba (Hernández, Mejía y Zelaya, 2016).

### **3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis**

La población de estudio fue las calles del distrito de Carabayllo, en Lima, Perú, año 2019; y mediante muestreo intencional se seleccionó como muestra la calle Santa Úrsula Mz. R Lt. 7 del Asentamiento Humano -Milagrosll.

La unidad de análisis es el suelo para la estabilización de la subrasante de la calle Santa Úrsula Mz. R Lt. 7 del Asentamiento Humano -Milagrosll, del distrito de Carabayllo, en Lima, Perú, año 2019.

Una población consiste en todos los sujetos o casos que forman parte de una serie de estudio, con especificaciones mediante las cuales tienen que estar situados de forma clara según lo que caracterice su lugar, su contenido y su tiempo; no se refiere específicamente a personas (Hernández et al, 2014).

El muestreo intencional se refiere a un muestreo que no es probabilístico, donde se seleccionan casos característicos de una población con la muestra limitada solo a esos casos, usada en escenarios de población muy variable y la muestra muy pequeña (Otzen y Manterola, 2017).

La unidad de análisis es el tipo de objeto delimitado que ha sido establecido por el investigador a fin de que sea investigado. El tipo de objeto delimitado hace referencia al carácter ubicable en un espacio y un tiempo preciso del objeto, y de aquellas entidades que se van a investigar (Azcona, M., Manzini, F. y Dorati, J., 2013).

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

En esta investigación se usó el método hipotético-deductivo. La técnica empleada fue la observación y el análisis documental. El instrumento empleado para recojo de información fue el check list.

El método es el medio o el camino mediante el cual se hace el establecimiento de la relación del investigador con lo consultado en una investigación científica (Espinoza, 2019).

El método hipotético-deductivo consiste en generar premisas generales, las cuales son las hipótesis que servirán de base para llegar a una conclusión particular, en donde dichas hipótesis sean afirmadas o negadas, mediante un camino deductivo haciendo uso de la medición o la cuantificación y la objetividad de los procedimientos usados, en donde la subjetividad del investigador quede totalmente ausente (Sánchez, 2019).

La técnica consiste en el mecanismo mediante el investigador recolecta y registra una información para una investigación científica (Espinoza, 2019).

La observación es una técnica de investigación científica que consiste en el examen atento, es decir, el estudio y la inspección realizada por el investigador -usando sus propios sentidos, ya sea con o sin ayuda de aparatos técnicos- de cosas diversas o hechos de interés social, tal como espontáneamente son o tienen lugar (Díaz, 2011).

El análisis documental es una técnica que se define como el proceso de lectura, síntesis y representación de un texto; en donde lo que se hace es transformar un documento primario en uno secundario, de forma que, partiendo del documento primario, se obtiene una nueva referencia documental que permita un mejor uso (Martos, Bermejo y Muñoz, 2005).

El instrumento es un objeto fabricado, algo sencillo, mediante el cual se puede llevar a cabo una investigación científica (Espinoza, 2019).

Una lista de verificación o check list es un procedimiento sencillo mediante el cual se hace la descripción o evaluación, generalmente de una persona, que consiste en una lista de palabras, frases o afirmaciones de una persona o de un acontecimiento, el cual es usado como autorreporte o informe de un observador, pudiendo ser estandarizados o no (Aiken, 2003).

### **3.5. Procedimientos**

Para llevar a cabo la investigación, se requirió la realización de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos para la evaluación de la cimentación y la pavimentación (EMS). Para lo cual fue requerido la toma de muestras representativas de (a) aserrín y (b) cenizas de carbón con el propósito de la determinación de sus propiedades índices, su clasificación y sus ensayos especiales para la estimación de los parámetros de resistencia de los suelos con respecto a la cimentación y la pavimentación. Por tal motivo, se requirió del reporte de los resultados de laboratorio y de la evaluación geotécnica.

El informe técnico tuvo que dar como resultados: (a) el reporte de las condiciones del aserrín y las cenizas de carbón; (b) las características físico-mecánicas de los suelos de fundación de la subrasante; y (c) los resultados de los ensayos de CBR y Proctor modificado con respecto al aserrín y a las cenizas de carbón.

Finalmente, para responder a las preguntas de investigación establecidas, de forma precisa, se verificó si el CBR se encuentra dentro de los límites aceptables establecidos. De ser así, se concluye que el aserrín y las cenizas de carbón estabilizan la subrasante de la muestra en estudio.

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

Para realizar el análisis de los datos se tuvo consideración del informe del laboratorio, cuyos resultados permitieron dar respuestas a los problemas establecidos y confrontar las hipótesis planteadas.

### **3.7. Aspectos éticos**

Para llevar a cabo la investigación se puso en contacto con una empresa formal para que lleve a cabo los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos con fines de cimentación y pavimentación correspondientes, cuya denominación es PLANET CONSULTORES E.I.R.L., la cual es experta en servicios de la ingeniería de la construcción y minería.

Por otra parte, el marco teórico que compone esta investigación está debidamente citado y referenciado, por lo que no hay lugar al plagio, ni dichos textos requieren ser pasados por ningún sistema antiplagio, por ejemplo, Turnitin, debido a que cuenta con las citas debidamente establecidas. Aquello que no está citado corresponde a las apreciaciones del autor de esta tesis.

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1. Descriptivos**

#### **4.1.1. Generalidades.**

Con la finalidad de desarrollar el proyecto de tesis —Estudio del Comportamiento del Aserrín y la Ceniza de Carbón para la Estabilización de la Subrasante, Carabayllo, ubicado en el distrito de Carabayllo – Lima, se realizó las investigaciones geotécnicas en el mismo lugar, mediante exploración de una calicata a cielo abierto con una profundidad máxima de 1m. En la exploración de la calicata se observa el perfil estratigráfico del suelo que conforman de material compuesto por arena arcillosa de color marrón claro, en estado seco compacto de mediana plasticidad. Para los ensayos de laboratorio se tomaron muestras representativas en sacos, en total 300 kilogramos conservando su contenido de humedad natural. Se realizaron ensayos estándares y especiales (contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de consistencia, Proctor Modificado y CBR). Para la obtención de las muestras de las cenizas de carbón, se realizó una visita a las ladrilleras artesanales que se encuentran alrededor de las zona del distrito de Carabayllo, dichas muestras nos servirán como estabilizador de la subrasante, se realizó lo mismo para la obtención de las muestras de aserrín, realizando la visita a las madereras de la zona y se recolecto las muestras.

Por tanto, en el mes de noviembre del año 2019 se realizó tomas de muestras representativas de los diferentes materiales como (a) aserrín y (b) cenizas de carbón para determinar sus propiedades índices, clasificación y ensayos especiales para estimar los parámetros de resistencia de los suelos con fines de cimentación y pavimentación. El reporte mostró los resultados de laboratorio y la evaluación geotécnica.

#### 4.1. Ubicación geográfica.

El área del proyecto de tesis se ubica en el departamento de Lima, provincia de Lima, en el distrito de Carabayllo.

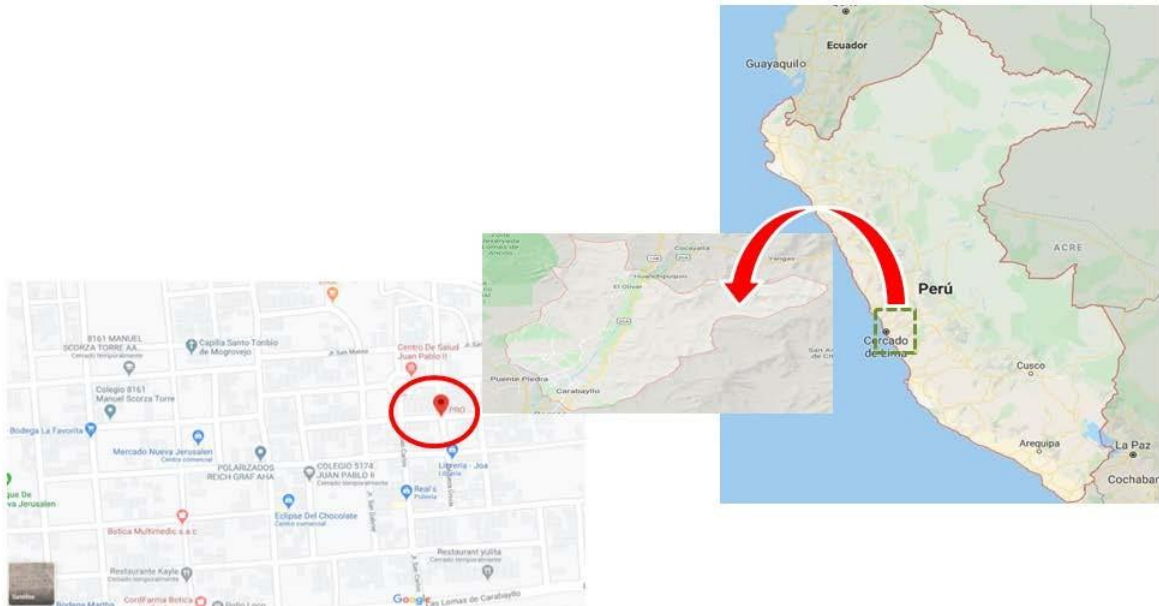


Figura 4. Ubicación de la calle Santa Úrsula Mz R Lt. 7 AAHH Milagros

Fuente: Google Maps.

De esa manera se encontró la calle Santa Úrsula Mz R Lt. 7 AAHH Milagros, distrito de Carabayllo, Lima, para extraer la muestra de terreno natural.



Figura 5. Excavación de la calicata 01

Fuente: Elaboración propia.

## 4..2. Trabajos de obtención de datos

Se seleccionó el lugar donde se realizará la calicata, también se elaboró instrumentos de recolección de datos.

**Tabla 3.**

*Análisis granulométrico (formato)*

Análisis granulométrico por tamizado		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3"	75	
2"	50	
1 1/2"	37.5	
1"	25	
3/4"	19	
3/8"	9.5	
N°4	4.75	
N°10	2	
N°20	0.85	
N°40	0.425	
N°60	0.25	
N°140	0.106	
N°200	0.075	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.**

*Distribución granulométrica (formato para la clasificación)*

Muestra	Porcentajes
% Grava	GG %
	GF %
% Arena	AG %
	AM %
	AF %
% finos	
Tamaño Máximo de Grava (pug)	
Forma del suelo grueso	
Porcentaje retenido en la malla 3" (%)	
Coefficiente de Curvatura	
Coefficiente de Uniformidad	

Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 5.***Límites de consistencia (formato)*

Muestra	Porcentaje
	Limite liquido
	Limite plástico
	Índice de plasticidad

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.***Proctor modificado (formato para el ensayo)*

Ensayo Proctor modificado - Método A
Volumen del molde
Peso suelo + molde
Peso del molde
Peso suelo húmedo compactado
Peso volumétrico húmedo
Recipiente N°
Peso suelo húmedo + tara
Peso suelo seco + tara
Tara
Peso del agua
Peso suelo seco
Contenido de agua %
Peso volumétrico seco

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7.***Ensayo de relación de soporte california CBR (formato para el ensayo)*

Ensayo De CBR						
Espécimen	N° de golpes	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Expansión %	Penetración (pulg)	% M.D.S	% CBR

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. Trabajos de obtención de datos en campo.

Se realizó un recorrido por las calles cercanas a la zona donde se realizará la calicata para la toma de muestras, con el fin de reconocer las características y accesos a la zona de estudio.

Se ubicó el lugar donde se realizará la calicata, para obtener las muestras de subrasante, que posteriormente serán analizados en el laboratorio de suelos. Para esta investigación se realizó 01 calicata, en la vía en estudio calle Santa Úrsula Mz R Lt 7 AAHH Milagros, distrito de Carabayllo, Lima; la calicata tiene la característica mostrada en la tabla 8.

**Tabla 8.**

*Característica de excavación de las calicatas*

Calicata	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)
O1	1	1	1.5

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9.**

*Cantidad de muestra de suelo*

Calicata	Cantidad
O1	300kg

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 6.* Excavación de la calicata.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4. Obtención de las muestras de aserrín.

Se realizó una serie de visitas a las madereras que se encuentran cercanas a la zona de donde se tomó la muestra de suelo y se recolectó 3 sacos de aserrín de la maderera Green Forest, que está ubicado en la Av. Alto Cenepa – Comas, la recolección de estas muestras servirán como aditivo para poder estabilizar la subrasante.



Figura 7. Maderera Green Forest

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5. Obtención de las muestras de aserrín.

La recolección de las muestras de ceniza se realizó de una ladrillera cercana a la zona de estudio, recolectando 35 kilos de cenizas de carbón de los hornos artesanales, estas muestras servirán como aditivo para poder estabilizar la subrasante.



*Figura 8.* Vista del lugar de obtención de ceniza

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.6. Trabajos de laboratorio**

Se tienen tablas y figuras que fueron las bases de los ensayos de Atterberg (límites líquidos, límites plásticos e índice de plasticidad), CBR y Proctor Modificado que sirvieron para el estudio de la mecánica de suelos con fines de cimentación, los cuales fueron efectuados en concordancia con la norma técnica E-050 suelos y cimentación del reglamento nacional de edificaciones.

#### **Análisis granulométrico**

A partir de las muestras extraídas de suelo se efectuó el análisis granulométrico (ASTM D6913).

### **Equipos usados en el análisis granulométrico:**

- Cuarteador.
- Balanza de 0.1.
- Juego de tamices 3II, 2II, 1 ½II, 1II, ¾II, 3/8II, N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 60, N° 100 y N° 200.
- Horno de temperatura constante de 110 °C.
- Bandejas.
- Brochas, para el limpiado de las mallas de los tamices.
- Tamiz de lavado N° 200

### **Procedimiento:**

- Mezclar la muestra hasta lograr su homogenización en su totalidad.
- Se tomará la cantidad de muestra para la granulometría de acuerdo al tamaño máximo del grano del suelo.
- Cuartear la muestra.
- pesar la muestra para el lavado de material
- Disgregar los grumos (terrones) del material con el martillo de goma.
- Secar la muestra en la estufa a una temperatura de 110 °c ± 5, hasta peso constante.
- Luego todo el material pasa por el juego de tamices, haciendo movimientos horizontales y circulares.
- Se procede a anotar los pesos retenidos en cada tamiz.

## Resultados del análisis granulométrico

**Tabla 10.**

*Análisis granulométrico, muestra 01*

Análisis Granulométrica Por Tamizado		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3"	75	
2"	50	
1 1/2"	37.5	
1"	25	
3/4"	19	
3/8"	9.5	
N°4	4.75	100
N°10	2	98
N°20	0.85	72
N°40	0.425	56
N°60	0.25	48
N°140	0.106	39
N°200	0.075	37

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 11.**

*Resumen de los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos estándar*

Calicata N°	Muestra N°	Profundidad (m)	S.U.C.S.	W (%)	Análisis Granulométrico		
					Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)
C-01	MAB – 1	--	SC	3.9	0	63	37

Fuente: Elaboración propia.

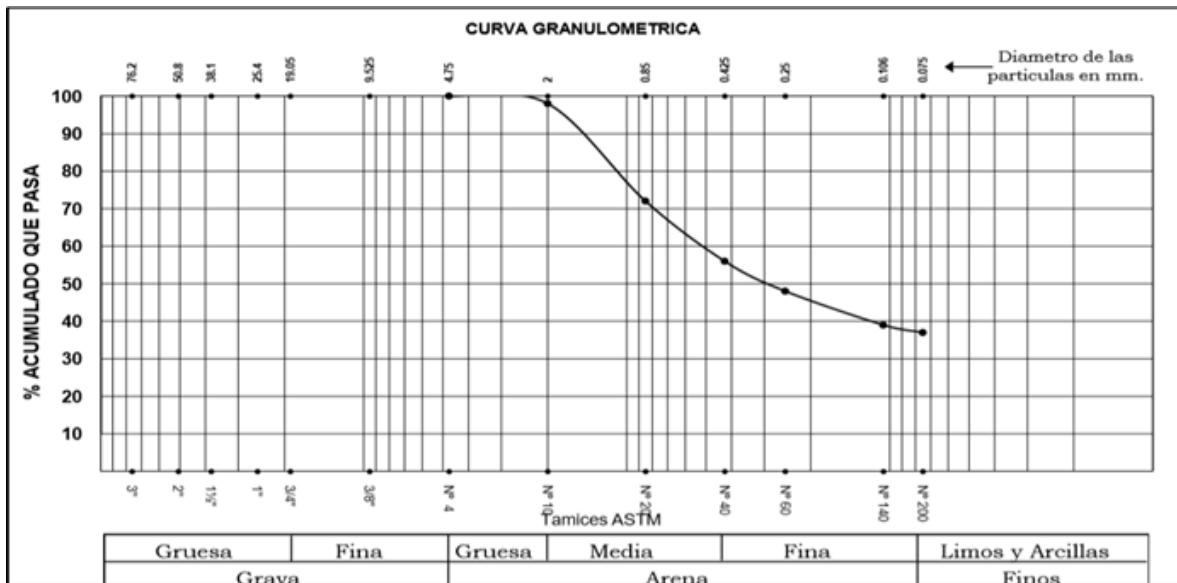


Figura 9. Curva granulométrica, muestra 01

Fuente: Informe técnico

De los resultados del análisis granulométrico de la calicata se a encontrado de 0.00 – 1.0 m. material compuesto por Arena arcillosa, (SC) según la clasificación de SUCS, de baja plasticidad, compacto, de color marrón claro, seco, su composición está formado por gravas (0%), arenas (63%), finos (37%).

**Determinación de Límites de Consistencia:**

**Límite líquido**

Para determinar el límite líquido se tendrá como referencia, la norma técnica peruana (NTP 339.129).

**Equipos:**

- Capsula de evaporación
- Espátula
- Copa casa grande
- Acanalador

- Calibrador
- Taras
- Estufas.

**Procedimiento:**

- Se toma la muestra de suelo que pasa por la malla N° 40.
- Se deposita en una porcelana se le agrega agua destilada y se procede a mezclar hasta tener una mezcla homogénea.
- Dejar reposar de un día para otro.
- Se coloca una porción de suelo mezclado con la espátula.
- Se procede a realizar el N° de golpes con la manivela hasta que la parte inferior de las dos porciones del suelo separadas por el acanalador se unan.
- Se toma la muestra y se registra inmediatamente el peso de la muestra, se vuelve a agregar agua, seguidamente se procede a realizar los pasos anteriores.
- Secar las muestras obtenidas después del ensayo en una estufa a temperatura constante de 110 °c ± 5°c.
- Luego se determina cual es la humedad para 25 golpes y ese valor es el límite líquido (LL).
- Los cálculos a realizarse, utilizando la fórmula de la figura 10.

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado en el horno}} \times 100$$

*Figura 10. Fórmula límite líquido.*



## Límite plástico e índice de plasticidad

Para determinar el límite plástico e índice de plasticidad, se tendrá como referencia, la norma técnica peruana (NTP 339.129).

### Equipos:

- Espátula.
- Capsula para evaporación.
- Balanza de 0.01 G presión
- Horno
- Tamiz N°40
- Vidrio esmerilado 0.30 x 0.30
- Pipeta
- Agua destilada.

### Procedimiento:

- Se toma una porción de 20 gr de la muestra
- Secar la muestra con la mano o papel no absorbente.
- Formar rollos de 3.2 MM.
- Si dicho cilindro llega a 3.2 mm y no se ha desmoronado se realiza lo mismo hasta lograr que se desmorone.
- Luego se junta las muestras hasta reunir un aproximado de 6 gr y se determina la humedad.
- Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo con la siguiente ecuación matemática:

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

*Figura 11. Fórmula Índice de plasticidad.*



Figura 12. Cálculo del índice de plasticidad

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12.**

*Límites de consistencia*

Muestra	Porcentaje	
O1	% límite líquido	26%
	% límite plástico	16%
	% índice plástico	10%

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los límites de consistencia de la muestra de la calicata, se observa un límite líquido de 26%, un límite plástico de 16% y un índice de plasticidad de 10%.

**Tabla 13.**

*Clasificación*

Muestra	Clasificación (S.U.C.S)		Clasificación AASHTO
O1	SC	Arena arcillosa	A-4 (0)

Fuente: Elaboración propia.

Las propiedades físicas que se obtuvieron de las muestras de acuerdo con los ensayos de laboratorio son los siguientes: De la clasificación de suelos, se determinó que el tipo de suelo arena arcillosa (SC), acorde a los resultados obtenidos según la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.). Respecto a la clasificación granulométrica, la muestra expone 0% de gravas, 63% de arena y 37% de finos, Acerca de los límites de consistencia la muestra 01 presenta un límite líquido de 26%, límite plástico de 16% y un índice de plasticidad de 10%.

### **Compactación de Proctor Modificado (ASTM D 1557)**

#### **Proctor modificado suelo natural**

Para realizar el ensayo de Proctor modificado se tiene como referencia normas ASTM D-1557, MTC E 115

#### **Equipos:**

- Molde de 6 Y 4 pulgadas.
- Pisón o martillo. DE 5.5 LBS O 10 LBS
- Probeta graduada de 500 cm<sup>3</sup>.
- Balanza con una aproximación de 1 gramo.
- Horno.
- Una regla metálica.
- Tamices de 3/4, 3/8 y N° 4
- Herramientas de mezcla (bandejas, taras, cucharas, espátula).

#### **Procedimiento:**

- Secar el material al aire libre y disgregar los terrones de arcilla.

- Tamizar a través de las mallas 3/4, 3/8, y N° 4 para determinar el método de prueba (aprox. 6 kg de muestra de suelo).
- Preparar 4 muestras de 6 kg cada un 3 kg según sea el método de ensayo del suelo de ensayo.
- Agregar agua cada 2 o 3 % para cada una de las muestras.
- Colocar la primera capa en el molde y aplicar 56 golpes con el pisón.
- Los golpes deben ser aplicados en toda el área, girando el pisón adecuadamente, cada golpe debe ser aplicado en caída libre, soltar el pisón en el tope, hasta completar las 5 capas.
- La última capa debe quedar por encima del collarín de tal forma que luego pueda enrasarse el molde con una regla metálica quitando previamente el collarín.
- Retirar la base y registrar el peso del suelo más molde.
- Luego de pesado, extraer el suelo y tomar una muestra de la parte central del suelo compactado para el contenido de humedad, como mínimo 500 gr.
- Llevar las muestras al horno para determinar el contenido de humedad.

**Proctor aserrín y las cenizas de carbón para estabilizar la sub- rasante de la calle Santa Úrsula Mz R Lt 7 AAHH Milagros, distrito de Carabayllo, Lima son los siguientes:**

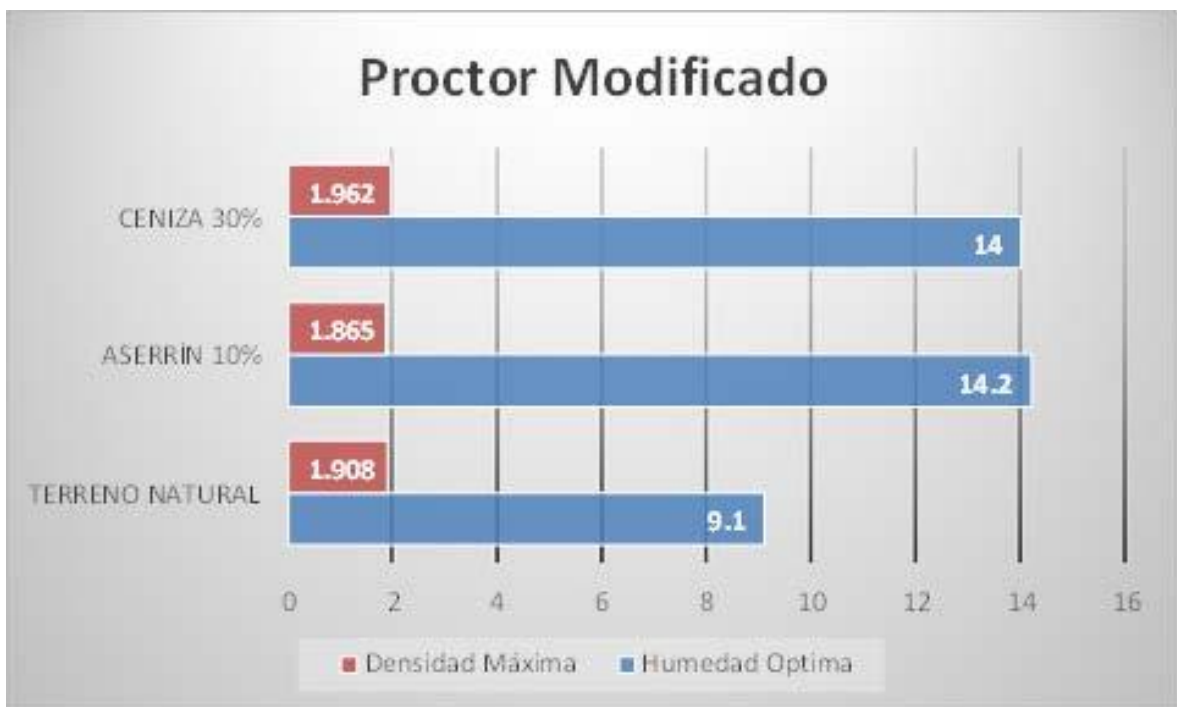
Se realizó el ensayo de Proctor modificado a aserrín y las cenizas de carbón que permitirá estabilizar la subrasante de la vía en calle Santa Úrsula Mz R Lt 7 AAHH Milagros, distrito de Carabayllo, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 14.**

*Resumen de Proctor Modificado*

Material	Muestra	Humedad	Densidad
		Optima (%)	Máxima (gr/m <sup>3</sup> )
Terreno Natural	M-01	9.1	1.908
Aserrín 10%	M-01	14.2	1.865
Ceniza 30%	M-01	14	1.962

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 13. Resumen de Proctor Modificado*

Fuente: Elaboración propia.

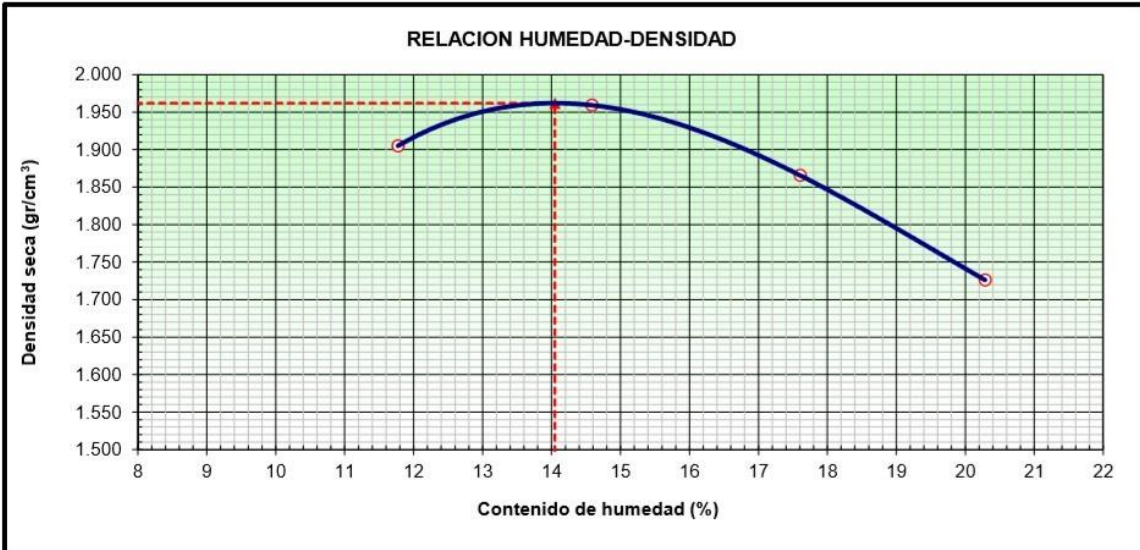


Figura 14. Cenizas de Carbón Relación Humedad – Densidad

Fuente: Elaboración propia.

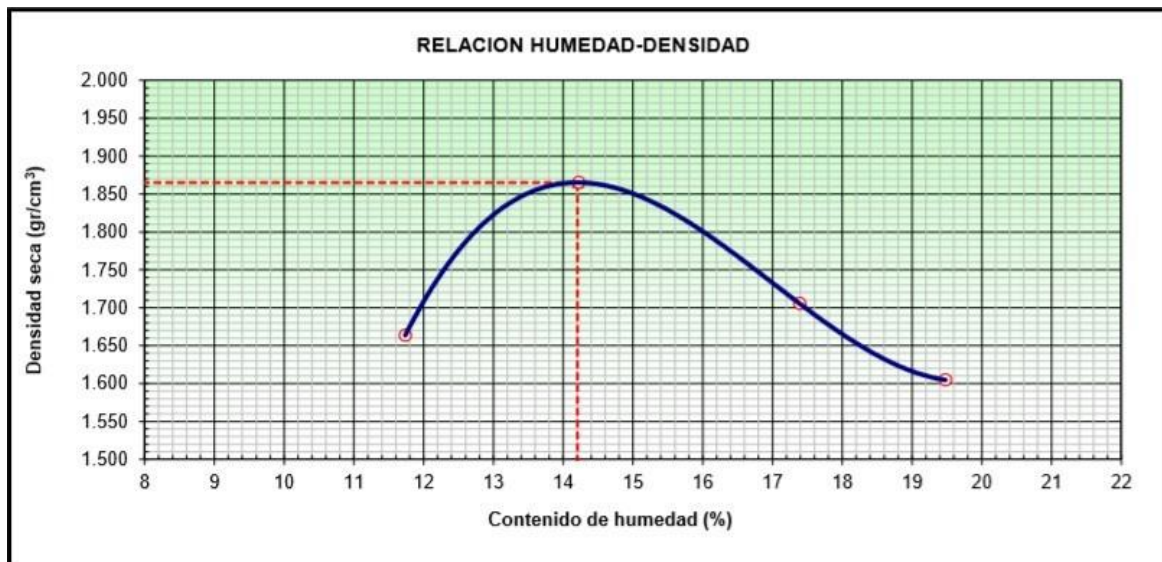


Figura 15. Aserrín Relación Humedad – Densidad

Fuente: Elaboración propia.

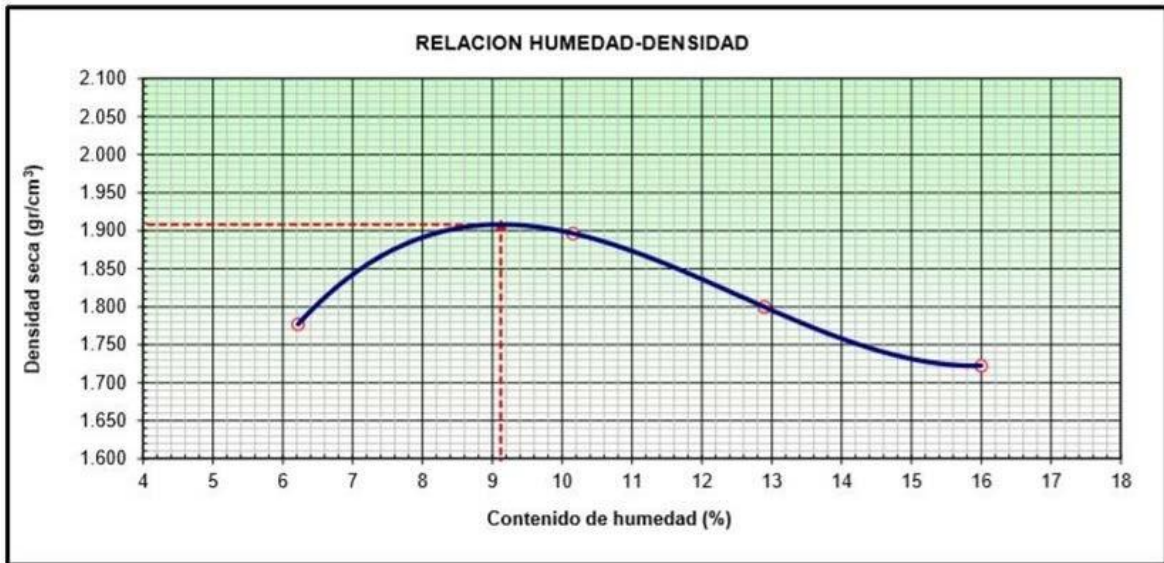


Figura 16. Terreno Natural Relación Humedad - Densidad.

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de aserrín que se utilizó es del 10% y de las cenizas de carbón fueron del 30%. Con el ensayo se obtuvo la densidad seca máxima y el óptimo contenido de humedad. Estos datos serán utilizados para realizar el ensayo de CBR.

### Ensayo de CBR (ASTM D 1883)

Para determinar el ensayo de CBR, se tendrá como referencia ASTM D – 1883.

#### Equipos:

- Molde metálico cilíndrico de compactación de 15.24 cm de diámetro interior y 17.78 cm de altura interior. Debe tener un collarín de extensión metálica de 5.08 cm de altura y una placa base metálica de 9.5 mm de espesor, con perforaciones de diámetro igual o menor a los 1.5 mm.
- Martillo de compactación Proctor estándar modificado.
- Máquina CBR equipada con pistón de penetración (diámetro de 4.953 cm, con sección transversal de 19.4 cm<sup>2</sup>) y capaz de penetrar a una velocidad de 1.27 mm/min y con anillo de carga de 50 KN.
- Papel filtro circular.
- Medidor de expansión
- Horno

- Herramientas u accesorios, recipientes llenos de agua y tamices de  $\frac{3}{4}$ , y N° 4.

### **Procedimiento:**

- Pesar el molde sin su base.
- Aplicar el número de golpes para cada molde respectivamente, 56, 25 Y 10 golpes.
- Compactar el suelo de acuerdo con la norma D 1557.
- Quitar el collarín y enrasar la muestra suavemente hasta nivelarla, llenar con suelos finos los pequeños huecos que se hayan podido formar en la operación anterior de nivelación de la muestra.
- Retirar la base, pesar el molde con el suelo compactado y determinar el peso unitario total del suelo.
- Dejar saturando la muestra durante 96 horas.
- Antes de saturar la muestra fijar y ajustar el vástago del tripo de medición de expansión.
- Tomar medidas de expansión lectura inicial y lectura final.
- Retirar del pozo de curado y dejar escurrir por 15 minutos.
- Se pesa la muestra para obtener la humedad de saturación.
- Se lleva la muestra a la máquina de ensayo y se colocan sobre ella una cantidad de pesas para producir una sobrecarga igual a la que supuestamente ejercerá el material de base y pavimento del camino proyectado.
- Se coloca el pisón de penetración hasta que haga contacto con la muestra.
- Finalmente se retira el total de la muestra de suelo del molde.

### **Análisis de resultados de CBR**

Los criterios requeridos para una subrasante son los siguientes:

- Los suelos por debajo del nivel superior de la subrasante, en una profundidad no menor de 0.60 m, deberán ser suelos adecuados y estables con  $\text{CBR} \geq 6\%$ . En caso el suelo, debajo del nivel superior de la subrasante, tenga un  $\text{CBR} < 6\%$  (subrasante pobre o subrasante inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual el Ingeniero Responsable analizará según la naturaleza del suelo alternativas de solución, 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.

Una vez definido el valor del CBR, se clasificará a que categoría de subrasante pertenece el sector o subtramo, según lo siguiente.

**Tabla 15.**

*Categoría de subrasante (suelo natural)*

Categorías de subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante pobre	De CBR ≥ 3%
	A CBR < 6%
S2: Subrasante regular	De CBR ≥ 6%
	A CBR < 10%
S3: Subrasante buena	De CBR ≥ 10%
	A CBR < 20%
S4: Subrasante muy buena	De CBR ≥ 20%
	A CBR < 30%
S5: Subrasante excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014; Ministerio de Economía y Finanzas, 2015.

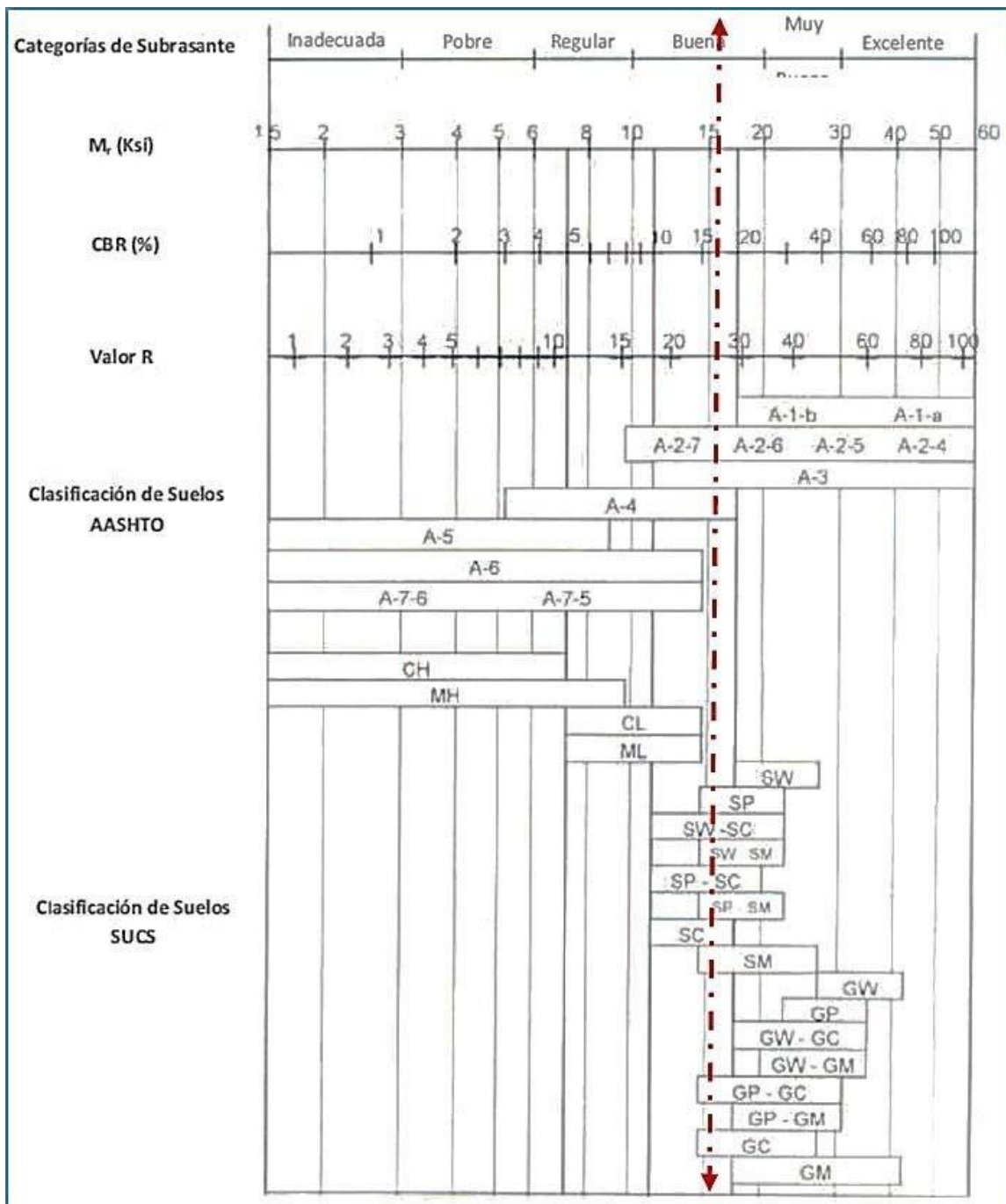


Figura 17. Correlaciones típicas entre las clasificaciones y las propiedades de los suelos (suelo natural)

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014; Ministerio de Economía y Finanzas, 2015.

Clasificación general	Suelos granulosos 35% máximo que pasa por tamiz de 0.08 mm							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.08 mm				
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7	
	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6
Análisis granulométrico												
% que pasa por el tamiz de:												
2 mm	máx. 50	máx. 50	mín. 50	máx. 35	Máx.35	máx. 35	máx. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35
0.5 mm	máx. 30	máx. 25	máx. 10									
0.08 mm	máx. 15											
Límites Atterberg												
límite de líquido				máx. 40	mín. 40	máx. 40	mín. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40	mín. 40	mín. 40
índice de plasticidad	máx. 6	máx. 6		máx. 10	máx. 10	mín. 10	mín. 10	máx. 10	máx. 10	mín. 10	mín. 10	mín. 10
Índice de grupo	0	0	0	0	0	máx. 4	máx. 4	máx. 8	máx. 12	máx. 16	máx. 20	máx. 20
Tipo de material	Piedras, gravas y arena		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Estimación general del suelo como subrasante	De excedente a bueno					De pasable a malo						

Fuente: AASHTO M 145

Figura 18. Clasificación de la subrasante para suelo natural

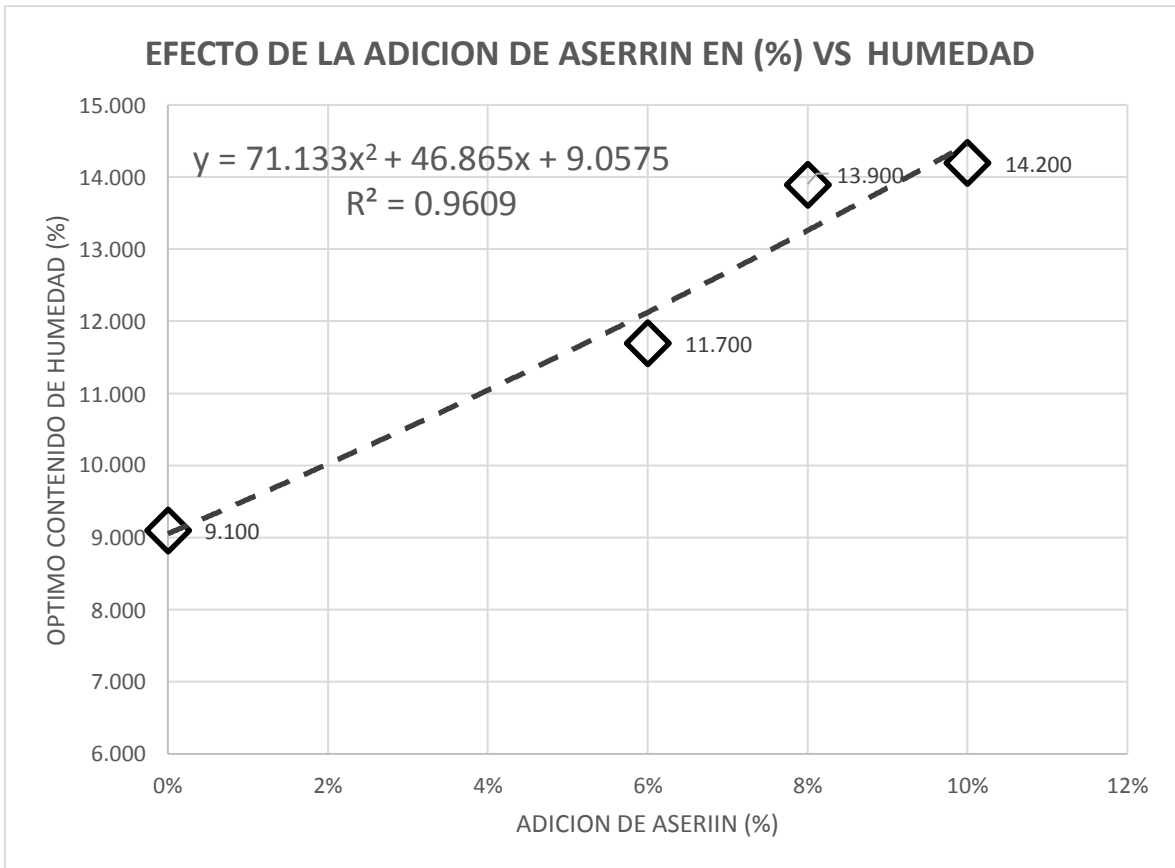
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014; Ministerio de Economía y Finanzas, 2015.

Tabla 16.

Resumen de ensayo de CBR con fines de pavimentos

	Óptimo contenido de humedad (%)	Máxima densidad seca (gr/m <sup>3</sup> )	CBR al 100% MDS (%)
Terreno Natural	9.1	1.908	18.1
Aserrín al 6%	11.7	1.909	16.6
Aserrín al 8%	13.9	1.884	16.2
Terreno Natural	9.1	1.908	18.1
Cenizas 20%	10.2	1.981	24.1
Cenizas 25%	12.8	2.004	26.6
Terreno Natural	9.1	1.908	18.1
Aserrín 4%/ceniza 15%	12.7	1.989	29.7
Aserrín 6%/cenizas 20%	14.4	1.979	31.7

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 19. Comparación de Contenido de Humedad en diferentes % de aserrín.*

Fuente: Elaboración propia.

Se pudo observar que el terreno natural contó con un óptimo contenido de humedad de 9.1%; en la figura 19 se muestra que al incorporar los porcentajes de aserrín de 6%, 8% y 10% el óptimo contenido de humedad aumentó en 11.7%, 13.9% y 14.2% respectivamente.

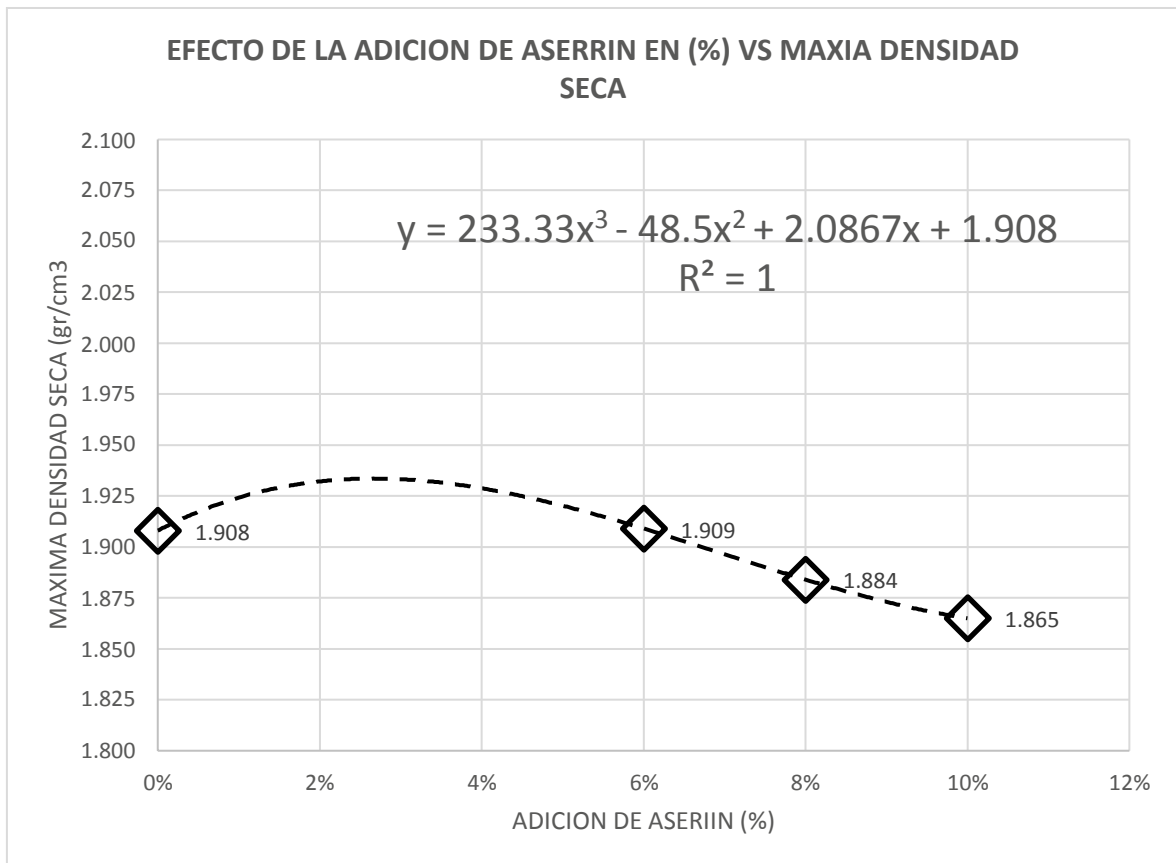
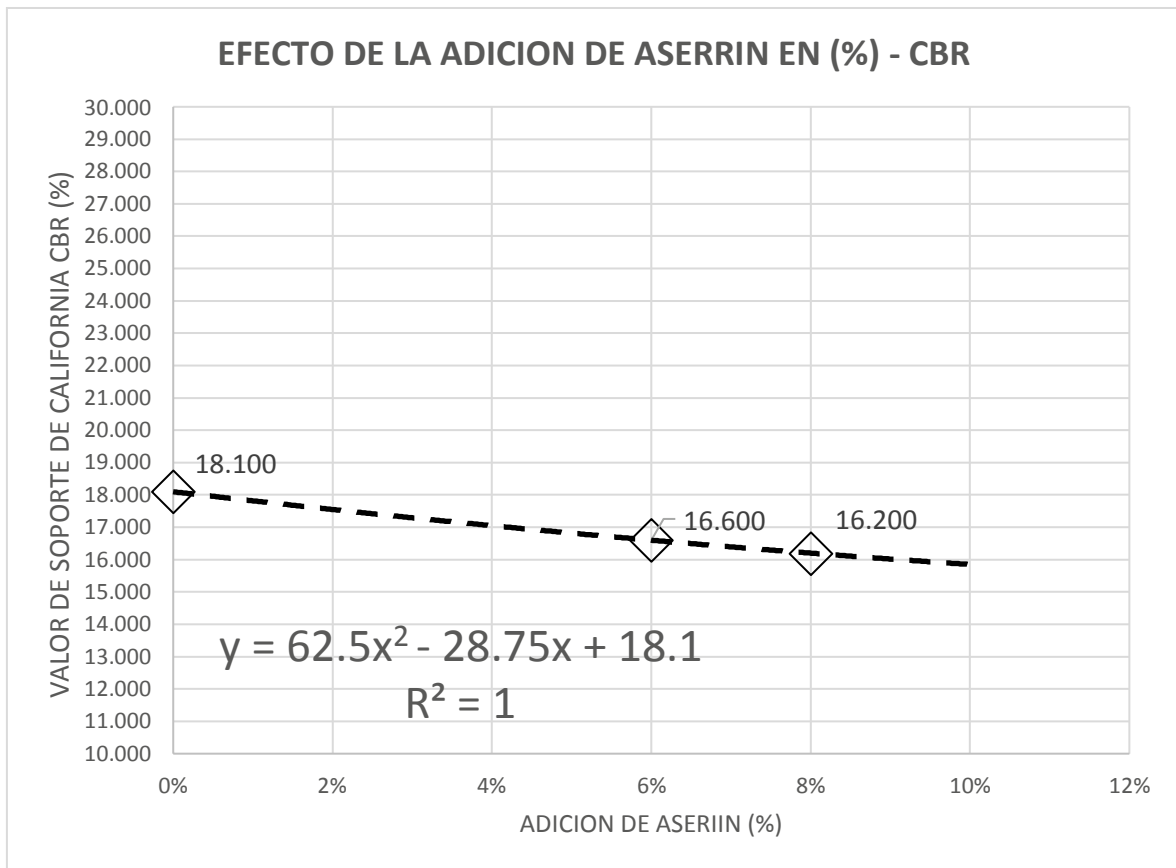


Figura 20. Comparación de Máxima Densidad Seca en diferentes % de Aserrín.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de laboratorio mostraron que la máxima densidad seca del terreno natural fue de 1.908 (gr/m<sup>3</sup>); realizando las adiciones del 6% de aserrín se logró apreciar que la máxima densidad seca aumentó a 1.909 (gr/m<sup>3</sup>); adicionando el 8% de aserrín disminuyó a 1.884 (gr/m<sup>3</sup>), agregando el 10% de aserrín se pudo observar que la máxima densidad seca disminuyó a 1.865 (gr/m<sup>3</sup>).



*Figura 21. Valores de Soporte De California CBR diferentes % de Aserrín.*

Fuente: Elaboración propia.

De los ensayos de CBR, si bien se encontró una subrasante de buena calidad con un CBR 18.1%, se pudo observar que al incorporar aserrín al 6% el valor de soporte de california disminuye al 16.6% y al incorporar 8% de aserrín el valor de soporte de california disminuye 16.2%.

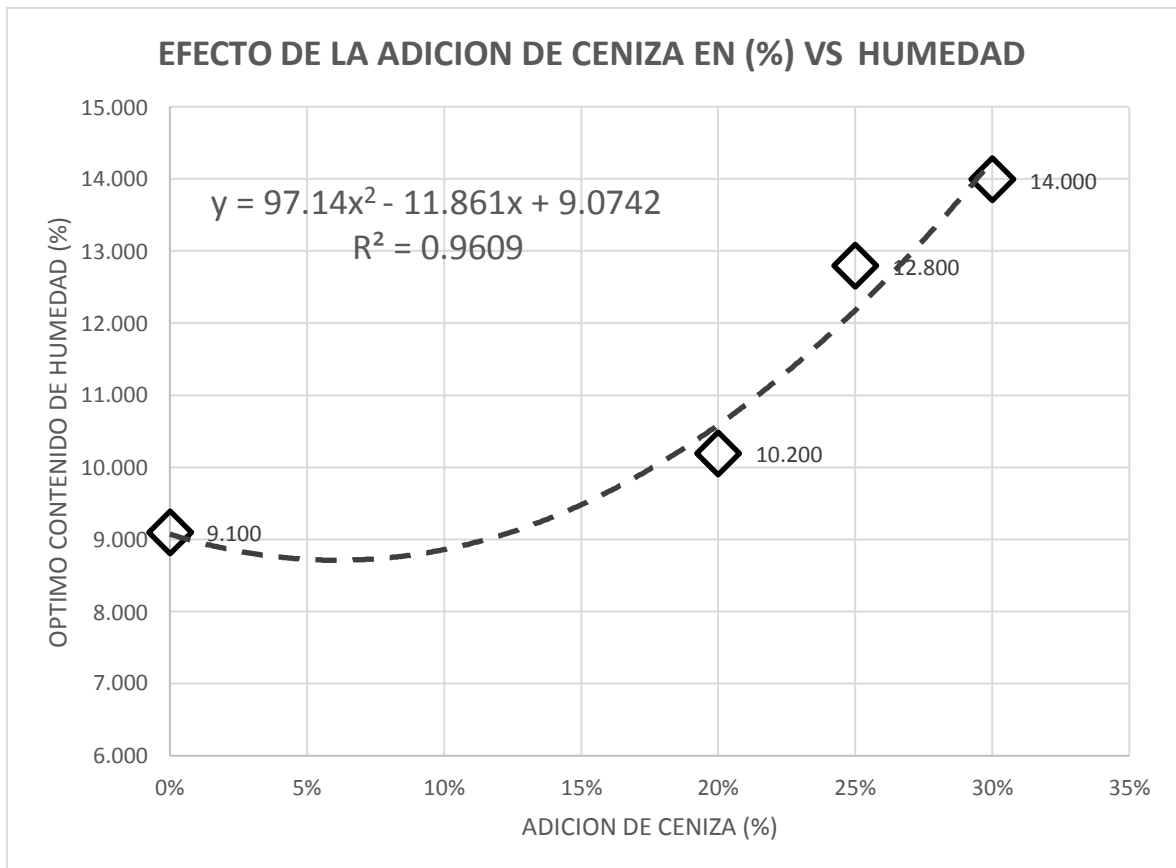


Figura 22. Comparación de Contenido de Humedad en diferentes % de cenizas de carbón.

Fuente: Elaboración propia.

Se pudo observar que el terreno natural tiene un óptimo contenido de humedad de 9.1%; de la figura 22 se puede ver que al incorporar los porcentajes de cenizas de 20%, 25% y 30% el óptimo contenido de humedad aumentó en 10.2%, 12.8% y 14% respectivamente.

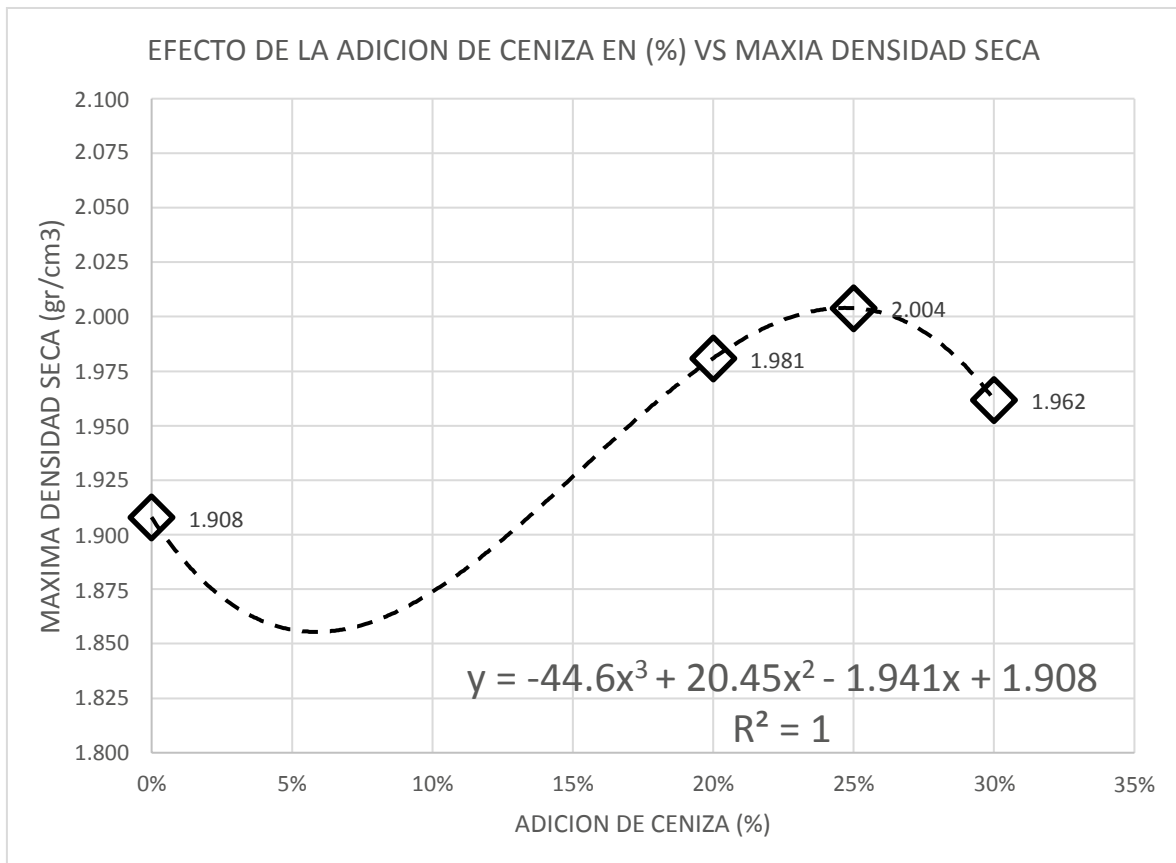
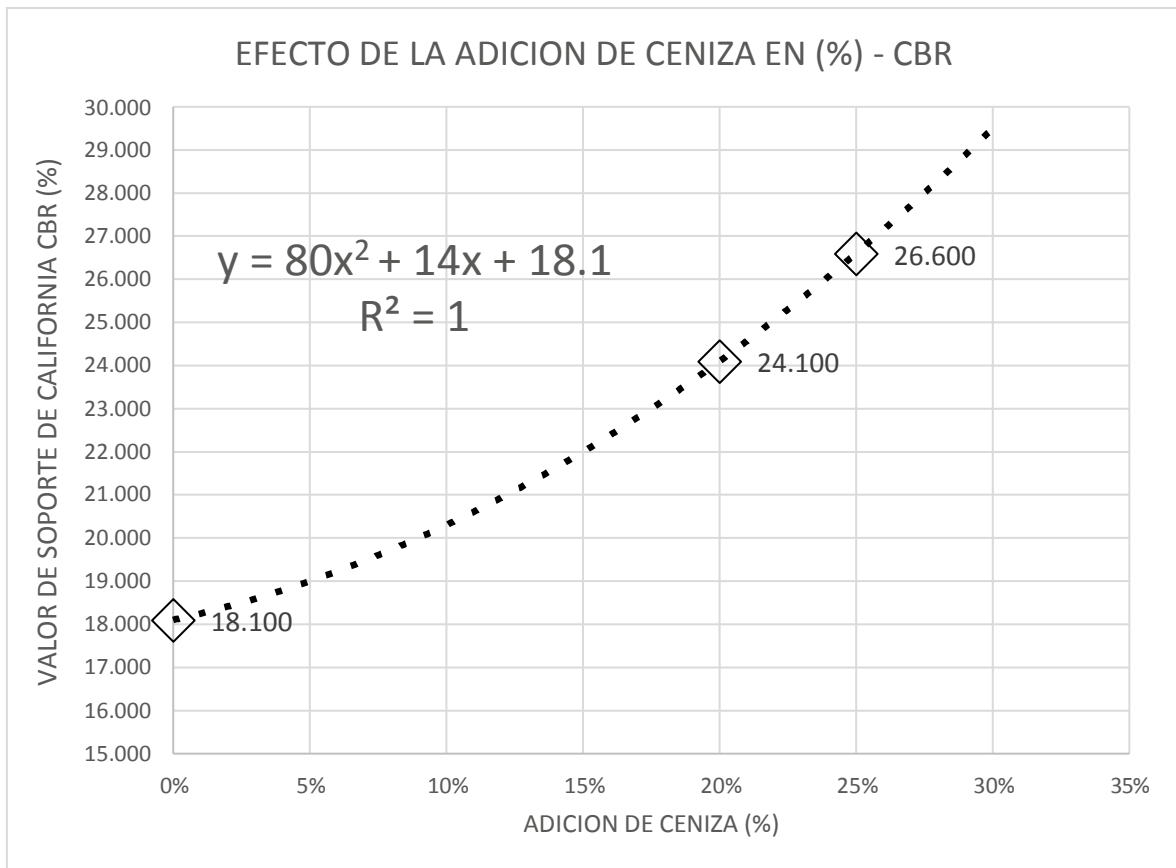


Figura 23. Comparación de Máxima Densidad Seca en diferentes % de cenizas de carbón.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de laboratorio mostraron que la máxima densidad seca del terreno natural fue de 1.908 (gr/m<sup>3</sup>); realizando las adiciones del 20% de cenizas de carbón se logró apreciar que la máxima densidad seca aumentó a 1.981 (gr/m<sup>3</sup>); adicionando el 25% de cenizas de carbón aumentó a 2.004 (gr/m<sup>3</sup>) y agregando el 30% de cenizas de carbón se pudo observar que la máxima densidad seca disminuyó a 1.962 (gr/m<sup>3</sup>).





*Figura 24. Valores de Soporte De California CBR diferentes % de Cenizas de carbón.*

Fuente: Elaboración propia.

De los ensayos de CBR, se encontró una subrasante de buena calidad con un CBR 18.1%, se pudo observar que al incorporar cenizas de carbón al 20% el valor de soporte de california aumento a 24.1% y al incorporar 25% de cenizas de carbón el valor de soporte de california aumentó a 26.6%.

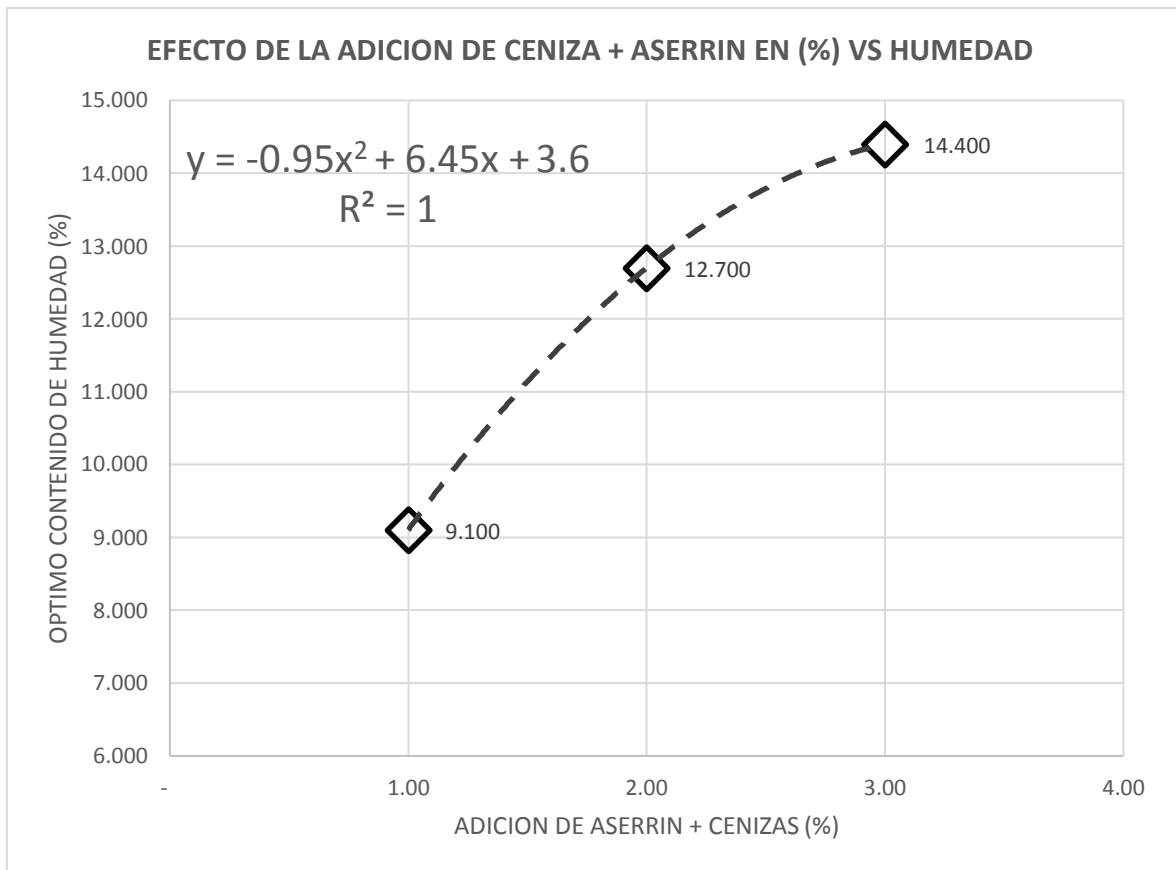
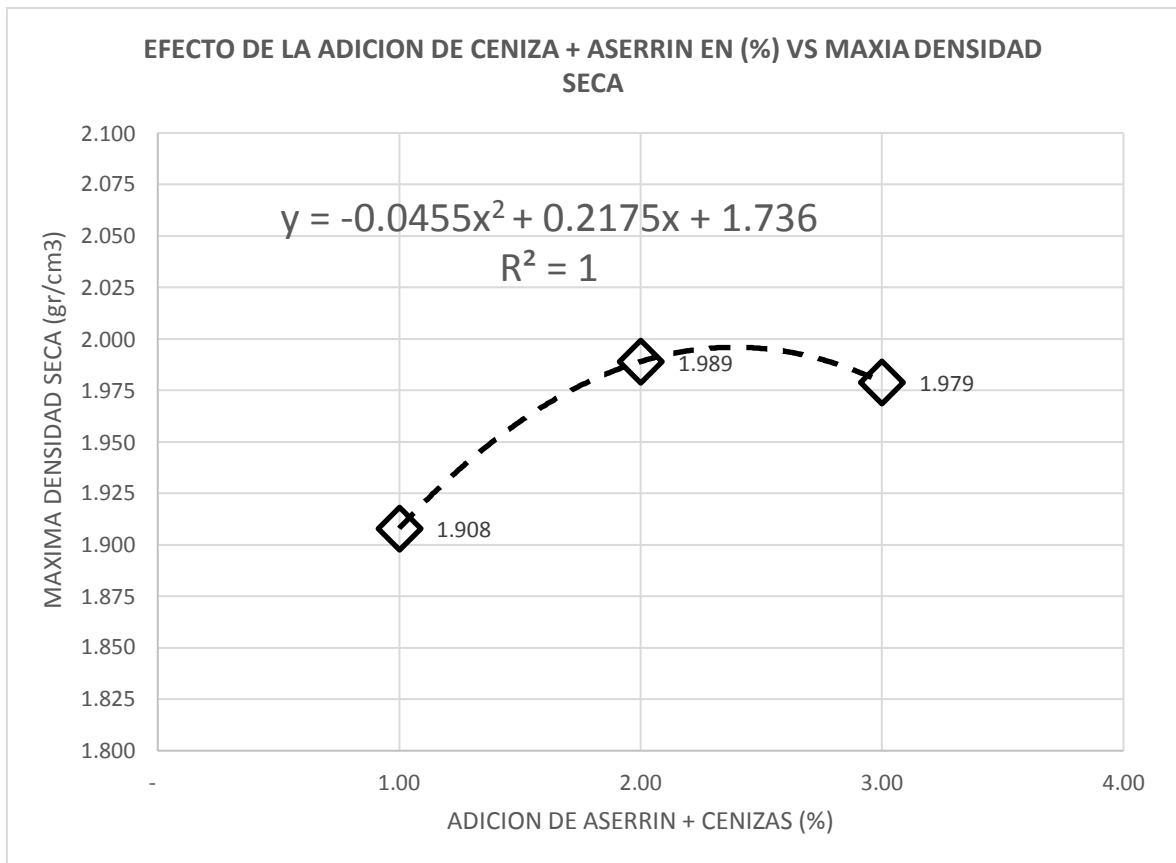


Figura 25. Comparación de Contenido de Humedad en diferentes % de aserrín más cenizas de carbón.

Fuente: Elaboración propia.

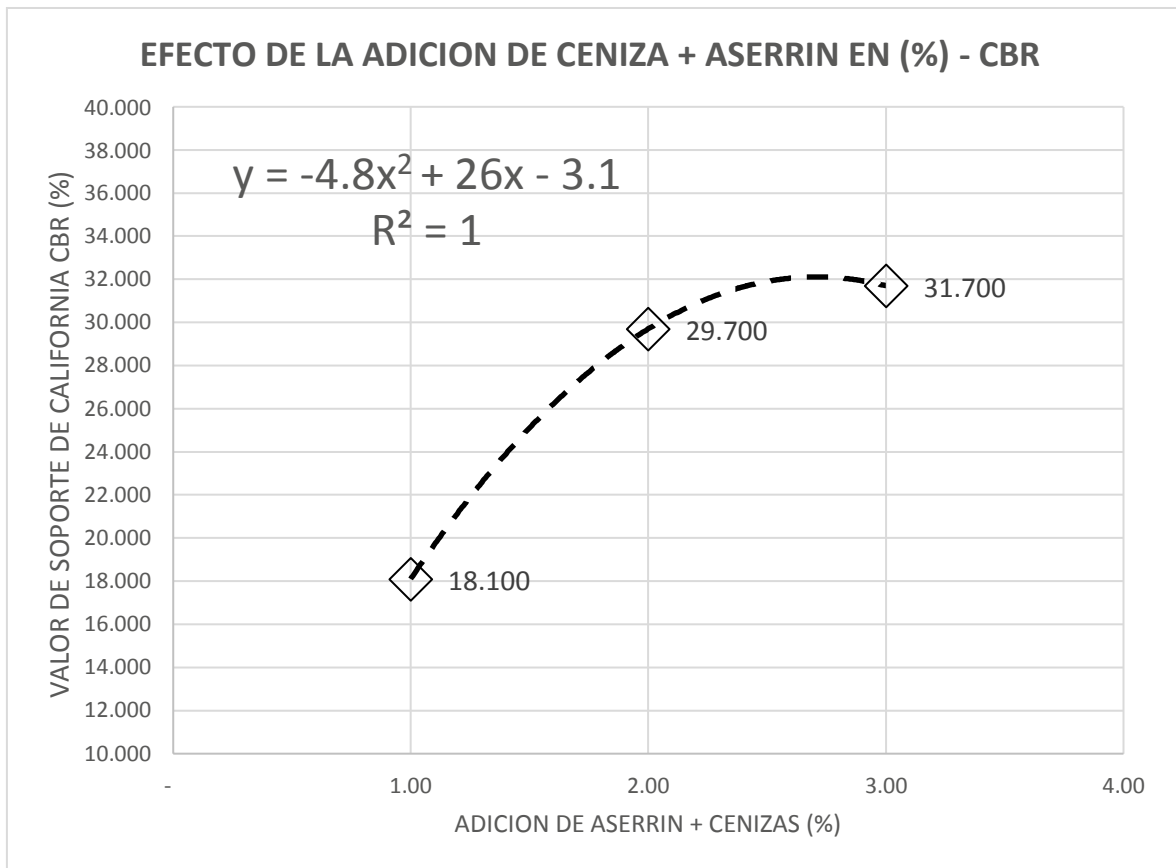
Se pudo observar que el terreno natural tiene un óptimo contenido de humedad de 9.1%; de la figura 25 se puede observar que al incorporar la mezcla de 4% de aserrín más 15% de cenizas de carbón el óptimo contenido de humedad aumentó a 12.7% y realizando la mezcla de 6% de aserrín más 20% de cenizas de carbón el óptimo contenido de humedad aumento a 14.4%.



*Figura 26. Comparación de Máxima Densidad Seca en diferentes % de aserrín más cenizas de carbón.*

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de laboratorio mostraron que la máxima densidad seca del terreno natural fue de 1.908 (gr/m<sup>3</sup>); realizando las adiciones de la mezcla de 4% de aserrín más 15% de cenizas de carbón se apreció que la máxima densidad seca aumento a 1.989 (gr/m<sup>3</sup>), adicionando la mezcla de 6% de serrín y 20% de cenizas de carbón disminuyó a 1.979(gr/m<sup>3</sup>).



*Figura 27. Valores de Soporte De California CBR diferentes % aserrín más cenizas de carbón.*

Fuente: Elaboración propia.

De los ensayos de CBR, se encontró una subrasante de buena calidad con un CBR 18.1%, De la figura 27 se pudo observar que al incorporar la mezcla de 4% de aserrín más 15% de cenizas de carbón el valor de soporte de california aumento a 29.7% y al incorporar la mezcla de 6% de aserrín más 20% de cenizas de carbón el valor de soporte de california aumentó a 31.7%.

## 4.2. Pruebas de hipótesis

### Hipótesis general:

H<sub>0</sub>: El aserrín y la ceniza de carbón no mejoran las propiedades mecánicas de suelos de subrasante, Carabayllo, Lima, 2019.

H<sub>1</sub>: El aserrín y la ceniza de carbón mejoran las propiedades mecánicas de suelos de subrasante, Carabayllo, Lima, 2019.

$$H_0: \text{CBR} < 6\%$$

$$H_1: \text{CBR} \geq 6\%$$

Los resultados mostraron que en los ensayos de CBR se encontró una subrasante de buena calidad con un CBR 18.1 %, al incorporar aserrín y cenizas de carbón, por lo que se afirma la hipótesis alternativa que establece que el aserrín y la ceniza de carbón estabilizan la subrasante, en el distrito de Carabayllo, Lima, 2019. También se pudo observar que al adicionar la mezcla de aserrín con cenizas de carbón de 4% y 15% respectivamente, se encontró un incremento significativo del CBR a 29.7% con respecto al suelo natural; y adicionando 6% de aserrín y 20% de cenizas, el CBR aumentó a 31.7%.

### Primera hipótesis específica

H<sub>0</sub>: El aserrín no estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabayllo, Lima, 2019.

H<sub>1</sub>: El aserrín estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabayllo, Lima, 2019.

$$H_0: \text{CBR} < 6\%$$

$$H_1: \text{CBR} \geq 6\%$$

Los resultados mostraron que se encontró una subrasante de buena calidad con un CBR = 18.1 %, y al incorporar aserrín al 6% y 8% el CBR disminuyó 16.6% y 16.2% respectivamente; por lo que se afirma la hipótesis (H<sub>0</sub>) alternativa que establece

que el aserrín no estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabaylo, Lima, 2019

### **Segunda hipótesis específica**

Ho: La ceniza de carbón no estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabaylo, Lima, 2019.

H1: La ceniza de carbón estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabaylo, Lima, 2019.

$$H_0: \text{CBR} < 6\%$$

$$H_1: \text{CBR} \geq 6\%$$

Los resultados mostraron una subrasante de buena calidad con un CBR = 18.1 %, y al incorporar cenizas de carbón al 20%, el CBR aumentó a 24.1%; y adicionando 25% de cenizas, el CBR aumentó a 26.6%; por lo que se afirma la hipótesis alternativa que establece la ceniza de carbón estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabaylo, Lima, 2019.

## **V. DISCUSIÓN**

### **5.1 Influencia del aserrín en las propiedades mecánicas del suelo**

No existen investigaciones científicas que hagan referencia al uso de aserrín para mejorar las propiedades mecánicas del suelo.

Con respecto a la primera hipótesis específica, los resultados mostraron que el aserrín no estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabayllo, Lima, 2019. Por medio de los ensayos de PROCTOR y CBR se concluye que el aserrín no influyó de forma positiva en las propiedades mecánicas del suelo, para lograr la estabilización de la sub.

¿cuál es el efecto de la adición de aserrín en el valor del óptimo contenido de humedad, máxima densidad seca y valor de soporte de California de suelos de subrasante, Carabayllo, Lima 2019?; En general, los resultados de laboratorio indicaron que el suelo de fundación sería sobre arena arcillosa (SC), según la clasificación SUCS, con un contenido de humedad de 9.1%, con máxima densidad seca de 1.908 y un CBR de 18.1%, A medida que se incorporó los porcentajes de aserrín al 6% y 8% no se logró un buen resultado para mejorar las propiedades mecánicas del suelo, pues en todos los porcentajes añadidos aumento el óptimo contenido de humedad, aunque disminuyó en muy bajos porcentajes la máxima densidad seca, se notó en el ensayo que disminuyó el valor de soporte California significativamente.

### **5.2 Influencia de las cenizas de carbón en las propiedades mecánicas del suelo.**

Cañar (2017) en su investigación consideró lo siguiente. Objetivo: Estabilizar dos suelos de propiedades diferentes agregando porcentajes de 20, 23 y 25% de cenizas de carbón. Se hizo el análisis comparativo, el cual consistió en una evaluación de propiedades como plasticidad, humedad, resistencia CBR y resistencia al corte de forma estadística entre los dos suelos y sus combinaciones diferentes respectivamente, Se demostró que las cenizas de carbón adicionadas influyen de manera favorable en los suelos expansivos -como la arcilla-, habiendo formado una compacta masa y aumentando el grado de compactación; mejora la

resistencia al corte y su CBR.

Con respecto a la segunda hipótesis específica, los resultados mostraron que la ceniza de carbón estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabayllo, Lima, 2019. Mediante los ensayos de PROCTOR y CBR, al incorporar más porcentajes de cenizas de carbón al terreno natural, aumentó el óptimo contenido de humedad, aumento el valor de la máxima densidad seca, pero al ser saturado en agua la ceniza de carbón reacciona químicamente, permitiendo alcanzar un CBR significativo.

¿cuál es el efecto de la adición de cenizas de carbón en el valor de la máxima densidad seca, óptimo contenido de humedad y valor de soporte de California de suelos de subrasante, Carabayllo, lima 2019?; En general, los resultados de laboratorio indicaron que el suelo de fundación sería sobre arena arcillosa (SC), según la clasificación SUCS, con un contenido de humedad de 9.1%, con máxima densidad seca de 1.908 y un CBR de 18.1%, A medida que se incorporó los porcentajes de cenizas al 20% y 25% el que mejor resultó para mejorar las propiedades mecánicas del suelo es el de 25%, pues aumento el óptimo contenido de humedad a 12.8%, aumento la máxima densidad seca a 2.004(gr/cm<sup>3</sup>), el valor de soporte california aumento a 26.6%. Los resultados coinciden en cuanto a la mejora de la estabilización del suelo.

### **5.3 Influencia de la combinación de aserrín y la ceniza de carbón en las propiedades mecánicas del suelo**

No existen investigaciones científicas que hagan referencia a la mezcla de aserrín con cenizas de carbón para la estabilización de la subrasante, por lo que se puede considerar esta investigación como inédita. Sin embargo, Sosco et al. (2019) en su artículo científico establecieron que estabilizaron la subrasante con una mezcla de 3% de aserrín, 3% de cal y 94% de tierra para pruebas a largo plazo. Por otro lado, Sadat et al. (2019) en su artículo científico establecieron que las cenizas de carbón y aglutinante CEM1, según los resultados de lixiviación y resistencia a la compresión, pudieron considerarse para la industria de la construcción para la estabilización de la subrasante.

Los resultados mostraron que la combinación de aserrín más ceniza de carbón



estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabaylo, Lima, 2019. Por medio de los ensayos de PROCTOR y CBR. A medida que se va adicionando las combinaciones de aserrín con las cenizas de carbón al terreno natural, este aumento el óptimo contenido de humedad, como también la máxima densidad seca y logro aumentar el CBR.

¿cuál es el efecto de la adición combinada de aserrín y ceniza en el valor de la máxima densidad seca, optimo contenido de humedad y valor de soporte de California de suelos de Subrasante, Carabaylo, Lima 2019? En general, los resultados de laboratorio indicaron que el suelo de fundación sería sobre arena arcillosa (SC), según la clasificación SUCS, con un contenido de humedad de 9.1%, con máxima densidad seca de 1.908 y un CBR de 18.1%, A medida que se incorporó las dos combinaciones de diferentes porcentajes de 4% aserrín con 15% cenizas y de 6%aserrin con 20% cenizas de carbón el que mejor resultado para mejorar las propiedades mecánicas del suelo es el de 6%aserrin y 20% cenizas, pues aumento el óptimo contenido de humedad a 14.4%, aumento la máxima densidad seca a 1.979 (gr/cm<sup>3</sup>) y el valor de soporte california a 31.7%.

## VI. CONCLUSIONES

Se resolvió que, la estabilización con aserrín y cenizas de carbón mejoran las propiedades mecánicas del terreno natural en la subrasante en el distrito de Carabaylo, Lima, 2019. De los ensayos de laboratorio realizados a la muestra de terreno natural, se determinó que el tipo de suelo es arena arcillosa (SC), con respecto a la clasificación granulométrica, la muestra expone 0% de gravas. 63% de arena y 37% de finos. Con un CBR al (0.1") tomado al 100% de la máxima densidad seca se encontró una subrasante de buena calidad con un CBR de 18.1%, al incorporar los porcentajes de aserrín y cenizas de carbón, se observó mejoras positivas, aumentando significativamente el CBR. Además, el presente trabajo de investigación concluye, que la combinación de aserrín y cenizas de carbón al 6% y 20% respectivamente estabilizan el suelo de la muestra en estudio, aumentando el CBR a un 31.7%, logrando así hacer que el material sea muy bueno.

Con respecto al primer objetivo específico, se determinó la estabilización con aserrín, cual es el efecto en las propiedades mecánicas del terreno natural en la subrasante, los resultados mostraron que en comparación al del terreno natural que cuenta con un CBR = 18.1 %, la adición de los porcentajes de aserrín de 6% y 8% hizo que el CBR disminuyera progresivamente, concluyendo así que el aserrín no estabiliza la subrasante del terreno en muestra.

Con respecto al segundo objetivo específico, se determinó la estabilización con cenizas de carbón, cual es el efecto en las propiedades mecánicas del terreno natural en la subrasante, los resultados mostraron que en comparación al del terreno natural que cuenta con un CBR = 18.1 %, la adición de los porcentajes de cenizas de carbón de 20% y 25% hizo que el CBR aumentara progresivamente, obteniendo el mejor CBR de 26.6% con la adición del 25% de cenizas de carbón concluyendo así que la ceniza de carbón estabiliza la subrasante del terreno en muestra.

## VII. RECOMENDACIONES

Como se demostró en esta investigación, la combinación de aserrín y cenizas de carbón en sus dos combinaciones de 4% y 15%, 6% y 20% respectivamente logro ser un buen estabilizador para el tipo de suelo encontrado, logrando que el suelo aumente su valor de soporte california en ambas adiciones a 29.7% y 31.7% respectivamente. Por lo que podemos recomendar que se utilice aserrín al 6% y cenizas al 20% para mejorar aumentar el CBR, se recomienda que se continúe con las investigaciones con diferentes suelos y en distintos porcentajes a partir del optimo encontrado en esta tesis..

Se recomienda no usar aserrín para estabilizar la subrasante, ya que con los porcentajes de 6% y 8% no mejoró las propiedades mecánicas del suelo, disminuyendo el CBR en un 8% y 10% progresivamente. Tal como se demostró en esta investigación.

Se recomienda el uso de ceniza de carbón para estabilizar la subrasante, ya que mejoró las propiedades mecánicas del suelo comparadas al original con las adiciones de 20% y 25% de cenizas de carbón, pero el que mejor resultó fue el de la adición de 25% ya que incremento el CBR en un 47%.

Se sugiere realizar investigaciones con diferentes tipos de suelo, para que se compare y se identifique el comportamiento de las cenizas de carbón en diferentes porcentajes.

## REFERENCIAS

ADEYANJU, Emmanuel, AUSTIN, Chukwueloka, AKINWUMI, Okekelsaac y BUSARI, Ayobami. Subgrade stabilization using rice husk ash-based geopolymer (GRHA) and cement kiln dust (CKD). *Case Studies in Construction Materials* Volume 13, December 2020, e00388. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00388>

AHMED, Amira, HASSAN, Asmaa y LOTFI, Hani. Stabilization of expansive subgrade soil using hydrated lime and dolomitic-limestone by-product (DLP). *Geotech Geol Eng* 38, 1605–1617 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10706-019-01115-5>.

AIKEN, Lewis. (2003). *Tests psicológicos y evaluación*. México: Pearson Educación.

ALMEIDA, Vinicio e HIDALGO, Deivyz. Análisis comparativo de los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, aplicado a suelos arcillosos de sub-rasante. [Tesis de título profesional]. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2016, 193 pp.

APOLINAREZ, Alex. Estabilización de la Sub-Rasante con la Incorporación de Ceniza Vegetal, Jauja. [Tesis de título profesional]. Universidad Peruana Los Andes. Huancayo, Perú, 2018, 161 pp.

AZCONA, Maximiliano, MANZINI, Fernando y DORATI, Javier. (2013). Precisiones metodológicas sobre la unidad de análisis y la unidad de observación. Aplicación a la investigación en psicología. En: Cuarto Congreso Internacional de Investigación de la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional de La Plata, Instituto de Investigaciones en Psicología (IniPsi), Facultad de Psicología, Universidad Nacional de La Plata. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/45512/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/45512/Documento_completo.pdf?sequence=1).

BERNAL, César. (2010). *Metodología de la Investigación*. Administración, economía, humanidades y ciencias sociales. 3ra ed. 320 p. Prentice Hall. México. Recuperado

<http://eva.sepyc.gob.mx:8383/greenstone3/sites/localsite/collect/ciencia1/index/asoc/HASHe5b1.dir/11050004.pdf>.

BOSCO, John, RETNO, Sri Prabandiyani y HARIO, Bagus. The Effect of Curing Time on the Engineering Properties of Sawdust and Lime Stabilized Expansive Soils. *Advances in Engineering Research. Proceedings of the 2nd International Symposium on Transportation Studies in Developing Countries (ISTSDC 2019)*. Available Online 25 February 2020. <https://doi.org/10.2991/aer.k.200220.033>.

CAÑAR, Edwin. (2017). Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón (tesis de título profesional). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 167 pp.

CAJALEON, Darwin. Estabilización de suelos arcillosos agregando cenizas de cáscaras de arroz para la subrasante en el km+ 17 Pimpingos, Choros. [Tesis de título profesional]. Universidad César Vallejo, Lima, Perú. 2018, 125 pp.

CLAVERÍA, Pía, TRIANA, Daniel y VARON, Yenny. Caracterización del comportamiento geotécnico de los suelos de origen volcánico estabilizado con ceniza de arroz y bagazo de caña como material para subrasante. [Tesis de título profesional]. Universidad Cooperativa de Colombia. Ibagué, 2018, 17 pp.

CONTRERAS, Denis. Así quedó la carrera 38. *El Heraldo* [en línea], [19 de noviembre de 2018]. [Consulta: 31 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.elheraldo.co/barranquilla/asi-quedo-la-carrera-38-567840>.

DAY, R. W. *Soil Testing manual Procedures, Classification Data and Sampling Practices*. McGraw-Hill Inc., New York, 2001.

DELIZ, Rosa. Estabilización de la subrasante de carreteras empleando escorias de acería. [Tesis de título profesional]. Universidad de Holguín Sede —Oscar Lucero Moyall, Cuba. 2017, 70 pp.

DÍAZ, Lidia. (2011). La observación. México: Facultad de Psicología, UNAM.

DIRPAL, S. Evaluation of coal bottom ash and residual soil mixtures as engineered fills [Thesis], University of Mauritius, 2013.

EDEH, J. E.. Evaluation of sawdust ash-stabilized lateritic soil as highway pavement material. Journal of Material in Civil Engineering, ASCE, 367-373. 2014.

EJU. Bs 13 millones al basurero. Demolerán puente por —colapso totalll; exalcalde Castellanos dio la obra sin licitación. Eju.tv. [en línea], [24 de octubre de 2015]. [Consulta: 1 junio 2020]. Disponible en: <http://eju.tv/2015/10/bs-13-millones-al-basurero-demoleran-puente-por-colapso-total-exalcalde-castellanos-dio-la-obra-sin-licitacion/>.

ESPINOZA, Eleonora. Métodos y técnicas de recolección de la información. Tegucigalpa: Facultad de Ciencias Médicas (FCM), Facultad de Ciencias Médicas (UIC FCM) Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH); 2019.

FATTAH, M.Y., JONI, H.H. y AL-DULAIMY, A.S., 2016. Compaction and Collapse Characteristics of Dune Sand Stabilized with Lime-Silica Fume Mix. Earth Sciences Research Journal [en línea], vol. 20, no. 2, pp. 1-8. [Consulta: 6 junio 2020]. ISSN 1794-6190. DOI 10.15446/esrj.v20n2.50724. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1794-61902016000200010&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1794-61902016000200010&lng=en&nrm=iso&tlng=en).

GRAY, D. y LIN, Y. Properties of compacted fly ash, II ASCE Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, vol. 98, no. 6, pp. 361–381, 1972.

HERNÁNDEZ, Josué, MEJÍA, David y ZELAYA, César. (2016). Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador (tesis de título profesional). Universidad de El Salvador, San Miguel, El Salvador.

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. (2014). Metodología de la investigación. México: Mcgraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.

HERRERA, E. ¿Cómo promover la innovación tecnológica en el campo? Economía Naranja Rural y Agrotech. Razón Pública [en línea], [15 de julio de 2019]. [Consulta: 31 mayo 2020]. Disponible en: <https://razonpublica.com/como-promover-la-innovacion-tecnologica-en-el-campo-economia-naranja-rural-y-agrotech/>.

IDROGO, Stewart. Propiedades mecánicas del adobe compactado tradicional y el adobe compactado con ceniza de biomasa arbórea. [Tesis de título profesional]. Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. 108 pp.

KHODABACUS, R. The effect of coal bottom ash on soil properties [Ph.D. thesis], University of Mauritius, 2012.

LITTLE, D. y NAIR, S. Report to Support the Development of Stabilization of Sulfate Rich Subgrade Soils and To Support the Revisions of AASHTO Test Method T-290. NCHRP 20-07, 2008.

MARTOS, Fernando, BERMEJO, Jesús y MUÑOZ, Álvaro. Auxiliares administrativos de corporaciones locales del país vasco. Temario Ebook. Sevilla: Editorial Mad, 2005.

MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS. (2015). Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras. Lima; 110 pp.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. (2014). Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos. Lima; 302 pp.

MTESRT, Ministry of Tertiary Education Scientific Research & Technology. Status Report on Research on Coal Ash Management in Mauritius, 2010.

MUKIZA, Emile, ZHANG, Lingling, LIU, Xiaoming y ZHANG, Na. Utilization of red mud in road base and subgrade materials: A review. Resources, Conservation and Recycling Volume 141, February 2019, Pages 187-199.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.031>.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. 2009. Recommended Practice for Stabilization of Subgrade Soils and Base Materials. Washington,DC: The National Academies Press.  
<https://doi.org/10.17226/22999>.



ODA: (1993). A guide to the structural design of bitumensurfaced roads in tropical and sub-tropical. London: Overseas Development Administration.

OTZEN, Tamara y MANTEROLA, Carlos. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *Int. J. Morphol.*, 35(1):227-232.

PÉREZ COLLANTES, C.A., 2014. Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada.

PÉREZ, Gabriel, BUENAVENTURA, Cristian y OLARTE, Alejandro.O., 2016. Estabilización de un Suelo Arcilloso mediante el uso de Ceniza de Cuesco de Palma Africana y cal. *ISRM 2nd International Specialized Conference on Soft Rocks* [en línea]. S.l.: International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering, [Consulta: 6 junio 2020]. ISBN 978-958-98770-7-4. Disponible en: <https://www.onepetro.org/conference-paper/ISRM-ICSR-2016-093>.

PHANIKUMAR, B. R., RAJU, Jagapathi y RAJU, Ramanjaneya. Silica fume stabilization of an expansive clay subgrade and the effect of silica fume-stabilised soil cushion on its CBR, *Geomechanics and Geoengineering*, 15:1, 64-77, 2020. DOI: 10.1080/17486025.2019.1620348.

QUISPE, Renato. Estudio experimental y numérico del comportamiento mecánico de una arcilla mejorada con métodos tradicionales y ceniza de madera [Tesis de título profesional]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, 2019, 101 pp.

REDACCIÓN. Ministro de Obras Públicas supervisa construcción de tramo de Circunvalación de Santo Domingo. *Periódico El Caribe* [en línea], [30 de diciembre de 2018]. [Consulta: 31 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.elcaribe.com.do/2018/12/30/ministro-de-obras-publicas-supervisa-construccion-de-tramo-de-circunvalacion-de-santo-domingo/>.

RIFA'I, A, YASUFUKU, N., OMINE, K. y TSUJI, K. Experimental study of coal ash utilisation for road application on soft soil. In *Proceedings of the International Joint Symposium on Geodisaster Prevention and Geoenvironment*, Fukuoka, Japan, September 2009.

ROJAS, Leonardo. (2015). Fabricación y evaluación del desempeño de quince ladrillos refractarios elaborados con ceniza volante producto de la combustión del carbón en las calderas de la Central Termozipa a diferentes temperaturas, de acuerdo a la norma Astm C 113 (standard test method for reheat change of refractory brick) (tesis de título profesional). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

SADAT, Sajedah, HASHEMI, Ghazizadeh, MAHMUD, Hilmi, GHUAN, Tan Chee, CHIN, Ang Bee, KUENZEL, Carsten y RANJBAR, Navid. Safe disposal of coal bottom ash by solidification and stabilization techniques. *Construction and Building Materials*, Volume 197, 10 February 2019, Pages 705-715. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.123>.

SÁNCHEZ, Fabio. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: consensos y disensos. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 13(1), 102-122. doi: <https://doi.org/10.19083/ridu.2019.644>.

SEALS, R., MOULTON, L. y RUTH, B. Bottom ash: an engineering material. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, vol. 98, no. 4, pp. 311– 325, 1972.

SEENUNDUN, D. Evaluation of power plant wastes in engineered fills [M.S. thesis], University of Mauritius, 2013.

SERRET, Nurian, GIRALT, Giselle y QUINTERO, Mairet. Caracterización de aserrín de diferentes maderas. *Tecnología Química*, vol. XXXVI, núm. 3, 2016. [Fecha de consulta: 25 de enero de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445546669012.pdf>. ISSN: 2224-6185.

SIDDIQUE, R. Utilization of wood ash in concrete manufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*, 27-33.2012.

TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Pavement Design Guide. <http://online manuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/index.htm>, March 2008.

TRAMA VIAL. Enripiaron un camino que une Tala con Nogoyá. Uno Entre Rios [en línea], [16 de noviembre de 2019]. [Consulta: 31 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.unoentrierios.com.ar/la-provincia/enripiaron-un-camino-que-une-tala-nogoya-n2543197.html>.

VÁSQUEZ, Alexander. Capacidad de soporte al estabilizar el suelo de la Vía Cascajal con adición de carbón y cal a nivel de subrasante. [Tesis de título profesional]. Universidad San Pedro. Chimbote, Perú, 2018, 122 pp.

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables

### MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTOS
X1: Aserrín	Uno de los residuos forestales principales que consiste en un conjunto de partículas o de polvillo desprendido de la madera al haber sido aserrada; contiene además partículas minúsculas de madera producidas durante el proceso y manejo del aserrado, en donde también se genera la viruta, el cual es un fragmento de residual material con forma de lámina espiral o curvada (Serret et al., 2016).	El aserrín se mide a través de (a) los parámetros establecidos para una adecuada dosificación en la estabilización de la subrasante.	Dosificación	6% 8%	Balanza
X2: Ceniza de carbón	Residuo inorgánico que resulta de la incineración del material y se encuentran compuestas de originales fases inorgánicas y fases nuevas generadas tanto de materia inorgánica como de materia orgánica del carbón. (Rojas, 2015).	Las cenizas de carbón se miden a través de (a) los parámetros establecidos para una adecuada dosificación en la estabilización de la subrasante.		20% 25%	
Y: Estabilización de la subrasante	Proceso que se realiza a fin de que los suelos naturales se encuentren sometidos a cierta manipulación o cierto tratamiento a fin que se pueda aprovechar sus cualidades mejores, mediante la obtención de una capa de asiento firme, durable y estable, con una capacidad que soporte efectos del tránsito y más severas condiciones de clima y, por ende, geotécnicamente asegure el comportamiento de la explanada (Hernández, Mejía y Zelaya, 2016).	La estabilización de la subrasante se mide a través de: (a) Porcentaje de CBR obtenido en la prueba.	Propiedades	Densidad Máxima Seca Optimo Contenido de Humedad  Capacidad de soporte California	Ensayo Proctor Modificado  Ensayo CBR

## **Anexo 2. Instrumento de recolección de datos**

### **Ficha técnica:**

Nombre: Lista de Verificación con Pruebas de Hipótesis y Baremo de Resultados para Estabilización de la Subrasante

Autor: Marcos Walter Acosta Montedoro, Ingeniero, Magíster, con Doctorado en Ciencias de la Educación, Investigador Científico, Experto en creación, diseño y adaptación de instrumento de recojo de información científica, Catedrático y Expositor

Año: 2020

Procedencia: (a) Ministerio de Economía y Finanzas. (2015). Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras; y (b) Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos.

Número de ítems: 4 ítems

Tiempo de aplicación: El establecido por el laboratorio para la emisión de su informe técnico

Tipo de escala: Dicotómica

División: La variable tiene 1 dimensión (a) Porcentaje de CBR obtenido en la prueba.

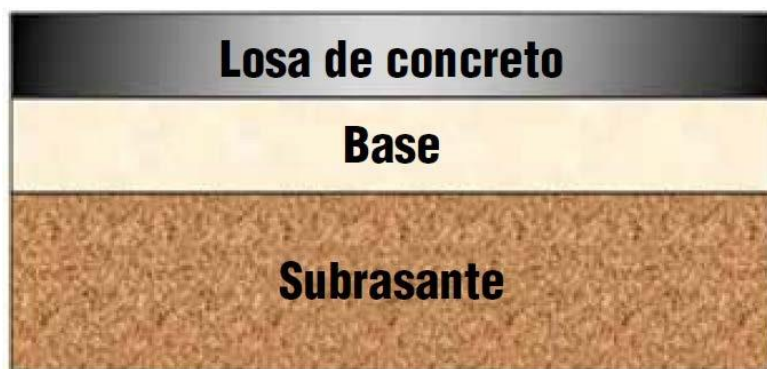
Validación: La validación se dio de acuerdo al criterio de juicio de expertos.

Población objetivo: Calle Santa Úrsula Mz. R Lt. 7 del Asentamiento Humano —Milagros II, del distrito de Carabayllo, en Lima, Perú, año 2019.

Objetivo: Medir la variable Estabilización de la Subrasante.

Calificación:

Según el Ministerio de Economía y Finanzas (2015), “la subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. La subrasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera, que se construye entre el terreno natural allanado o explanada y la estructura del pavimento” (p. 12); la base es una “capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una subbase o de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento” (p. 12); el pavimento es una “estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por capa de rodadura, base y subbase” (p. 13); “para que se apoye la estructura de la carretera no pavimentada o pavimentada, se requiere que los últimos 0.60 m. de la capa de suelos debajo del nivel de la subrasante tenga un CBR  $\geq$  6%. Si los suelos no cumplen esta condición por tratarse de suelos de mala calidad, CBR  $<$  6%, es decir, suelos blandos o muy compresibles o con materia orgánica o suelos pobres e inadecuados, el ingeniero responsable considerará la estabilización, mejora o refuerzo de los suelos, según la naturaleza de los mismos, efectuando estudios geotécnicos de estabilidad y de asentamientos” (pp. 29-30).



*Figura 22.* Estructura de un pavimento rígido

Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, p. 15.

## Escala de medición

(a) Para las hipótesis planteadas

Habiéndose planteado las siguientes hipótesis:

Hipótesis general:

H<sub>0</sub>: El aserrín y la ceniza de carbón no estabilizan la subrasante, en el distrito de Carabayllo, Lima, 2019.

H<sub>1</sub>: El aserrín y la ceniza de carbón estabilizan la subrasante, en el distrito de Carabayllo, Lima, 2019.

H<sub>0</sub>: CBR < 6%

H<sub>1</sub>: CBR ≥ 6%

Primera hipótesis específica

H<sub>0</sub>: El aserrín no estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabayllo, Lima, 2019

H<sub>1</sub>: El aserrín estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabayllo, Lima, 2019

H<sub>0</sub>: CBR < 6%

H<sub>1</sub>: CBR ≥ 6%

Segunda hipótesis específica

H<sub>0</sub>: La ceniza de carbón no estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabayllo, Lima, 2019.

H<sub>1</sub>: La ceniza de carbón estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabayllo, Lima, 2019.

H<sub>0</sub>: CBR < 6%



$H_1$ : CBR  $\geq$  6%

Baremo:

(b) Para los resultados

La ceniza de carbón estabiliza la subrasante:

Sí = CBR  $\geq$  6%

No = CBR < 6%.

**Lista de Verificación con Pruebas de Hipótesis y Baremo de Resultados para Estabilización de la Subrasante**

Marcar con una X el recuadro que corresponda a la respuesta, según el informe técnico obtenido

Ítems	CBR $\geq$ 6%	CBR < 6%.
Se estabilizó la subrasante	Sí	No
Hipótesis general: El aserrín y la ceniza de carbón estabilizan la subrasante, en el distrito de Carabaylo, Lima, 2019	Sí	No
Primera hipótesis específica: El aserrín estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabaylo, Lima, 2019	Sí	No
Segunda hipótesis específica: La ceniza de carbón estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabaylo, Lima, 2019	Sí	No



**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL ASERRÍN Y LA CENIZA DE CARBÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE, CARABAYLLO, LIMA 2019**

N°	DIMENSIONES/Ítems	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		Sugerencias
		Sí	No	Sí	No	Sí	No	
	<b>Variable 1: Estabilización de la subrasante</b>							
1	Se estabilizó la subrasante	x		x		x		
2	Hipótesis general: El aserrín y la ceniza de carbón estabilizan la subrasante, en el distrito de Carabaylo, Lima, 2019	x		x		x		
3	Primera hipótesis específica: El aserrín estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabaylo, Lima, 2019		x		x		x	
4	Segunda hipótesis específica: La ceniza de carbón estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabaylo, Lima, 2019	x		x		x		

Observaciones (precisar si hay suficiencia: Sí hay

Opinión de aplicabilidad:  Aplicable (x)  Aplicable después de corregir ( )  No aplicable ( )

Apellidos y nombres del juez validador: Ph Dr. Salazar Garcés Jenny DNI: 02794821

Especialidad del validador: Doctor, Docente de Gestión y Marketing en Doctorados y Maestrías, UNE

<sup>1</sup>Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

<sup>2</sup>Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.

<sup>3</sup>Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

Firma del Experto Informante



**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL ASERRÍN Y LA CENIZA DE CARBÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE, CARABAYLLO, LIMA 2019**

N°	DIMENSIONES/Ítems	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		Sugerencias
		Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	Se estabilizó la subrasante	x		x		x		
2	Hipótesis general: El aserrín y la ceniza de carbón estabilizan la subrasante, en el distrito de Carabaylo, Lima, 2019	x		x		x		
3	Primera hipótesis específica: El aserrín estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabaylo, Lima, 2019		x		x		x	
4	Segunda hipótesis específica: La ceniza de carbón estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabaylo, Lima, 2019	x		x		x		

Observaciones (precisar si hay suficiencia: Sí hay

Opinión de aplicabilidad:   Aplicable (x)   Aplicable después de corregir ( )   No aplicable ( )

Apellidos y nombres del juez validador: GONZALES LOLI, MARTHA ROCÍO DNI: 08196942

Especialidad del validador: Doctora, Docente de la Universidad Norbert Wiener y de la Universidad Federico Villarreal, Miembro de Jurado de Sustentación de Tesis

<sup>1</sup>Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

<sup>2</sup>Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.

<sup>3</sup>Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

Firma del Experto Informante



**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL ASERRÍN Y LA CENIZA DE CARBÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE, CARABAYLLO, LIMA 2019**

N°	DIMENSIONES/Ítems	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		Sugerencias
		Si	No	Si	No	Si	No	
1	Se estabilizó la subrasante	x		x		x		
2	Hipótesis general: El aserrín y la ceniza de carbón estabilizan la subrasante, en el distrito de Carabayllo, Lima, 2019	x		x		x		
3	Primera hipótesis específica: El aserrín estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabayllo, Lima, 2019		x		x		x	
4	Segunda hipótesis específica: La ceniza de carbón estabiliza la subrasante, en el distrito de Carabayllo, Lima, 2019	x		x		x		

Observaciones (precisar si hay suficiencia: Si hay

Opinión de aplicabilidad: Aplicable (x) Aplicable después de corregir ( ) No aplicable ( )

Apellidos y nombres del juez validador: Acosta Montedoro Marcos Walter DNI: 07008061

Especialidad del validador: Magíster, Docente Universitario de Maestría y Pregrado, Investigador Científico, Experto en Redacción de Documentos de Información Científica

<sup>1</sup>Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

<sup>2</sup>Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.

<sup>3</sup>Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.



Firma del Experto Informante

# Validación de instrumentos de recojo de información de laboratorio:

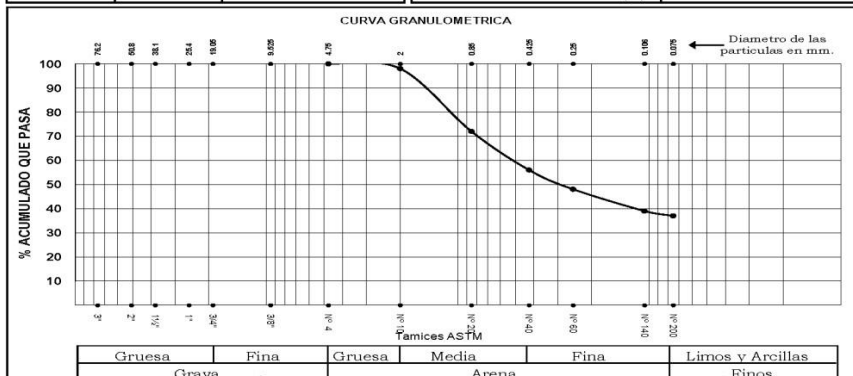
## 1. Granulometría



### LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS PC-LMS-105 - 19

**Solicitante :** GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO **Calicata :** C-1  
**Proyecto :** Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019 **Muestra :** MAB  
**Ubicación :** Carabayllo - Lima **Profundidad :** 1.00 m.  
**Fecha :** Lima **28 de octubre de 2019**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D6913			LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM - D4318	
MALLA	ABERTURA mm.	% QUE PASA	Limite líquido (%)	26
3"	76.20		Limite plástico (%)	16
2"	50.80		Indice plástico (%)	10
1 1/2"	38.10		Limite de contracción (%)	-
1"	25.40		<b>Resultados: ASTM - D 2487 / D 3282</b>	
3/4"	19.05		<b>Coefficiente de:</b>	
3/8"	9.525		-Uniformidad	
Nº 4	4.750	100	-Curvatura	
Nº 10	2.000	98	<b>Material:</b>	
Nº 20	0.850	72	-Grava %	0
Nº 40	0.425	56	-Arena %	63
Nº 60	0.250	48	-Finos %	37
Nº 140	0.106	39	<b>Clasificación:</b>	
Nº 200	0.075	37	-AASHTO	A-4 (0)
			-SUCS	SC
			<b>Nombre de grupo:</b>	
			<b>CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D 2216</b>	
			Humedad natural (%)	3.9


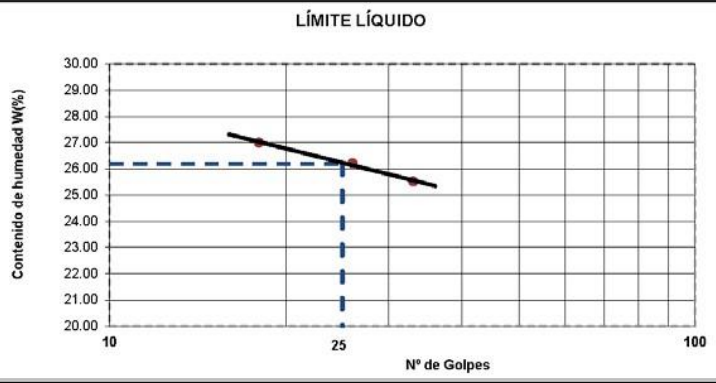




NOTA:

*[Signature]*  
 JOSE C. ESCALANTE FERNANDEZ  
 JEFE DE LABORATORIO  
 S.C.A.

*[Signature]*  
 WILLIAM ALDO SÉGOVIA HERRERA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 146028

## 2. Límites

	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS																															
DETERMINACION LIMITE LIQUIDO LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM D 4318																																
Solicitante:	GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO	Muestra N°: TERRENO NATURAL																														
Proyecto:	Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019	Tipo de Material: ARENA ARCILLOSA																														
Ubicación:	CARABAYLLO - LIMA	Muestreo: G.M.A.																														
F. Muestreo:																																
H. Muestreo:	11:00	F. Ensayo: 28/10/2019																														
LÍMITE LÍQUIDO																																
Nº DE ENSAYO	Nº de golpes	Nº de Recipiente	Peso recip. + muestra húmeda (g)	Peso recipiente + muestra seca (g)	Peso de Agua (g)	Peso recipiente (g)	Peso material seco (g)	% DE HUMEDAD																								
1	33	1	27.05	24.30	2.75	13.52	10.78	25.51																								
2	26	2	27.71	24.73	2.98	13.36	11.37	26.21																								
3	18	3	28.00	24.99	3.01	13.84	11.15	27.00																								
LÍMITE PLÁSTICO																																
Nº DE ENSAYO	Nº de golpes	Nº de Recipiente	Peso recip. + muestra húmeda (g)	Peso recipiente + muestra seca (g)	Peso de Agua (g)	Peso recipiente (g)	Peso material seco (g)	% DE HUMEDAD																								
1	---	4	32.43	31.33	1.10	24.32	7.01	15.69																								
2	---	5	33.79	32.59	1.20	24.88	7.71	15.56																								
LÍMITE LÍQUIDO																																
			<b>RESULTADOS</b>																													
			LÍMITE LÍQUIDO %:		26																											
			LÍMITE PLÁSTICO %:		16																											
			ÍNDICE DE PLASTICIDAD %:		10																											
			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>No. Golpes</th> <th>Factor K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>20</td><td>0.974</td></tr> <tr><td>21</td><td>0.979</td></tr> <tr><td>22</td><td>0.985</td></tr> <tr><td>23</td><td>0.990</td></tr> <tr><td>24</td><td>0.995</td></tr> <tr><td>25</td><td>1.000</td></tr> <tr><td>26</td><td>1.005</td></tr> <tr><td>27</td><td>1.009</td></tr> <tr><td>28</td><td>1.014</td></tr> <tr><td>29</td><td>1.018</td></tr> <tr><td>30</td><td>1.022</td></tr> </tbody> </table>						No. Golpes	Factor K	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
No. Golpes	Factor K																															
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																															
OBSERVACIONES:																																
 JOSE C. ESCALANTE FERNANDEZ JEFE DE LABORATORIO S.C.A.				 WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA INGENIERO CIVIL Reg CIP N° 146028																												

### 3. CBR Natural



#### ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (NORMA MTC E-115, ASTM D-1557, AASHTO T-180)

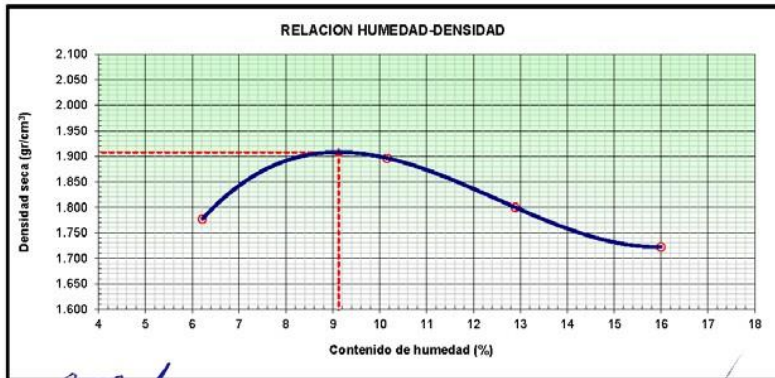
SOLICITANTE : GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO  
 PROYECTO : Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019  
 UBICACIÓN: CARABAYLLO - LIMA  
 MATERIAL : NATURAL Lado : - Acceso : -

#### DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-01 PROGRESIVA : -  
 MUESTRA : M-01 CLASF. (SUCS) : SC  
 PROF. (m) : 1.00 CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)

METODO DE COMPACTACION : A FECHA DE ENSAYO: 00/01/1900

Peso suelo + molde	gr	6135.0	6325.0	6271.0	6239.0
Peso molde	gr	4355.0	4355.0	4355.0	4355.0
Peso suelo húmedo compactado	gr	1780.0	1970.0	1916.0	1884.0
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	943.0	943.0	943.0	943.0
Peso volumétrico húmedo	gr	1.868	2.089	2.032	1.998
Recipiente N°		JC-28	PC-51	S-02	GEO-25
Peso del suelo húmedo+tara	gr	558.1	557.2	585.7	560.2
Peso del suelo seco + tara	gr	529.0	513.4	528.0	492.0
Tara	gr	61.2	82.2	80.5	65.6
Peso de agua	gr	29.1	43.8	57.7	68.2
Peso del suelo seco	gr	467.8	431.2	447.5	426.4
Contenido de agua	%	6.22	10.15	12.89	16.00
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.777	1.896	1.800	1.722
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )					1.908
Humedad óptima (%)					9.1



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE.

JOSE C. ESCALANTE FERNANDEZ  
 JEFE DE LABORATORIO  
 S.C.A.  
 TECNICO DE LABORATORIO

WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 148028  
 ING. JEFE DE LABORATORIO

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA MTC E-132, AASHTO T-193, ASTM D 1883)

SOLICITANTE : GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO

PROYECTO : Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabaylo, Lima 2019

UBICACIÓN: CARABAYLLO - LIMA

MATERIAL : NATURAL

Lado : -

Acceso: -

**DATOS DE LA MUESTRA**

CALICATA : C-01

PROGRESIVA : -

MUESTRA : M-001

CLASF. (SUCS) : SC

PROF. (m) : 1.00

CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)

**COMPACTACION**

Molde N°	1		2		3	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12428.0	12435.0	12239.0	12395.0	12020.0	12145.0
Peso de molde (g)	7973.00	7973.0	8071.00	8071.0	8070.00	8070.0
Peso del suelo húmedo (g)	4455.0	4462.0	4168.0	4324.0	3950.0	4075.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2131.00	2131.0	2112.00	2112.0	2124.00	2124.0
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.091	2.094	1.973	2.047	1.860	1.919
Tara (N°)						
Peso suelo húmedo + tara (g)	581.9	572.9	620.8	568.4	573.4	563.5
Peso suelo seco + tara (g)	536.1	525.9	573.3	510.2	530.4	506.6
Peso de tara (g)	64.47	65.22	59.35	55.78	78.61	70.11
Peso de agua (g)	45.8	47.0	47.5	58.2	43.0	56.9
Peso de suelo seco (g)	471.6	460.7	514.0	454.4	451.8	436.5
Contenido de humedad (%)	9.71	10.21	9.24	12.80	9.52	13.04
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.906	1.900	1.807	1.816	1.698	1.697

**EXPANSION**

FECHA		DIAL		EXPANSION	DIAL		EXPANSION	DIAL		EXPANSION
INICIO	FINAL	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	%	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	%	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	%
20/10/2019	24/10/2019	0.00	3.45	2.96	0.00	2.50	2.15	0.00	1.93	1.66

**PENETRACION**

PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		5	35.2			6	39.7			3	26.2		
1.270		14	75.8			11	62.3			5	35.2		
1.905		23	116.3			16	84.8			7	44.2		
2.540	70.5	33	161.3	270.0	17.9	20	102.8	132.2	8.8	9	53.2	59.6	4.0
3.180		64	300.8			34	165.8			14	75.8		
3.810		89	412.5			52	246.7			18	93.8		
5.080	105.7	114	524.3	606.2	26.8	60	282.8	302.9	13.4	21	107.3	114.8	5.1
7.620		142	649.1			71	331.9			24	120.8		
10.160													

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE.

JOSÉ C. ESCOBARTE FERNANDEZ  
JEFE DE LABORATORIO  
S.A.

TECNICO DE LABORATORIO

WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
INGENIERO CIVIL  
Reg CIP N° 146028

ING. JEFE DE LABORATORIO

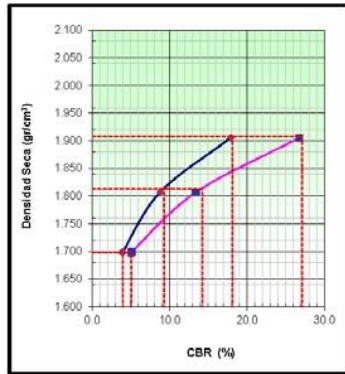


**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA MTC E-132, AASHTO T-193, ASTM D 1883)

SOLICITANTE : GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO  
 PROYECTO : Estudio del comportamiento del aserrin y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019  
 MATERIAL : CARABAYLLO - LIMA  
 UBICACION : NATURAL Lado : - Acceso : -

**DATOS DE LA MUESTRA**

CALICATA : C-01 PROGRESIVA : -  
 MUESTRA : M-001 CLASF. (SUCS) : SC  
 PROFUNDIDAD : 1.00 CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)



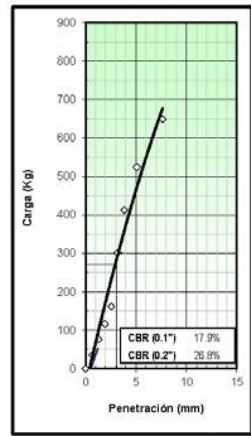
METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557  
 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm<sup>3</sup>) : 1.908  
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 9.1  
 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm<sup>3</sup>) : 1.813

CBR al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	18.1	0.2":	27.2
CBR al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	9.3	0.2":	14.2

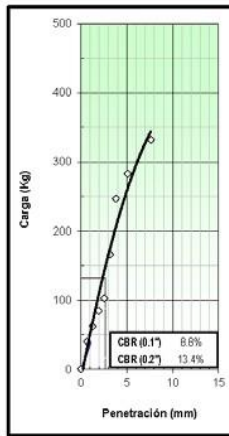
RESULTADOS:  
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 27.2 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 14.2 (%)

OBSERVACIONES:

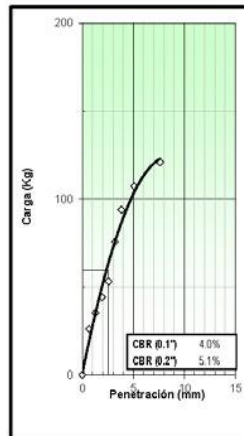
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE

  
 JOSÉ C. ESPINANTE FERNANDEZ  
 JEFE DE LABORATORIO  
 S.C.A.  
 TECNICO DE LABORATORIO

  
 WILLIAM ALBO SEGOVIA HERRERA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg CIP N° 146028  
 ING. JEFE DE LABORATORIO

## 4. CBR 6% Aserrín



### ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (NORMA MTC E-115, ASTM D-1557, AASHTO T-180)

**SOLICITANTE :** GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO  
**PROYECTO :** Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019  
**UBICACIÓN:** CARABAYLLO - LIMA  
**MATERIAL :** 6% aserrín      Lado : -      Acceso : -

#### DATOS DE LA MUESTRA

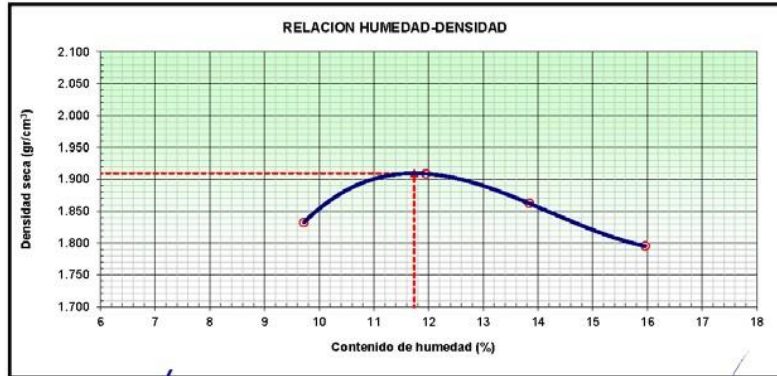
**CALICATA :** C-01      **PROGRESIVA :** -  
**MUESTRA :** M-01      **CLASF. (SUCS) :** SC  
**PROF. (m) :** 1.00      **CLASF. (AASHTO) :** A-4 (0)

**METODO DE COMPACTACION :** A

**FECHA DE ENSAYO:** 18/10/2019


Peso suelo + molde	gr	6250.0	6370.0	6354.0	6318.0
Peso molde	gr	4355.0	4355.0	4355.0	4355.0
Peso suelo húmedo compactado	gr	1895.0	2015.0	1999.0	1963.0
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	943.0	943.0	943.0	943.0
Peso volumétrico húmedo	gr	2.010	2.137	2.120	2.082
Recipiente N°		JC-25	JC-02	JC-98	S-11
Peso del suelo húmedo+tara	gr	517.2	445.8	455.7	420.1
Peso del suelo seco + tara	gr	477.2	404.4	408.1	373.3
Tara	gr	65.3	58.2	64.1	80.0
Peso de agua	gr	40.0	41.4	47.6	46.8
Peso del suelo seco	gr	411.9	346.2	344.0	293.3
Contenido de agua	%	9.71	11.95	13.84	15.96
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.832	1.909	1.862	1.795

**Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)**      1.909  
**Humedad óptima (%)**      11.7



OBSERVACION: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE.

  
 JOSÉ C. ESCOBAR FERNANDEZ  
 JEFE DE LABORATORIO  
 S.C.A.  
**TECNICO DE LABORATORIO**

  
 WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. EIP N° 146028  
**ING. JEFE DE LABORATORIO**

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
(NORMA MTC E-132, AASHTO T-193, ASTM D 1883)

SOLICITANTE : GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO

PROYECTO : Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019  
UBICACIÓN : CARABAYLLO - LIMA  
MATERIAL : 6% acerrín Lado : - Acceso : -

**DATOS DE LA MUESTRA**

CALICATA : C-01 PROGRESIVA : -  
MUESTRA : M-001 CLASF. (SUCS) : SC  
PROF. (m) : 1.00 CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)

**COMPACTACION**

Molde N°	1		2		3	
Capas N°	6		6		6	
Golpes por capa N°	66		26		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12850.0	12898.0	12642.0	12705.0	12268.0	12350.0
Peso de molde (g)	8323.00	8323.0	8369.00	8369.0	8362.00	8362.0
Peso del suelo húmedo (g)	4527.0	4575.0	4273.0	4336.0	3926.0	3988.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2138.30	2138.3	2145.60	2145.6	2113.90	2113.9
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.117	2.140	1.992	2.021	1.857	1.887
Tara (N°)						
Peso suelo húmedo + tara (g)	502.5	510.2	510.1	350.2	422.0	421.2
Peso suelo seco + tara (g)	460.0	460.2	467.4	318.1	385.2	378.9
Peso de tara (g)	90.63	72.10	93.49	65.80	66.72	55.90
Peso de agua (g)	42.5	50.0	42.7	32.1	36.8	42.3
Peso de suelo seco (g)	369.4	388.1	373.9	252.3	318.5	323.0
Contenido de humedad (%)	11.51	12.89	11.43	12.72	11.55	13.10
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.899	1.895	1.787	1.793	1.665	1.668

**EXPANSION**

FECHA		DIAL			EXPANSION	DIAL			EXPANSION	DIAL			EXPANSION
INICIO	FINAL	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	(mm)	%	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	(mm)	%	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	(mm)	%
20/10/2019	24/10/2019	0.96	4.66		3.18	0.00	2.93		2.52	0.00	2.95		2.53

**PENETRACION**

PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		6	39.7			5	35.2			3	26.2		
1.270		14	75.8			11	62.3			5	35.2		
1.905		25	125.3			19	98.3			11	62.3		
2.540	70.5	37	179.3	244.3	16.2	28	138.8	184.1	12.2	14	75.8	88.5	5.9
3.180		81	378.7			60	282.6			24	120.8		
3.810		114	524.3			83	385.7			33	161.3		
5.080	105.7	141	644.6	660.0	29.2	102	470.7	488.3	21.6	40	192.8	202.0	8.9
7.620		161	733.6			119	546.6			46	219.8		
10.160													

OBSERVACION: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE.

JOSE C. ESCALANTE FERNANDEZ  
JEFE DE LABORATORIO  
S.C.A.

TECNICO DE LABORATORIO

WILLIAM ALDO REGOVIA HERRERA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 146028

ING. JEFE DE LABORATORIO

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA MTC E-132, AASHTO T-193, ASTM D 1883)

SOLICITANTE : GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO

PROYECTO : Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019

MATERIAL : CARABAYLLO - LIMA

UBICACION : 6% acerrin

Lado : -

Acceso : -

**DATOS DE LA MUESTRA**

CALICATA : C-01

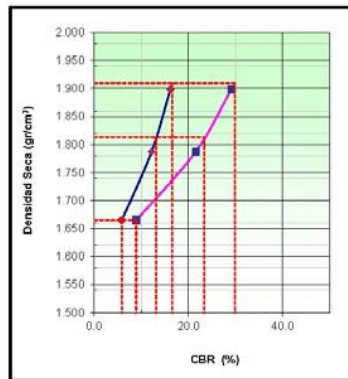
PROGRESIVA : -

MUESTRA : M-001

CLASF. (SUCS) : SC

PROFUNDIDAD : 1.00

CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)



METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557  
 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.909  
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 11.7  
 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.814

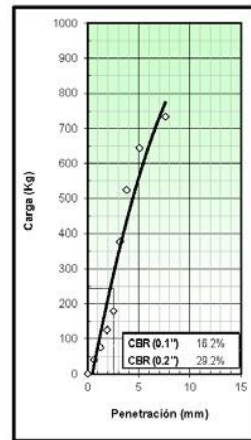
CBR al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	16.6	0.2"	29.9
CBR al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	13.2	0.2"	23.4

**RESULTADOS:**

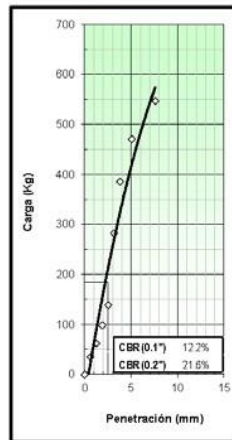
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 29.9 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 23.4 (%)

**OBSERVACIONES:**

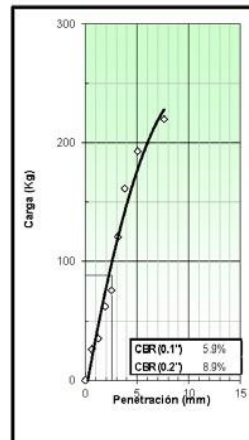
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 10 GOLPES



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE.

  
 JOSE ESCALANTE FERNANDEZ  
 JEFE DE LABORATORIO  
 S.C.A.  
 TECNICO DE LABORATORIO

  
 WILLIAM ALDO BECOVIA HERRERA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 149028  
 ING. JEFE DE LABORATORIO

## 5. CBR 8% Aserrín



### ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (NORMA MTC E-115, ASTM D-1557, AASHTO T-180)

SOLICITANTE : GABRIELA MEDINA ARAUCO  
 PROYECTO : TESIS  
 UBICACIÓN : CARABAYLLO - LIMA  
 MATERIAL : 8% aserrín Lado : - Acceso : -

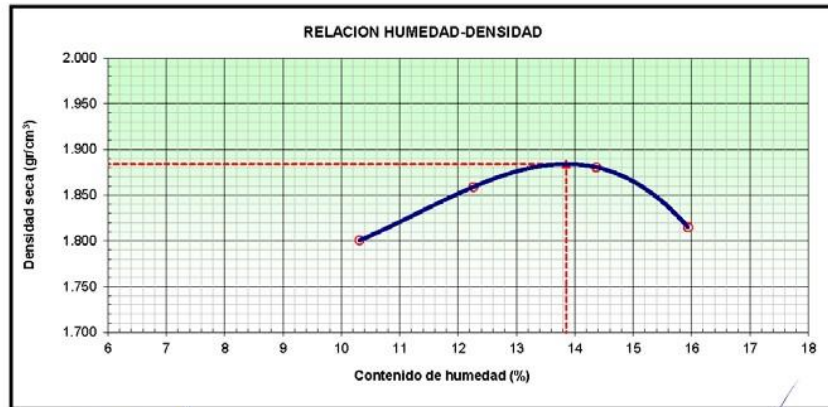
#### DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-01 PROGRESIVA : -  
 MUESTRA : M-01 CLASF. (SUCS) : SC  
 PROF. (m) : 1.00 CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)

METODO DE COMPACTACION : A FECHA DE ENSAYO: 18/10/2019

Peso suelo + molde	gr	6228.0	6323.0	6383.0	6339.0
Peso molde	gr	4355.0	4355.0	4355.0	4355.0
Peso suelo húmedo compactado	gr	1873.0	1968.0	2028.0	1984.0
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	943.0	943.0	943.0	943.0
Peso volumétrico húmedo	gr	1.986	2.087	2.151	2.104
Recipiente N°		BE-50	BE-52	BE-53	RQ-60
Peso del suelo húmedo+tara	gr	481.9	452.2	432.4	460.0
Peso del suelo seco + tara	gr	442.5	409.1	385.1	404.6
Tara	gr	59.9	57.8	55.7	57.1
Peso de agua	gr	39.5	43.1	47.3	55.4
Peso del suelo seco	gr	382.6	351.3	329.4	347.5
Contenido de agua	%	10.31	12.26	14.37	15.94
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.801	1.859	1.880	1.815

Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>) : 1.884  
 Humedad óptima (%) : 13.9



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE.

JOSE ESCOBARTE FERNANDEZ  
 JEFE DE LABORATORIO  
 R.C.A.  
**TECNICO DE LABORATORIO**

WILLIAMALDO SEGOVIA HERRERA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg CIP N° 146028  
**ING. JEFE DE LABORATORIO**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA MTC E-132, AASHTO T-193, ASTM D 1883)

SOLICITANTE : GABRIELA MEDINA ARAUCO  
 PROYECTO : TESIS  
 UBICACIÓN : CARABAYLLO - LIMA  
 MATERIAL : 8% aserrín Lado : - Acceso : -

**DATOS DE LA MUESTRA**

CALICATA : C-01 PROGRESIVA : -  
 MUESTRA : M-001 CLASF. (SUCS) : SC  
 PROF. (m) : 1.00 CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)

**COMPACTACION**

	1		2		3	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12855.0	12944.0	12740.0	12866.0	12324.0	12541.0
Peso de molde (g)	8288.00	8288.0	8415.00	8415.0	8285.00	8285.0
Peso del suelo húmedo (g)	4567.0	4656.0	4325.0	4451.0	4039.0	4256.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2138.30	2138.3	2145.60	2145.6	2113.90	2113.9
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.136	2.177	2.016	2.074	1.911	2.013
Tara (N°)						
Peso suelo húmedo + tara (g)	452.1	420.6	502.4	422.1	436.8	361.0
Peso suelo seco + tara (g)	408.6	374.1	453.2	371.3	394.7	317.8
Peso de tara (g)	85.20	79.80	90.50	75.80	88.20	93.10
Peso de agua (g)	43.5	46.5	49.2	50.8	42.1	43.2
Peso de suelo seco (g)	323.4	294.3	362.7	295.5	306.5	224.7
Contenido de humedad (%)	13.46	15.80	13.56	17.19	13.74	19.22
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.882	1.880	1.775	1.770	1.680	1.689

**EXPANSION**

FECHA		DIAL		EXPANSION	DIAL		EXPANSION	DIAL		EXPANSION
INICIO	FINAL	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	%	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	%	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	%
20/10/2019	24/10/2019	0.96	3.56	2.23	0.00	2.67	2.29	0.00	3.06	2.63

**PENETRACION**

PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		5	35.2			4	30.7			3	26.2		
1.270		12	66.8			10	57.7			6	39.7		
1.905		23	116.3			17	89.3			10	57.7		
2.540	70.5	31	152.3	242.7	16.1	23	116.3	172.9	11.5	14	75.8	83.9	5.6
3.180		70	327.5			48	228.7			26	129.8		
3.810		86	399.1			61	287.1			32	156.8		
5.080	105.7	101	466.2	569.1	25.2	77	358.8	412.2	18.2	38	183.8	192.2	8.5
7.620		140	640.2			100	461.7			44	210.8		
10.160													

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE.

  
 JOSÉ C. ESCALANTE FERNÁNDEZ  
 JEFE DE LABORATORIO  
 S.C.A.  
**TECNICO DE LABORATORIO**

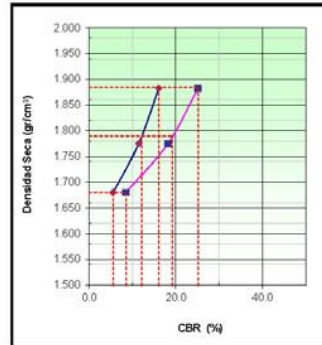
  
 WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 146028  
**ING. JEFE DE LABORATORIO**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA MTC E-132, AASHTO T-193, ASTM D 1883)

SOLICITANTE : GABRIELA MEDINA ARAUCO  
 PROYECTO : TESIS  
 MATERIAL : CARABAYLLO - LIMA  
 UBICACION : 8% aserin Lado : - Acceso : -

**DATOS DE LA MUESTRA**

CALICATA : C-01 PROGRESIVA : -  
 MUESTRA : M-001 CLASF. (SUCS) : SC  
 PROFUNDIDAD : 1.00 CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)

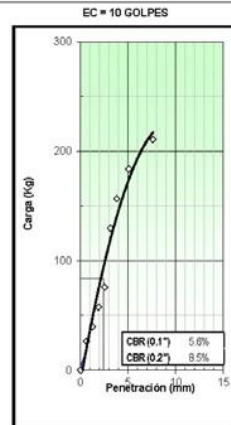
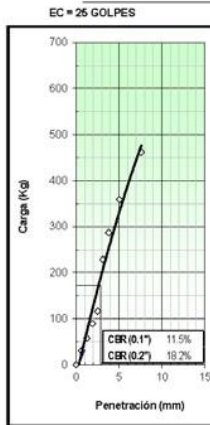
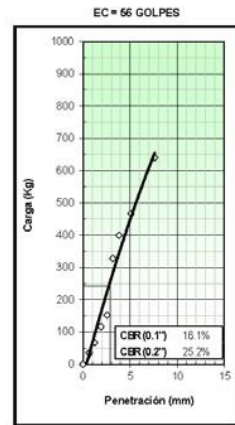


METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557  
 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.884  
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 13.9  
 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.790

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	16.2	0.2"	25.3
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	12.1	0.2"	19.2

RESULTADOS:  
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 25.3 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 19.2 (%)

OBSERVACIONES:



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE.

*Jose Escalante*  
 JOSÉ ESCALANTE FERNANDEZ  
 JEFE DE LABORATORIO  
 S.C.A.  
 TECNICO DE LABORATORIO

*William Aldo Segovia*  
 WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 146028  
 ING. JEFE DE LABORATORIO

## 6. CBR 25% Ceniza



### ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (NORMA MTC E-115, ASTM D-1557, AASHTO T-180)

**SOLICITANTE :** GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO  
**PROYECTO :** Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabaylo, Lima 2019  
**UBICACIÓN:** CARABAYLLO - LIMA  
**MATERIAL :** 25 % ceniza Lado : - Acceso : -

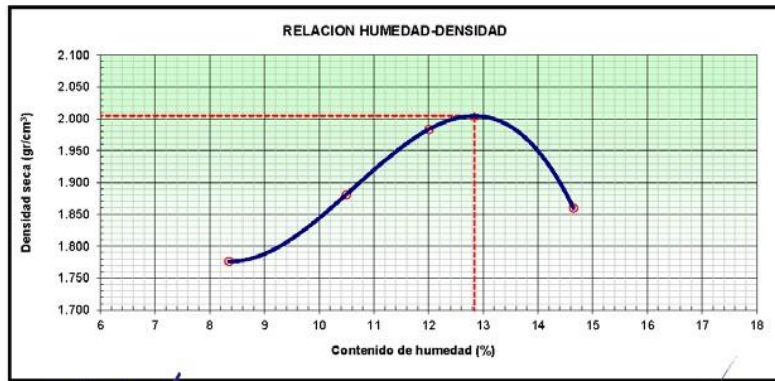
#### DATOS DE LA MUESTRA

**CALICATA :** C-01 **PROGRESIVA :** -  
**MUESTRA :** M-01 **CLASF. (SUCS) :** SC  
**PROF. (m) :** 1.00 **CLASF. (AASHTO) :** A-1 (0)

**METODO DE COMPACTACION :** A

**FECHA DE ENSAYO:** 24/10/2019

Peso suelo + molde	gr	6170.0	6315.0	6450.0	6366.0	
Peso molde	gr	4355.0	4355.0	4355.0	4355.0	
Peso suelo húmedo compactado	gr	1815.0	1960.0	2095.0	2011.0	
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	943.0	943.0	943.0	943.0	
Peso volumétrico húmedo	gr	1.925	2.078	2.222	2.133	
Recipiente N°		PC-39	PC-180	S-04	PC-60	
Peso del suelo húmedo+tara	gr	441.4	492.4	450.0	413.1	
Peso del suelo seco + tara	gr	412.0	450.0	408.0	367.4	
Tara	gr	59.6	46.0	58.2	55.7	
Peso de agua	gr	29.4	42.4	42.0	45.7	
Peso del suelo seco	gr	352.5	404.0	349.8	311.7	
Contenido de agua	%	8.35	10.49	12.01	14.65	
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.776	1.881	1.983	1.860	
<i>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</i>						2.004
<i>Humedad óptima (%)</i>						12.8



OBSERVACIONES: PRUEBAS DE LABORATORIO FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE.

*Jose Escalante Fernandez*  
JOSE C. ESCALANTE FERNANDEZ  
JEFE DE LABORATORIO  
S.C.A.  
**TECNICO DE LABORATORIO**

*William Aldo Segovia Herrera*  
WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 146326  
**ING. JEFE DE LABORATORIO**



RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
(NORMA MTC E-132, AASHTO T-193, ASTM D 1883)

SOLICITANTE : GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO  
 PROYECTO : Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019  
 UBICACIÓN: CARABAYLLO - LIMA  
 MATERIAL : 25 % ceniza Lado : - Acceso : -

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-01 PROGRESIVA : -  
 MUESTRA : M-001 CLASF. (SUCS) : SC  
 PROF. (m) : 1.00 CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)

COMPACTACION

	1		2		3	
	5		5		5	
Golpes por capa Nº	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13128.0	13177.0	13009.0	13093.0	12630.0	12817.0
Peso de molde (g)	8323.00	8323.0	8369.00	8369.0	8362.00	8362.0
Peso del suelo húmedo (g)	4805.0	4854.0	4640.0	4724.0	4268.0	4455.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2138.30	2138.3	2145.60	2145.6	2113.90	2113.9
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.247	2.270	2.163	2.202	2.019	2.107
Tara (Nº)						
Peso suelo húmedo + tara (g)	526.0	410.2	490.9	432.1	491.7	490.5
Peso suelo seco + tara (g)	476.7	370.1	437.9	388.3	446.3	417.6
Peso de tara (g)	65.59	65.80	80.15	71.40	77.81	60.20
Peso de agua (g)	49.3	40.1	43.0	43.8	45.4	62.9
Peso de suelo seco (g)	411.1	304.3	357.8	316.9	368.5	357.4
Contenido de humedad (%)	11.99	13.18	12.01	13.82	12.31	17.60
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.006	2.006	1.931	1.934	1.798	1.792

EXPANSION

FECHA		DIAL		EXPANSION	DIAL		EXPANSION	DIAL		EXPANSION
INICIO	FINAL	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	%	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	%	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	%
20/10/2019	24/10/2019	0.05	0.08	0.03	0.00	0.08	0.07	0.49	0.55	0.05

PENETRACION

PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE Nº						MOLDE Nº						MOLDE Nº					
		CARGA			CORRECCION			CARGA			CORRECCION			CARGA			CORRECCION		
		Dial (div)	kg	%	kg	%	Dial (div)	kg	%	kg	%	Dial (div)	kg	%	kg	%			
0.000		0	0			0	0			0	0			0	0				
0.635		25	125.3			15	80.3			9	48.7			15	80.3				
1.270		42	201.8			26	129.8			21	107.3			21	107.3				
1.905		66	309.5			42	201.8			33	161.3			33	161.3				
2.540	70.5	97	448.3	404.2	26.8	56	264.7	265.1	17.6	47	224.2			47	224.2				
3.180		109	501.9			70	327.5			60	282.6			60	282.6				
3.810		142	649.1			92	426.0			77	358.8			77	358.8				
5.080	105.7	163	742.5	843.8	37.3	102	470.7	511.6	22.6	91	421.5			91	421.5				
7.620		211	955.2			116	533.2												
10.160																			

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE.

JOSE O. ESCALANTE FERNANDEZ  
JEFE DE LABORATORIO  
S.C.A.

TÉCNICO DE LABORATORIO

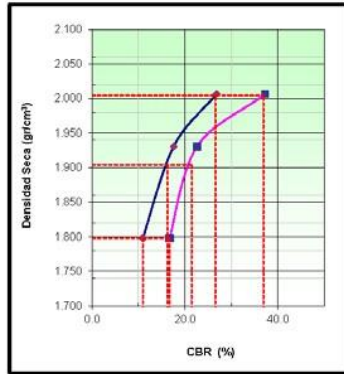
WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP Nº 146028

ING. JEFE DE LABORATORIO

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA MTC E-132, AASHTO T-193, ASTM D 1883)

SOLICITANTE : GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO  
 PROYECTO : Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019  
 MATERIAL : CARABAYLLO - LIMA  
 UBICACION : 25 % ceniza Lado : - Acceso : -

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA : C-01	PROGRESIVA : -
MUESTRA : M-001	CLASF. (SUCS) : SC
PROFUNDIDAD : 1.00	CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)

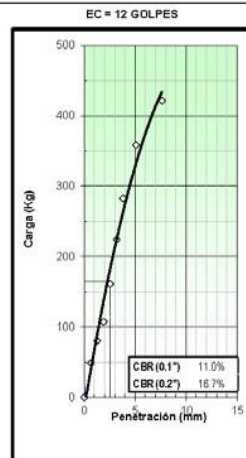
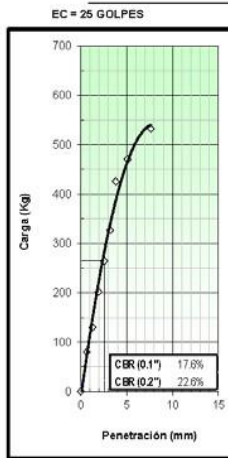
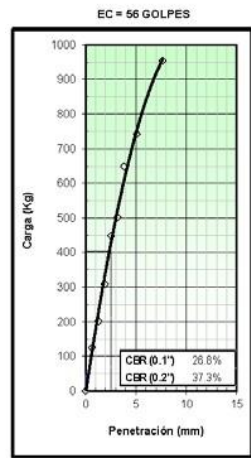


METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557  
 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm<sup>3</sup>) : 2.004  
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 12.8  
 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm<sup>3</sup>) : 1.904

CBR al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	25.6	0.2"	36.9
CBR al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	16.3	0.2"	21.4

RESULTADOS:  
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 36.9 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 21.4 (%)

OBSERVACIONES:



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE.

  
 JOSE ESCALANTE FERNANDEZ  
 JEFE DE LABORATORIO  
 S.C.A.  
 TECNICO DE LABORATORIO

  
 WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg CIP N° 146028  
 ING. JEFE DE LABORATORIO

## 7. CBR 20% Ceniza



### ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (NORMA MTC E-115, ASTM D-1557, AASHTO T-180)

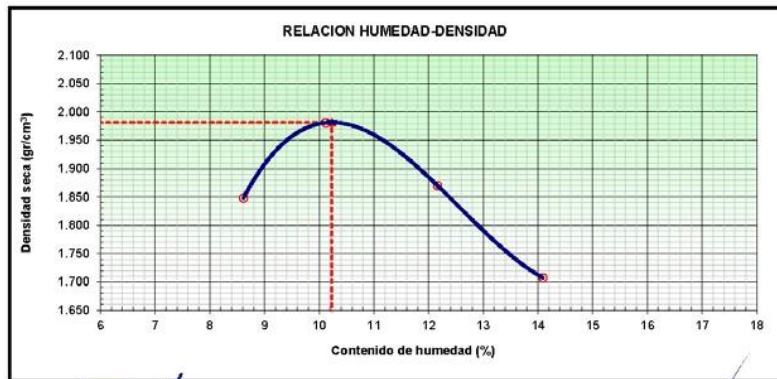
SOLICITANTE : GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO  
 PROYECTO : Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabaylo, Lima 2019  
 UBICACIÓN: CARABAYLLO - LIMA  
 MATERIAL : 20 % ceniza Lado : - Acceso : -

#### DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-01 PROGRESIVA : -  
 MUESTRA : M-01 CLASF. (SUCS) : SC  
 PROF. (m) : 1.00 CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)

METODO DE COMPACTACION : A FECHA DE ENSAYO: 24/10/2019

Peso suelo + molde	gr	6248.0	6412.0	6333.0	6192.0
Peso molde	gr	4355.0	4355.0	4355.0	4355.0
Peso suelo húmedo compactado	gr	1893.0	2057.0	1978.0	1837.0
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	943.0	943.0	943.0	943.0
Peso volumétrico húmedo	gr	2.007	2.181	2.098	1.948
Recipiente N°		PC-39	PC-180	S-04	PC-60
Peso del suelo húmedo+tara	gr	431.1	465.4	483.7	430.0
Peso del suelo seco + tara	gr	403.0	429.2	440.0	385.0
Tara	gr	76.6	72.2	80.5	65.6
Peso de agua	gr	28.1	36.1	43.7	45.0
Peso del suelo seco	gr	326.4	357.0	359.5	319.4
Contenido de agua	%	8.61	10.12	12.16	14.09
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.848	1.981	1.870	1.707
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )					1.981
Humedad óptima (%)					10.2



OBSERVACIONES: ASTM 2018A FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE

*José Escalante Fernández*  
 JOSÉ G. ESCALANTE FERNANDEZ  
 JEFE DE LABORATORIO  
 S.C.A.  
**TECNICO DE LABORATORIO**

*William Aldo Segovia Herrera*  
 WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 146028  
**ING. JEFE DE LABORATORIO**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA MTC E-132, AASHTO T-193, ASTM D 1883)

SOLICITANTE : GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO  
 PROYECTO : Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabaylo, Lima 2019  
 UBICACIÓN : CARABAYLLO - LIMA  
 MATERIAL : 20 % ceniza Lado : - Acceso : -

**DATOS DE LA MUESTRA**

CALICATA : C-01 PROGRESIVA : -  
 MUESTRA : M-001 CLASF. (SUCS) : SC  
 PROF. (m) : 1.00 CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)

**COMPACTACION**

	1		2		3	
	5		5		5	
Capas N°	56		26		12	
Golpes por capa N°	56		26		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12981.0	13117.0	12761.0	12895.0	12678.0	12831.0
Peso de molde (g)	8367.00	8367.0	8394.00	8394.0	8530.00	8530.0
Peso del suelo húmedo (g)	4614.0	4750.0	4367.0	4501.0	4148.0	4301.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2115.80	2115.8	2115.80	2115.8	2115.80	2115.8
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.181	2.245	2.064	2.127	1.960	2.033
Tara (N°)						
Peso suelo húmedo + tara (g)	460.3	385.2	427.3	410.5	475.6	520.3
Peso suelo seco + tara (g)	425.5	348.0	395.6	368.0	438.7	460.0
Peso de tara (g)	82.15	71.20	84.37	60.40	79.03	56.80
Peso de agua (g)	34.8	37.2	31.7	42.5	36.9	60.3
Peso de suelo seco (g)	343.4	276.8	311.2	307.6	359.7	403.2
Contenido de humedad (%)	10.15	13.44	10.20	13.82	10.28	14.96
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.980	1.979	1.873	1.869	1.778	1.768

**EXPANSION**

FECHA		DIAL		EXPANSION		DIAL		EXPANSION	
INICIO	FINAL	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	%	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	%	INICIAL (mm)	FINAL (mm)
20/10/2019	24/10/2019	0.42	0.53	0.1	0.00	0.27	0.2	0.0	0.1

**PENETRACION**

PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		21	107.3			11	62.3			6	39.7		
1.270		34	165.8			22	111.8			11	62.3		
1.905		60	282.6			38	174.8			18	93.8		
2.540	70.5	88	408.1	361.1	23.9	50	237.7	234.1	15.5	30	147.8	147.3	9.8
3.180		101	466.2			63	296.1			42	201.8		
3.810		125	573.3			80	372.3			55	260.2		
5.080	105.7	140	640.2	752.1	33.3	93	430.4	462.2	20.4	69	323.0	344.1	15.2
7.620		190	862.2			105	484.1			83	385.7		
10.160													

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE

*Jose C. Escalante Fernandez*  
 JOSE C. ESCALANTE FERNANDEZ  
 JEFE DE LABORATORIO  
 S.C.A.  
 TECNICO DE LABORATORIO

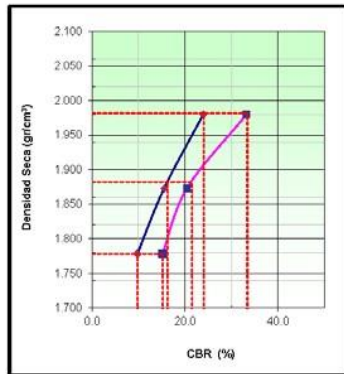
*William Aldo Segovia Herrera*  
 WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 146028  
 ING. JEFE DE LABORATORIO

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA MTC E-132, AASHTO T-193, ASTM D 1883)

SOLICITANTE : GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO  
 PROYECTO : Estudio del comportamiento del aserrin y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019  
 MATERIAL : CARABAYLLO - LIMA  
 UBICACION : 20 % ceniza Lado : - Acceso : -

**DATOS DE LA MUESTRA**

CALICATA : C-01 PROGRESIVA : -  
 MUESTRA : M-001 CLASF. (SUCS) : SC  
 PROFUNDIDAD : 1.00 CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)



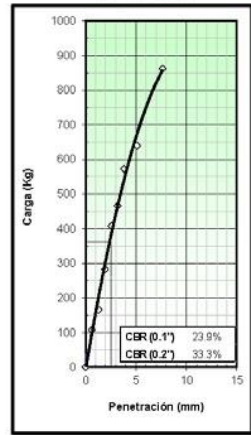
METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557  
 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.981  
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 10.2  
 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.882

CBR. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	24.1	0.2"	33.4
CBR. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	16.3	0.2"	21.6

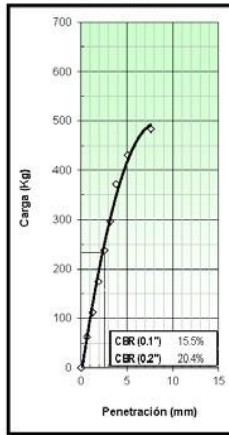
RESULTADOS:  
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 33.4 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 21.6 (%)

OBSERVACIONES:

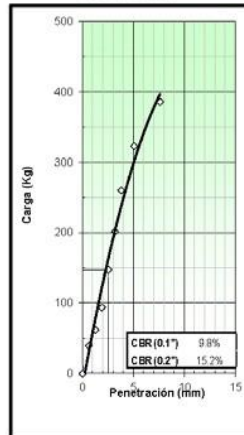
EC = 66 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 10 GOLPES



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE.

  
 JOSÉ C. ESCALANTE FERNANDEZ  
 S.C.A.  
 TECNICO DE LABORATORIO

  
 WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 146028  
 ING. JEFE DE LABORATORIO

## 8. CBR 15% Ceniza 4% Aserrín



### ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (NORMA MTC E-115, ASTM D-1557, AASHTO T-180)

**SOLICITANTE :** GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO

**PROYECTO :** Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019

**UBICACIÓN:** CARABAYLLO - LIMA

**MATERIAL :** 15% ceniza - 4% aserrín      Lado : -      Acceso : -

**DATOS DE LA MUESTRA**

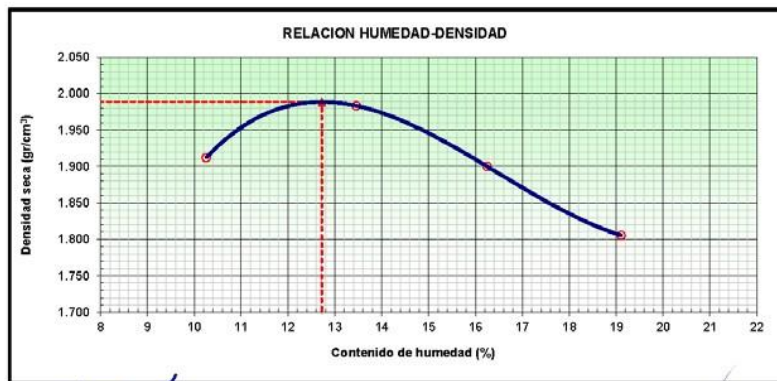
**CALICATA :** C-01      **PROGRESIVA :** -

**MUESTRA :** M-01      **CLASF. (SUCS) :** SC

**PROF. (m) :** 1.00      **CLASF. (AASHTO) :** A-4 (0)

**METODO DE COMPACTACION :** A      **FECHA DE ENSAYO:** 18/10/2019

Peso suelo + molde	gr	6343.0	6477.0	6438.0	6383.0	
Peso molde	gr	4355.0	4355.0	4355.0	4355.0	
Peso suelo húmedo compactado	gr	1988.0	2122.0	2083.0	2028.0	
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	943.0	943.0	943.0	943.0	
Peso volumétrico húmedo	gr	2.108	2.250	2.209	2.151	
Recipiente N°		PC-38	JC-25	JC-88	JC-02	
Peso del suelo húmedo+tara	gr	442.7	476.3	436.8	406.2	
Peso del suelo seco + tara	gr	406.7	427.5	384.7	350.4	
Tara	gr	55.7	65.3	64.1	58.2	
Peso de agua	gr	36.0	48.7	52.1	55.8	
Peso del suelo seco	gr	351.0	362.2	320.6	292.2	
Contenido de agua	%	10.25	13.46	16.25	19.11	
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.912	1.983	1.900	1.806	
<i>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</i>						1.989
<i>Humedad óptima (%)</i>						12.7



OBSERVACION: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE

JOSÉ ESCALANTE FERNÁNDEZ  
 JEFE DE LABORATORIO  
 S.C.A.  
**TECNICO DE LABORATORIO**

WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 146028  
**ING. JEFE DE LABORATORIO**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA MTC E-132, AASHTO T-193, ASTM D 1883)

SOLICITANTE : GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO  
 PROYECTO : Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019  
 UBICACIÓN : CARABAYLLO - LIMA  
 MATERIAL : 16% ceniza - 4% acerrín Lado : - Acceso : -

**DATOS DE LA MUESTRA**

CALICATA : C-01 PROGRESIVA : -  
 MUESTRA : M-001 CLASF. (SUCS) : SC  
 PROF. (m) : 1.00 CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)

**COMPACTACION**

Molde N°	1		2		3	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12729.0	12804.0	12565.0	12628.0	12342.0	12370.0
Peso de molde (g)	7973.00	7973.0	8071.00	8071.0	8070.00	8070.0
Peso del suelo húmedo (g)	4756.0	4831.0	4494.0	4557.0	4272.0	4300.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2131.02	2131.0	2112.10	2112.1	2124.30	2124.3
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.232	2.267	2.128	2.168	2.011	2.024
Tara (N°)						
Peso suelo húmedo + tara (g)	434.9	320.1	537.0	258.1	491.9	310.1
Peso suelo seco + tara (g)	395.0	288.6	483.3	233.3	444.5	282.0
Peso de tara (g)	80.04	71.20	79.78	65.40	84.29	82.40
Peso de agua (g)	39.9	31.5	53.7	24.8	47.4	28.1
Peso de suelo seco (g)	315.0	217.4	403.5	167.9	360.2	199.6
Contenido de humedad (%)	12.67	14.51	13.31	14.77	13.16	14.08
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.981	1.980	1.878	1.880	1.777	1.774

**EXPANSION**

FECHA		DIAL		EXPANSION	DIAL		EXPANSION	DIAL		EXPANSION
INICIO	FINAL	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	%	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	%	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	%
20/10/2019	24/10/2019	0.00	0.71	0.61	0.00	0.88	0.58	0.00	0.74	0.64


**PENETRACION**

PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		24	120.8			16	84.8			11	62.3		
1.270		48	228.7			31	152.3			18	93.8		
1.905		77	358.8			48	228.7			28	138.8		
2.540	70.5	99	457.3	438.2	29.1	72	336.4	307.6	20.4	49	233.2	238.9	15.8
3.180		117	537.7			89	412.5			67	314.0		
3.810		153	698.0			106	488.5			98	452.8		
5.080	105.7	174	791.3	889.1	39.3	128	586.7	667.8	29.5	113	519.8	549.8	24.3
7.620		218	986.1			169	769.1			130	595.6		
10.160													

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE

  
 JOSÉ C. ESCOBAR FERNANDEZ  
 JEFE DE LABORATORIO  
 S.A.

TÉCNICO DE LABORATORIO

  
 WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 146028

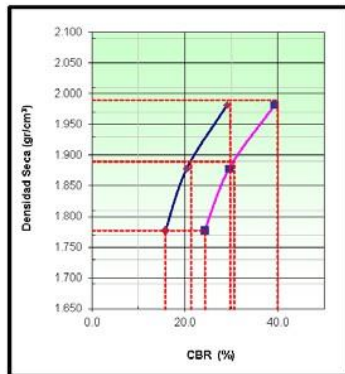
ING. JEFE DE LABORATORIO

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA MTC E-132, AASHTO T-193, ASTM D 1883)

SOLICITANTE : GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO  
 PROYECTO : Estudio del comportamiento del aserrin y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019  
 MATERIAL : CARABAYLLO - LIMA  
 UBICACION : 15% ceniza - 4% scerrin Lado : - Acceso : -

**DATOS DE LA MUESTRA**

CALICATA : C-01 PROGRESIVA : -  
 MUESTRA : M-001 CLASF. (SUCS) : SC  
 PROFUNDIDAD : 1.00 CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)

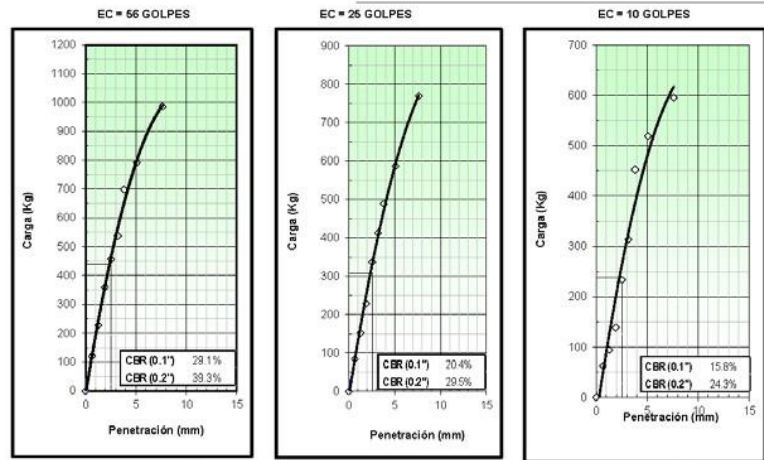


METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557  
 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.989  
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 12.7  
 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.889

CBR al 100% de M.D.S. (%)	0.1": 29.7	0.2": 40.0
CBR al 95% de M.D.S. (%)	0.1": 21.4	0.2": 30.6

**RESULTADOS:**  
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 40.0 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 30.6 (%)

**OBSERVACIONES:**



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE.

  
 JOSE CEVALANTE FERNANDEZ  
 JEFE DE LABORATORIO  
 S.C.A.  
 TECNICO DE LABORATORIO

  
 WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP-N° 146628  
 ING. JEFE DE LABORATORIO



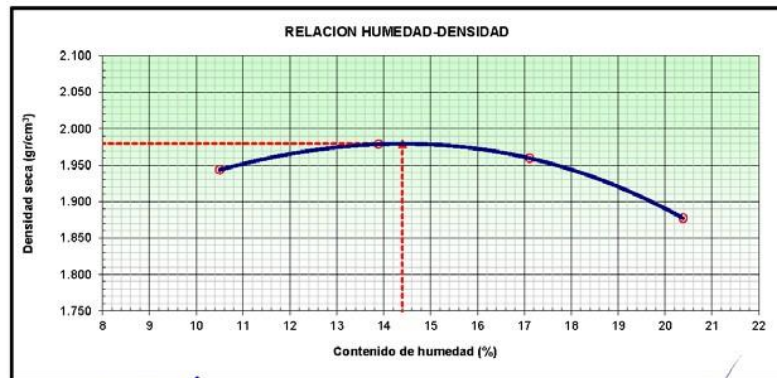
## 9. CBR 20% Ceniza 6% Aserrín



### ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (NORMA MTC E-115, ASTM D-1557, AASHTO T-180)

<b>SOLICITANTE :</b> GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO	
<b>PROYECTO :</b> Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019	
<b>UBICACIÓN:</b> CARABAYLLO - LIMA	
<b>MATERIAL :</b> 20% ceniza - 6% aserrín	<b>Acceso :</b> -
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	
<b>CALICATA :</b> C-01	<b>PROGRESIVA :</b> -
<b>MUESTRA :</b> M-01	<b>CLASF. (SUCS) :</b> SC
<b>PROF. (m) :</b> 1.00	<b>CLASF. (AASHTO) :</b> A-4 (0)

<b>METODO DE COMPACTACION :</b> A	<b>FECHA DE ENSAYO:</b> 18/10/2019				
Peso suelo + molde	gr	6380.0	6480.0	6519.0	6486.0
Peso molde	gr	4355.0	4355.0	4355.0	4355.0
Peso suelo húmedo compactado	gr	2025.0	2125.0	2164.0	2131.0
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	943.0	943.0	943.0	943.0
Peso volumétrico húmedo	gr	2.147	2.253	2.295	2.260
Recipiente N°		S-10	S-06	B-16	PC-173
Peso del suelo húmedo+tara	gr	457.8	443.0	518.9	485.9
Peso del suelo seco + tara	gr	421.9	396.8	455.8	416.9
Tara	gr	80.2	64.5	86.9	78.6
Peso de agua	gr	35.9	46.2	63.1	69.0
Peso del suelo seco	gr	341.7	332.4	368.9	338.3
Contenido de agua	%	10.50	13.89	17.11	20.39
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.943	1.979	1.960	1.877
<b>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</b>					1.979
<b>Humedad óptima (%)</b>					14.4



OBSERVACIONES: Las mediciones fueron proporcionadas e identificadas por el solicitante.

  
 JOSÉ C. ESCALANTE FERNÁNDEZ  
 JEFE DE LABORATORIO  
 TECNICO DE LABORATORIO

  
 WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. C.P. N° 146628  
 ING. JEFE DE LABORATORIO

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA MTC E-132, AASHTO T-193, ASTM D 1883)

SOLICITANTE : GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO

PROYECTO : Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019

UBICACIÓN : CARABAYLLO - LIMA

MATERIAL : 20% ceniza - 6% aserrín

Lado : -

Acceso : -

**DATOS DE LA MUESTRA**

CALICATA : C-01  
MUESTRA : M-001  
PROF. (m) : 1.00  
PROGRESIVA : -  
CLASF. (SUCS) : SC  
CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)

**COMPACTACION**

	1		2		3	
	5		5		5	
Capas por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12850.0	12898.0	12892.0	12899.0	12821.0	12916.0
Peso de molde (g)	8070.00	8070.0	8387.00	8387.0	8530.00	8530.0
Peso del suelo húmedo (g)	4780.0	4828.0	4525.0	4632.0	4291.0	4386.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2124.00	2124.0	2115.00	2115.0	2115.00	2115.0
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.250	2.273	2.139	2.190	2.029	2.074
Tara (N°)						
Peso suelo húmedo + tara (g)	450.2	250.1	480.5	301.7	307.8	362.1
Peso suelo seco + tara (g)	401.5	225.1	428.8	268.4	355.0	318.4
Peso de tara (g)	55.20	62.70	65.60	71.00	59.80	63.90
Peso de agua (g)	48.7	25.0	51.9	33.3	42.8	43.7
Peso de suelo seco (g)	346.3	162.4	363.0	197.4	295.2	254.5
Contenido de humedad (%)	14.07	15.39	14.30	16.87	14.50	17.17
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.973	1.970	1.872	1.874	1.772	1.770

**EXPANSION**

FECHA		DIAL		EXPANSION	DIAL		EXPANSION	DIAL		EXPANSION
INICIO	FINAL	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	%	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	%	INICIAL (mm)	FINAL (mm)	%
20/10/2019	24/10/2019	0.00	0.65	0.56	0.00	0.63	0.54	0.00	0.61	0.52

**PENETRACION**

PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N°						MOLDE N°						MOLDE N°							
		CARGA			CORRECCION			CARGA			CORRECCION			CARGA			CORRECCION				
		Dial (div)	kg	%	kg	%	%	Dial (div)	kg	%	kg	%	%	Dial (div)	kg	%	kg	%	%		
0.000		0	0				0	0				0	0				0	0			
0.635		21	107.3				15	80.3				10	57.7				10	57.7			
1.270		47	224.2				38	174.8				21	107.3				21	107.3			
1.905		90	417.0				52	246.7				33	161.3				33	161.3			
2.540	70.5	110	506.4	469.4	31.1		76	354.3	327.7	21.7		50	237.7	249.8	16.6		50	237.7	249.8	16.6	
3.180		128	586.7				99	452.8				69	323.0				69	323.0			
3.810		156	711.3				109	501.9				101	466.2				101	466.2			
5.080	105.7	174	791.3	902.8	39.9		132	604.5	697.3	30.8		114	524.3	561.3	24.8		114	524.3	561.3	24.8	
7.620		217	981.7				177	804.6				133	609.0				133	609.0			
10.180																					

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE

JOSE C. ESCALANTE BERNANDEZ  
JEFE DE LABORATORIO  
TECNICO DE LABORATORIO

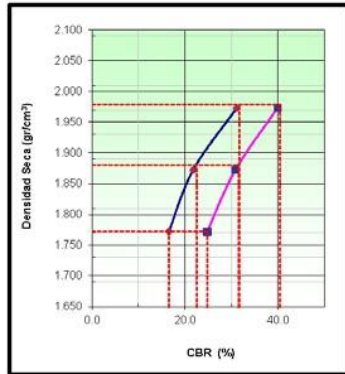
WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 146028  
ING. JEFE DE LABORATORIO

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA MTC E-132, AASHTO T-193, ASTM D 1883)

SOLICITANTE : GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO  
 PROYECTO : Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019  
 MATERIAL: CARABAYLLO - LIMA  
 UBICACION : 20% ceniza - 6% acerrin Lado : - Acceso : -

**DATOS DE LA MUESTRA**

CALICATA : C-01 PROGRESIVA : -  
 MUESTRA : M-001 CLASF. (SUCS) : SC  
 PROFUNDIDAD : 1.00 CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)

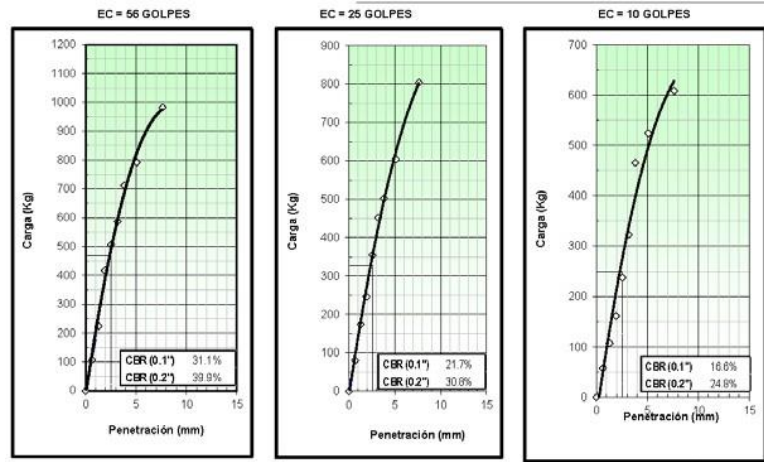


METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557  
 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm<sup>3</sup>) : 1.979  
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 14.4  
 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm<sup>3</sup>) : 1.880

CB R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1": 31.7	0.2": 40.5
CB R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1": 22.5	0.2": 31.6

RESULTADOS:  
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 40.5 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 31.6 (%)

**OBSERVACIONES:**



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE.

  
 JOSÉ ESPAVANTE FERNANDEZ  
 JEFE DE LABORATORIO  
 S.C.A.  
 TECNICO DE LABORATORIO

  
 WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 146028  
 ING. JEFE DE LABORATORIO

## 10. PROCTOR 2019 Aserrín 10%



### ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (NORMA MTC E-115, ASTM D-1557, AASHTO T-180)

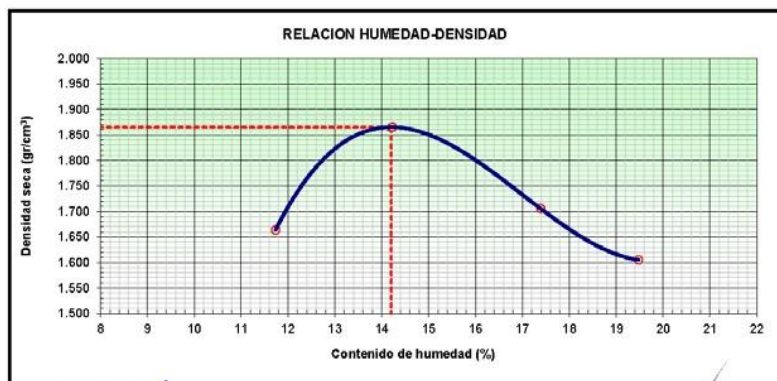
**SOLICITANTE :** GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO  
**PROYECTO :** Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019  
**UBICACIÓN:** CARABAYLLO - LIMA  
**MATERIAL :** 10% aserrín                      Lado : -                      Acceso : -

#### DATOS DE LA MUESTRA

**CALICATA :** C-01                      **PROGRESIVA :** -  
**MUESTRA :** M-01                      **CLASF. (SUCS) :** SC  
**PROF. (m) :** 1.00                      **CLASF. (AASHTO) :** A-1 (0)

**METODO DE COMPACTACION :** A                      **FECHA DE ENSAYO:** 00/01/1900

Peso suelo + molde	gr	6108.0	6364.0	6243.0	6163.0
Peso molde	gr	4355.0	4355.0	4355.0	4355.0
Peso suelo húmedo compactado	gr	1753.0	2009.0	1888.0	1808.0
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	943.0	943.0	943.0	943.0
Peso volumétrico húmedo	gr	1.859	2.130	2.002	1.917
Recipiente N°		PC-178	GEO-28	PC-181	GEO-13
Peso del suelo húmedo+tara	gr	450.0	457.3	429.1	435.2
Peso del suelo seco + tara	gr	410.9	410.3	377.1	377.0
Tara	gr	77.8	80.2	77.8	78.3
Peso de agua	gr	39.1	47.0	52.0	58.2
Peso del suelo seco	gr	333.1	330.2	299.3	298.8
Contenido de agua	%	11.74	14.22	17.39	19.48
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.664	1.865	1.706	1.605
<b>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</b>					1.865
<b>Humedad óptima (%)</b>					14.2



OBSERVACION: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE

*José C. Bernandéz*  
**JOSÉ CÉSAR BERNANDEZ**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 S.C.A.  
**TECNICO DE LABORATORIO**

*William Aldo Segovia Herrera*  
**WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 146528  
**ING. JEFE DE LABORATORIO**

# 11. PROCTOR 2019 30% Ceniza



## ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (NORMA MTC E-115, ASTM D-1557, AASHTO T-180)

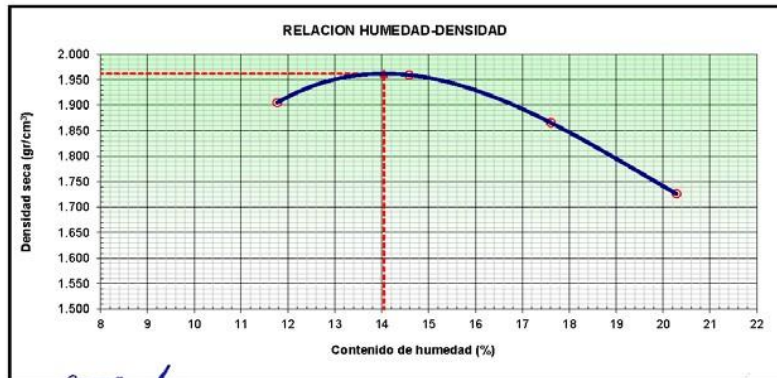
**SOLICITANTE :** GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO  
**PROYECTO :** Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019  
**UBICACIÓN:** CARABAYLLO - LIMA  
**MATERIAL :** 30% ceniza      Lado : -      Acceso : -

**DATOS DE LA MUESTRA**

**CALICATA :** C-01      **PROGRESIVA :** -  
**MUESTRA :** M-01      **CLASF. (SUCS) :** SC  
**PROF. (m) :** 1.00      **CLASF. (AASHTO) :** A-4 (0)

**METODO DE COMPACTACION :** A      **FECHA DE ENSAYO:** 00/01/1900

Peso suelo + molde	gr	6363.0	6472.0	6424.0	6313.0
Peso molde	gr	4355.0	4355.0	4355.0	4355.0
Peso suelo húmedo compactado	gr	2008.0	2117.0	2069.0	1958.0
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	943.0	943.0	943.0	943.0
Peso volumétrico húmedo	gr	2.129	2.245	2.194	2.076
Recipiente N°		WR-75	S-14	PC-160	PC-171
Peso del suelo húmedo+tara	gr	453.2	476.4	552.5	530.4
Peso del suelo seco + tara	gr	413.9	424.8	481.6	455.2
Tara	gr	80.0	71.1	79.0	84.4
Peso de agua	gr	39.3	51.6	70.9	75.2
Peso del suelo seco	gr	333.9	353.7	402.6	370.8
Contenido de agua	%	11.77	14.58	17.61	20.29
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.905	1.959	1.866	1.726
<i>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</i>					1.962
<i>Humedad óptima (%)</i>					14.0



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS E IDENTIFICADAS POR EL SOLICITANTE.

*[Firma]*  
**JOSE C. ESCALANTE FERNANDEZ**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 S.C.A.  
**TECNICO DE LABORATORIO**

*[Firma]*  
**WILLIAM ALDO SEPÚLVEDA HERRERA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 146028  
**ING. JEFE DE LABORATORIO**

## 12. Ensayos Químicos Terreno Natural



### ANALISIS DE SUELO - SALES

SOLICITANTE : GABRIELA ROSA MEDINA ARAUCO  
PROYECTO : Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019  
UBICACIÓN : CARABAYLLO - LIMA  
CALICATA : C - 1  
RESP. ANALISIS : Téc. J.C.E.F.  
FECHA DE ANALISIS : 24 de Octubre de 2019

  
JOSE C. ESCOBAR FERNANDEZ  
JEFE DE LABORATORIO  
S.C.A.

N° Lab.	N° Campo	S.S.T. (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (ppm)
PLAN.105	CARABAYLLO - LIMA  PROF.: 1.00 m	620.80	180.10	440.64

  
WILLIAM ALDO SEGOVIA HERRERA  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP N° 146028

#### Métodos

Sales Solubles Totales: Determ. de Sales Solubles en suelos y agua subterránea - NTP339.152 - 2002  
Cloruro Soluble: Determ. de cloruros solubles en suelos y agua subterránea - NTP339.177 - 2002  
Sulfato Soluble: Determ. de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea - NTP339.178 - 2002

### Anexo 3. Matriz de Consistencia

Estudio del Comportamiento del Aserrín y la Ceniza de Carbón para la Estabilización de la Subrasante, Carabayllo, Lima 2019

MATRIZ DE CONSISTENCIA							
Título: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL ASERRÍN Y LA CENIZA DE CARBON PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUB RASANTE, CARABAYLLO, LIMA 2019"							
Autor: Medina Arauco Gabriela							
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Metodología
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variable Dependiente</b>				
¿Cuál es el efecto de la adición de aserrín y la ceniza de carbón en las propiedades mecánicas de suelos de subrasante, en la calle Santa Ursula Mz R Lt 7 AAHH Milagros, distrito de Carabayllo, Lima 2019?	Determinar los efectos al incorporar aserrín y las cenizas de carbón en la estabilización de la sub rasante en la calle Santa Ursula Mz R Lt 7 AAHH Milagros, distrito de Carabayllo, Lima 2019	El aserrín y la ceniza de carbón estabilizan la subrasante, en la calle Santa Ursula Mz R Lt 7 AAHH Milagros, distrito de Carabayllo, Lima 2019	<b>Estabilización de la sub rasante</b>	Propiedades	Densidad Máxima Seca Optimo Contenido de Humedad  Capacidad de soporte California	Ensayo Proctor Modificado  Ensayo CBR	<b>Tipo:</b> Aplicada <b>Nivel:</b> Descriptivo – Explicativo <b>Diseño:</b> Experimental. <b>Enfoque:</b> Cuantitativo. <b>Población y Muestra:</b> <b>Población:</b> Sub rasante en la calle Santa Úrsula Mz R Lt 7 AAHH Milagros, distrito de Carabayllo, Lima 2019.
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específica</b>	<b>Variable Independiente</b>				
¿Cuál es el efecto de la adición de aserrín en el valor de la máxima densidad seca óptima contenido de humedad y valor de soporte de California de suelos de subrasante, en la calle Santa Ursula Mz R Lt 7 AAHH Milagros, distrito de Carabayllo, Lima 2019?	Determinar cuál es el efecto de la adición de aserrín en el valor de la máxima densidad seca óptima contenido de humedad y valor de soporte de California de suelos de subrasante, en la calle Santa Ursula Mz R Lt 7 AAHH Milagros, distrito de Carabayllo, Lima 2019.	El aserrín estabiliza la subrasante, en la calle Santa Ursula Mz R Lt 7 AAHH Milagros, distrito de Carabayllo, Lima 2019	<b>Aserrín</b>  <b>Cenizas de Carbón</b>	Dosificación	6% 8%  20% 25%	Balanza	<b>Muestra:</b> No probabilística, dirigida <b>Técnica e Instrumento:</b> <b>Muestras:</b> Prospecciones de campo (calicatas). Análisis Granulométrico por tamizado (Ensayo MTC EM 107. Ensayos De Laboratorio: Contenido de Humedad (MTC E108) Índice de Plasticidad (Limite Liquido MTC EM 110, Limite Plástico MTC EM 111), Clasificación de Suelos por el Sistema SUCCS y AASHTO. Ensayo Proctor Modificado (ASTMD-1557, MTC – 115). Ensayo de CBR (MTC EM 132).
¿Cuál es el efecto de la adición de ceniza de carbón en el valor de la máxima densidad seca óptima contenido de humedad y valor de soporte de California de suelos de subrasante, en la calle Santa Ursula Mz R Lt 7 AAHH Milagros, distrito de Carabayllo, Lima 2019?	Determinar cuál es el efecto de la adición de cenizas de carbón en el valor de la máxima densidad seca óptima contenido de humedad y valor de soporte de California de suelos de subrasante, en la calle Santa Ursula Mz R Lt 7 AAHH Milagros, distrito de Carabayllo, Lima 2019.	La ceniza de carbón estabiliza la subrasante, en la calle Santa Ursula Mz R Lt 7 AAHH Milagros, distrito de Carabayllo, Lima 2019.					
¿Cuál es el efecto de la adición combinada de aserrín y ceniza en el valor de la máxima densidad seca óptimo contenido de humedad y valor de soporte de California de suelos de subrasante, en la calle Santa Ursula Mz R Lt 7 AAHH Milagros, distrito de Carabayllo, Lima 2019?	Determinar cuál es el efecto de la adición combinada de aserrín y ceniza en el valor de la máxima densidad seca óptimo contenido de humedad y valor de soporte de California de suelos de Subrasante, en la calle Santa Ursula Mz R Lt 7 AAHH Milagros, distrito de Carabayllo, Lima 2019	La combinación de las ceniza de carbón y aserrín estabiliza la subrasante, en la calle Santa Ursula Mz R Lt 7 AAHH Milagros, distrito de Carabayllo, Lima 2019					