



**UNS**  
ESCUELA DE  
**POSGRADO**

**Programa de Maestría en Gestión Ambiental**

---

---

**“Influencia de la adición de las escorias del horno eléctrico  
de Sider Perú en la estabilización de subrasante para  
pavimentos en Chimbote”**

---

---

**Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias en  
Gestión Ambiental**

**Autor:**

**Br. Guevara Tuesta, Jhadrit Janina**

**Asesor:**

**MS. Lopez Carranza, Atilio Ruben**  
**Código ORCID: 0000-0002-3631-2001**

**Nuevo Chimbote - PERÚ**  
**2022**

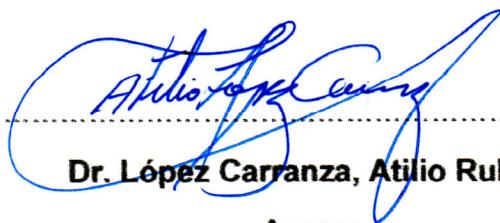


**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

### CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO

Yo, Atilio Rubén López Carranza, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis de Maestría titulada: **“Influencia de la adición de las escorias del horno eléctrico de Sider Perú en la estabilización de subrasante para pavimentos en Chimbote”** elaborada por el bachiller **JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA**, para obtener el Grado Académico de Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental, en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, 08 abril del 2022



Dr. López Carranza, Atilio Rubén

Asesor

Código ORCID: 0000-0002-3631-2001

DNI: 32965940



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

## CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

**“Influencia de la adición de las escorias del horno eléctrico de  
Sider Perú  
en la estabilización de subrasante para pavimentos en Chimbote”**

**Tesis para Optar el Grado de Maestro en Ciencias en  
Gestión Ambiental**

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

**Dr. Rogelio Fermín Castañeda Gamboa**  
Presidente

CODIGO ORCID 0000-0002-6961-7418

DNI N°: 32789954

**Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca**  
Secretario

CODIGO ORCID:0000-0001-5349-6167

DNI N°: 18146173°

**Dr. Atilio Rubén López Carranza**  
Vocal

Código ORCID: 0000-0002-3631-2001

DNI N° , 32965940



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

### ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

A los ocho días del mes de abril del año 2022, siendo las 20:00 horas, a través de la plataforma de videoconferencia ZOOM, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 300-2021-EPG-UNS de fecha 15 de julio de 2021, conformado por los docentes: Dr. Rogelio Fermín Castañeda Gamboa (Presidente), Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca (Secretario), Dr. Atilio Rubén López Carranza (Vocal), con la finalidad de evaluar la sustentación virtual de la tesis titulada: ***INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LAS ESCORIAS DEL ALTO HORNO ELÉCTRICO DE SIDER PERÚ EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRANSANTE PARA PAVIMENTOS EN CHIMBOTE***, presentado por la tesista **Jhadrit Janina Guevara Tuesta**, egresada del programa de Maestría en Gestión Ambiental.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 051-2022-EPG-UNS de fecha 04 de abril de 2022.

El Presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones a la tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como APROBADO asignándole la calificación de 17 (DIECISIETE)

Siendo las 21.00 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Dr. Rogelio Fermín Castañeda Gamboa  
Presidente

Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca  
Secretario

Dr. Atilio Rubén López Carranza  
Vocal

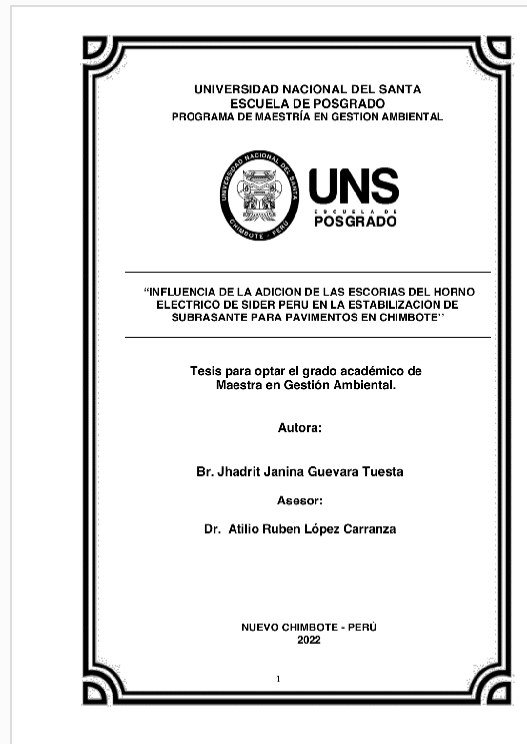


## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA \_PreviewUser  
Título del ejercicio: Turnitin  
Título de la entrega: INFORME DE TESIS INFLUENCIA DE LA ADICION DE LAS ESC...  
Nombre del archivo: INFORME\_DE\_TESIS\_INFLUENCIA\_DE\_LA\_ADICCION\_DE\_LAS\_E...  
Tamaño del archivo: 2.51M  
Total páginas: 70  
Total de palabras: 14,920  
Total de caracteres: 75,166  
Fecha de entrega: 27-dic.-2022 03:38a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entre... 1986867012



## **DEDICATORIA**

El presente trabajo desarrollado lo dedico principalmente a Dios, por ser mi inspirador, fuerza y permitirme alcanzar uno de mis anhelos profesional.

A mis padres, por su aliento y apoyo, en especial a mi madre, por su sacrificio silencioso.

A mis hijos por ser mi motivo de superación.

A todas las personas y amigos, que me han apoyado y han hecho posible que el trabajo se realice con éxito y a todos aquellos que compartieron su conocimiento.

**Jhadrit Janina Guevara Tuesta**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena cada etapa de mi vida, a mis Padres por su ejemplo de trabajo y honradez y a mis hijos por ser el motivo de metas y superación.

Quiero agradecer a la Universidad Nacional del Santa, directivos y docentes por la Organización del Programa de Maestría en Gestión Ambiental.

**Jhadrit Janina Guevara Tuesta**

## Índice General

Aval de asesoramiento	i
Hoja de aprobación del Jurado Evaluador	ii
Acta de sustentación	iii
Recibo digital Turnitin	viii
Dedicatoria	xiv
Agradecimiento	xv
Resumen	xvi
Abstract	xvii
<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>4</b>
<b>PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>4</b>
1.1. Planteamiento y fundamentación del problema de investigación	4
1.2. Antecedentes de la investigación	5
1.3. Formulación del problema de investigación	9
1.4. Delimitación del estudio	9
1.5. Justificación e importancia de la investigación	8
1.6. Objetivos de la investigación: General y específicos	9
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>11</b>
2.1. Fundamentos teóricos de la investigación	11
2.1.1. Escoria de Sider Perú	11
2.1.1.1. Origen	12
2.1.1.2. Producción del acero de Sider Perú	13
2.1.1.3. Composición química de la escoria	15
2.1.1.4. Composición físicas y mecánicas de la escoria	16
2.1.1.5. Sub Rasante	17
2.1.1.6. Propiedades Geotécnicas de los Suelos	19
2.1.1.7. Granulometría	19
2.1.1.8. Estados de Consistencia	23
2.1.1.9. Clasificación de Suelos	25



2.1.1.10. Compactación de los Suelos	28
2.1.2. Estabilización de Suelos	30
2.1.2.1. Estabilización física y Mecánica	32
2.1.2.2. Estabilización Química	33
2.1.2.3. Estabilización con escorias	34
2.2. Marco conceptual	34
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>36</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>36</b>
3.1. Hipótesis central de la investigación	36
3.2. Variables e indicadores de la investigación	36
3.3. Métodos de la investigación	37
3.4. Diseño o esquema de la investigación	38
3.5. Población y muestra	40
3.6. Actividades del proceso investigativo	45
3.7. Técnicas e instrumentos de la investigación	47
3.8. Procedimiento para la recolección de datos	48
3.9. Técnicas de procesamiento y análisis de los datos.	52
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>53</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>53</b>
4.1. Resultados	53
4.2.1.1. Características de las escorias de horno eléctrico de Sider Perú	53
4.2.1.2. Propiedades Mecánicas y Físicas los suelos de la zona en estudio - Asentamiento Humano San Pedro	57
4.2.1.3. Propiedades Mecánicas y Físicas los suelos con adiciones de escorias	58
4.2.1.4. Efecto de las escorias de acería en la estabilización de subrasantes de pavimentos.	61
4.2. Discusión	65
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>68</b>
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
5.1. Conclusiones	68
5.2. Recomendaciones	69

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXOS	73

### Índice de Tablas

Tabla 01: composición química de la escoria de acería	16
Tabla 02: Propiedades físicas de la Escoria	16
Tabla 03: Distribución de tamaño de partículas del acero (%)	17
Tabla 4. Requisitos del material de calidad para subrasantes.	18
Tabla 5. Categorías de Sub Rasante	18
Tabla 6. Clasificación de suelos Índice de Plasticidad	25
Tabla 7. Clasificación de suelos según Índice de Grupo	27
Tabla 8. Símbolos de grupo (SUCS)	27
Tabla 09. Variable causal: Adición de escoria del horno eléctrico de Sider Perú	37
Tabla 10. Variable efecto: La estabilización de la sub-rasante.	37
Tabla 11. Cantidad de puntos exploración en base al tipo de vía.	41
Tabla 12. Selección, Tamaño y Tipo de la Muestra	44
Tabla 13: Distribución de tamaño de partículas del acero (%)–Características físicas	55
Tabla 14: Clasificación del suelo de la subrasante	55
Tabla 15: Propiedades físicas y mecánicas de la Subrasante	57
Tabla 16: Propiedades físicas y mecánicas De La Subrasante con adiciones de escorias	59
Tabla 17: Influencia de la adición de escorias del horno eléctrico de Sider Perú,63 en la subrasante de pavimentos	

### Índice De Figuras

Figura 01. Escoria de Horno	12
Figura 02. Altos hornos y Escoria de Horno Eléctrico	13
Figura 03. Horno eléctrico de Sider Perú	14
Figura 04. Escoria de Horno Eléctrico	15
Figura 05. Curva de distribución granulométricas	20
Figura 06. Definición de D10, D30 y D60	22

Figura 07. Diferentes tipos de curva de distribución granulométrica	22
Figura 08. Límites de Atterberg	24
Figura 09. Clasificación AASHTO	26
Figura 10. Carta de plasticidad de Casagrande	28
Figura 11. Curva Densidad Seca VS Humedad	29
Figura 12. Influencia De La Energía De Compactación.	30
Figura 13. Identificación del tipo de suelo	32
Figura 14. Proceso de la investigación aplicada con enfoque cuantitativo	38
Figura 15. Esquema De Investigación	39
Figura 16: Ubicación de la muestra	42
Figura 17. Vista del Jr el Sol	43
Figura 18. Vista del Jr. Magallanes	43
Figura 19. Vista del Pasaje S/N AA.HH. San Pedro	44
Figura 20. Etapas de la revisión bibliográfica	45
Figura 21. Ubicación de la muestra	46
Figura 22. Porcentaje de óxidos de las escorias de horno eléctrico de Sider Perú	53
Figura 23. Porcentaje de metales de las escorias de horno eléctrico de Sider Perú	54
Figura 24. Curva Granulométrica	56
Figura 25. Limite Líquido y Limite Plástico	57
Figura 26. Curva densidad vs humedad del terreno natural	57
Figura 27. Curva densidad vs humedad a la adicionar escoria al 10%	59
Figura 28. Curva densidad vs humedad al adicionar escoria al 15%	60
Figura 29. Curva densidad vs humedad al adicionar escoria al 20%	61
Figura 30. Evaluación del suelo con adicción de EHE vs sin adicción de EHE	62
Figura 31: Influencia del paquete estructural del pavimento al adicionar del horno eléctrico de Sider Perú, en la subrasante	64
Figura 32 Influencia del costo del pavimento al adicionar escorias del horno eléctrico de Sider Perú, en la subrasante	65

## **Índice De Anexos**

Anexo 01: Panel Fotográfico	74
Anexo 02: Diseño de pavimentos método AASHTO	83
Anexo 03: Estudio de Mecánica de Suelos	86

## **"Influencia de la adición de las escorias del horno eléctrico de Sider Perú en la estabilización de subrasante para pavimentos en Chimbote"**

### **RESUMEN**

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo principal determinar la influencia de la adición de escorias del horno eléctrico de Sider Perú, en la estabilización de subrasante de pavimentos en Chimbote, para lo cual se identificó las características físicas, químicas y mecánicas de las escorias de horno eléctrico de Sider Perú, luego de ello se eligió un sector para tomar las muestras de subrasante; donde se Identificó y clasificó los suelos de la zona en estudio (Jr. Magallanes entre el Jirón el Sol y Pasaje Sin Número en el Asentamiento Humano San Pedro) seguidamente se evaluó el comportamiento mecánico de las escorias de acería para la estabilización de subrasantes de pavimentos.

Es una Investigación Experimental, aplicada con diseño clásico, las muestras fueron seleccionadas de forma no probabilísticas, se evaluó una muestra patrón sin ninguna adición y 03 muestras adicionando distintos porcentajes de escorias (10%,15% y 20%).

Se determinó que el suelo según SUCS es SP y A-3 según AASTHO, está constituido por arenas mal graduada (SP), y CBR de 12.8 al 95% con OCH 12.60 % y MDS de 1.676 gr/cm<sup>3</sup>. De las 3 combinaciones se concluye que la adicción al 20% tuvo el mejor comportamiento ya que logra aumentar el CBR de la subrasante al máximo valor de 33.7% (equivale al 163.3%) con OCH 11.2 % (disminuye entre 11%) y MDS de 1.786 gr/cm<sup>3</sup>. (Aumenta 6.56%).

**Palabras clave:** Escorias – Estabilización – Subrasante – CBR

## **Influence of the addition of the scories of the electric oven of Sider Peru in the stabilization of subrasante for pavement in Chimbote**

### **ABSTRACT**

The main objective of this research work was to determine the influence of the addition of slag from the electric furnace of Sider Peru, in the determination of sub-grade of pavements in Chimbote, for which the physical, chemical and mechanical characteristics of the slag were identified. Sider Peru electric furnace, after that a sector was chosen to take sub-rasante samples; where the soils of the area under study (Jr. Magallanes between Jr. el Sol and Psje Sin Number in the San Pedro Human Settlement) were identified and classified, then the mechanical behavior of the steel slag was evaluated for the extension of pavement substrates.

It is an Experimental Research, applied with a classic design, the samples were selected in a non-probabilistic way, a standard sample without any addition and 03 samples adding different percentages of slag (10%, 15% and 20%) were evaluated.

It will be reduced that the soil according to SUCS is SP and A-3 according to AASTHO, it is made up of poorly graded sand (SP), and CBR from 12.8 to 95% with OCH 12.60% and MDS of 1.676 gr/cm<sup>3</sup>. Of the 3 combinations, it is concluded that the 20% addition had the best behavior since it manages to increase the CBR of the subgrade to the maximum value of 33.7% (equivalent to 163.3%) with OCH 11.2% (decreases between 11%) and MDS of 1,786gr/cm<sup>3</sup>. (Increases 6.56%).

**Keywords:** Slags - Stabilization - Subgrade - CBR

## INTRODUCCIÓN

Este estudio de investigación tiene por objetivo ver el efecto que se produce al estabilizar subrasantes para pavimentos flexibles cuando se adiciona escorias del horno eléctrico de Sider Perú, en la ciudad de Chimbote siendo más específicos en el Pasaje S/N entre el Jr. Magallanes y el Jirón el Sol en el Asentamiento Humano San Pedro. La estabilización de los suelos implica mejorar el aguante mecánico y la tenacidad durante el tiempo de vida útil para lo cual fue diseñado. Hoy en día existen mecanismos diversos desde agregar otro material granular, hasta añadir materiales estabilizantes. Sin importar la forma de estabilización, no olvidar que siempre debe realizarse una adecuada compactación. (Fonseca, 2002)

Se propone el emplear la escoria generada en el proceso siderúrgico del horno eléctrico de la empresa Sider Perú, para mejorar componentes de la capa sub rasante así mismo en la conformación de bases y subbases; como alternativa a los materiales granulares convencionales de cantera, fomentando el reciclaje de residuos que ocupan un espacio importante y reduciendo la explotación de canteras con todos los impactos que ello supone para el medio ambiente. Los resultados evidencian la viabilidad para su uso con beneficios técnicos, económicos y ambientales.

La escoria siderúrgica es un subproducto que se forma en el proceso de fabricación del acero con propiedades especiales, que al procesarse se transforma en un producto muy preciado para ser aplicado como material eficaz en la construcción de carreteras, obras públicas diversas. “La escoria de acero es usada de igual forma en la producción de cemento”, así como en otras aplicaciones emergentes, desde el tratamiento del agua hasta la regeneración de áreas marinas con la finalidad de la restauración de la vegetación marina y los arrecifes de coral. (Piña, 2011)

La subrasante es la ubicación directa donde se coloca el paquete íntegro del pavimento (subbase, base y de rodadura) que se ubica entre el suelo natural allanado o la explanada y paquete estructural. Esta capa forma parte superior del relleno (terraplén), es la que soportará la estructura de pavimentación, y está fundado en suelos seleccionados con propiedades aceptables y compactadas, de modo que no sea dañado por la carga de tráfico que circulen por la vía. Su adaptación para resistir cargas en condiciones de servicio, combinada con las cualidades del tráfico y los materiales usado en la construcción de la capa de rodadura son parámetros esenciales para diseñar la estructura del pavimento a colocar. En la fase de construcción, el suelo final de 0,30 m se compactará bajo la capa superior de la subcapa hasta el 95 % de la MDS lo cual se obtiene del ensayo Proctor modificado (MTC,2016).

Valenzuela, Toledo, Hermosilla y Saffirio (s.f.), señalan que las muestras analizadas indican que la escoria cumple con las características mecánica como es el CBR. De manera resumida, se puede establecer que la escoria cumple plenamente con las exigencias del Manual de Carreteras del MTC, respecto de bandas granulométricas y requisitos de calidad.

La investigación está estructurada en 05 capítulos. El primer capítulo habla sobre la problemática que dio origen a esta investigación, aquí se plasma el planteamiento del problema y también se fundamenta las razones por el cual se ha decidido investigar este tema, también encontraremos las investigaciones que nos ha precedido conocidos como antecedentes de la investigación, formulación del problema de la investigación, la delimitación del estudio, justificación e importancia de la investigación y finalmente los objetivos. Basándonos en la estructura del reglamento de normas de la EPGUNS sigue capítulo II que le corresponde al Marco Teórico, que a su vez presenta los fundamentos teóricos de la investigación y marco conceptual. El capítulo III concierne al marco metodológico, se habla de la hipótesis, cuáles son las variables e indicadores de la investigación, también se considera los métodos de la investigación utilizados, diseño de la investigación, población y muestra, actividades del proceso investigativo, técnicas e instrumentos de la



investigación, procedimientos de la recolección de datos. El capítulo IV se presenta los resultados y la discusión, y por último el capítulo V se encuentran las conclusiones y recomendaciones. Además, también hay evidencias de lo desarrollado como son los ensayos y fotografías entre otros contenidos en los anexos.

## CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Para colocar la carpeta estructural de un pavimento es importante conocer el CBR del suelo donde está se apoyará. Según el MTC en su Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos en la Sección: Suelos y Pavimentos indica que *“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  $CBR \geq 6\%$ . En caso el suelo, debajo del nivel superior de la subrasante, tenga un  $CBR < 6\%$  (subrasante pobre o subrasante inadecuada), corresponde estabilizar los suelos”* (2014, p. 23). Tomando como consideración lo mencionado por el MTC se tendría que tener subrasantes mayores a lo indicado líneas arriba, sin embargo, los suelos de la ciudad de Chimbote son suelos arenosos con niveles superficiales de agua, y son susceptibles de padecer licuación y densificación ante carga sísmica (Alva, 2011)

En muchos puntos de la ciudad el suelo es arenoso presenta compacidad media a densa, y en la zona de San Pedro existen arenas sueltas a medio densas, con nivel freático a 5.0 m. El CBR de los suelos de que tiene la ciudad de Chimbote varían del 5% a 10%, estos suelos son pobres cuya causa es el poco aguante de soporte que presenta resultando ser no apto para una subrasante según el MTC, ya que al ser sometidos a cargas dinámicas frecuentes (transmitidas por los vehículos que circulan las vías) estas no son capaces de soportar las deformaciones generando que la capa de rodadura llegue a la falla prematura que a su vez disminuye la calidad de servicio lo cual genera incomodidad en el área usuraria. En cuanto al costo de inversión en la construcción del pavimento y el mantenimiento este también aumenta significativamente y no debemos de olvidar el coste de operación de los transportes vehiculares y de los usuarios (peatones, pasajeros y conductores) que también se ven afectados. Ante todo, esto existe la necesidad de mejorar las condiciones de transpirabilidad de la superficie de rodadura (subrasante)

de tal manera que se evite el deterioro acelerado y que al mismo tiempo el costo de mantenimiento sea bajo y con ello poder, incrementar el tiempo de vida del pavimento. Una alternativa de bajo costo es la estabilización de suelos en capas de rodadura de bajo y mediano nivel de tráfico llamados "soluciones básicas" o típicamente pavimentos económicos (MEF, 2015).

Al hablar de estabilización es importante saber qué material es el idóneo para ser usado en el mejoramiento de la subrasante, entonces ante ello, se ha visto que existe la acumulación de grandes bancos de escorias de acero en la planta siderúrgica de Chimbote, y que a su vez contribuye de manera acelerada a la degradación del medio ambiente. Además, es sabido por estudios mencionados en los antecedentes que la escoria de acero de horno de arco eléctrico, posee propiedades técnicas físicas y mecánicas convenientes para su uso en pavimentos por consiguiente las características físicas y mecánicas de la subrasante al adicionar escoria de horno eléctrico será similar a la de una estabilización suelo cemento por lo tanto estas van a mejorar sustancialmente.

## **1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. Internacionales**

Ospina, A., & Chaves B., (2019), en su trabajo de investigación presentado a la Rev. Investig. Desarro. Innov. Vol. 11, No. 1 en Colombia, titulado *“Mejoramiento de subrasantes de tipo arcilloso mediante la adición de escoria de acero”* evaluaron el comportamiento de suelos arcillosos con adición de escorias de acero en subrasantes con fines de pavimentación. Para ello, se utilizó dosificaciones en 25, 50 y 75% que fueron evaluadas y con los resultados obtenidos concluyen que la escoria de acero incrementa considerablemente las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante de arcilla caolinita debido a que;

- La escoria de acero actúa convenientemente en materiales cohesivos, porque reduce la plasticidad hasta un 0%.
- La dosificación más recomendada es de un 25%, porque aumenta el valor del CBR en un 378.92%.

Quintana, R., Patiño D., Vacca y Reyes F., (2018) realizaron en Chile la investigación denominada “Caracterización de una escoria de alto horno para proyectos viales” su principal objetivo fue comprobar si es posible usar escoria de alto horno (BFS) en la conformación de capas granulares no tratadas en pavimentos tales como base, subbase y afirmado, así mismo el uso en material pétreo para elaborar mezclas asfálticas. Para lograr esto, realizaron ensayos de caracterización difractometría de rayos X (DRX), imagenología en un microscopio electrónico de barrido (MEB) y ensayos de fluorescencia de rayos X (FRX). concluyeron, lo siguiente:

- Debido al sílice que contiene, presenta una alta resistencia al desgaste por abrasión, por fricción y al fracturamiento es recomendable su uso en bases granulares.
- En cuanto al uso en mezclas asfálticas recomiendan no usarla ya que no reúne los requisitos de calidad debido a que poseen alta porosidad y alta adsorción, sin embargo, si recomiendan usarla en la producción del mastic de mezclas asfálticas.

Leiva D., Montenegro J., & Ponce, (2017) presentaron su investigación titulada “Caracterización de un suelo arcilloso y su mezcla con escoria blanca proveniente de la siderurgia integral”. El objetivo de esta investigación fue evaluar el desempeño de la escoria blanca al ser aplicada como estabilizador químico en un suelo arcilloso y poder restablecer de manera eficiente el uso en obras viales en comparación a los estabilizadores tradicionales, tal como lo es la cal apagada. Para ello se caracterizó químicamente los materiales usados en esta investigación empleando el ensayo XRF, para encontrar los componentes mineralógicos se realizó los ensayos de XRD y TG/DTA, para evaluar la toxicidad que genera el medioambiental mediante TCLP y geotécnica (caracterización, compactación, variación volumétrica y propiedades resistentes). Basándose en los resultados obtenidos concluyen lo siguiente; el uso de la escoria blanca es adecuado para su uso ya que el material no contamina al medioambiental porque ni adiciona al suelo ningún tipo de metales pesados de los que contiene, en cuanto a la caracterización geotécnica de las mezclas suelo-escoria se encontró que esta disminuye la

plasticidad además de ello eleva el CBR, de igual forma no presentó colapso ni hinchamiento libre (ni el suelo ni las mezclas). Finalmente, recomiendan utilizar la escoria blanca como material en obras viales ya que esto traería consigo una solución sostenible y posiblemente una disminución de las grandes cantidades del material que esta almacenado en centros de acopio y sin aprovecharlo.

Suarez González et. al, (2017) desarrollaron la investigación cuyo título es, “*Beneficio de escorias blancas (LFS) y negras (EAFS) de acería eléctrica en la estabilización de suelos y en capas de firmes de caminos rurales*” el propósito fue verificar la calidad para prolongar su durabilidad al consolidar los suelos arcillosos de baja calidad en caminos rurales, donde se incorpora la escoria, como segundo objetivo se plantea usar la escoria negra de horno eléctrico de arco, reemplazándolo y luego evaluar las propiedades técnicas y la viabilidad económica razonable. Los investigadores concluyen, son materiales que se pueden emplear de modo sistemático y eficiente como adiciones en construcción de proyectos.

Ebrahim, Ahmed y Behiry, et al., (2012). Realizaron la investigación: Evaluación de escoria de acero y mezclas de piedra caliza triturada como material de subbase en pavimento flexible, en la Universidad de Minufiya, Egipto. Donde se analizaron el efecto que produce la escoria de acero de los hornos eléctricos sobre las propiedades mecánicas de las capas de subbase en los pavimentos. Se empleó un análisis teórico, que permitió estimar la resistencia a factores de falla bajo cargas, para ello se relaboraron mezclas con caliza triturada, que normalmente se usa para material de base y subbase en los pavimentos de Egipto. De la misma manera se realizaron ensayos en laboratorio, en las que observaron el desempeño de la escoria ante deformaciones verticales, tensiones radiales y verticales que el pavimento está supeditado debido a las cargas críticas provocadas por los vehículos que reducen la vida útil del mismo. Concluyen que: Al adicionarle escoria de acero a la capa base y subbase, aumenta las propiedades mecánicas del pavimento como; el CBR, el módulo resiliente así mismo la densidad máxima seca

encontrando para ello que la dosificación de mezcla óptima en cuanto a costos fue 70% de escoria de acero y 30% de piedra triturada reduciendo el uso de roca natural como material de construcción, preservando así los recursos de roca natural y reduciendo la necesidad de vertedero.

### **1.2.2. Nacionales**

Figuroa, I., & Mamani, C., (2020), desarrollaron la investigación titulada *“Diseño de carreteras afirmadas en base a escorias negras, provenientes de la planta de aceros Arequipa de Pisco, para zonas rurales”*. Esta investigación tuvo como finalidad realizar un diseño de pavimento en carreteras afirmadas usando los residuos de las escorias negras (EAFS) obtenidas a partir de la industria siderúrgica. Aquí se analizó las propiedades de las EAFS y se determinó si cumplían con los requerimientos que establece el MTC para su uso como material en pavimentos, luego de ello se realizó el diseño aplicando la metodología AASHTO 93 y por último estimaron el valor económico del uso de las escorias negras en la construcción de carreteras afirmadas. Llegaron a la conclusión que es factible realizar carreteras a nivel de afirmado en base a escorias negras provenientes de CAASA, no solo porque cumple con los requerimientos exigidos por el MTC, sino que aumenta las propiedades (CBR aumenta 10%, MDS aumenta 2.09%) lo que se refleja en una disminución de del espesor del pavimento.

Zelada, R., (2016), en su investigación *“Valoración económica de la escoria de horno eléctrico de Siderperu como producto alternativo a la piedra cantera en el sector construcción”* el objeto fue verificar la viabilidad económica de la escoria de horno eléctrico generada por SIDERPERU como producto alternativo a la piedra cantera en el sector construcción de la provincia del Santa, para ello, buscaron que cantidad de material (%) de sustitución de agregado grueso y fino por la escoria de horno eléctrico era necesario para que logre alcanzar la mayor resistencia a la compresión en concretos de cemento portland a los; 1, 3, 7 y 28 días. Luego determinó el costo e identificó potenciales clientes, así como; las cualidades vitales para su comercialización en la provincia, el costo de venta y puntos de ventas y distribución finalmente concluyo que:

- Al sustituir 25% de arena y el 100% de piedra chancada por escoria de horno eléctrico de SIDERPERU el concreto alcanza elevadas resistencias a la compresión con valores que oscilan entre 121.6 y 145.6%
- La valoración económica que tendría las empresas hasta en S/ 402,000 por año y se cuenta con una solución alterna para frenar el efecto negativo al ambiente debido al agotamiento de las canteras de piedra por la explotación sin conciencia de materiales que serán usados en el sector de construcción.

### **1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuál es la influencia de la adición de escorias del horno eléctrico de Sider Perú, en la estabilización de subrasante para pavimentos en Chimbote?

### **1.4. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO**

Esta investigación ha sido desarrollada para ser aplicada en las subrasantes de las superficies de rodadura no pavimentadas de la ciudad de Chimbote, se ha tomado como tramo de prueba el Pasaje S/N ubicado entre el Jr. Magallanes y el Jirón el Sol de Asentamiento Humano San Pedro. La realización de esta investigación se hizo durante el periodo 2018 al 2019.

### **1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

Se propuso adicionar las escorias que son formadas en las acerías de horno eléctrico de la Empresa Sider Perú, para mejorar la subrasante donde se colocará la carpeta estructural del pavimento con la finalidad de:

- Disminuir el uso de material granular de canteras y con ello reducir la explotación de estos recursos clasificados como no renovables.
- Reducir los impactos ambientales sobre el entorno local.
- Abaratar los costos de inversión y mantenimiento en los pavimentos.
- Determinar un método de estabilización económica mediante el uso de las escorias.

### **1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.6.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de la adición de escorias del horno eléctrico de

Sider Perú, en la estabilización de subrasante para pavimentos en Chimbote.

#### **1.6.2. Objetivos específicos**

1. Identificar las características físicas, químicas y mecánicas de las escorias de horno eléctrico de Sider Perú.
2. Evaluar el comportamiento mecánico de las escorias de acería para la estabilización de subrasantes de pavimentos.
3. Identificar y clasificar los suelos de la zona en estudio en el Jr. Magallanes entre el Jirón el Sol y Pasaje Sin Número en el Asentamiento Humano San Pedro.
4. Evaluar el efecto que produce las escorias de acería en la estabilización de subrasantes de pavimentos.



## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Madias, J (2015). Reciclado de escorias de acería. Acero Latinoamericano. 549. 40-48. Menciona que:

La producción siderúrgica ocasiona unos 400 Mt/año de remanentes de escoria (igualmente escoria de alto horno). De todo este volumen las escorias de convertidor ocupan el primer lugar ya que aportan la mayor cantidad de residuos (70%) seguido de los hornos eléctricos de arco en tercer lugar se posicionan la escoria de cuchara y finalmente las escorias de desulfuración de arrabio (Arce,2007).

La efectividad del uso de estos materiales se fundamenta en; la reducción del consumo excesivo de ciertas materias primas y evitar la escasez, el empleo eficiente de los coproductos y su reciclado interno o externo (Boza, 2011). Su uso asegura la sustentabilidad de la industria, con esto se puede aprovechar estos materiales sin causar mayores emisiones de CO<sub>2</sub> (Madias,2015).

Estas escorias han empezado a ser usadas en varios campos como es el caso de la agricultura siendo parte en la elaboración de fertilizantes, otros usos que viene dando muy buenos resultados es en la aplicación de carreteras sean en materiales de base, sub base, subrasante o en la capa de rodadura (Das B. M., 2015).

#### **2.1.1. Escoria de Sider Perú**

Choque (2012) afirma:

Las escorias son “un subproducto de la industria de acero formado fundamentalmente por calcio, hierro y silicato de magnesio, que nacen debido a las reacciones químicas como parte de los procesos para crear metales con unas propiedades específicas” (p. 23)

Se podría decir que las escorias, son una mezcla de óxidos metálicos como producto de las impurezas (presentes en los minerales) que se originan en los altos hornos de arco eléctrico estos se pueden dividir en gran parte en oxidantes y reductoras o también conocidas como negras y blancas, respectivamente (Crespo,2005). Tienen estos nombres a causa de las fases que se desarrollan durante este proceso que son; la fusión (marcha oxidante), ésta es la primera fase aquí es donde se funde la chatarra para formar un nuevo material y la segunda fase conocida como afino (marcha reductora) en esta etapa las escorias pueden alcanzar mayor concentración de carbono y fósforo (Daniel Leiva Vidal, 2017).



**Figura 01. Escoria de Horno**

Fuente: Sider Perú.

#### **2.1.1.1. Origen:**

A partir de la transformación de la chatarra a productos de acero se genera las escorias en los hornos eléctricos. Este cambio inicia con la fase de la fusión de la chatarra, en esta fase el horno alcanza la temperatura de 1630°C que es la que necesita para convertir la materia prima de sólida a líquida corresponde a la parte no metálica. El horno se calienta con un arco eléctrico la cual está a 3500°C (Hugo Alexander Rondón Quintana, 2018).

En la fase de fusión se requiere de la energía ocasionada por el arco eléctrico y la energía originada por las reacciones químicas producto de la combustión del carbono y el oxígeno. Esta fase

abarca los procesos de:

- Oxidación con la finalidad de quitar impurezas de silicio, manganeso,
- Desfosforación para mover la impureza el fosforo,
- Desulfuración retirar impurezas de azufre
- La formación de escoria espumantes aquí se acumulan todas las impurezas,
- Y finalmente se extraen las escorias negras

La otra fase es de afinar en esta fase se eliminan los óxidos metálicos de realizan los procesos de desulfuración y la descarburación esta fase se lleva a cabo en el horno cuchara con el material fundido en el horno eléctrico (Machado,2009). Aquí se forman las escorias blancas.

Durante su clasificación en la planta Procesadora se generan 04 tamaños: Base, grava 2"-3", huso 3, huso 67 y gravilla 0- 1/4".

#### **2.1.1.2. Producción de escorias de Sider Perú**

Acorde a lo indicado en el ítem anterior la formación de escorias en Sider Perú está ligado al proceso de obtención del acero y para ello la empresa produce el acero de 02 maneras distintas las cuales son a partir de:

- Reducción del mineral de hierro en el alto horno.
- Fusión de chatarra en hornos eléctricos.

##### **a) Escoria de altos Hornos.**

Se les nombra como hornos alto debido a su gran altura en comparación a otros hornos (H. Rondón, 2018). En este tipo de horno por lo general se procesa los materiales que son traídos directamente de las minas estos son hierro, coque y el fundente (carbonato de calcio). Las escorias de estos hornos de producen al momento que empieza el proceso para disminuir el óxido de hierro con la intención de obtener hierro más puro esto se logra

gracias al carbonato de calcio que actúa como un agente limpiador. (Piña,2011). El material (escoria) como consecuencia de este proceso se puede decir que es la combinación del material que actúa como fundente y las impurezas se ubican en superficie del horno, son de rápida cristalización condición que las convierte en materiales de peso liviano. Se utilizan en la elaboración de cementos y con escasas participaciones en obras viales.



**Figura 02. Altos horno y escoria de alto Horno**

Fuente: Sider Perú.

### **b) Escoria de Horno Eléctrico.**

Esta escoria se crea en hornos eléctricos, como se indicó anteriormente este tipo de horno utiliza la energía eléctrica para poder fundir la chatarra. Cuando se realiza la fusión de la chatarra (ferrícos, no ferrícos y mixtos) al igual que en los altos hornos aquí también hay que refinar para producir acero más puro esta etapa se conoce como oxidación.



**Figura 03. Horno eléctrico de Sider Perú**

Fuente: Sider Perú.

Las impurezas que se generan en esta fase son las escorias negras a pesar de los componentes que los conforman son catalogados como materiales no peligrosos (Rubio,2018).

Hoy en día las escorias vienen siendo aprovechadas como agregados en la línea de pavimentos (Hicapie,2018)

La empresa siderúrgica Sider Perú viene trabajando con 2 Hornos Eléctricos con un Tonelaje de 30 cada uno. Existen 02 tipos de arcos voltaicos:

- Horno de arco indirecto, llamado así porque el arco está formado por los electrodos, la cantidad que puede fundir (bronce, Cobre y latón) está entre los 50 a 250 Kg.
- Horno de arco directo, en este horno el arco ha sido formado por el electrodo y la chatarra, alberga ½ tonelada a 400 Toneladas.



**Figura 04. Escoria de Horno Eléctrico**

Fuente: “Caracterización de Escorias como sustitutos de áridos” (H. Rondón, 2018)

### **2.1.1.3. Composición química de la escoria**

Los elementos químicos de la escoria están influenciados por el material (chatarra) a fundir, los procesos del control de las variables de operación, la velocidad de enfriamiento entre otros en la tabla 1, se presenta los porcentajes de participación química en las escorias de hornos eléctricos de Sider Perú. Veamos a continuación:

**Tabla 1***Composición química de la escoria de acería*

<b>Tipo de escoria</b>	<b>% Oxidos</b>		<b>% Metales</b>	
<b>Over, A, B y C</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,52	As	0,00089
	CaO	21,58	Cd	0,00005
	FeO	30,40	Cr	0,11
	MnO	6,14	Hg	0,00027
	MgO	10,62	Pb	0,009
	SiO <sub>2</sub>	15,81	Zn	0,03
<b>Fino</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,04	-	-
	CaO	29,60	-	-
	FeO	20,10	-	-
	MnO	4,53	-	-
	MgO	10,50	-	-
	SiO <sub>2</sub>	15,05	-	-

*Nota:* Estos datos se han obtenido de las pruebas hechas a las escorias en los laboratorios de control de calidad de Sider Perú aproximadamente de 300 muestras. Tomado de "Ficha Técnica del análisis de escoria seca de horno eléctrico (EHE) de Sider Perú (2019).

#### **2.1.1.4. Características físicas y mecánicas de la escoria**

Las características físicas de las escorias nos permiten observarlas a simple vista, mientras que las mecánicas muestran el comportamiento de estas ante la aplicación de carga.

**Tabla 2***Propiedades físicas de la Escoria*

<i>Características</i>	<i>Árido Grueso</i>	<i>Árido Fino</i>
Tamaño(mm)	4.76-25.0	0-4.76
Densidad Aparente (Mg/m <sup>3</sup> )	3.35	3.7
Absorción %	3.29	2.84
Porosidad %	10.5	-
Desgaste %	20	-

*Nota:* Estos datos se han obtenido de las pruebas hechas a las escorias en los laboratorios de control de calidad de Sider Perú aproximadamente de 300 muestras. Tomado de "Ficha Técnica del análisis de escoria seca de horno eléctrico (EHE) de Sider Perú (2019).

**Tabla 3***Distribución de tamaño de partículas del acero (%)*

Tipo	Over	A	B	C	FINO
N° Malla	Base 3"-10"	Grava 3"-2"	Grava Huso 3	Grava Huso 67	Gravilla 0-1/4"
10" a 3"	100	0	0	0	0
2 1/2 "	0	61,91	0	0	0
2"	0	31,42	3,55	0	0
1 1/2 "	0	6,67	44,31	0	0
1"	0	0	44,10	0,61	0
3/4"	0	0	7,99	4,73	0
1/2"	0	0	0,05	42,53	0
3/8"	0	0	0	25,32	0
N° 4	0	0	0	26,49	0
N° 8	0	0	0	0,32 0	0
N° 30	0	0	0	0	0
N° 50	0	0	0	0	0
N° 100	0	0	0	0	33,23
N° 200	0	0	0	0	42,56
N° -200	0	0	0	0	24,21

*Nota: Estos datos se han obtenido de las pruebas hechas a las escorias en los laboratorios de control de calidad de Sider Perú aproximadamente de 300 muestras. Tomado de "Ficha Técnica del análisis de escoria seca de horno eléctrico (EHE) de Sider Perú (2019).*

### 2.1.2. Sub Rasante

La subrasante es una de las capas con un rol muy importante al momento de ejecutar construcciones (edificios, canales, pavimentos, etc.) ya que estas serán asentadas sobre ella, es decir es quien soporta las cargas provenientes de las construcciones. Es por ello que deben garantizar un buen desempeño ante tal situación para ellos es importante conocer que propiedades físicas y mecánicas un documento donde se plasma estos requisitos es el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos del MTC define a la subrasante como:

*"La superficie terminada a nivel de movimiento de tierras, es decir corte y relleno, en la cual se sentará la estructura del pavimento o afirmado y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactadas sin que exista deformaciones al someterse a la carga proveniente del tránsito" (2014, p.20).*

Como vemos la subrasante es importante porque en él asentará la capa

estructural del pavimento y debe ser capaz de resistir las cargas no solo de las capas, sino también las cargas de los vehículos de tal manera que las deformaciones no sean considerables por ello deben cumplir con requisitos mínimos exigidos por las normas afines. En ese sentido “si el terreno que conforma la sub rasante no cumple con los requisitos (es malo), debe descartarse y sustituirse por un suelo de mejor calidad ( $CBR \geq 6\%$ ); “si no es tan malo se recomienda colocar una subbase”. (Ravines, 2010, p.05).

En base a lo mencionado hay condiciones que esta capa debe cumplir con la finalidad de disminuir la consecuencia de la deformación que se puedan originar, siendo estas las siguientes:

**Tabla 4.**  
*Requisitos del material de calidad para subrasantes*

Requisitos del material	Valor
Limite Liquido; % máximo	35-40
Valor soporte de California (CBR); % mínimo	20
Expansión máxima; %	2

*Fuente: Recuperado del “Manual de suelos, geotecnia, geología y pavimentos” (2014, p. 25).*

Uno de los requisitos de calidad de la subrasante del pavimento se define mediante la resistencia al esfuerzo cortante del suelo (CBR) la cual se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad estos valores han sido determinados por MTC en el 2014 de la siguiente forma:

**Tabla 5.**  
*Categorías de Sub Rasante*

Categorías de Subrasante	CBR
S <sub>0</sub> : Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Insuficiente	De CBR ≥ 3% a CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Regular	De CBR ≥ 6% a CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Buena	De CBR ≥ 10% a CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Muy Buena	De CBR ≥ 20% a CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Excelente	CBR ≥ 30%

**Fuente:** Tomado del “Manual de suelos, geotecnia, geología y pavimentos” (2014, p. 35).



### **2.1.2.1. Propiedades Geotécnicas de los Suelos**

La geología a determinado una variedad de suelos existentes con el objetivo de ver la transformación de las composiciones de la tierra; obteniéndose “nuevos conocimientos a la distribución y nombramiento de cada tipo de suelo y mejorar en su desarrollo sus características” (Juárez y Rico, 2010).

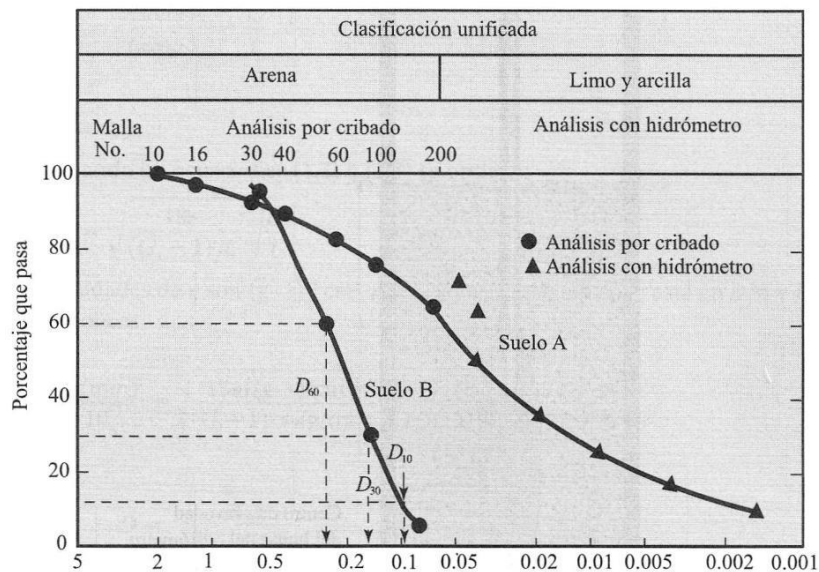
Entre las propiedades que deben cumplir la subrasante tenemos: Granulometría, Consistencia, Resistencias, Drenaje, compactación, Conservación de la compactación, Estabilidad volumétrica, Módulo resiliente, Otros.

### **2.1.2.2. Granulometría**

Determina la disposición de sus diferentes partículas que son parte del suelo, clasificados por el MTC según su tamaño (2016, p.30). Además, la granulometría indica como están distribuidos los tamaños de un determinado agregado y esto especificado por el MTC E-107. Es muy importante porque nos permite clasificar el suelo y de esta forma determinar su comportamiento mecánico, además poder conocer con mayor o menor aproximación las demás propiedades (estabilidad volumétrica, capacidad portante, etc.) que pudieran interesar. Los suelos bien graduados son aquellos que poseen una variedad de tamaños y presentan un desempeño ingenieril favorable que aquellos que tienen una granulometría muy uniforme. (Juárez y Rico, 2010, p. 57).

Existen diferentes procedimientos para determinar la composición granulométrica. Para suelos con partículas gruesas, el método más usado es el cribado por mallas, empleándose una serie de tamices (normalizadas) siendo las más empleadas la ASTM D-2487/69 americana y la una UNE 7050 española; mientras que, para suelos de grano fino, se recomienda realizar procedimientos de sedimentación, que consisten en la observación de la velocidad de asentamiento de las partículas del suelo. Los resultados del

tamizado o hidrométrico se representan en graficas semilogarítmicas mediante la curva de distribución granulométrica, las ordenadas simbolizan el % en peso de los suelos y las abscisas al tamaño correspondiente como se puede apreciar en la gráfica siguiente.



**Figura 05. Curva de distribución granulométricas**

**Fuente:** Tomado de “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”, de Braja, D., 2015, p. 40, D.F.: Thomson Editores.

La curva de distribución granulométrica permite comparar los distintos sólidos. De esta curva se pueden obtener el Tamaño efectivo de las partículas que conforman el suelo, los Coeficiente de uniformidad, Coeficiente de gradación (Braja, 2015, p.40). Parámetros importantes al momento de clasificar e identificar el suelo los cuales se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Suelo bien graduado, tiene diferentes tamaños y las proporciones entre estas son similares presentan una curva relativamente suave que cubre un amplio espectro de partículas.
- Suelo uniforme, el tamaño de sus partículas son similares.
- suelo de graduación discontinua, es aquel que contiene partículas

pequeñas y grandes, pero presenta una ausencia notable de partículas intermedias.

### **Coeficiente de uniformidad (Cu)**

Definido para evaluar que tan uniforme es el suelo y está directamente vinculado con el origen de este, es decir indica si el suelo esta bien graduado o mal graduado. Este dado por la siguiente relación:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:

**C<sub>u</sub>** coeficiente de uniformidad

**D<sub>60</sub>** diámetro correspondiente al 60% más fino en la curva de distribución de tamaño de partícula

Cuanto más grande sea el Cu más amplio será el tamaño de las partículas

Si el bien graduados deben estar en el siguiente rango:

Cu > 4 para gravas o Cu > 6 para arenas,

### **Coeficiente de Curvatura (Cc)**

El coeficiente de gradación puede ser expresado en la forma:

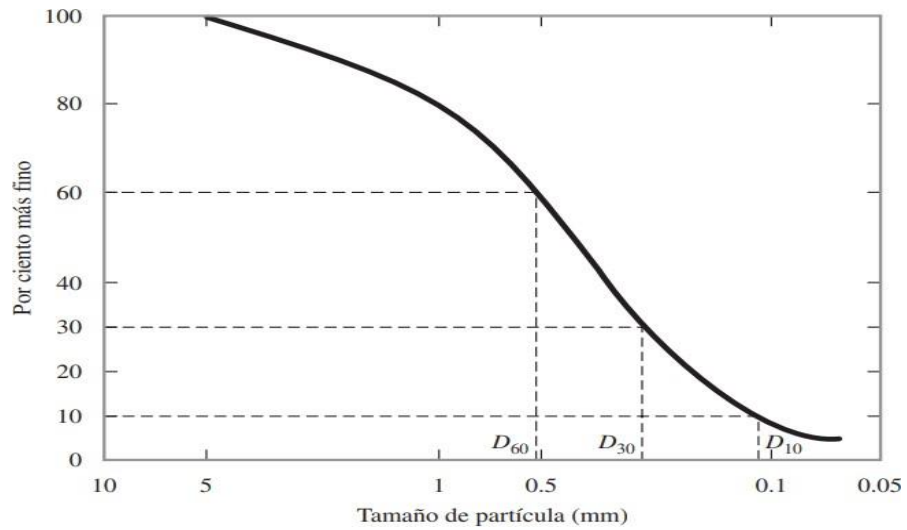
$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

Donde:

**C<sub>c</sub>** coeficiente de gradación

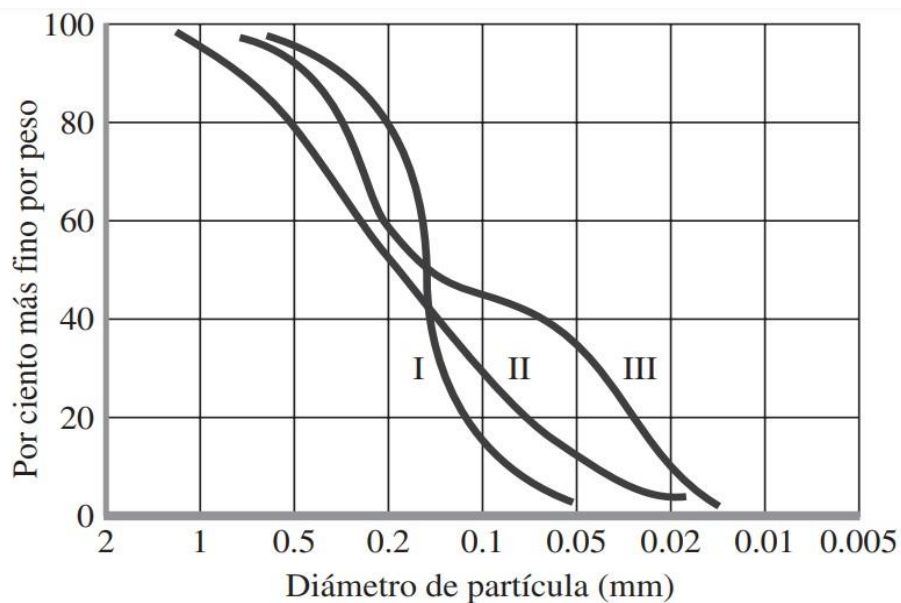
**D<sub>30</sub>** diámetro correspondiente al 30% más fino

El Cc debe estar entre 1 y 3 para suelos bien graduados.



**Figura 06. Definición de D10, D30 y D60**

**Fuente:** Tomado de "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", de Braja, D., 2015, p. 40, D.F.: Thomson Editores.



**Figura 07. Diferentes tipos de curva de distribución granulométrica**

**Fuente:** Tomado de "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", de Braja, D., 2015, p. 40, D.F.: Thomson Editores.

Además:

**Curva I:** suelo mal graduado porque la mayor cantidad de granos tienen el mismo tamaño.

**Curva II:** Suelo bien graduado los granos están distribuidos sobre un amplio rango.

**Curva III:** combinación de ambas, llamándose una granulometría discontinua.

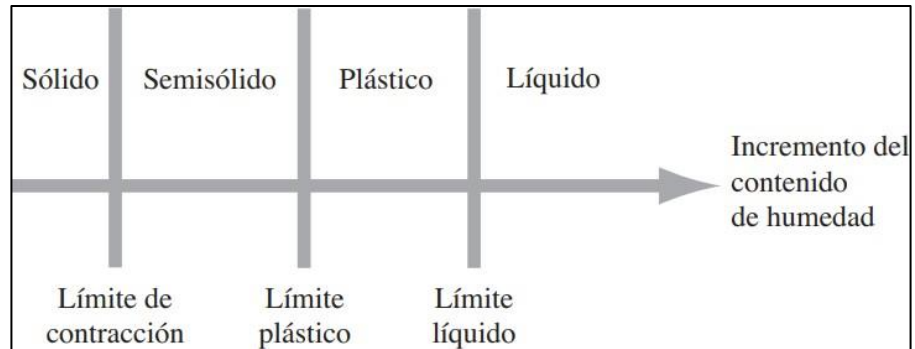
### **2.1.2.3. Estados de Consistencia**

Es el grado de firmeza de los suelos, varía desde un estado sólido a líquido viscoso, el cual va a depender de la presencia de agua que contenga.

Según Juárez y Rico (2011), indica que la plasticidad de un suelo es como la *“propiedad de los materiales que le permite resistir deformaciones rápidas, sin variar su volumen apreciable y sin sufrir desmoronaciones ni grietas”* (p. 127).

Las estructuras de las arcillas tienen la facilidad de retener agua, que queda absorbida mediante enlaces electrostáticos. Pero, cuando las moléculas de agua se alejan de las partículas, pierden el estado de atracción y se convierten en agua suelta entonces esta reacción se evidencia en un cambio volumétrico significativo provocando su expansión (Sandoval, 2012), y cuando el agua disminuye se contrae.

Albert Mauritz Atterberg creó una técnica para encontrar la consistencia de los suelos finos al agregarle distintos contenidos de humedad. De esto descubrió al agregarle una humedad muy baja, este se actúa como un sólido quebradizo. Pero cuando la humedad es muy alta, este empieza a fluir como un líquido. De los resultados encontrados Atterberg clasificó al suelo con las siguientes consistencias; líquido, plástico semisólido, y sólido, (Braja, 2015, p.64) como se muestra en la figura.



**Figura 08. Límites de Atterberg**

**Fuente:** Tomado de "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", de Braja, D., 2015, p. 40, D.F.: Thomson Editores.

- Líquido: Se encuentra entre el estado semilíquido (fluido viscoso sin capacidad resistente) y plástico. Para su determinación se emplea el ensayo de la copa de Casagrande.
- Plástico: Se encuentra entre el estado plástico y semisólido (aparición sólida). Presentando deformación con la aplicación de pequeños esfuerzos. No recupera su estado inicial al terminar el esfuerzo.
- Semisólido: el suelo se resquebraja y deja de ser moldeable al cambiar su forma, sin embargo; disminuye su volumen al perder agua.
- Sólido: el suelo llega a su estabilidad, no hay cambio de volumen respecto a las variaciones de humedad.

Los estados son fases que presenta el suelo al evaporarse la humedad. Atterberg planteó pautas para distinguir las fronteras, llamándolas límites de consistencia. De los límites mencionados, es de especial interés la determinación de los límites líquidos y plástico, debido a la presencia de la alta deformación del suelo y una reducción significativa de su capacidad portante. La diferencia entre el límite líquido (L.L.) y el límite plástico (L.P.) se denomina Índice Plástico (I.P.) del suelo.

$$IP = LL - PL$$

Cuando no se puede hallar uno de los límites o el resultado es negativo, este se considera no plástico (N.P.) y el índice plástico será cero. El índice de plasticidad señala el intervalo de humedad que el suelo posee (consistencia plástica) y por ende permite su clasificación,

**Tabla 6.**  
*Índice de Plasticidad de los suelos*

<b>Índice De Plasticidad</b>	<b>Plasticidad</b>	<b>Característica del suelo</b>
IP>20	Alta	Muy Arcillosos
IP<=20		
IP>7	Media	Arcillosos
IP<7	Baja	Poco Arcillosos Plasticidad
IP=0	No Plástico (NP)	exentos de arcilla

**Fuente:** Tomado del *“Manual de suelos, geotecnia, geología y pavimentos”* (2014, p. 32).

#### 2.1.2.4. Clasificación de Suelos

Bañon y Beviá Afirma:

*“La definición y clasificación de las propiedades de los suelos, tienen como propósito una agrupación sistemática de los distintos suelos de acuerdo a la semejanza de sus características físicas y sus propiedades mecánicas”* (2000, p.20).

La normativa MTC-05-14 considera obligatoriamente 02 sistemas de clasificación dados por AASHTO y ASTM (SUCS) para el caso de vías.

##### a) Sistema de Clasificación AASHTO

AASHTO significa Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes. Este sistema agrupa a los suelos en 7 tipos desde el A-1 hasta el A-7, divididos en base a su tamaño de partículas y límites de Atterberg (límite líquido e índice de plasticidad), algunos de estos presentan subdivisiones.

Aquellos suelos comprendidos entre los grupos A-1, A-2 y A-3, y que además el 35% o menos pasan el tamiz N°200 los denomina suelos granulares, y los suelos finos aquellos pasan más del 35% el tamiz N°200 corresponde los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. La turba, el lodo y otros suelos orgánicos pertenecen al grupo A-8.

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A - 1 - a		A - 5
	A - 1 - b		A - 6
	A - 3		A - 7 - 5
	A - 2 - 4		A - 7 - 6
	A - 2 - 5		Materia Orgánica
	A - 2 - 6		Roca Sana
	A - 2 - 7		Roca Desintegrada
	A - 4		

Figura 09. Clasificación AASHTO- signos convencionales

Fuente: Tomado del "Manual de suelos, geotecnia, geología y pavimentos" (2014, p. 29).

El índice de grupo se desarrolló para poseer una valuación cualitativa de la calidad de un suelo para ser usado como material de subrasante de una vía (Braja, 2001). El IG se basa en los límites de Atterberg y la granulometría la fórmula es la siguiente:

$$IG = 0.2 (a) + 0.005(ac) + 0.01(bd)$$

Donde:

a = (% que pasa malla 200) – 35

b = (% que pasa malla 200) – 15

c = Límite Líquido - 40

d = Índice Plástico – 10



**Tabla 7.***Clasificación de suelos según Índice de Grupo*

<b>Índice de Grupo</b>	<b>Suelo de Subrasante</b>
IG >9	inadecuado
IG está entre 4 a 9	insuficiente
IG está entre 2 a 4	regular
IG está entre 1 - 2	bueno
IG está entre 0 - 1	Muy bueno

**Fuente:** Tomado del “Manual de suelos, geotecnia, geología y pavimentos” (2014, p. 29).

### **b) Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S)**

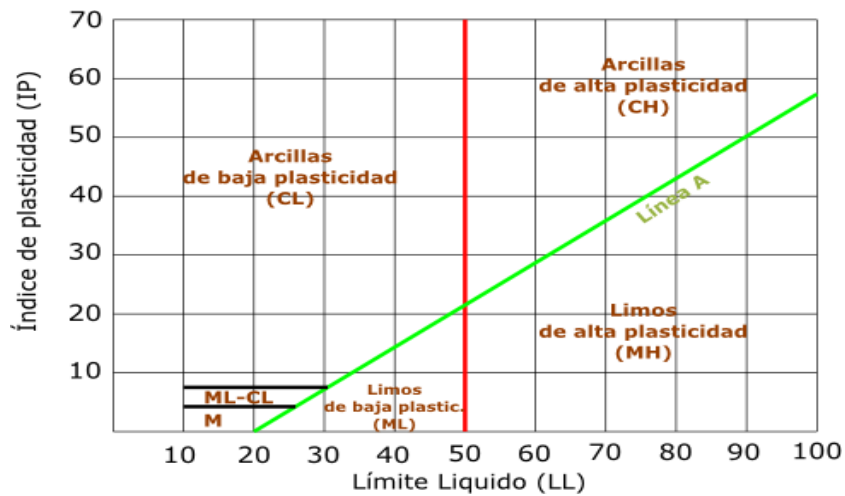
El sistema S.U.C.S. inicialmente fue creado para clasificación vías de aeropuertos, en 1942 por Arthur Casagrande. El sistema unificado de suelos contempla los suelos granulares y finos, distinguiéndolos mediante el cribado del tamiz N°200. Considera que el suelo es grueso cuando más del 50% de las partículas en peso queda retenido en la malla N°200, y se considera fino si más del 50% del material pasa la malla N°200, clasifica a los suelos con las iniciales de su nombre más una característica de éste, como se puede ver en la siguiente tabla:

**Tabla 8.***Símbolos de grupo (SUCS)*

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Prefijo</b>	<b>Subgrupo</b>	<b>Sufijo</b>
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

**Fuente:** Tomado de NORMA ASTM, 2003.

Los suelos con alta contenido de sustancias orgánicas, en el cual su límite líquido se encuentra entre 300% y 500% y su índice plástico entre 100% y 200%. Se ubican por debajo del área de la línea A. Juárez y Rico (2011).



**Figura 10. Carta de plasticidad de Casagrande**

*Fuente: Recuperado de Norma ASTM, 2003.*

### 2.1.2.5. Compactación de los Suelos

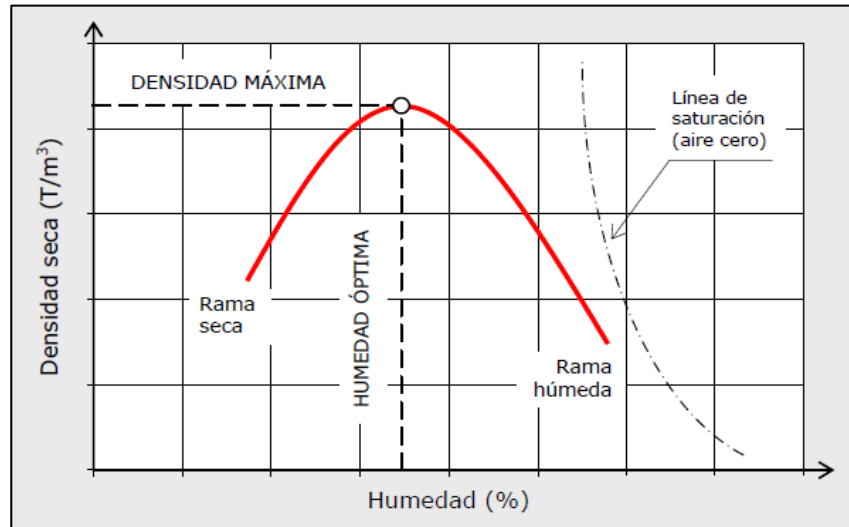
En los suelos con densidades bajas (suelos sueltos) deben aplicarse mecanismos para aumentar esta propiedad, un método muy común es la compactación.

al compactar el suelo se elimina el aire que se encuentra atrapado en los poros y estos se reducen, visiblemente se refleja en la disminución de volumen para lograr esto se requiere aplicar energía mecánica. Pero como saber qué cantidad de energía es necesaria, que características debe tener el suelo para lograr esto, entonces es necesario realizar pruebas en laboratorio y luego replicarlas en campo.

Realizar pruebas de compactación en laboratorio tienen dos finalidades básicas; la primera es disponer de muestras de suelo compactadas teóricamente en laboratorio con las condiciones de campo, a fin de conocer sus propiedades mecánicas para obtener datos reales del proyecto, y en segundo lugar poder controlar el trabajo de campo, para comprobar que el equipo usado está trabajando efectivamente. Juárez y Rico (1976).

Proctor RR, (1933) descubrió que al aplicar al suelo una cantidad

de energía de compactación en 03 capas, adentro de un molde cilíndrico, y aplicándole golpes con un pisón, su peso volumétrico cambia respecto a la humedad que posee. Siguiendo la curva de la imagen 11 se puede observar que tiene un punto máximo que representa el peso volumétrico máximo de dicho suelo con la energía de compactación utilizada.



**Figura 11. Curva Densidad Seca VS Humedad.**

**Fuente:** Recuperado de Norma ASTM, 2003

Al aplicar una cierta energía de compactación, la densidad seca obtenida cambia con el contenido de humedad según la curva como se muestra en la figura 12; existiendo un porcentaje de humedad se puede adquirir una densidad seca máxima; denominándose a la abscisa y ordenada de ese punto máximo, humedad óptima,  $W_o$  y densidad seco máximo,  $Y_{smáx}$ , respectivamente (Villar,2017). La energía específica de compactación que se emplea puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$E_c = \frac{NnWh}{V}$$

Donde:

$E$  = Energía específica de compactación (kg-cm/cm<sup>3</sup>).

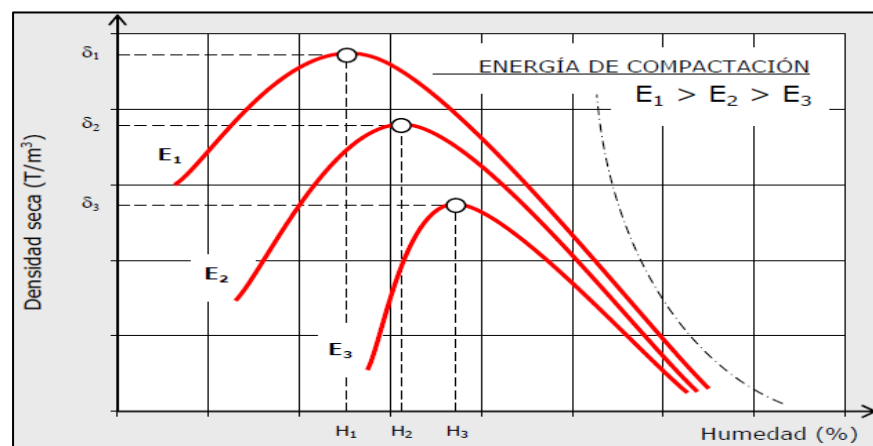
$W$ = Peso del pisón (Kg).

$H$ = Altura de caída del pisón (cm).

$N$ = Número total de golpes por Capa.

$V$ = Volumen total del suelo compactado.

Si se incrementa la energía usada en la compactación para un mismo suelo, la máxima densidad seca es mayor y la humedad óptima disminuye, como se muestra en la figura. Entonces podemos afirmar que la energía de compactación es distinta para cada tipo de suelo. Las pruebas de compactación más conocidas son las realizadas con una Energía Estándar (Proctor Estándar) y con una Energía Modificada (Proctor Modificado), la diferencia entre las dos variantes es la energía utilizada al momento de compactar, según el caso cambia la cantidad de capas, de golpes, el pisón y el molde; siendo 4.5 veces superior en el segundo caso que en el primero.



**Figura 12. Influencia De La Energía De Compactación.**  
Fuente: Recuperado de Norma ASTM, 2003

### 2.1.3. Estabilización de Suelos

La estabilización de un suelo es un conjunto de procedimientos en el que los suelos en estado natural se someten para aprovechar mejor sus cualidades, obteniéndose así suelos más estables, que pueden soportar los efectos que traen consigo el tránsito y las condiciones climáticas.

(Crespo, 2004).

López (1983), habla de mejora geotécnica de un suelo cuando presenta los siguientes cambios en sus propiedades:

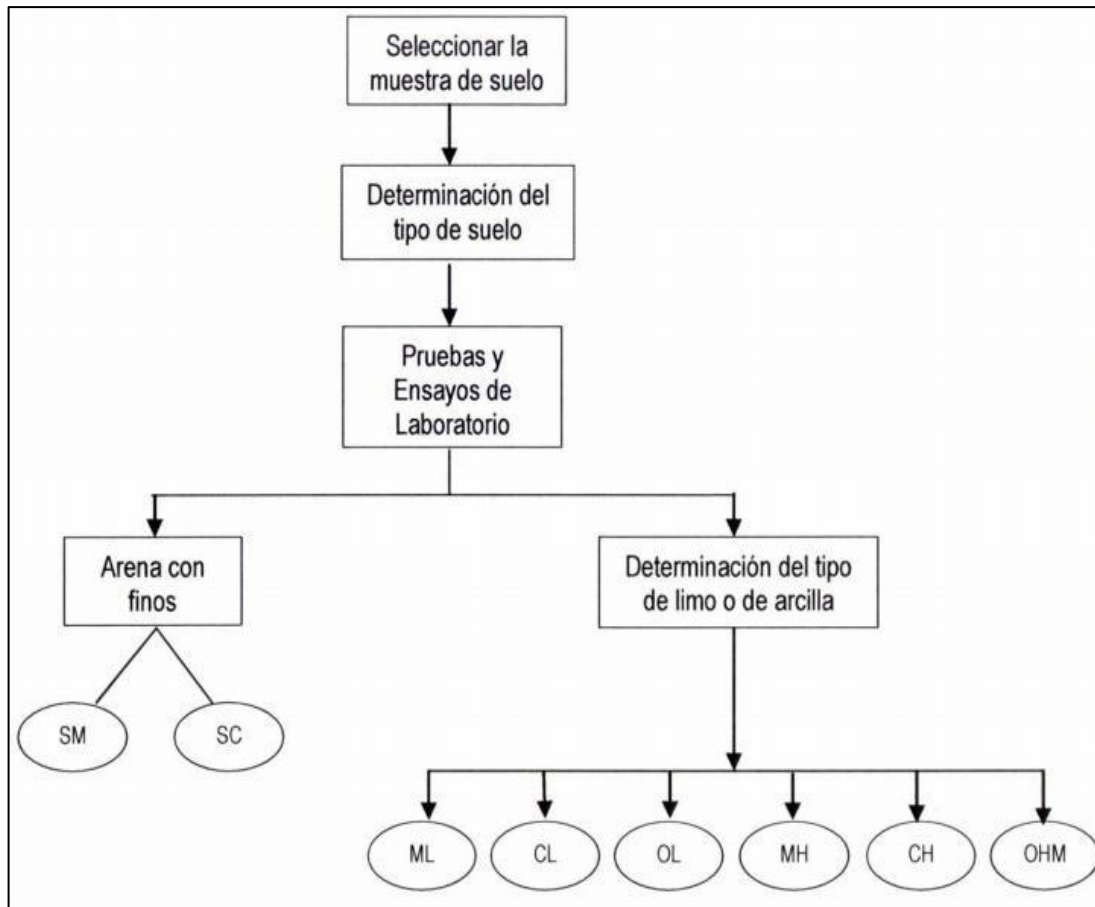
- Incrementa la resistencia mecánica.
- Disminuye los asentamientos bajo cargas estáticas.
- Baja el potencial de licuefacción al someterle a cargas dinámicas y sísmicos.
- Bajar la permeabilidad.
- Aminorar el potencial de colapso estructural.

La norma MC-05-1, Indica que:

Estabilizar un suelo significa mejorar las propiedades físicas empleando métodos mecánicos e incorporando materiales químicos, ya sean naturales o sintéticos (2014, p.93). Se realiza cuando los suelos son pobres o inadecuados con la finalidad de brindarles resistencia mecánica y la continuidad de dichas propiedades a través del tiempo. Hoy en día se manejan muchas técnicas para este procedimiento, como adicionar otro suelo o incorporar agentes estabilizantes. Posteriormente se debe compactar.

- Suelos que presenten un grado de subrasante pobre o inadecuada (CBR  $\leq 6$ )
- Cuando la capa de subrasante sea arcillosa o limosa.
- Presencia de nivel freático
- En suelos susceptibles a congelamiento

Para estabilizar un suelo se debe conocer el suelo que predomina sea limos, arcillas, arenas limosas o arcillosas, etc.



**Figura 13. Identificación del tipo de suelo**

**Fuente:** Tomado del “Manual de suelos, geotecnia, geología y pavimentos” (2014, p. 94).

### 2.1.3.1. Estabilización física y Mecánica

Mejora el suelo provocando cambios físicos sin cambiar su estructura. Entre los métodos más usados tenemos:

- a) Mezclas de Suelos: tiene un amplio uso, se si aplica sola no produce los efectos esperados, es por ello que siempre necesita de la compactación como complemento. Este método combina y/o mezcla los materiales de suelo con otros de préstamo y además lo completa con la respectiva compactación no debemos olvidar que estos materiales estan obligados a considerar la humedad apropiada de compactación.

Por ejemplo, las arcillas son altamente cohesivos y presentan baja fricción lo cual le hace inestable al contacto con el agua si se agrega una cantidad de gravas este material es cero expansivo y no presenta plasticidad, entonces la combinación de estos dos tipos de materiales produce un material firme aprovechando las propiedades de ambos.

- b) Estabilización por compactación; Se ejecuta considerando el contenido de humedad, se debe disminuir la proporción de vacíos, intensificar la fricción interna y con ello adquirir que la capacidad de soporte sea alta.
- c) Estabilización por sustitución de suelos; cambia un suelo por otro con características físicas y mecánicas destacables. Este cambio se puede hacer de 2 maneras;
  - La capa de subrasante se ejecute directo sobre el suelo natural existente
  - Realizar una excavación y reemplazarlo con el material que tenga mejores propiedades.

#### **2.1.3.2. Estabilización Química**

Añade al suelo productos para que al reaccionar químicamente modifique la estructura y propiedades del suelo, logrando mejorarlas.

Antes de realizar la estabilización del suelo es importante analizar el impacto que repercute al medio ambiente Algunos materiales usados tenemos:

- Cal: baja la plasticidad de los suelos expansivos (arcillas) con un bajo costo.
- Cemento Portland: Incrementa la resistencia de los suelos, usado en arenas o gravas finas.
- Productos Asfálticos: emulsión usada en materiales triturados sin

cohesión.

- Cloruro de Sodio, calcio y de Magnesio: son impermeabilizantes y bajan los polvos en el suelo, para arcillas y limos.
- Escorias de Fundición, Polímeros y Hule de Neumáticos: son usados en carpetas asfálticas para incrementar la resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

### **2.1.3.3. Estabilización con escorias**

Este material presenta una moderada reactividad hidráulica el conjunto de propiedades físicas (dureza y textura superficial) la hacen sobresaliente ante los convencionales. La estabilización con escorias hoy en día es el método que permite mejorar las propiedades físicas de los suelos bastante utilizado debido a las sus características (angularidad, textura, peso, etc.), las superficies estabilizadas con este material son antiderrapantes los suelos estabilizados con escorias tienen la capacidad de retener el calor por periodos más prolongados. El uso de escorias como material estabilizador reduce el consumo de agregados y por ende disminuye la extracción de canteras manteniendo así el ecosistema de la zona de igual manera minimiza el consumo de energía y combustible disminuyendo transmisiones de gases del CO<sub>2</sub> al ambiente (MTC, 2014, p.103).

Los suelos estabilizados con escorias varían entre 35% - 45% en volumen cuando se combina con cal. (MTC, 2014, p. 104)

## **2.2. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.2.1. Agregado**

Presenta una composición mineralógica como arena, grava, escoria, o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

### **2.2.2. Base**

Es la capa diseñada para recibir a las cargas que transmite la capa de rodadura.



### **2.2.3. Capacidad de Soporte**

Capacidad que tiene la subrasante de aguantar las cargas transmitidas por los vehículos.

### **2.2.4. CBR (California Bearing Ratio)**

Ensayo que evalúa la calidad del material en función de su resistencia con fines de pavimentación, se mide por la penetración que tiene una fuerza al aplicarlo al suelo.

### **2.2.5. Estabilidad:**

Control de densidad y volumen de un suelo

### **2.2.6. Escoria**

Residuo resultante de los metales unidos en el proceso de fundición.

### **2.2.7. Estudio de Suelos**

conjunto de actividades y procedimientos con base en normativas para conocerlas características de un determinado suelo.

### **2.2.8. Muestreo**

Es un procedimiento para elegir el material del suelo a investigar.

### **2.2.9. Pavimento**

Conjunto de capas constituidas por materiales; granulares, asfálticos, concretos, u otros los cuales pueden ser rígidos o flexibles y deben cumplir los requisitos exigidos por las normas con la finalidad de transmitir cargas al terreno natural sin deformarse.

### **2.2.10. Subrasante**

Capa sobre la cual se coloca el pavimento debe cumplir requisitos de CBR.

**CAPITULO III:**  
**MARCO METODOLÓGICO**

**3.1. HIPÓTESIS CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN**

Se tiene la siguiente hipótesis descriptiva:

“La adición de escorias del horno eléctrico de Sider Perú es un excelente agregado para la estabilización de sub rasante para pavimentos en Chimbote”

**3.2. VARIABLES E INDICADORES DE LA INVESTIGACIÓN**

**3.2.1. Variables**

**3.2.1.1. Variable independiente:**

**- Adición de escoria del horno eléctrico de Sider Perú**

Las escorias se han adicionado en porcentajes de 10%, 15% y 20% a la capa de la subrasante y luego se evaluó el comportamiento lo cual ha permitido saber cómo influye en el proceso de estabilización de esta capa.

**3.2.1.2. Variables dependientes:**

**- La estabilización de la subrasante**

Para la estabilización de la subrasante se ha evaluado el efecto técnico y económico que tiene las escorias en esta capa.

**- Propiedades mecánicas y físicas**

Se han realizado los ensayos respectivos al suelo de la subrasante antes y después de adicionar los porcentajes de 10%, 15% y 20% de escorias, esto nos ha permitido saber cómo afecta la resistencia de esta capa ante las cargas que se le apliquen.

**3.2.2. Indicadores**

Los elementos para poder evaluar y medir a las variables que intervienen en esta investigación fueron los siguientes:

**Tabla 9**

Variable causal: Adición de escoria del horno eléctrico de SiderPerú.

Definición Operacional			
Dimensión	Indicador	Valores finales	Tipo de variable
Mecánicos	CBR	%	Numérica/continua
	Proctor	%	Numérica/continua
	Angulo de Fricción Interna	grados	Numérica/continua
	Desgaste	%	Numérica/continua
	Granulometría	gramos	Numérica/continua
Físicos	Densidad	Gr/cm <sup>3</sup>	Numérica/continua
	Absorción	%	Numérica/continua
	Peso específico	Gr/cm <sup>3</sup>	Numérica/continua
	porosidad	%	Numérica/continua
Químicos	Contenido de azufre	%	Numérica/continua
	Contenido de sulfato	%	Numérica/continua
	Contenido de óxido de hierro	%	Numérica/continua

**Tabla 10**

Variable efecto: La estabilización de la subrasante- Propiedades mecánicas y físicas

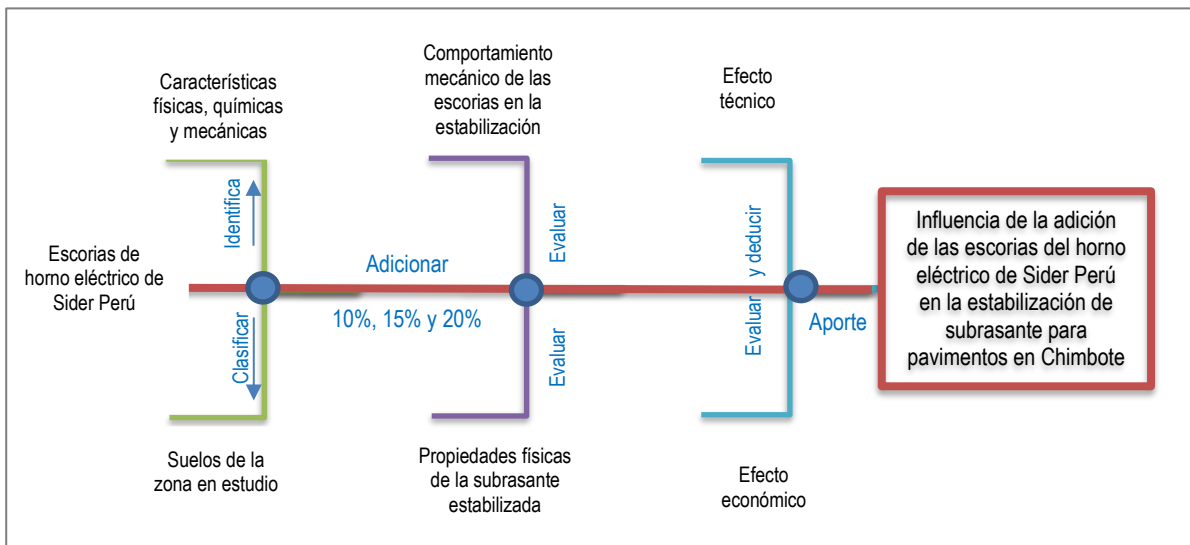
Dimensión	Indicador	Valores Finales	Tipo De Variable
Mecánicos	CBR	%	Numérica/Continua
	Proctor	Gr/cm <sup>3</sup>	Numérica/Continua
	Granulometría	Mm	Numérica/Continua
	Angulo de fricción interna	° grados	Numérica/Continua
	Desgaste	Porcentaje	Numérica/Continua
Físicos	Densidad	Gr/cm <sup>3</sup>	Numérica/Continua
	Absorción	%	Numérica/Continua
	Peso Específico	Gr/cm <sup>3</sup>	Numérica/Continua
	Porosidad	%	Numérica/Continua

### 3.3. MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para este trabajo se consideró una investigación tipo Aplicada ya que “los fines de aplicación fueron directos e inmediatos” (Rosa, 2009). Al adicionar las escorias sobre la subrasante en porcentajes 10%, 15% y 20% en la vía de tramo de la muestra se trata de bajar los costos al momento de diseñar pavimentos y disminuir el agotamiento de recursos naturales (materiales

granulares), con ello colaborar a la bajar los niveles de contaminación del ambiente.

En cuanto al contexto, es decir a la naturaleza de la investigación éste trabajo presenta un enfoque cuantitativo. Debido a que, “Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (Sampieri,2018, p.18). Con base en la hipótesis (descriptiva - predictiva), los objetivos y preguntas de la investigación se han evaluado las variables basándose en la secuencia de los objetivos por lo que se trabajó por etapas. Para comprobar la hipótesis, se ha realizado análisis deductivos lógicos, con la finalidad de explicarlos resultados obtenidos, Por otro lado, para analizar y determinar la validez y confiabilidad de los datos se utilizó la estadística y en cuanto a la presentación de resultados se trabajó con tablas y gráficos

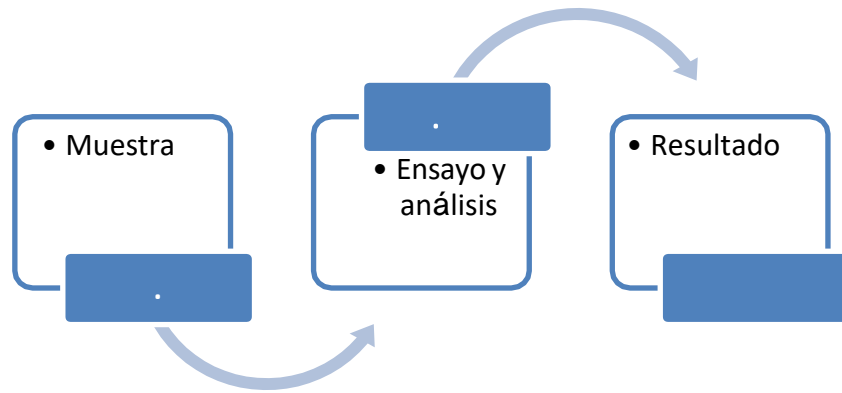


**Figura 14. Proceso de la investigación aplicada con enfoque cuantitativo**

### 3.4. DISEÑO O ESQUEMA DE LA INVESTIGACIÓN

"El diseño experimental es un proceso lógico, sistemático que administran estímulos o tratamientos y/o intervenciones" (Sampieri,2014, p.128). Debido a que se adicione porcentajes de escoria de 10%,15% y 20% a la subrasante

para ver los efectos de estas adicciones (ver la influencia)

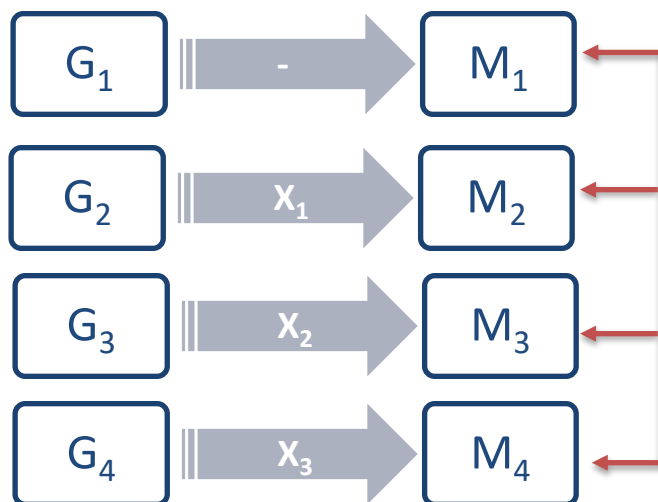


**Figura 15. Esquema de Investigación**

Se ha tenido en cuenta para el desarrollo de esta investigación por tener un enfoque cuantitativo lo siguiente:

- Se ha Manipulado intencionalmente las escorias al adicionar 10%,15% y 20%.
- Se ha medido las Propiedades mecánicas y físicas, con a la finalidad de ver cómo es la estabilización de la subrasante y poder determinar la influencia de las escorias en sus distintos porcentajes.
- Se ha tenido bajo control de las variables extrañas.

Debido al tratamiento del diseño y en base al análisis de los resultados realizados al comparar la subrasante antes y después de adicionar las escorias se ha considerado según Campbell y Stanley (1966) una tipología de experimentos puros o experimento con control cuyo esquema es el siguiente:



Dónde:

G1, G2, G3 y G4: Grupo de casos o sujetos, subrasante a estudiar.

X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> y X<sub>3</sub>: Tratamiento, adición de % de escorias

M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, y M<sub>4</sub>, Posprueba. Ensayos en laboratorio

—: Ausencia de estímulo.

↔ Comparación de mediciones antes de adicionar la escoria y después.

### **3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.5.1. Población:**

Fue considera una población infinita siendo esta; las subrasantes de los pavimentos de la ciudad de Chimbote.

#### **3.5.2. Muestra:**

Para la recolección de datos fue considerada una cantidad representativa teniendo en cuenta lo siguiente:

- Se ha delimitado la población
- Se ha considerado la cantidad representativa de manera cualitativa (no probalística)
- Se ha elegido la unidad de análisis para esta investigación

Basándonos en lo mencionado líneas arriba la muestra fue el material de la subrasante de las vías no pavimentadas del AA.HH. San Pedro.

##### **3.5.2.1. Tipo de muestreo**

*“La elección de las unidades no depende de la probabilidad, sino de razones relacionadas con las características y contexto de la investigación” (Sampieri,2018, p.217).*

Tomando como base lo expuesto por Sampieri, la muestra utilizada en esta investigación es No Probabilístico - discrecional, ya que la muestra ha sido elegida por decisión del investigador teniendo como base para ello; el problema, el alcance, la hipótesis, el diseño y el aporte.

### 3.5.2.2. Tamaño de muestra

Para escoger la muestra en esta investigación se consideró los criterios de la NTE CE.010 y MTC- E 101 los puntos de investigación fueron ubicadas entre los cruces de vías, con la finalidad de establecer la estratigrafía. La cantidad fue considerada en base a la siguiente tabla:

**Tabla 11.**

Cantidad de puntos exploración en base al tipo de vía.

Tipo de vía	Número mínimo de puntos de investigación	Área (m <sup>2</sup> )
Expresas	1 cada	1000
Arteriales	1 cada	1200
Colectoras	1 cada	1500
Locales	1 cada	1800

*Nota: El número de puntos de investigación será de acuerdo con el tipo de vía según se indica en la Tabla.*

**Fuente:** Tomado de la N.T.E. CE. 010. Pavimentos Urbanos

La muestra se encuentra ubicado entre las coordenadas 09°03'04" S; 78°35'13" W y 09°03'39" S; 78°39'36" W con una altitud que varía de 80 msnm a 97 msnm del Asentamiento Humano San Pedro perteneciente al departamento de Ancash como se puede ver en la imagen siguiente.



**Figura 16:** Ubicación de la muestra

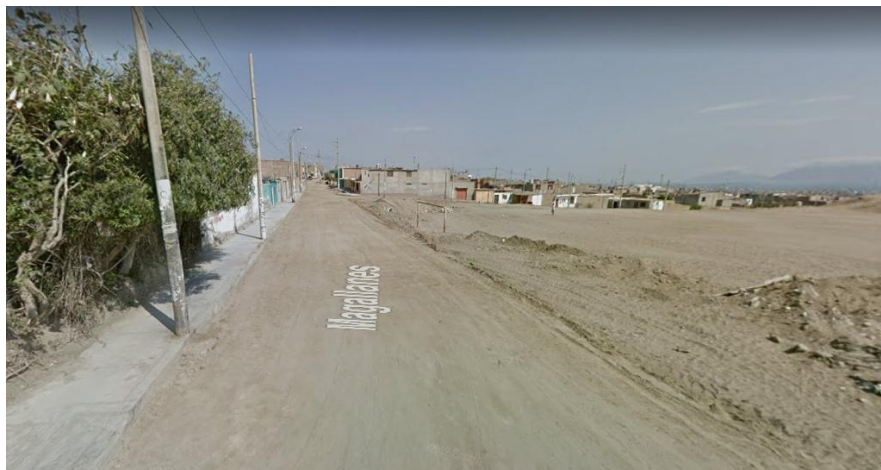
*Fuente: Tomado de Google Maps (2020).  
<https://www.google.com/maps>*

Se seleccionó esta zona como muestra por proximidad y además estudios sobre el uso de escorias denotan el comportamiento de este tipo de suelos ha permitido conocer opiniones, datos e información de forma rápida de las características de la subrasante.





**Figura 17:** Vista del Jr. el Sol  
*Fuente: Tomado de Google Maps (2020).*  
<https://www.google.com/maps>



**Figura 18:** Vista del Jr. Magallanes  
*Fuente: Tomado de Google Maps (2020).*  
<https://www.google.com/maps>

Dentro del distrito de Chimbote se seleccionaron las muestras, en los tramos mencionados líneas arriba siendo extraídas a cielo abierto (calicatas) donde se evaluó los suelos de la subrasante para definir las características físicas y mecánicas y ver si era factible utilizarlo material de afirmado estabilizado.



**Figura 19:** Vista del Pasaje S/N AA.HH. San Pedro

Fuente: Tomado de Google Maps (2020.)

<https://www.google.com/maps>

El número de ensayos y muestras realizadas a la subrasante antes y después de adicionar las escorias se especifican en la Tabla 12, todo esto fue de acuerdo al Manual de Carreteras: “*Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*” (MTC, 2014, p. 26), corresponde a 01 calicata por kilómetro, ubicadas longitudinalmente y alternadamente dentro del ancho de las vías en estudio las cuales fueron conservadas, selladas y llevadas al laboratorio, para realizarse ensayos con la intención de identificación y clasificación.

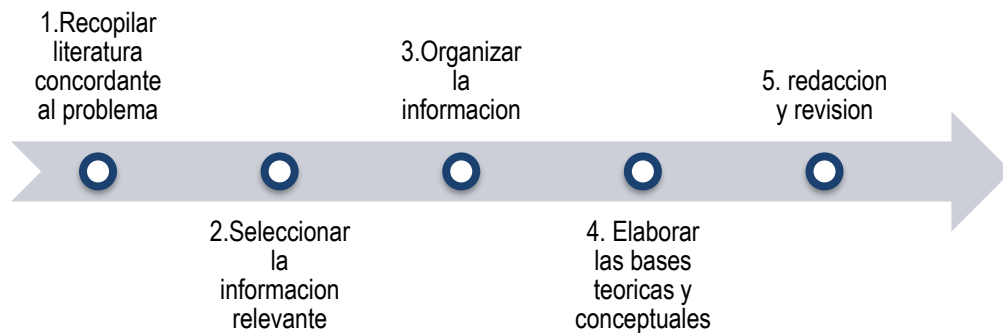
**Tabla 12.**

***Selección, Tamaño y Tipo de la Muestra***

Calicata	Prof.	Ensayo	Uso de Muestra	
			Patrón	CBCA 10%, 15%, 25%
C-01	150cm	- Granulometría	Si	si
		- Proctor Modificado	Si	Si
		- CBR	Si	Si
			Si	Si
C-02	150cm	- Granulometría	Si	si
		- Proctor Modificado	Si	Si
		- CBR	Si	Si
			Si	Si

### 3.6. ACTIVIDADES DEL PROCESO INVESTIGATIVO

1° El inicio de las actividades para desarrollar la tesis fue con el acopio de la bibliografía (literatura adecuada) referido al tema y al problema de la investigación el cual se examinó y analizó cautelosamente. De esta información se extrajo el sustento para realizar las bases teóricas y conceptuales. En el siguiente grafico se plasma las etapas seguidas:



**Figura 20.** Etapas de la revisión bibliográfica

2° Se procedió a recolectar las escorias del horno eléctrico de Sider Perú, para lo cual se coordinó con él encargado del área de imagen de la empresa quien facilito este procedimiento.

3° Luego de establecer la zona donde se sacó la muestra, se realizó 02 calicatas de 1.50m de profundidad entre las coordenadas mencionadas líneas arriba pertenecientes al Asentamiento Humano San Pedro, donde se tomaron muestras representativas para los ensayos respectivos los cuales se desarrollaron en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la USP y UNS entre los ensayos realizados: análisis granulométrico, límites de Attemberg, contenido de humedad, peso específico, Proctor modificado, CBR, densidad aparente, el cual es nuestra muestra patrón sin estímulo.



**Figura 21.** Ubicación de la muestra  
*Fuente: Tomado de Google Maps (2020).*  
<https://www.google.com/maps>

- 4° De igual manera que la subrasante, se estableció las características químicas, físicas, y mecánicas de la escoria de Horno eléctrico proveniente de la Planta de Sider Perú de la ciudad de Chimbote en los laboratorios de mecánica de suelos y ensayo de materiales de la empresa Sider Perú.
- 5° Una vez identificado la escoria y el suelo de la subrasante se realizaron los ensayos con las muestras adicionando los porcentajes respectivos de 10%,15% y 20%. De los cuales se identificaron cual era el porcentaje que mejor comportamiento tenia para ello se compararon los resultados con la muestra patrón. Entre los ensayos que se ha comparado son el Proctor Modificado, el óptimo contenido de humedad, la máxima densidad seca y el CBR, importante recalcar que estos ensayos fueron realizados en dos laboratorios (USP y UNS) con la finalidad de garantizar la confiabilidad y validez de estos.
- 6° Con los datos obtenidos a través de los ensayos se procedió a realizar las hojas de cálculos de los diferentes y con ello poder elaborar:
- El contraste de los resultados de la muestra sin y con los diferentes estímulos crecientes de escoria del Horno Eléctrico de Sider Perú.
  - Se elaboró los resultados en tablas y se hizo la comparación en cuadros

comparativos.

–Se sometió a prueba la hipótesis, y se dió el resultado a nuestra hipótesis aceptada. Se procedió a la elaboración del informe de Investigación.

### **3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Para aplicar las técnicas e instrumentos se ha tenido en cuenta que cumplieran con los requisitos de confiabilidad, validez y objetividad. Se hizo uso de la observación, pruebas estandarizadas (ensayos según MTC, normas ASTM y AASHTO), datos secundarios (recolectados de Sider Perú) algunos aparatos y equipos. De igual modo se aplicaron métodos inductivos -deductivos.

#### **3.7.1.1. Método del cuarteo (Escorias de horno eléctrico)**

Es imprescindible seleccionar la muestra necesaria y al mismo tiempo sea representativa para cada uno de los ensayos a realizar, esta técnica está basada en la norma ASTM D75 y MTC E 105.

#### **3.7.1.2. Para determinar las características físicas y químicas de escorias del horno eléctrico (EHE)**

- Método de Fluorescencia de Rayos X. (Análisis Químico).  
Obtenidos del análisis desarrollado por Sider Perú.
- ASTM C 188- 2009/ NTP 334.0005 (Propiedades Físicas)

#### **3.7.1.3. Para determinar las propiedades mecánicas y físicas del suelo a estabilizar en diferentes puntos.**

- MTC E 107 (Análisis Granulométrico por tamizado) ASTM D 422
- MTC E 108 (Humedad Natural)
- MTC E110 (Limite Liquido) ASTM D 4318
- MTC E111 - E112 (Limite Plástico e índice de plasticidad)
- MTC E 113 (Gravedad Especifica)
- MTC E115 (Proctor Modificado) ASTMD 1557
- MTC E 132 (CBR) ASTM D 1883
- Clasificación AASHTO M-145
- Clasificación SUCS ASTM D 24-87

**3.7.1.4. Para determinar las características físicas y mecánicas de los suelos estabilizados con escorias del horno eléctrico en porcentajes de: 10%, 15% y 25%. (EHE).**

- MTC E 108 (Humedad Natural)
- MTC E 110 (Limite Liquido) ASTM D 4318
- MTC E 111 - E112 (Limite Plástico e índice de plasticidad)
- MTC E 113 (Gravedad Especifica)
- MTC E 115(Relación Humedad–Densidad Compactada a la energía del Proctor Modificado) ASTM D 1557
- MTC E 132 (CBR) ASTM D 1883

**3.7.1.5. Para evaluar el efecto que produce las escorias de acería en la estabilización de subrasantes de pavimentos.**

- AASHTO 93
- Software S10

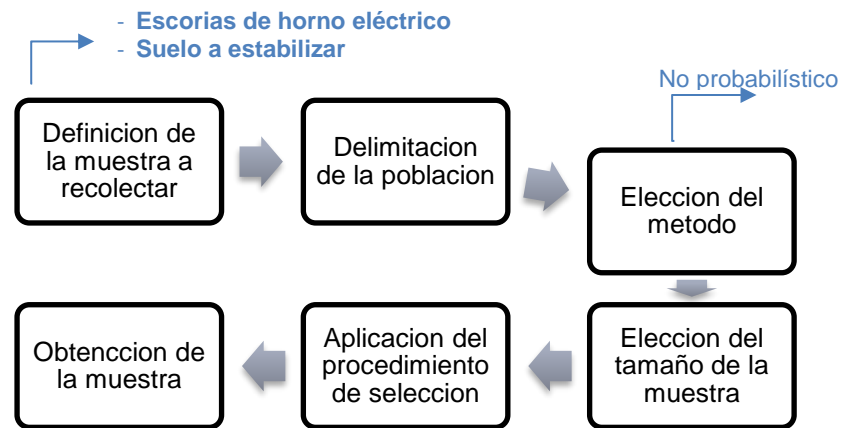
En esta investigación los instrumentos mencionados anteriormente fueron evaluados y aprobados por el ingeniero especialista en Mecánica de suelos Ms. Julio Rivasplata Díaz.

### **3.8. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

En cuanto a la recolección de datos como se mencionó anteriormente fue sopesado; el problema, objetivos, alcance, hipótesis, el diseño y muestra con esta base fue desarrollado los instrumentos necesarios para recolectar los datos, en cuanto a los ensayos desarrollados en laboratorio se consideraron los formatos referidos en los ítems anteriores por las normativas aplicadas al igual que los formatos establecidos por UPS, UNS y SIDER PERU finalmente los datos recogidos se prepararon para realizar los análisis respectivos. Para tener mejor desempeño se ha separado en 02 ítem veamos a continuación:

### 3.8.1. Selección de la muestra apropiada para la investigación

A modo general se tiene el siguiente esquema:



En esta etapa se eligieron los porcentajes de escorias para adicionar a la subrasante que se trabajó en esta investigación, para ello se tomó en cuenta como antecedente la investigación realizada por Ospina, A., & Chaves B., (2019), quienes utilizaron dosificaciones en 25, 50 y 75% en suelos arcillosos (suelos cohesivos) cuyos resultados fueron excelentes ya que la subrasante que analizaron era arcilla caolinita. Comprobaron que reduce la plasticidad notablemente y al adicionar 25% de escorias el CBR alcanzó el máximo valor; sin embargo, en las dosificaciones con porcentajes 50 y 75 % la reducción de plasticidad era efectiva pero el CBR era más bajo a medida que se aumentaban los porcentajes de escorias el CBR bajaba y se sabe que este es un parámetro que evalúa la calidad del material del suelo basando en la resistencia que esté presente mientras más alto sea el valor del CBR mejor será la calidad del suelo. Ellos trabajaron con una matriz de dosificación que se observa a continuación.

Dosificación (%)	Peso Muestra (gr)	Peso Caolín (gr)	Peso Escoria (gr)
0	2390	2390	0
25	2331	1748,25	582,75
50	2526	1263	1263
75	2462	615,5	1846,5

**Fuente:** Ospina, A., & Chaves B., (2019).

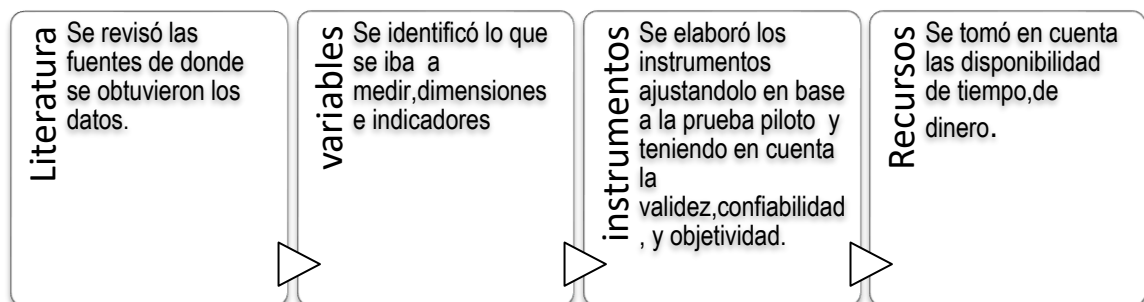
De la matriz observamos que mientras menos caolín presentaba su muestra mayor era su porcentaje de adicción de escoria, sin embargo, esta dosificación nos evidencio en sus resultados que al aumentar la cantidad de escoria el CBR era más bajo. Siendo esta una de las razones principales para considerar nuestros porcentajes menores a los utilizados por Ospina y además porque a simple vista se podía observar que nuestra muestra no presentaba plasticidad y era una arena.

Basados en todo lo mencionado se consideró tomar valores menores que 25%, para esta investigación los porcentajes que utilizaron para la adicción de escorias de hornos eléctricos fueron de 20, 15 y 10%

### 3.8.2. Recolección de datos

Una vez determinada la muestra se llevó al laboratorio de Mecánica de Suelos, donde se fue separando la cantidad de muestras necesarias para los ensayos, a través de la técnica del cuarteto, que consiste en separar la muestra en cuatro partes, y se tomó la  $\frac{1}{4}$  parte de la muestra seleccionada para el ensayo que corresponda, luego se procedió a anotar y registrar los datos resultantes de los ensayos que luego se llevaron a las tablas y se compararon sus resultados con los rangos permisibles de las normas ASTM y del manual de diseño AASHTO para pavimentos, este procedimiento se realizó con cada uno de las muestras, es decir, la muestra patrón sin escoria y con las diferentes estímulos y adiciones de escoria.

Debe citarse que en cada proceso (según los objetivos) para tomar los datos se contempló las siguientes fases a modo de resumen:



Para el desarrollo de los ensayos al momento de recolectar la



información se llevó de acuerdo a los siguientes pasos:

1. Se estableció las características físicas, químicas y mecánicas de la escoria de Horno eléctrico proveniente de la Planta de Sider Perú de la ciudad de Chimbote estos datos fueron recolectados por medio de los ensayos respectivos.
2. Las muestras obtenidas de subrasante del terreno natural fueron ensayadas y logrando encontrar las propiedades físicas y mecánicas. Para lograr concretar y recuperar estos datos se realizan los ensayos exigidos por la norma del MTC.
3. Se realizó el diseño, adicionando 10%, 15% y 20% de escorias a la sub rasante de material granular. Del mismo modo a los pasos anteriores se realizó ensayos a las muestras con adición aplicando la normatividad mencionada.
4. Con el Equipo Proctor modificado se obtuvo las curvas de Densidad Humedad, con estos datos se cotejaron los resultados y se evaluó cual es el más favorable.
5. Se realizó el CBR a la muestra inalterada y a las muestras con adición de escoria el cual nos dará el CBR de la subrasante lo cual se cotejó luego se realizó la respectiva comparación y análisis de resultados.
6. Se determinó la influencia de adición de escoras en base a la muestra sin adición, el cual fue la base de comparación.

Es preciso señalar que los equipos de laboratorio fueron calibrados para que los datos sean consistentes y coherentes se evidenció mediante el certificado de calibración de los equipos respectivos.

En cuanto a la validez de los instrumentos utilizado se realizó el método de juicio de expertos.

### **3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.**

Una vez finalizado la recolección de datos, se prosiguió a procesar la información respectiva para lo cual se incluyó lo siguiente:

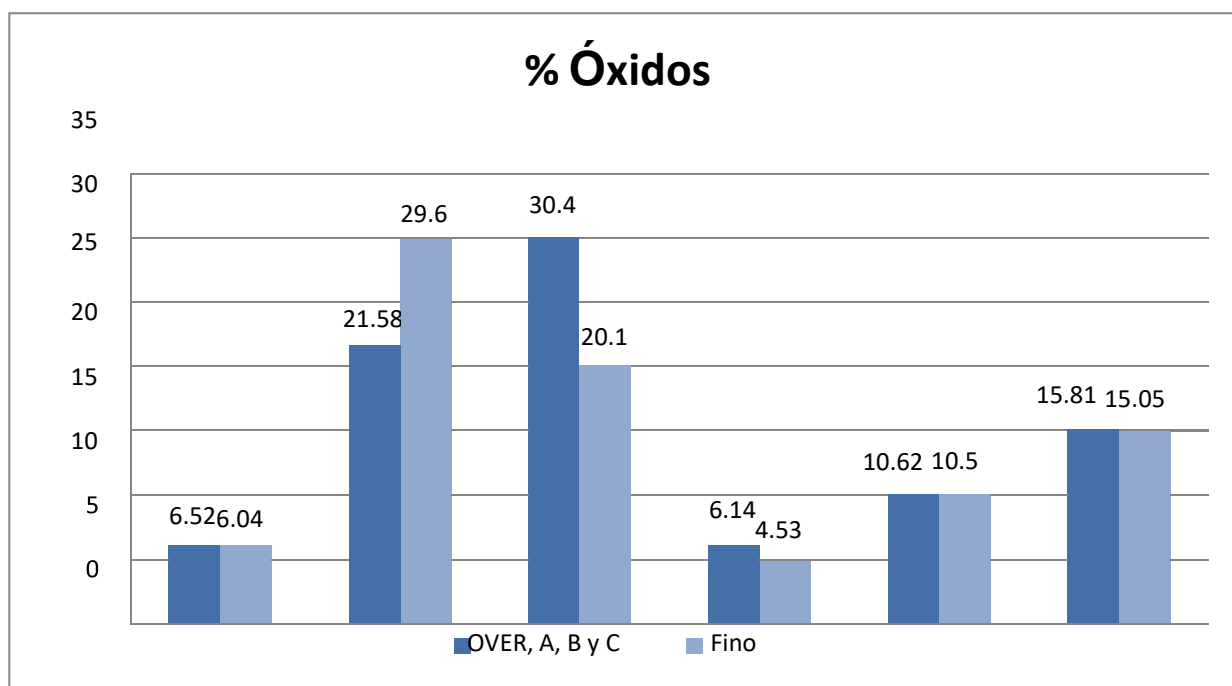
- Lo primero que tuvo en cuenta los programas para analizar los datos los cuales fueron Excel y S10.
- Se acreditó la confiabilidad y validez de los instrumentos de medición utilizados en los ensayos realizados por los laboratorios se aplicaron los formatos de las normas técnicas de MTC, ASTM, ASSTHO y CE-020
- Se realizó el análisis e interpretó los datos de forma descriptiva en base a las variables en estudio.
- Se preparó los resultados para presentarlos.

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. RESULTADOS

#### 4.1.1. Características de las escorias de horno eléctrico de Sider Perú

Las características de la EHE obtenidos de los ensayos realizados en los laboratorios de Sider Perú (Ver anexo) estos datos se obtuvieron por el ensayo de fluorescencia de rayos X (FRX), los resultados son detallados en el siguiente gráfico:

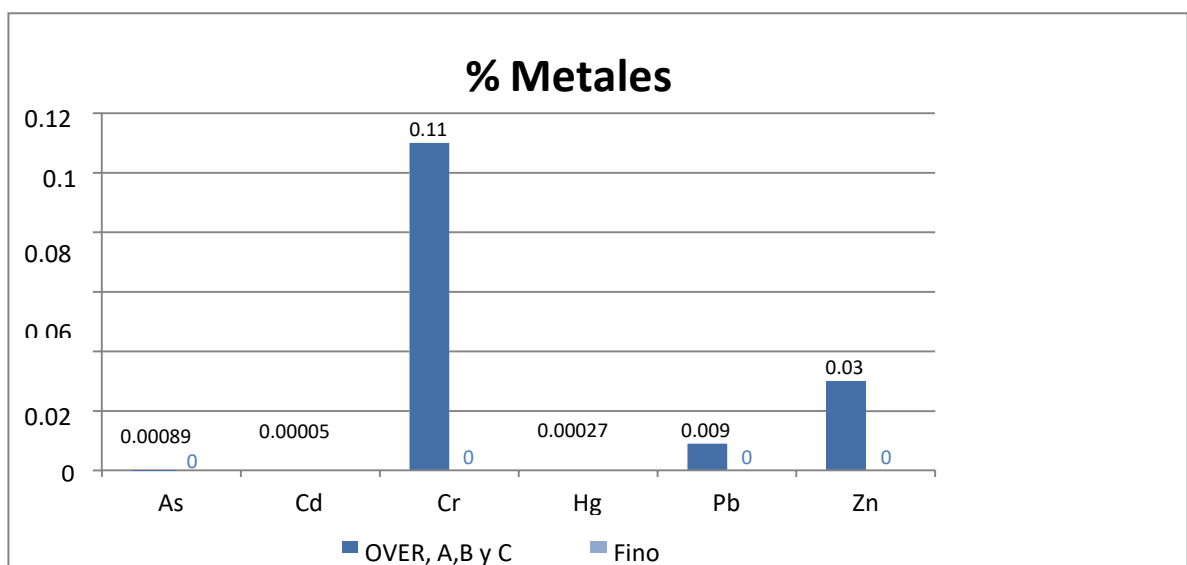


**Figura 22: Porcentaje de óxidos de las escorias de horno eléctrico de Sider Perú**

Del gráfico se observa que el mayor porcentaje de óxido presente en la escoria es CaO conocido como el óxido de calcio (cal viva) con un 21.6% para los tamaños de 3" a 3/8" y en finos 29.6 % este componente tiene propiedades altamente favorables para realizar estabilizaciones de suelos entre ellas podemos decir que favorece el secado de suelos muy húmedos. Ya que en contacto con el agua tiene propiedad exotérmica hay que tener en cuenta que conjuntamente con el óxido de magnesio contienen dentro de composición carbonato de calcio y cómo podemos observar el óxido de

magnesio es más del 5% se le puede llamar cal dolomítica haciendo lenta la hidratación al momento de estabilizar un suelo. De igual forma las escorias presentan alto contenido de óxido de hierro 30.4% para los tamaños granulares y en finos menor cantidad 20.1% este material tiene efectos en las propiedades de los suelos (subrasantes) altamente meteorizados.

El óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) conocido como sílice también se encuentran presente en las escorias con una participación entre 15% a 16% entre granulares y finos componente en la elaboración de vidrios y cerámicos posee alta resistencia las condiciones climáticas, pero al igual  $\text{FeO}$  actúa como deshumecedor (absorber la humedad) ocasionando que la humedad en el suelo se merme ocasionando que la permeabilidad así como eflorescencia se aminore, debido a la composición que presenta lo convierte en componente muy usado en la elaboración de cemento porque puede aguantar los ataques químicos y a la corrosión además debido a sus partículas que son extremadamente finas y tiende a darle mayor durabilidad,. El óxido de aluminio con el 6.52% como se puede visualizar también es un componente de las escorias, este compuesto tiene una alta dureza en la escala de Mohs cuyo valor es de 9 (coroidon) químicamente es inerte y también presenta resistencia a la corrosión.



**Figura 23: Porcentaje de metales de las escorias de horno eléctrico de Sider Perú**

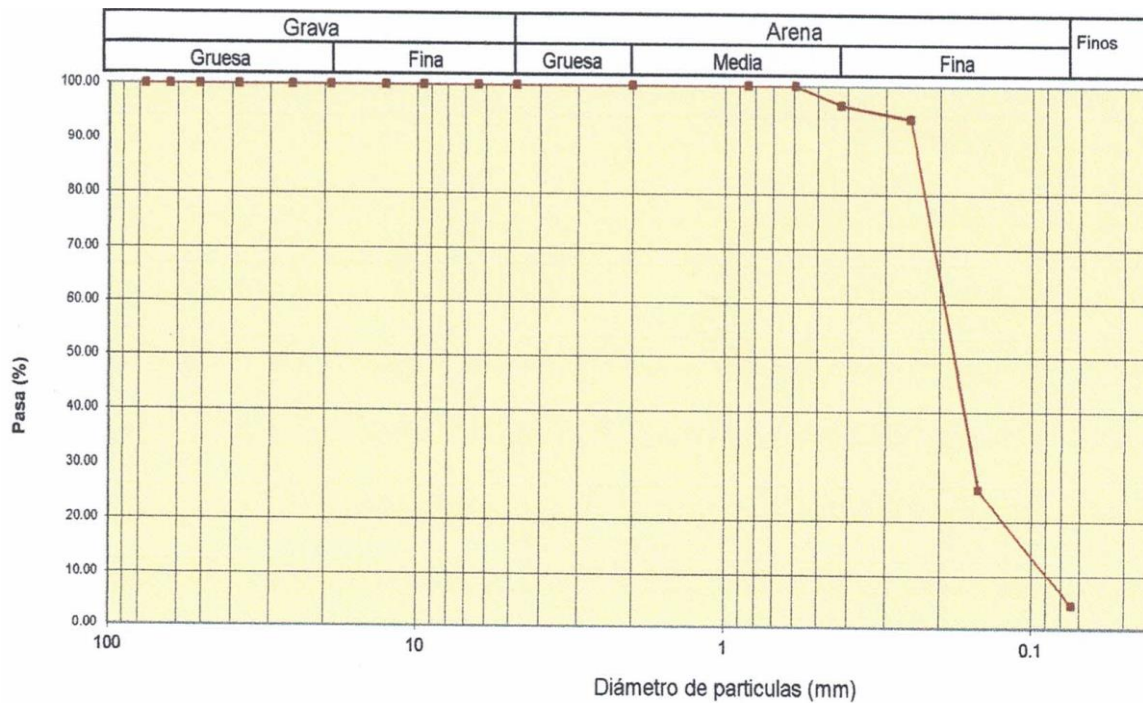
**Tabla 13***Distribución de tamaño de partículas del acero (%) – Características físicas*

<b>Tipo</b>	<b>Over</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>FINO</b>
<b>N° Malla</b>	<b>Base 3''-10''</b>	<b>Grava 2''-3''</b>	<b>Grava Huso 3</b>	<b>Grava Huso 67</b>	<b>Gravilla 0-1/4''</b>
<b>10'' a 3''</b>	100	0	0	0	0
<b>2 1/2 ''</b>	0	61,91	0	0	0
<b>2''</b>	0	31,42	3,55	0	0
<b>1 1/2 ''</b>	0	6,67	44,31	0	0
<b>1''</b>	0	0	44,10	0,61	0
<b>3/4''</b>	0	0	7,99	4,73	0
<b>1/2''</b>	0	0	0,05	42,53	0
<b>3/8''</b>	0	0	0	25,32	0
<b>N° 4</b>	0	0	0	26,49	0
<b>N° 8</b>	0	0	0	0,32 0	0
<b>N° 30</b>	0	0	0	0	0
<b>N° 50</b>	0	0	0	0	0
<b>N° 100</b>	0	0	0	0	33,23
<b>N° 200</b>	0	0	0	0	42,56
<b>N° -200</b>	0	0	0	0	24,21

Al igual que las características químicas el Análisis de Granulométrico de la escoria de acero fueron obtenidos de los ensayos realizados en los laboratorios de Sider Perú (Ver anexo), los resultados son detallados en la tabla 13.

**Tabla 14.***Clasificación del suelo de la subrasante*

<b>Muestra</b>	<b>Sistema</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Napa Freática</b>
<b>C-1</b>	SUCS	SP	Suelo de partículas gruesas Suelo Limpio Arena mal graduada	NP
	AASHTO	A-3	Material granular Excelente a bueno como subgrado Arenas finas	
<b>C-2</b>	SUCS	SP	Suelo de partículas gruesas Suelo Limpio Arena mal graduada	NP
	AASHTO	A-3	Arenas finas	



**Figura 24: CURVA GRANULOMETRICA**

De la gráfica 03, curva granulométrica del suelo natural de suelo de la subrasante, se observa que el suelo está compuesto 0% de grava, 95.51% de arena y solamente 4.50 % de finos, estos porcentajes nos indican la falta de plasticidad por ello los resultados evidencian que no presenta límites de Atterberg característicos de los suelos cohesivos, así mismo, el suelo presenta un tamaño máximo de  $\frac{1}{2}$ " ya que el primer retenido es en esta malla.

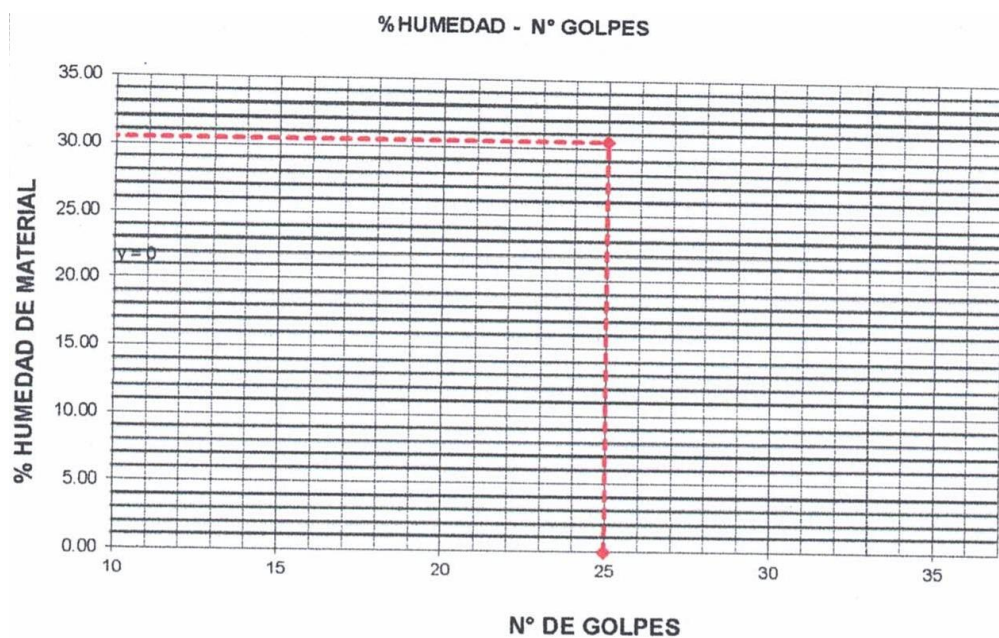
Para la clasificación SUCS el material de nuestra muestra es una arena pobremente graduada porcentaje que pasa la malla # 4 es más del 50 % y el porcentaje que pasa la malla 200 es menos del 12% como se constata en el gráfico, pero para la AASHTO es un suelo arenoso con gravas y cantos rodados (A-3) debido a que en la gráfica menos del 35% pasala malla #200. De la gráfica de los resultados del análisis granulométrico de este suelo constata que es un suelo mal graduado por tener el  $C_u=1.90$  y  $C_c= 0.975$  se puede contemplar en base a sus partículas que están por debajo de 3 el tamaño de las partículas son muy uniformes.

#### 4.1.2. Propiedades Mecánicas y Físicas los suelos de la zona en estudio - Asentamiento Humano San Pedro.

Luego de haber realizado los ensayos en el laboratorio de Mecánica de suelos de la EPIC de la UNS y el laboratorio de la universidad San Pedro tanto al terreno natural como a las adicciones se obtuvieron los siguientes resultados:

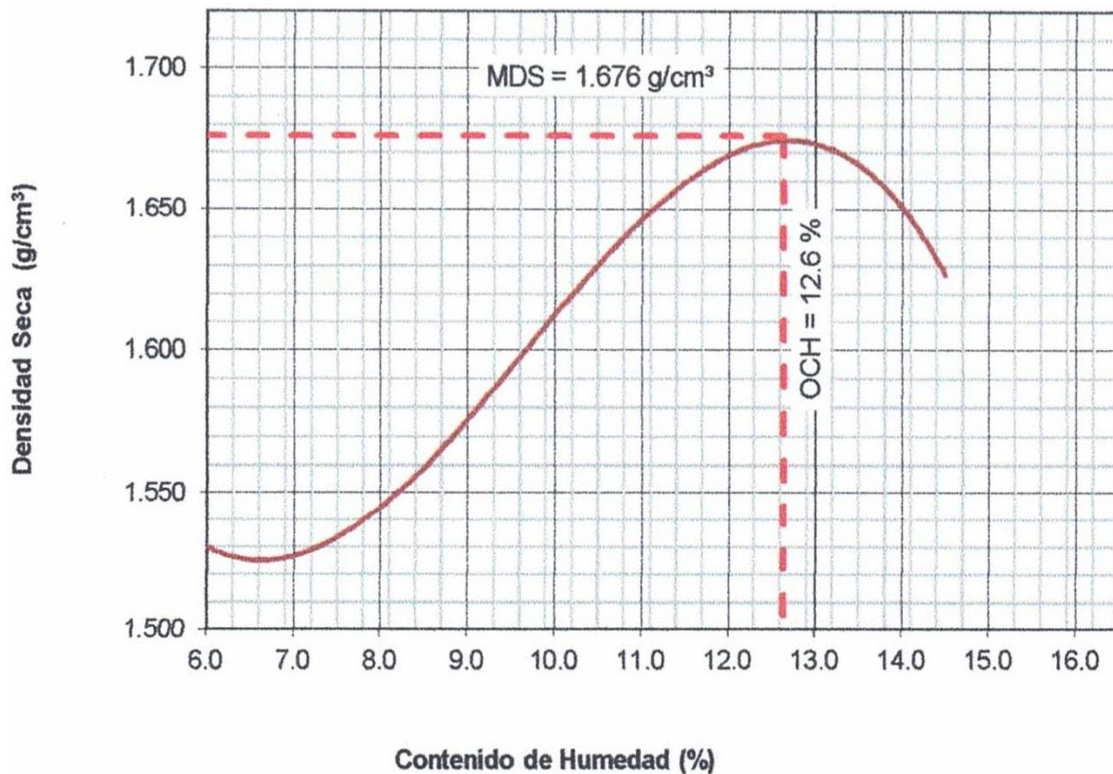
**Tabla 15:**

Propiedades físicas y mecánicas de la Subrasante	
DESCRIPCION	VALOR
Contenido de humedad %	1.49
Limite liquido	NP
Limite plástico	NP
Índice de plasticidad	NP
<b>Proctor</b>	
<i>Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</i>	1.676
<i>- Optimo Contenido de Humedad (%)</i>	12.6
<b>CBR</b>	
-100 % MDS	19.8
-95 % MDS	12.8



**Figura 25: limite líquido y limite plástico**

De la gráfica se puede ver que la cantidad de arcillas que se encuentra en el suelo es del 4.5%, es por ello que no presenta plasticidad, por ende, no hay compresibilidad ni cohesión esto debido a que es una arena fina.



**Figura 26: curva densidad vs humedad del terreno natural**

La curva de compactación se puede determinar el óptimo contenido de agua y máximo peso unitario seco modificado, como vemos hay una relación directa entre estos dos parámetros el agua obra como medio de lubricación lo cual elimina parte del aire atrapado en el suelo. La parte desecante de la curva nos indica la saturación del suelo siendo este el máximo 12,6 % para alcanzar una densidad máxima de 1.67g/cm<sup>3</sup>.

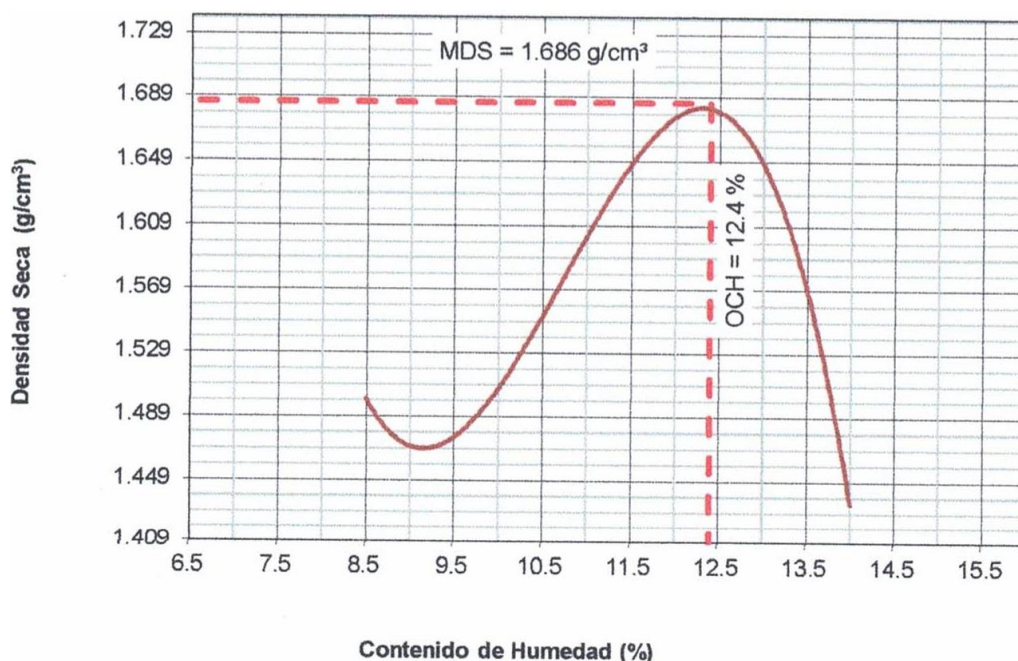
#### **4.1.3. Propiedades Mecánicas y Físicas los suelos con adiciones de escorias**



**Tabla 16:**

**Propiedades físicas y mecánicas de la subrasante con adiciones de escorias**

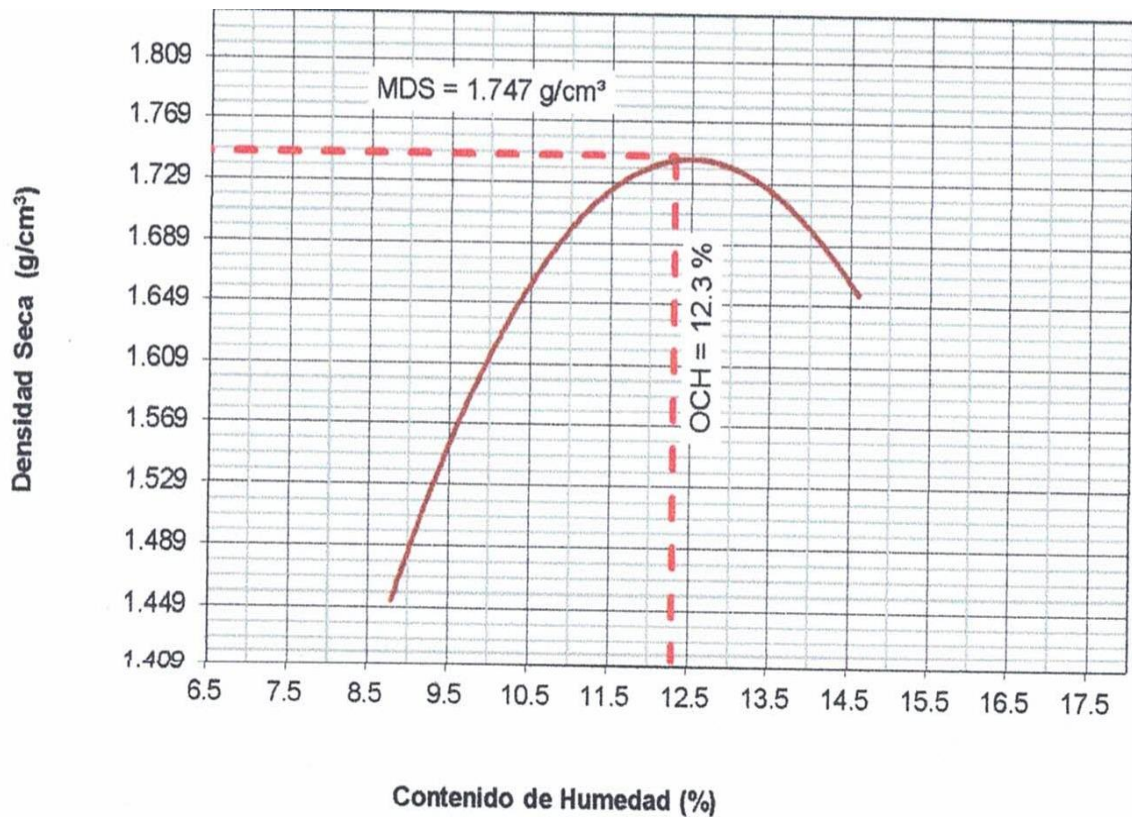
DESCRIPCION	Adición de escorias		
	10%	15%	20%
Limite liquido	NP	NP	NP
Limite plástico	NP	NP	NP
Índice de plasticidad	NP	NP	NP
Proctor			
- <i>Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</i>	1.686	1.747	1.786
- <i>Optimo Contenido de Humedad (%)</i>	12.40	12.30	11.20
CBR			
- 100 % MDS	28.9	35.1	42.50
- 95% MDS	21.7	25.7	33.70



**Figura 27: curva densidad vs humedad a la adicional escoria al 10%**

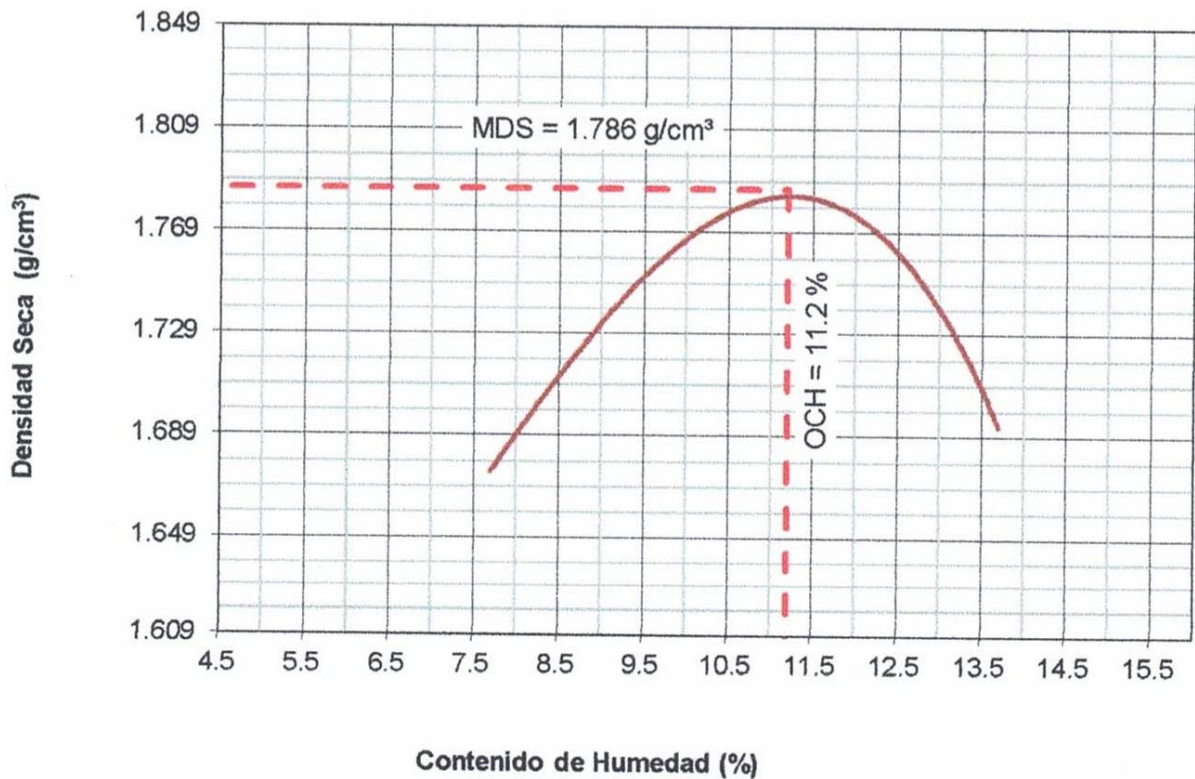
Al observar la curva es notable la influencia de las escorias en el suelo, ya que para un suelo granular le correspondería una curva más plana, sin embargo, al contener partículas de escorias hace que este se comporte como un suelo con arenas, pero con cierta plasticidad (2%). También se

puede ver que la densidad va incrementando su valor en 0.60% en base al suelo sin adicionar escorias de manera inversa la cantidad de humedad disminuye en 1.59%.



**Figura 28: Curva densidad vs humedad a la adicional escoria al 15%**

Al adicionar el 15% de escoria la tendencia continua vemos que la densidad va en aumento en un 4.23% este incremento es cuatro veces en comparación del primer % de adición, por otro lado, la humedad sigue disminuyendo para este caso el valor está en 2.38% en comparación al suelo natural este comportamiento se puede decir que es de un suelo que contiene arenas, limos y arcillas en proporciones similares y además con un índice de plasticidad mayor a 5%. Podemos afirmar que este comportamiento es debido a los componentes de las escorias como son los óxidos y metales, nuevamente se ve la relación que muestra la curva entre la densidad y la cantidad de humedad cuando se aplica una carga (compactación).



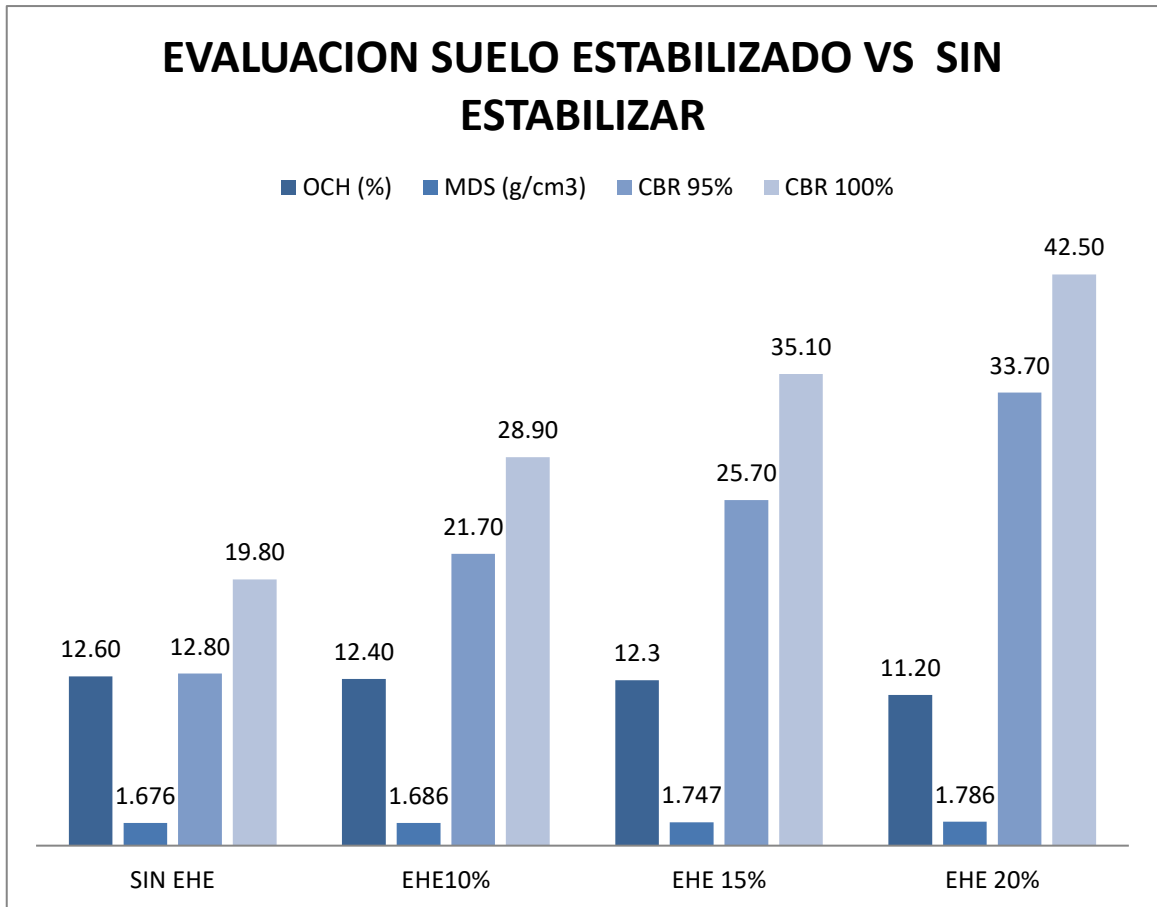
**Figura 29: curva densidad vs humedad a la adicional escoria al 20%**

Al igual que en las curvas anteriores es notorio el incremento de las densidades (incrementa un 6.56%) y la disminución del contenido de humedad (baja en 11.1%) en comparación del suelo natural.

#### **4.1.4. Influencia y Efectos de las escorias de acería en la estabilización de subrasantes de pavimentos.**

La subrasante es una capa muy importante al momento de determinar el espesor del paquete estructural del pavimento (rígido o flexible), la calidad de esta capa se mide con el CBR, siendo este un indicador que evalúa la capacidad de soporte de suelo o la resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito de un suelo mientras el valor de acerca a 0% indica que el suelo es de pobre calidad, por otro lado los más cercanos a 100% indican que la calidad es mejor cuyo efecto se vería en la reducción de los costos. Por ello, es importantísimo conocer el comportamiento del suelo en su estado natural y evaluarlo al adicionar escorias de horno eléctricos en porcentajes de 10%, 15% y 20% y luego

poder analizar la influencia sobre esta capa. Los resultados obtenidos se evidencian en la gráfica siguiente:



**Figura 30:** Evaluación Del Suelo con adicción de EHE Vs Sin adicción de EHE

De la representación gráfica observamos los resultados, al adicionar escorias a la subrasante de la zona de estudio (Asentamiento Humano San Pedro) clasificada como Arena Mal Graduada (SP) esta mejora su capacidad de soporte alcanzando su máximo CBR al adicionar el 20% de EHE, pero al mismo tiempo vemos que la MDS aumenta conforme se va adicionando mayor cantidad, esto debido a que existe una relación entre la humedad – densidad en cuanto a la compactación de los suelos se refieren, se entiende esta relación como aquella transformación mediante el cual la cantidad de vacíos en una masa de suelo se baja, obligando a sus partículas a un contacto más cercano entre sí, y el mejor

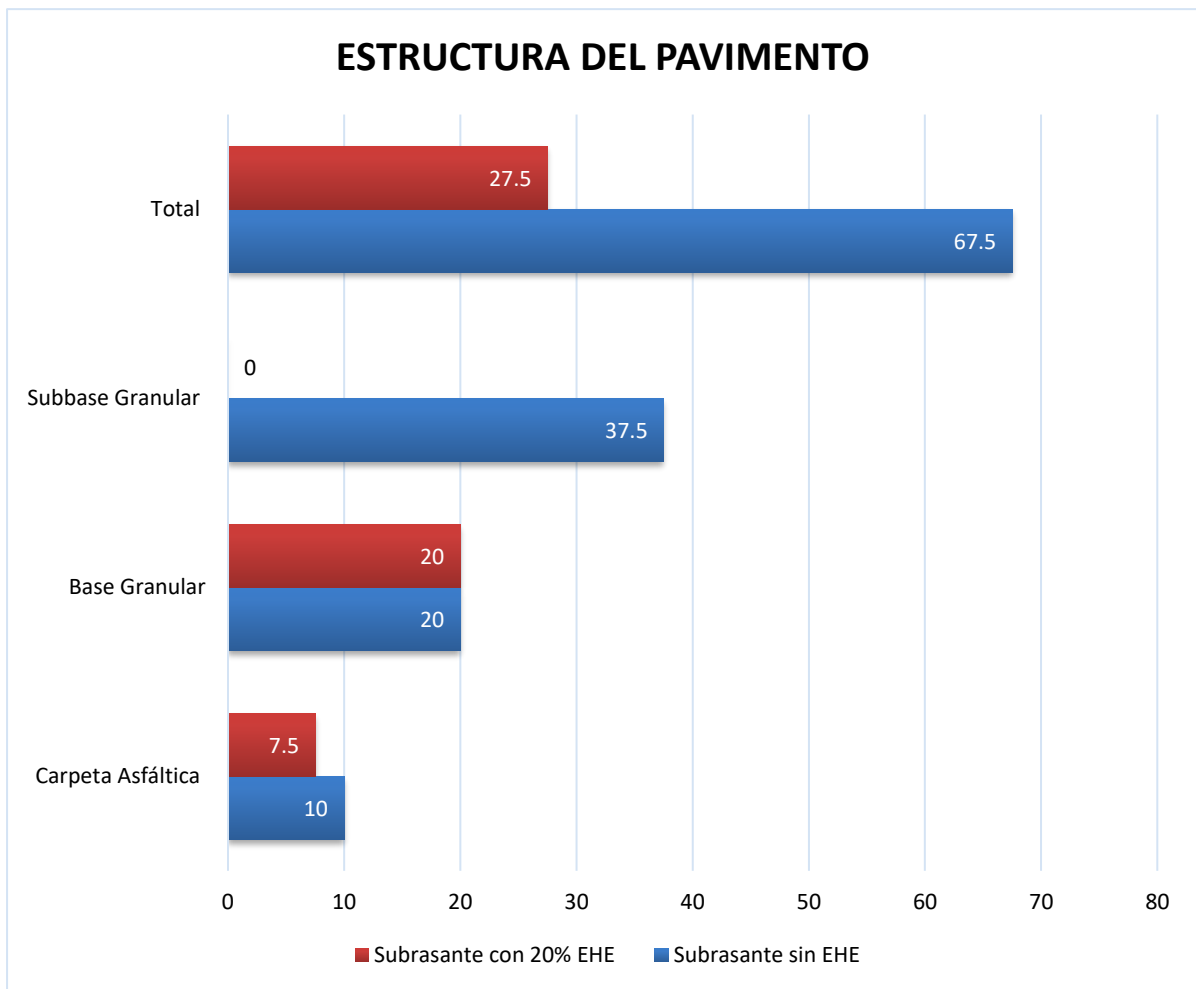
comportamiento la MDS es con el porcentaje de escoria al 20% alcanzando su un valor del 1.79% y disminuyendo el contenido de agua en un 1.1% esto debido a las propiedades del material adicionado, esto se atribuye a que los óxidos tiene la cualidad de absorber el agua y por consiguiente incrementa la resistencia al corte de los suelos.

**Tabla 17:**

***Influencia de la adición de escorias del horno eléctrico de Sider Perú, en la subrasante de pavimentos***

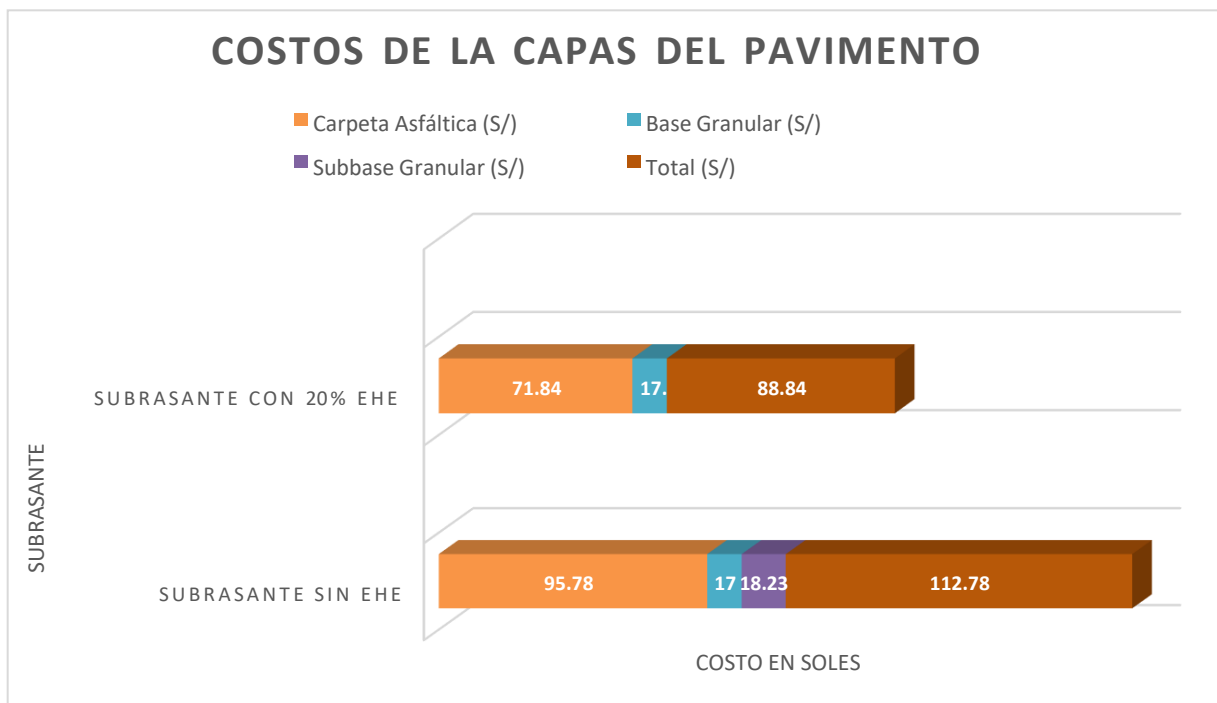
<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO (m2)</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Subrasante sin EHE</b>		<b>Subrasante con 20% EHE</b>	
	<b>Espesor (cm)</b>	<b>Costo (S/)</b>	<b>Espesor (cm)</b>	<b>Costo (S/)</b>
Carpeta Asfáltica	10.00	95.78	7.50	71.84
Base Granular	20.00	17.00	20.00	17.00
Subbase Granular	37.50	18.23	0.00	0.00
Total	67.50	112.78	27.50	88.84

Las ventajas, tanto económicas como técnicas son evidentes. De esta manera, estabilizar suelos con EHE hace que una obra sea más sostenible, ya que los componentes presentes en este material como se ha visto en los resultados permiten reducir los vacíos existentes en un suelo fácil de compactar, rígido y con una mejor capacidad portante.



**Figura 31: Influencia del paquete estructural del pavimento al adicionar escorias del horno eléctrico de Sider Perú, en la subrasante**

De ensayos realizados a la escoria y a los suelos con adiciones se ha observado que estas tienen buen aguante al desgaste y la abrasión esta característica mecánica justamente permite que los tengan mayores valores de CBR y por consiguiente disminuya los espesores de las capas del pavimento como se observa en la gráfica el pavimento con escorias reduce en 25% el espesor de carpeta asfáltica en 100% la capa subbase lo cual genera un ahorro.



**Figura 32: Influencia del costo del pavimento al adicionar escorias del horno eléctrico de Sider Perú, en la subrasante.**

La subrasante es la capa fundamental en el diseño de pavimentos. Es la responsable de los espesores del paquete estructural de ella va a depender la altura total del conjunto de capas, si esta tiene una excelente calidad el espesor será mínimo, pero si es de mala calidad los espesores tienden a aumentar, en ese sentido podemos ver que la subrasante con adicción de EHE reduce el costo en 65.72% el costo en comparación a una subrasante sin ningún mejoramiento con escorias. Como ya se ha mencionado debido a la calidad de la subrasante que al adicionar escorias esta mejora viéndose reflejado en el espesor del paquete y eso repercute en la parte económica es decir menos materiales menos costos.

## 4.2. DISCUSIÓN

En cuanto a las escorias del horno eléctrico de Sider Perú podemos afirmar que; es un agregado el cual mejora considerablemente la capacidad portante del suelo por lo tanto es recomendable utilizarlo como agregado para la estabilización de sub rasante para pavimentos en Chimbote, esto

según se observó de los resultados encontrados. En base a ello se acepta la hipótesis planteada en esta investigación ya que al adicionar el 15% de escorias el CBR logra alcanzar su mayor valor siendo este el 45% lo cual representa un valor 183.7% del CBR patrón (24%) incrementado este valor hasta un 83.7% más, con OCH 8.86 % y MDS de 2.112 gr/cm<sup>3</sup>.

Así mismo al adicionar escorias del horno eléctrico de Sider Perú en porcentajes del 10% ,15% y 20% según la Grafica 08 se evidencia que; el CBR incrementa su valor conforme se aumenta el porcentaje del agregado(escorias), estos resultados no concuerdan con lo mencionado por Ospina y Chaves (2019), quienes señalan que al adicionar dosificaciones en 25, 50 y 75% de escorias de acero observaron cómo disminuyó considerablemente la plasticidad hasta un 0% de la subrasante de arcilla caolinita, sin embargo el CBR era más bajo a medida que se aumentaban los porcentajes de escorias. Como es sabido un parámetro importante al momento de diseñar pavimentos es el CBR ya que evalúa la calidad del material del suelo basando en la resistencia que esté presente mientras más alto sea el valor del CBR mejor será la calidad del suelo.

De igual manera se concuerda con Ospina y Chaves (2019) al respecto del OCH ya que este disminuye conforme se aumenta el porcentaje de adición de escorias a pesar que la muestra ensayada por ellos es arcilla caolinita. En su caso se debe a la composición de óxido de calcio o cal que presenta la escoria lo cual reduce la plasticidad comportándose como un material estabilizante y para el suelo estudiado en esta investigación (Arenas) las escorias actúan como; cementante debido a sus componentes FeO (30,40%), CaO (29.60%), SiO<sub>2</sub>(15.81%), MgO (10.62%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(6.52%) entre otros siendo estos los mismos componentes en la elaboración del Clinker. Por otra parte, se evidencia en la graficas de granulometría que el porcentaje que pasa el tamiz N° 200 es menor al 35% según AASHTO es un suelo A-3 (Arena fina) debido a que más del 51% pasa la malla N°40 influenciando al CBR a disminuir ya que al tener una mayor cantidad de arena implica menor contenido de grava, que para el caso es el 3.13% y de



finos 7.15% del total, lo que daría como resultado menor CBR no obstante al adicionar escorias estas elevan estos porcentajes porque actúan como materiales granulares y finos por ende permite aumentar el valor del CBR.

Aunque la subrasante no forma parte directa del paquete estructural en sí, influye directamente al momento de seleccionar los espesores totales de cada una de las capas del pavimento debido a que esta capa resiste y distribuye las cargas que el tránsito transmite al pavimento. Como se puede observar en la Tabla 17 las escorias mejoran la capacidad de soporte de la subrasante (Suarez ,2017) reduciendo el espesor de la capa de rodadura en 14.29 % y en 100% la capa subbase siendo bastante aceptable el uso de escorias de aceros de los hornos de Sider Perú en proyecto viales lo cual se concuerda con lo mencionado por Zelada (2016)

Ebrahim, Ahmed y Behiry, y El-Maaty, Concluyen que: Al adicionarle escoria de acero, aumenta las propiedades mecánicas del pavimento como; el CBR, conclusión que se acepta ya que nuestros resultados lo demuestran.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos de la subrasante permiten formular las siguientes conclusiones:

- La influencia de la adición de escorias del horno eléctrico de Sider Perú en la estabilización de subrasante para pavimentos en Chimbote es buena, ya que mejora las propiedades físicas y mecánicas de esta capa, lo cual repercute positivamente en la relación costo- beneficio no solo porque en el diseño disminuyen los espesores del pavimento sino también se reduce la explotación de canteras de agregados granulares y de esta manera disminuir el impacto ambiental.
- Se ha logrado identificar las características físicas, químicas y mecánicas de las escorias de horno eléctrico de Sider Perú según están especificadas en las tablas 12 y 13. de lo que se concluye que el dióxido de silicio  $\text{SiO}_2$ , y óxido de calcio  $\text{CaO}$  actúan como materiales estabilizantes en las muestras ensayadas.
- Se identificó el tipo del suelo de la subrasante clasificándose como un suelo SP (SUCS) y A-3 (AASHTO) además se determinó el CBR al 95% cuyo valor es 12.8% con un óptimo contenido de humedad de 12.60 y MDS de 1.676  $\text{gr/cm}^3$ .
- El suelo analizado con adiciones de escoria de Hornos Eléctricos de Sider Perú del 10%, 15% y 20% en cuanto al comportamiento mecánico presentó un fuerte cambio en sus propiedades índice al parecer, los componentes de las escorias dióxido de silicio  $\text{SiO}_2$ , y óxido de calcio  $\text{CaO}$  (materiales estabilizantes) modifican algunas propiedades del suelo. El mejor comportamiento que se encontró fue al adicionar el 20% el CBR alcanzó el máximo valor de 33.7% con OCH 11.2 % y MDS de 1.786  $\text{gr/cm}^3$ .

- En cuanto al efecto que producen la adición de escorias en las subrasantes de pavimentos es positivo, la capacidad de soporte se incrementa un 20.9, lo que 6.56% en cuanto a la cantidad de agua disminuye en un 11.11 % esto repercute en el ahorro de agua al momento de compactar la subrasante.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Analizando los resultados obtenidos en los diferentes parámetros estudiados, así como en base a nuestras conclusiones, nos permitimos recomendar lo siguiente:

- Se debe estudiar el reemplazo de Escoria de Hornos Eléctricos, en porcentajes más sesgados, para obtener un estudio más detallado de variabilidades al momento de comparar los resultados de las propiedades físico-mecánicas.
- Comparar los resultados de los ensayos obtenidos, en más de un laboratorio, para la comprobación y verificación respectiva.
- Fomentar el empleo de otros materiales alternativos ecológicos, con el objetivo de estabilizar la subrasante.
- No tomar los resultados de esta investigación para generalizar los datos de las diferentes zonas de estudio de Chimbote, ya que cada proyecto es individual y cada lugar presenta características distintas

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva, H. J. (2011). Evaluación del potencial de licuación de suelos en Chimbote, Perú. Chimbote.
- Arce A. (2007), "*La Escoria de Acería como Material de Agregado en Capas Granulares y superiores de Pavimentos Flexibles*", trabajo de investigación presentado en el XVI Simposio Colombiano titulado
- Braja, M. (2001) *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. California, Estados Unidos: International Thomson Editoriales
- Berry, P., & Reid, D. (1993). *Mecánica de Suelos*. (B. Caicedo, Trad.). Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Latinoamérica, S.
- Boza, M. (2011). *Utilización de las escorias de acería como material de construcción, desarrollada en la Universidad de Holguín de Cuba*
- Crespo Villalaz, C. (2005). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México: Limusa.
- Daniel Leiva Vidal, J. M. (2017). *Caracterización De Un Suelo Arcilloso Y Su Mezcla Con Escoria Blanca*
- Das, B. (2013). *Fundamentals of Geotechnical Engineering*. *Fundamentals of Geotechnical Engineering*: Christopher M. Shortt, Global Engineering, 2013.
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica*. México: Ediciones OVA.
- Ebrahim, Ahmed y Behiry, y El-Maaty, (2012). *Evaluación de escoria de acero y mezclas de piedra caliza triturada como material de subbase en pavimento flexible, en la Universidad de Minufiya, Egipto*.
- H. Rondón, W. F. (2018). Caracterización de una escoria de alto horno para proyectos . *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, PAG 83-92.

- HINCAPIÉ, L. C. (2018). Evaluación de escorias siderúrgicas de horno de arco eléctrico en mezclas de concreto estructural. Bogotá d.c: Universidad de los Andes.
- Hugo Alexander Rondón Quintana, M. M. (2018). Uso de escorias de alto horno y acero en mezclas asfálticas: revisión. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, pp. 71-97 |.
- Juárez Badillo, E. &. (2005). Mecánica de suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Mexico D.F.: Limusa.
- Juárez y Rico, B. E. (2010). Fundamentos de la mecánica de suelo. México: Limusa.
- Jurado C & Choque H, (2009), "*Viabilidad para el uso de la escoria de acería eléctrica como material granular para pavimentos*", investigación para el Coneic
- Lima, C. (2005), Trabajo de tesis de maestría titulado "Experimental de Compactación e Expansión de una escoria de acería LD para uso en Pavimentos. Lima
- Machado F, (2009). *Empleo de la escoria de acería en material para base y revestimiento de pavimento en calles de la municipalidad de la ciudad de Río de Janeiro*. Brasil
- Madias, J (2015). *Reciclado de escorias de acería*. Acero Latinoamericano.
- Manuel Alejandro Rojas-Manzano, I. F.-C. (2020). Uso de las escorias de horno de arco eléctrico (EHAE) en la construcción - estado del
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014). Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. Lima, Perú.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016). Manual de Ensayos de Materiales. Lima, Perú.
- Ospina-García, M. A.-P.-S. (2020). Mejoramiento de subrasantes de

tipo arcilloso mediante la adición de escoria de acero.  
Investigación, Desarrollo e Innovación, PP. 185-196.

Piña, M. A. (2011). Utilización de escorias como sustitutos de áridos.  
Madrid: EOI.

Rosa, V. C. (2009). La Investigación Aplicada: Una Forma De Conocer  
Las Realidades Con Evidencia Científica. Revista Educación , pp.  
155-165.

Rubio, M. E. (2018). Industrialización De Procesos Y Valoración De  
Residuos Siderúrgicos. Málaga. Universidad De Málaga.

Sampieri, R. H. (2014). Metodología de la Investigación. México:  
McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Sampieri, R. H. (2020). Metodología de la Investigación. México D.F:  
McGRAW-HILL.

Valenzuela M., & Hermsilla M. (2011). Análisis geo mecánico de  
escorias de acería. Posibilidades de uso en obras viales.

Villar, F. C. (2017). Validación De Escorias De Horno De Arco Eléctrico  
Mediante Su Uso Como Adición En Hormigón". Málaga:  
Universidad Málaga.

# **ANEXOS**

## **ANEXO 01**

**Panel Fotográfico**

## PANEL FOTOGRAFICO



Fotografía 01. Vista de la via que se ha elegido para sacar la muestra de la investigación AA. HH San Pedro, en Pasaje S/N Jr., entre Jr Magallanes –Jr. el Sol



Fotografía 02. Delimitando el área para realizar la extracción de muestras mediante calicatas calle s/n (Latitud -9.050218; Longitud -78.587507)





Fotografía 03. Empezando las calicatas para extraer el suelo a ensayar con ayuda de personal de apoyo



Fotografía 04. Excavación de la calicata C-2 para extraer el suelo a ensayar con ayuda de personal Técnico de laboratorio de la EPIC de la UNS (Latitud -9.050854; Longitud -78.587786)



Fotografía 05.  
Calicata terminada lista  
para poder introducirse  
en él y examinar los  
diferentes estratos del  
suelo en su estado  
natural y  
extraer muestras



Fotografía 06. Tesista Bach. Jhadrit Janina Guevara Tuesta inspeccionado la excavación de Calicata



Fotografía 07. Tesista Bach. Jhadrit Janina Guevara Tuesta comprobando las dimensiones de Calicata sean suficientes para poder introducirse en él.



Fotografía 08. Muestra de la escoria del horno eléctrico de Sider Perú en laboratorio de Mecánica de suelos de la EPIC de la UNS lista para empezar a ensayarla.



Fotografía 09. Realizando el tamizado de la muestra por vibración para determinar la granulometría y el tipo de suelo



Fotografía 10. Elaboración del Proctor por parte de la tesista Bach. Jhadrit Janina Guevara Tuesta; lado izquierdo adición de energía de compactación a la muestra, lado derecho peso de la muestra para determinar la densidad.



Fotografía 11. Tesista Bach. Jhadrit Janina Guevara Tuesta tomando muestra para determinar el contenido de humedad



Fotografía 12. Realización del Ensayo de penetración en la Máquina Automática para Ensayos de CBR para medir la carga necesaria para alcanzar determinadas profundidades de penetración.



Fotografía 13: Realización de la granulometría de suelos en la Universidad San Pedro



Fotografía 14: Procedimiento en el horno para poder hallar el contenido de humedad en la U.S.P.



Foto 15: Ensayos de laboratorio de Proctor y hallando Peso de la muestra en la USP



Foto 16: Ensayos de la escoria con muestra del suelo en el laboratorio de la universidad San Pedro y hallando el ensayo de suelos-CBR

## **ANEXO 02**

**Diseño de pavimentos método AASHTO**



## Diseño del pavimento sin escorias

### DISEÑO DEL REFUERZO METODO AASHTO 1993

**PROYECTO :** INFLUENCIA DE LA ADICION DE LAS ESCORIAS    **TRAMO :** AA.HH SAN PEDRO  
**TIPO :** PAVIMENTOS FLEXIBLES    **FECHA :** JUNIO- 2022

#### DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA) :

##### 1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES

	DATOS
A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA CARPETA ASFALTICA (ksi)	400.00
B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (ksi)	31.00
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE (ksi)	22.00

##### 2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE

A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (w/18)	1.02E+07
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	95%
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)	-1.645
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)	0.45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)	17.00
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)	4.2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)	2.0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)	20

##### 3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO

A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA	
Concreto Asfáltico Convencional (a1)	0.44
Base granular (a2)	0.13
Subbase (a3)	0.11
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA	
Base granular (m2)	1.30
Subbase (m3)	1.20
	1.00

#### DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA) :

NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )	4.10
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN <sub>CA</sub> )	2.00
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )	1.00
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )	1.10

#### ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA

	TEORICO	PROPUESTO
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	11.5	10.0
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	25.4	20.0
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	30.5	37.5
ESPESOR TOTAL (cm)	67.4	67.5

**RESPONSABLE :** BR. JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA

## Diseño del pavimento adicionando el 20% de escorias

DISEÑO DEL REFUERZO METODO AASHTO 1993		
<b>PROYECTO</b> : INFLUENCIA DE LA ADICION DE LAS ESCORIAS	<b>TRAMO</b> : AA.HH SAN PEDRO	
<b>TIPO</b> : PAVIMENTOS FLEXIBLES	<b>FECHA</b> : JUNIO- 2022	
<b>DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA) :</b>		
<b>1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES</b>		<b>DATOS</b>
A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA CARPETA ASFALTICA (ksi)		400.00
B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (ksi)		31.00
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE (ksi)		22.00
<b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>		
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)		1.02E+07
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)		95%
STANDARD NORMAL DEViate (Zr)		-1.645
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)		0.45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)		13.00
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)		4.2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)		2.0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)		20
<b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO</b>		
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA		
Concreto Asfáltico Convencional (a1)		0.44
Base granular (a2)		0.13
Subbase (a3)		0.11
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA		
Base granular (m2)		1.30
Subbase (m3)		1.20
		1.00
<b>DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA) :</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )	3.00	
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN <sub>CA</sub> )	2.40	
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )	0.60	
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )	0.00	
<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA</b>		
	TEORICO	PROPUESTO
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	13.9	7.5
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	11.3	20.0
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	0.0	0.0
ESPESOR TOTAL (cm)	25.2	27.5
<b>RESPONSABLE</b> BR. JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA		

## **ANEXOS 03**

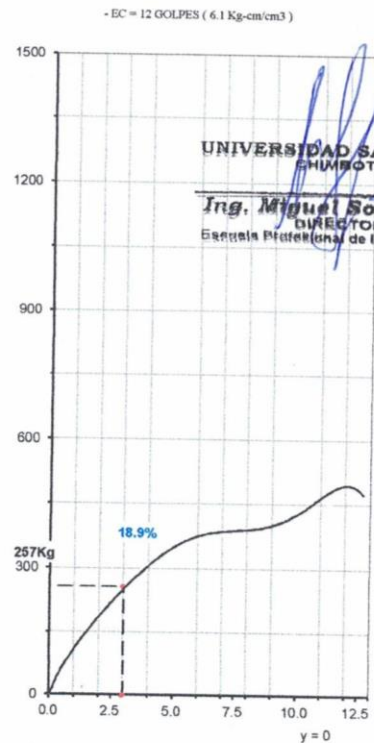
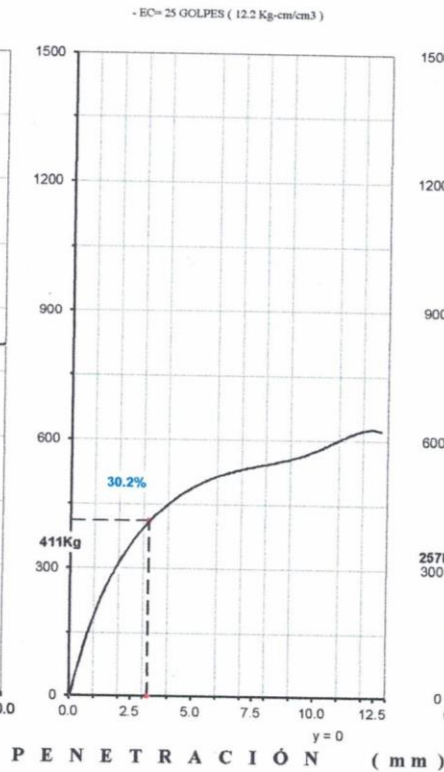
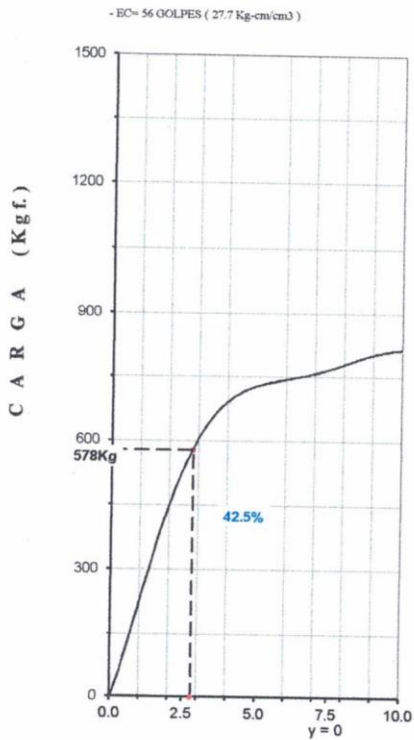
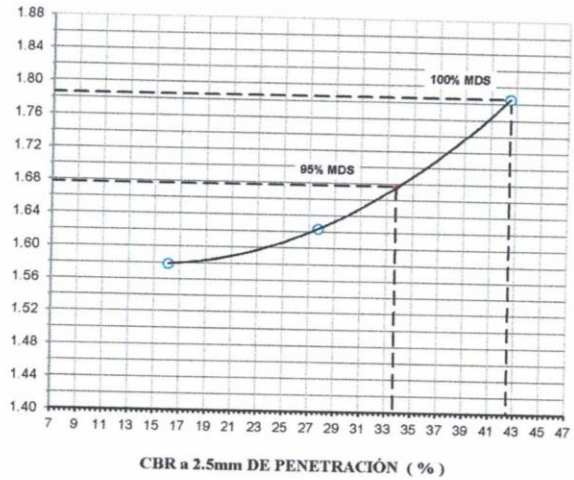
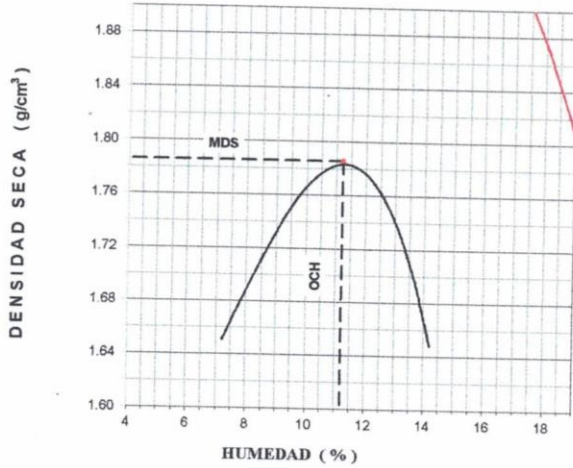
**Estudio de Mecánica De Suelos**



**RELACION DE SOPORTE - CBR [ ASTM D-1883 ]-EXPERIMENTAL-20%**

SOLICITA : JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA
TESIS : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LAS ESCORIAS DEL HORNO ELÉCTRICO DE SIDER PERÚ EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS EN CHIMBOTE
MATERIAL : TERRENO NATURAL - C-1
FECHA : 09-May-2022

MÉTODO DE COMPACTACIÓN (ASTM D-1557)	A
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.786
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	11.2
CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%)	42.5
CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%)	33.7
ABSORCIÓN : 25.0 %	EMBEBIDO : 4 DIAS EXPANSIÓN : HUMEDAD DE PENETRACIÓN : 36.2 %



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
CHIMBOTE  
Ing. Miguel Solar Jara  
DIRECTOR  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR- EXPERIMENTAL-20%  
NORMA ASTM D- 1883**

SOLICITA : JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA  
 TESIS : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LAS ESCORIAS DEL HORNO ELÉCTRICO DE SIDER PERÚ EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS EN CHIMBOTE  
 MATERIAL : TERRENO NATURAL  
 CALICATA : ,1  
 LUGAR : SAN PEDRO - CHIMBOTE - ANCASH  
 FECHA : :09/05/2022

<b>Características</b>						
Numero de Molde	1		2		3	
Numero de Capas	5		5		5	
Numero de Golpe	56		25		12	
Energia Compactacion [kg-cm]/cm <sup>3</sup>	27.7		12.2		6.1	
<b>Densidad Seca [CBR ]</b>						
01 - Peso suelo humedo + molde (g)	8,942.5		8,820.0		7,782.5	
02 - Peso del molde (g)	4,525.0		4,796.0		3,975.0	
03 - Peso suelo humedo (g)	4,417.5		4,024.0		3,807.5	
04 - Volumen de molde, cm <sup>3</sup>	2,121.000		2,104.000		2,030.000	
05 - Densidad suelo humedo (g/cm <sup>3</sup> )	2.083		1.913		1.876	
06 - Tarro N°	0.0		0.0		0.0	
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	440.2		456.3		442.6	
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	410.3		419.0		406.4	
09 - Peso del agua (g)	29.9		37.3		36.2	
10 - Peso del tarro (g)	230.5		208.8		213.7	
11 - Peso suelo seco (g)	179.8		210.2		192.7	
12 - Contenido de humedad (%)	16.6		17.7		18.8	
13 - Densidad del suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.786		1.624		1.579	
<b>Saturación</b>						
Embebido	Fecha	Hora	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial	
Expansión, %						
<b>Absorcion</b>						
Numero de molde	1		2		3	
01 - Peso suelo humedo antes (g)	4,417.5		4,024.0		3,807.5	
02 - Peso suelo embebido + molde (g)	9,889.4		9,677.8		8,590.2	
03 - Peso del molde (g)	4,525.0		4,796.0		3,975.0	
04 - Peso suelo embebido (g)	5,364.4		4,881.8		4,615.2	
05 - Peso del agua absorbida (g)	946.9		857.8		807.7	
06 - Peso del suelo seco (g)	3,787.6		3,417.6		3,205.4	
07 - Absorción de agua (%)	25.0		25.1		25.2	
<b>Penetración</b>						
<b>Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial*4.2491345+27.92018</b>						
Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	24.0	129.9	19.0	108.7	12.0	78.9
1.3	65.0	304.1	55.0	261.6	25.0	134.1
1.9	95.0	431.6	62.0	291.4	35.0	176.6
2.5	120.0	537.82	82.0	376.35	45.0	219.13
3.2	140.0	622.8	85.0	389.1	55.0	261.6
3.8	155.0	686.5	98.0	444.3	65.0	304.1
5.08	165.0	729.0	110.0	495.3	75.0	346.6
7.6	175.0	771.5	120.0	537.8	85.0	389.1
10.16	185.0	814.0	130.0	580.3	95.0	431.6
12.7	195.0	856.5	140.0	622.8	105.0	474.1
Carga [%]						

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
CHIMBOTE

**Ing. Miguel Solar Jara**  
REGISTRADO  
Colegiado Profesional de Ingeniería Civil



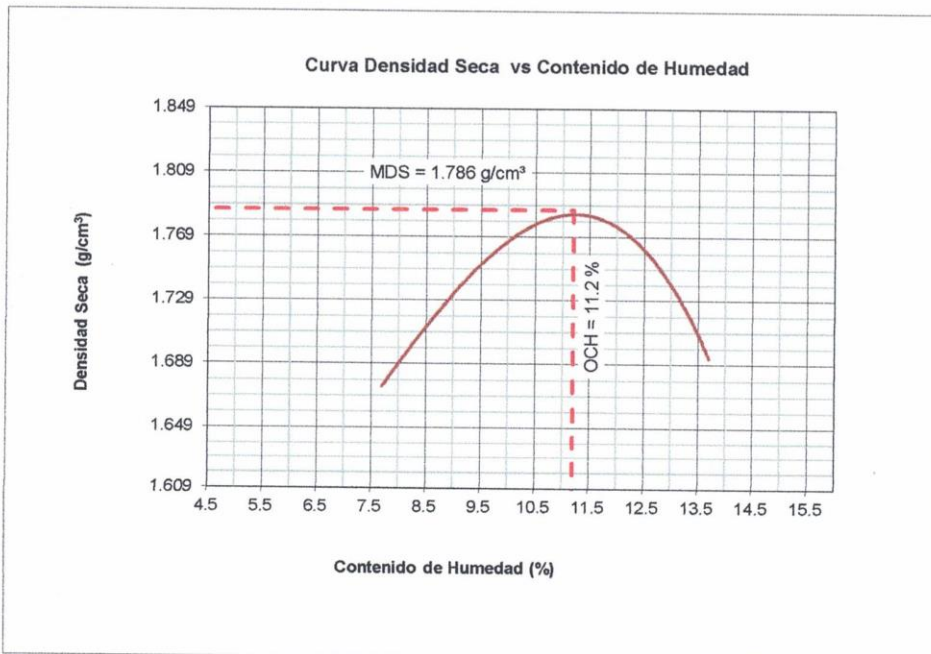
**PROCTOR MODIFICADO-EXPERIMENTAL-20%**

NORMA ASTM D- 1557/ MTC E 115

SOLICITA : JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA  
 TESIS : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LAS ESCORIAS DEL HORNO ELÉCTRICO DE SIDER PERÚ EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS EN CHIMBOTE  
 MATERIAL : SUELO NATURAL  
 CALICATA : 1  
 LUGAR : SAN PEDRO - CHIMBOTE - ANCASH  
 FECHA : 09/05/2022

Metodo Compactación:	"A"	Número de Golpes		
Energía de Compactación Standar	27.7 Kg.cm / cm <sup>3</sup>			
01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g)	3770	3860	3950	3885
02 - Peso del Molde (g)	1985.1	1985.1	1985.1	1981.0
03 - Peso Suelo Humedo (g)	1784.9	1874.9	1964.9	1904.0
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	989.3	989.3	989.3	989.3
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.804	1.895	1.986	1.925
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	405.3	416.6	450.1	375.7
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	390.5	398.6	428.1	352.2
09 - Peso del agua (g)	14.8	18.0	22.0	23.5
10 - Peso del tarro (g)	198.8	201.4	235.1	180.3
11 - Peso suelo seco (g)	191.7	197.2	193.0	171.9
12 - Contenido de Humedad (%)	7.7	9.1	11.4	13.7
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.675	1.737	1.783	1.693

Contenido Optimo Humedad **11.2 %** Densidad Seca Maxima, **1.786 g/cm<sup>3</sup>**



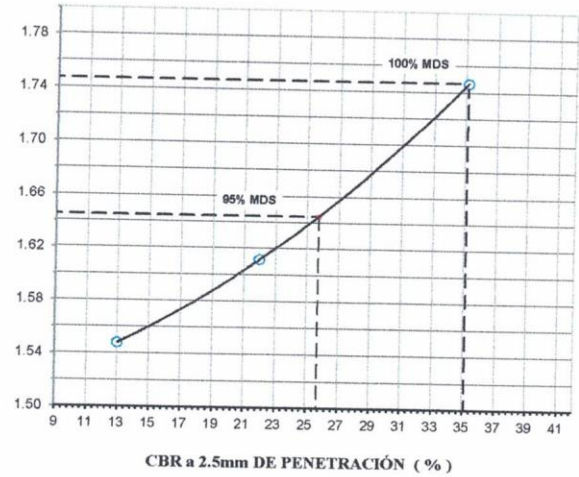
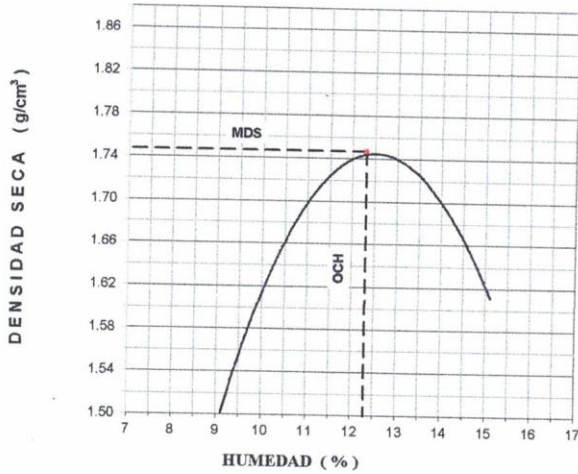
UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
CHIMBOTE  
*Ing. Miguel Solar Jara*  
DIRECTOR  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES



**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR [ ASTM D-1883 ]-EXPERIMENTAL-15%**

<b>SOLICITA</b> : JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA
<b>TESIS</b> : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LAS ESCORIAS DEL HORNO ELÉCTRICO DE SIDER PERÚ EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS EN CHIMBOTE
<b>MATERIAL</b> : TERRENO NATURAL - C-1
<b>FECHA</b> : 09-May-2022

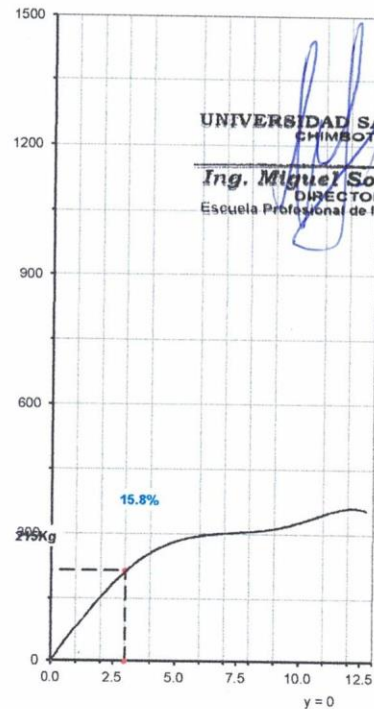
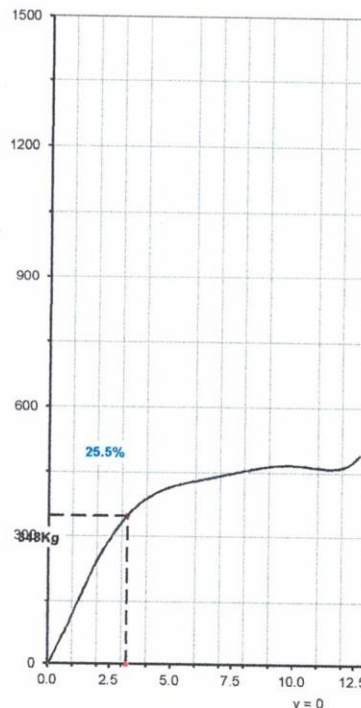
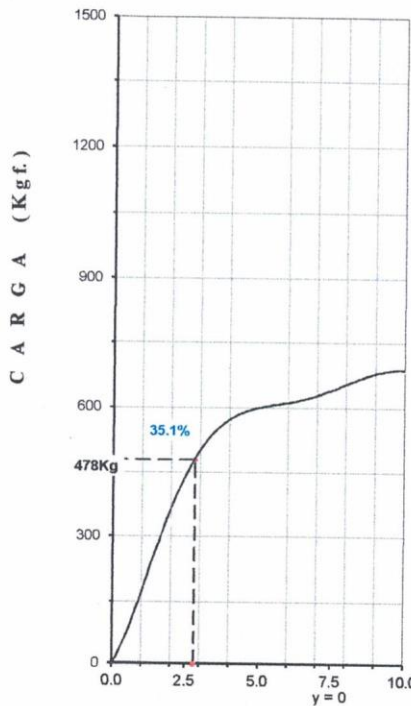
<b>MÉTODO DE COMPACTACIÓN</b> (ASTM D-1557)	A
<b>MÁXIMA DENSIDAD SECA</b> (gr/cm <sup>3</sup> )	1.747
<b>ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD</b> (%)	12.3
<b>CBR AL 100% DE LA M.D.S.</b> (%)	35.1
<b>CBR AL 95% DE LA M.D.S.</b> (%)	25.7
<b>EMBEBIDO</b> : 4 DÍAS	<b>EXPANSIÓN</b> :
<b>ABSORCIÓN</b> : 15.4 %	<b>HUMEDAD DE PENETRACIÓN</b> : 27.7 %



- EC = 56 GOLPES ( 27.7 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )

- EC = 25 GOLPES ( 12.2 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )

- EC = 12 GOLPES ( 6.1 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
CHIMBOTE  
*Ing. Miguel Solar Jara*  
DIRECTOR  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR- EXPERIMENTAL-15%  
NORMA ASTM D- 1883**

SOLICITA : JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA  
 TESIS : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LAS ESCORIAS DEL HORNO ELÉCTRICO DE SIDER PERÚ EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS EN CHIMBOTE  
 MATERIAL : TERRENO NATURAL  
 CALICATA : .1  
 LUGAR : SAN PEDRO - CHIMBOTE - ANCASH  
 FECHA : :09/05/2022

Características						
Numero de Molde			1	2	3	
Numero de Capas			5	5	5	
Numero de Golpe			56	25	12	
Energía Compactación [kg-cm]/cm³			27.7	12.2	6.1	
Densidad Seca [CBR]						
01 - Peso suelo humedo + molde (g)			8,854.2	8,720.0	8,623.0	
02 - Peso del molde (g)			3,975.0	4,796.0	4,526.0	
03 - Peso suelo humedo (g)			4,879.2	3,924.0	4,097.0	
04 - Volumen de molde, cm³			2,420.000	2,104.000	2,290.000	
05 - Densidad suelo humedo (g/cm³)			2.016	1.865	1.789	
06 - Tarro N°			0.0	0.0	0.0	
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)			632.7	623.2	651.8	
08 - Peso suelo seco + tarro (g)			574.9	570.0	591.8	
09 - Peso del agua (g)			57.8	53.2	60.0	
10 - Peso del tarro (g)			199.8	230.3	207.1	
11 - Peso suelo seco (g)			375.1	339.7	384.7	
12 - Contenido de humedad (%)			15.4	15.7	15.6	
13 - Densidad del suelo seco (g/cm³)			1.747	1.612	1.548	
Saturación						
Embebido	Fecha	Hora	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial	
Expansión, %						
Absorción						
Numero de molde			1	2	3	
01 - Peso suelo humedo antes (g)			4,879.2	3,924.0	4,097.0	
02 - Peso suelo embebido + molde (g)			9,505.3	9,245.9	9,175.9	
03 - Peso del molde (g)			3,975.0	4,796.0	4,526.0	
04 - Peso suelo embebido (g)			5,530.3	4,449.9	4,649.9	
05 - Peso del agua absorbida (g)			651.1	525.9	552.9	
06 - Peso del suelo seco (g)			4,227.7	3,392.7	3,544.2	
07 - Absorción de agua (%)			15.4	15.5	15.6	
Penetración						
Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2491345 + 27.92018						
Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	16.0	95.9	10.0	70.4	6.0	53.4
1.3	53.0	253.1	31.0	159.6	18.0	104.4
1.9	67.0	312.6	49.0	236.1	28.0	146.9
2.5	105.0	474.08	64.0	299.86	35.0	176.64
3.2	115.0	516.6	74.0	342.4	47.0	227.6
3.8	125.0	559.1	83.0	380.6	53.0	253.1
5.08	135.0	601.6	92.0	418.8	59.0	278.6
7.6	145.0	644.0	99.0	448.6	65.0	304.1
10.16	155.0	686.5	103.0	465.6	71.0	329.6
12.7	165.0	729.0	109.0	491.1	77.0	355.1
Carga [%]						

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
CHIMBOTE  
Ing. Miguel Solar Jara  
DIRECTOR  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil





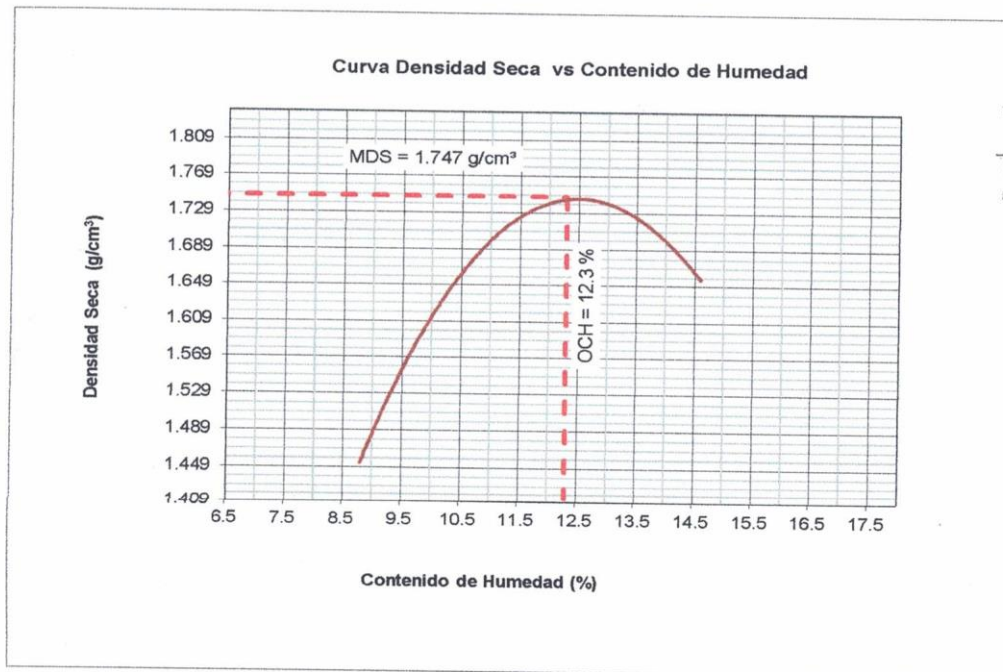
**PROCTOR MODIFICADO-EXPERIMENTAL-15%**

**NORMA ASTM D- 1557/ MTC E 115**

SOLICITA : JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA  
 TESIS : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LAS ESCORIAS DEL HORNO ELÉCTRICO DE SIDER PERÚ EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS EN CHIMBOTE  
 MATERIAL : SUELO NATURAL  
 CALICATA : 1  
 LUGAR : SAN PEDRO - CHIMBOTE - ANCASH  
 FECHA : 09/05/2022

Metodo Compactación:	"A"	Número de Golpes		
Energía de Compactación Standar		27.7 Kg.cm / cm <sup>2</sup>		
01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g)	3550	3790	3930	3860
02 - Peso del Molde (g)	1985.1	1985.1	1985.1	1981.0
03 - Peso Suelo Humedo (g)	1564.9	1804.9	1944.9	1879.0
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	989.3	989.3	989.3	989.3
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.582	1.824	1.966	1.899
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	322.3	383.6	353.0	423.2
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	313.0	366.2	333.0	391.5
09 - Peso del agua (g)	9.3	17.4	20.0	31.7
10 - Peso del tarro (g)	207.4	199.0	177.0	175.2
11 - Peso suelo seco (g)	105.6	167.2	156.0	216.3
12 - Contenido de Humedad (%)	8.8	10.4	12.8	14.6
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.454	1.653	1.743	1.657

Contenido Optimo Humedad **12.3 %** Densidad Seca Maxima, **1.747 g/cm<sup>3</sup>**



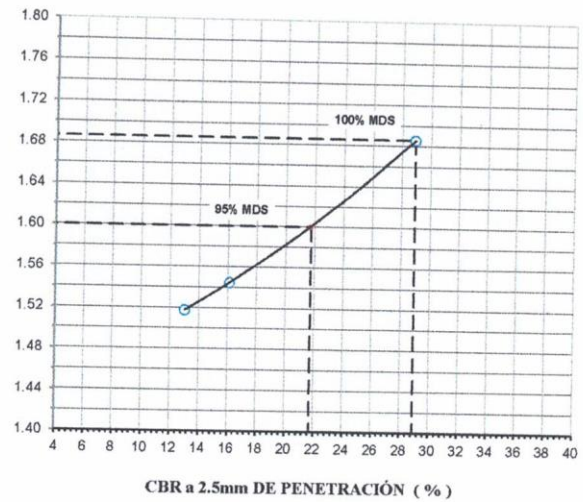
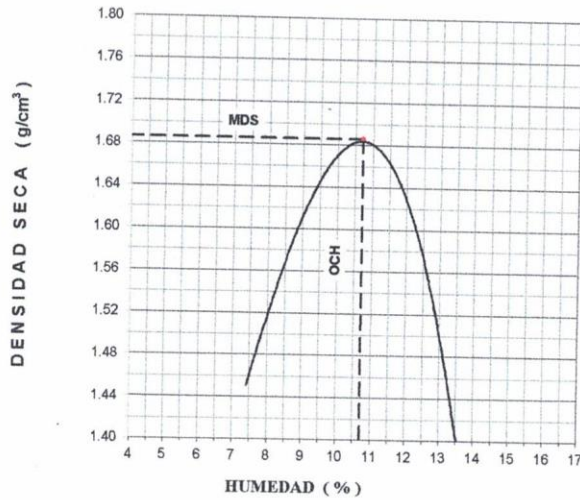
UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
CHIMBOTE  
*Ing. Miguel Solar Jara*  
DIRECTOR  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR [ ASTM D-1883 ]-EXPERIMENTAL 10%**

<b>SOLICITA</b> : JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA
<b>TESIS</b> : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LAS ESCORIAS DEL HORNO ELÉCTRICO DE SIDER PERÚ EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS EN CHIMBOTE
<b>MATERIAL</b> : TERRENO NATURAL - C-1
FECHA : 09-May-2022

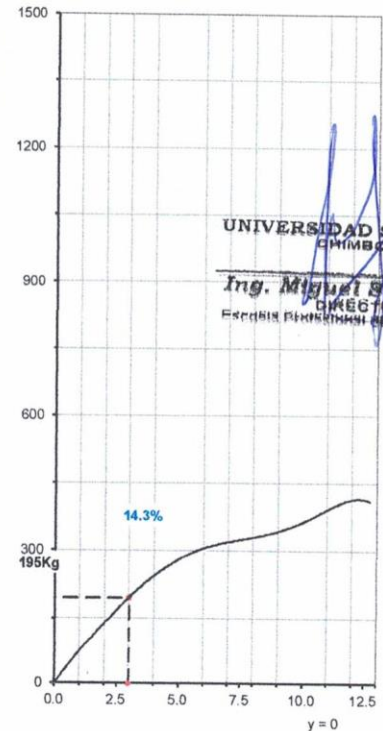
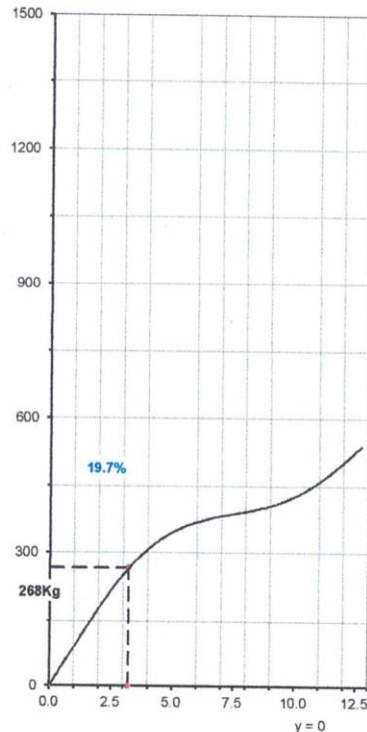
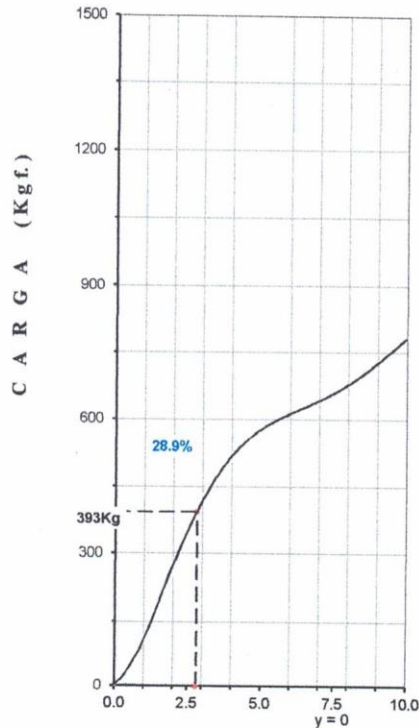
<b>MÉTODO DE COMPACTACIÓN</b> (ASTM D-1557)	A
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.686
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	10.7
CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%)	28.9
CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%)	21.7
EMBEBIDO : 4 DIAS	EXPANSIÓN :
ABSORCIÓN : 3.2%	HUMEDAD DE PENETRACIÓN : 13.9%



- EC= 56 GOLPES ( 27.7 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )

- EC= 25 GOLPES ( 12.2 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )

- EC = 12 GOLPES ( 6.1 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
CHIMBOTE  
**Ing. Miguel Solar Jara**  
DIRECTOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE INGENIERÍA CIVIL

**PENETRACIÓN ( mm )**



**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR- EXPERIMENTAL 10%  
NORMA ASTM D- 1883**

SOLICITA : JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA  
TESIS : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LAS ESCORIAS DEL HORNO ELÉCTRICO DE SIDER PERÚ EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS EN CHIMBOTE  
MATERIAL : TERRENO NATURAL  
CALICATA : ,1  
LUGAR : SAN PEDRO - CHIMBOTE - ANCASH  
FECHA : :09/05/2022

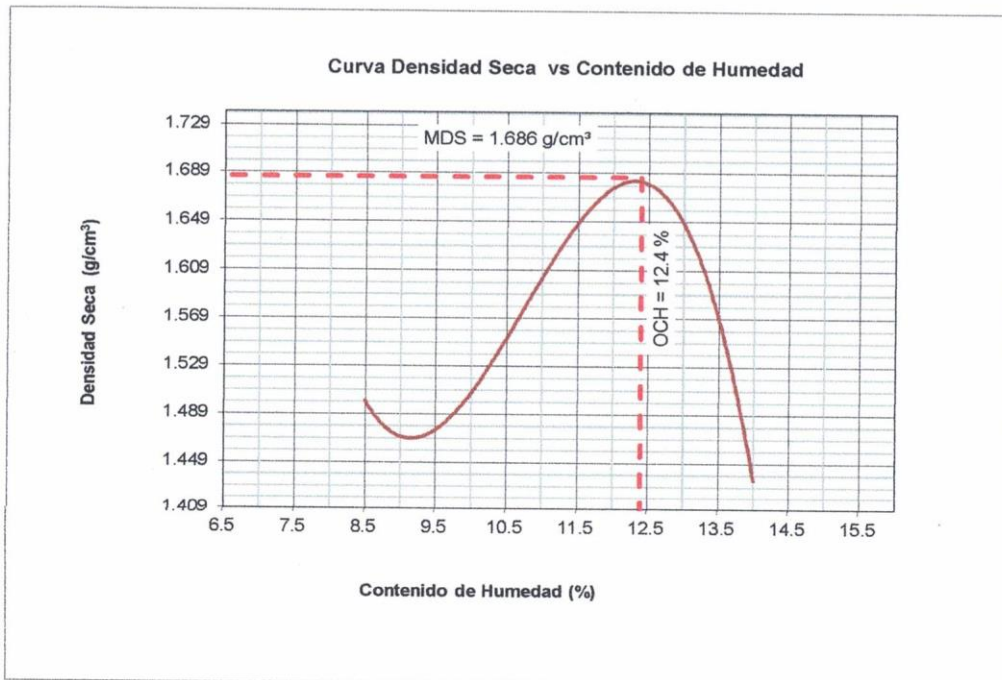
<b>Características</b>						
Numero de Molde			1	2	3	
Numero de Capas			5	5	5	
Numero de Golpe			56	25	12	
Energía Compactación [kg-cm]/cm <sup>3</sup>			27.7	12.2	6.1	
<b>Densidad Seca [CBR ]</b>						
01 - Peso suelo humedo + molde (g)			8,936.5	8,620.0	8,300.0	
02 - Peso del molde (g)			4,510.0	4,802.0	4,508.0	
03 - Peso suelo humedo (g)			4,426.5	3,818.0	3,792.0	
04 - Volumen de molde, cm <sup>3</sup>			2,238.000	2,108.000	2,131.000	
05 - Densidad suelo humedo (g/cm <sup>3</sup> )			1.978	1.811	1.779	
06 - Tarro N°			0.0	0.0	0.0	
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)			584.4	652.2	413.6	
08 - Peso suelo seco + tarro (g)			534.9	587.1	383.2	
09 - Peso del agua (g)			49.5	65.1	30.4	
10 - Peso del tarro (g)			249.1	208.7	206.3	
11 - Peso suelo seco (g)			285.8	378.4	176.9	
12 - Contenido de humedad (%)			17.3	17.2	17.2	
13 - Densidad del suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )			1.686	1.545	1.518	
<b>Saturación</b>						
Embebido	Fecha	Hora	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial	
<b>UNIVERSIDAD SAN PEDRO</b>						
CHIMBOTE						
<i>Ing. Miguel Solar Jara</i>						
DIRECTOR						
Escuela Profesional de Ingeniería Civil						
Expansión, %						
<b>Absorción</b>						
Numero de molde			1	2	3	
01 - Peso suelo humedo antes (g)			4,426.5	3,818.0	3,792.0	
02 - Peso suelo embebido + molde (g)			9,057.2	8,753.6	8,465.0	
03 - Peso del molde (g)			4,510.0	4,802.0	4,508.0	
04 - Peso suelo embebido (g)			4,547.2	3,951.6	3,957.0	
05 - Peso del agua absorvida (g)			120.7	133.6	165.0	
06 - Peso del suelo seco (g)			3,773.0	3,257.6	3,235.9	
07 - Absorción de agua (%)			3.2	4.1	5.1	
<b>Penetración</b>						
<b>Factor Anillo:</b> Carga [kgf.] = Lectura Dial*4.2491345+27.92018						
Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	10.0	70.4	8.0	61.9	5.0	49.2
1.3	30.0	155.4	20.0	112.9	15.0	91.7
1.9	50.0	240.4	35.0	176.6	25.0	134.1
2.5	80.0	367.85	45.0	219.13	35.0	176.64
3.2	100.0	452.8	55.0	261.6	40.0	197.9
3.8	110.0	495.3	65.0	304.1	50.0	240.4
5.08	130.0	580.3	75.0	346.6	60.0	282.9
7.6	150.0	665.3	85.0	389.1	70.0	325.4
10.16	180.0	792.8	95.0	431.6	80.0	367.9
12.7	210.0	920.2	120.0	537.8	90.0	410.3
Carga [%]						



SOLICITA : JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA  
 TESIS : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LAS ESCORIAS DEL HORNO ELÉCTRICO DE SIDER PERÚ EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS EN CHIMBOTE  
 MATERIAL : SUELO NATURAL  
 CALICATA : 1  
 LUGAR : SAN PEDRO - CHIMBOTE - ANCASH  
 FECHA : 09/05/2022

Metodo Compactación:	"A"	Número de Golpes		
Energía de Compactación Standar		27.7 Kg.cm / cm <sup>3</sup>		
01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g)	3595	3745	3855	3600
02 - Peso del Molde (g)	1985.1	1985.1	1985.1	1981.0
03 - Peso Suelo Humedo (g)	1609.9	1759.9	1869.9	1619.0
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	989.3	989.3	989.3	989.3
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.627	1.779	1.890	1.636
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	386.4	374.2	379.0	553.0
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	372.4	357.1	360.1	515.0
09 - Peso del agua (g)	14.0	17.1	18.9	38.0
10 - Peso del tarro (g)	207.4	201.6	207.4	244.1
11 - Peso suelo seco (g)	165.0	155.5	152.7	270.9
12 - Contenido de Humedad (%)	8.5	11.0	12.3	14.0
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.500	1.603	1.683	1.435

Contenido Optimo Humedad **12.4 %** Densidad Seca Maxima, **1.686 g/cm<sup>3</sup>**



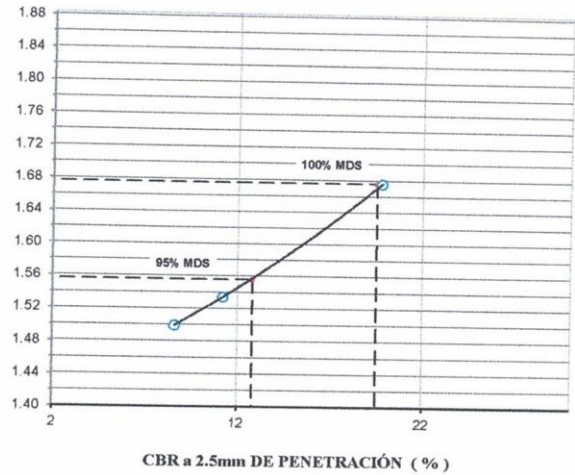
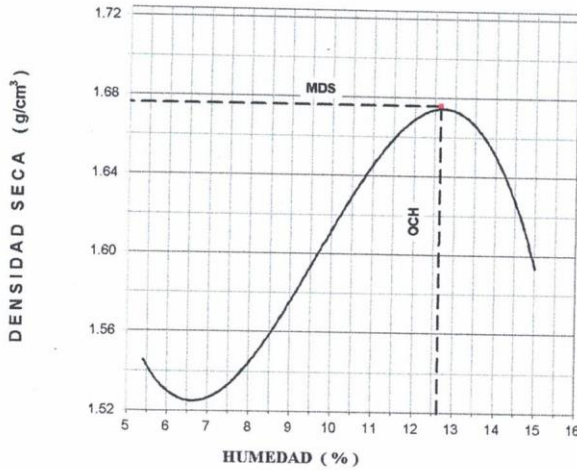
UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
CHIMBOTE  
*Ing. Miguel Solar Jara*  
DIRECTOR  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**RELACION DE SOPORTE - CBR [ ASTM D-1883 ]**

<b>SOLICITA</b> :	JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA
<b>TESIS</b> :	INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LAS ESCORIAS DEL HORNO ELÉCTRICO DE SIDER PERÚ EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS EN CHIMBOTE
<b>MATERIAL</b> :	TERRENO NATURAL
<b>CALICATA</b> :	.1
<b>UBICACIÓN</b> :	SAN PEDRO - CHIMBOTE - ANCASH
<b>FECHA</b> :	09-May-2022

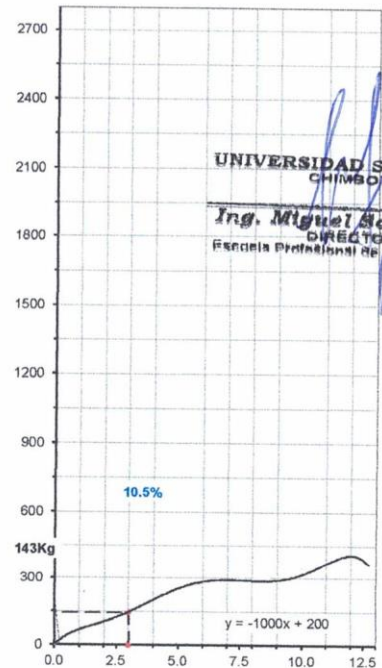
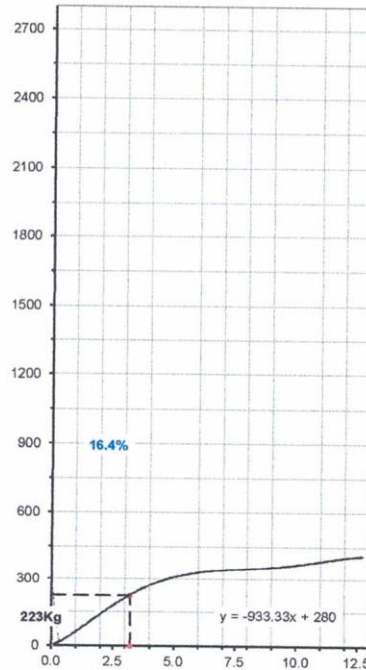
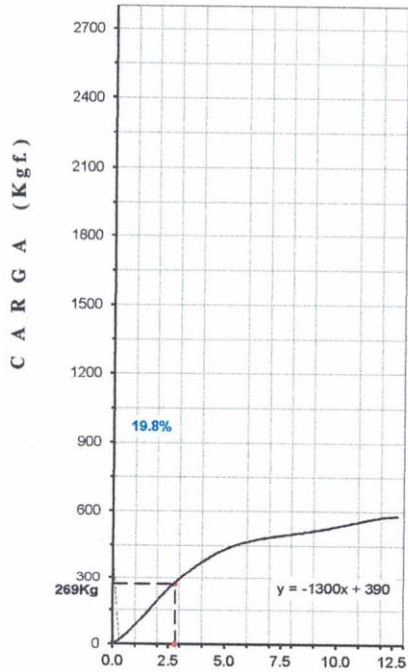
<b>MÉTODO DE COMPACTACIÓN (ASTM D-1557)</b>				<b>A</b>	
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )				1.676	
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				12.6	
CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%)				19.8	
CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%)				12.8	
RET. ACUM. 3/4"	26%	3/8"	0	N°4 : 0	- N°200 : 0
SUCS		LL	--	IP	--
AASHTO		EMBEBIDO	1 días	EXPANSIÓN	
ABSORCIÓN	4.3 %	HUMEDAD DE PENETRACIÓN		16.9 %	



- EC= 56 GOLPES ( 27.7 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )

- EC= 25 GOLPES ( 12.2 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )

- EC = 12 GOLPES ( 6.1 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )



**UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
CHIMBOTE**  
*Ing. Miguel Solar Jara*  
**DIRECTOR**  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**P E N E T R A C I Ó N ( m m )**



**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR**  
NORMA ASTM D- 1883

SOLICITA : JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA  
 TESIS : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LAS ESCORIAS DEL HORNO ELÉCTRICO DE SIDER PERÚ EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS EN CHIMBOTE  
 MATERIAL : TERRENO NATURAL  
 CALICATA : ,1  
 LUGAR : SAN PEDRO - CHIMBOTE - ANCASH  
 FECHA : :09/05/2022

<b>Características</b>						
Numero de Molde	1		2		3	
Numero de Capas	5		5		5	
Numero de Golpe	56		25		12	
Energia Compactacion [kg-cm]/cm <sup>3</sup>	27.7		12.2		6.1	
<b>Densidad Seca [CBR]</b>						
01 - Peso suelo humedo + molde (g)	7,880.0		8,184.0		8,458.5	
02 - Peso del molde (g)	3,972.5		4,503.0		4,790.0	
03 - Peso suelo humedo (g)	3,907.5		3,681.0		3,668.5	
04 - Volumen de molde, cm <sup>3</sup>	2,086.680		2,133.170		2,178.200	
05 - Densidad suelo humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.873		1.726		1.684	
06 - Tarro N°	0.0		0.0		0.0	
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	667.6		686.2		662.9	
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	615.1		635.7		608.2	
09 - Peso del agua (g)	52.5		50.5		54.7	
10 - Peso del tarro (g)	201.2		240.1		164.8	
11 - Peso suelo seco (g)	413.9		395.6		443.4	
12 - Contenido de humedad (%)	12.7		12.8		12.3	
13 - Densidad del suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.662		1.530		1.499	
<b>Saturación</b>						
Embebido	Fecha	Hora	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial	
Expansión, %						
<b>Absorción</b>						
Numero de molde	1		2		3	
01 - Peso suelo humedo antes (g)	3,907.5		3,681.0		3,668.5	
02 - Peso suelo embebido + molde (g)	8,029.1		8,353.7		8,670.8	
03 - Peso del molde (g)	3,972.5		4,503.0		4,790.0	
04 - Peso suelo embebido (g)	4,056.6		3,850.7		3,880.8	
05 - Peso del agua absorbida (g)	149.1		169.7		212.3	
06 - Peso del suelo seco (g)	3,467.7		3,264.3		3,265.6	
07 - Absorción de agua (%)	4.3		5.2		6.5	
<b>Penetración</b>						
<b>Factor Anillo:</b> Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2491345 + 27.92018						
Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	8.0	61.9	3.0	40.7	7.0	57.7
1.3	17.0	100.2	10.0	70.4	11.0	74.7
1.9	35.0	176.6	28.0	146.9	17.0	100.2
2.5	57.0	270.12	38.0	189.39	21.0	117.15
3.2	67.0	312.6	42.0	206.4	31.0	159.6
3.8	77.0	355.1	56.0	265.9	41.0	202.1
5.08	97.0	440.1	67.0	312.6	52.0	248.9
7.6	110.0	495.3	75.0	346.6	62.0	291.4
10.16	120.0	537.8	81.0	372.1	70.0	325.4
12.7	130.0	580.3	90.0	410.3	80.0	367.9
Carga [%]	270.12 kgf. [19.9%]		189.39 kgf. [13.9%]		117.15 kgf. [8.6%]	

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
CHIMBOTE

**Ing. Miguel Solar Jara**  
DIRECTOR  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

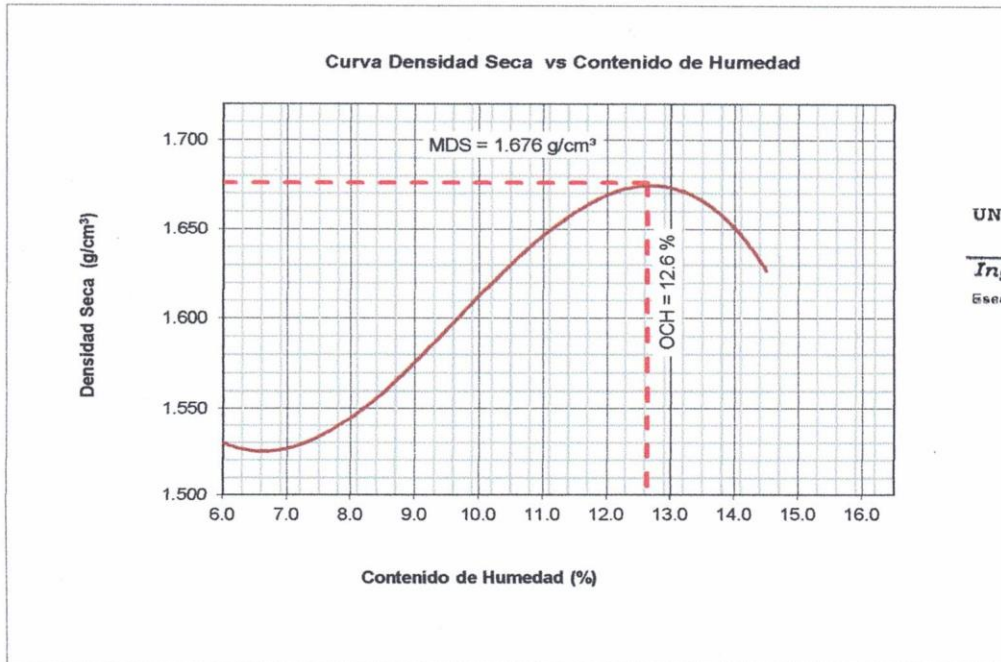


PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D- 1557/ MTC E 115

SOLICITA : JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA
TESIS : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LAS ESCORIAS DEL HORNO ELÉCTRICO DE SIDER PERÚ EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS EN CHIMBOTE
MATERIAL : SUELO NATURAL
CALICATA : 1
LUGAR : SAN PEDRO - CHIMBOTE - ANCASH
FECHA : 09/05/2022

Table with 5 columns: Metodo Compactación, 'A', Número de Golpes, and 25. Rows include: Energía de Compactación Standar (27.7 Kg.cm / cm³), 01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g), 02 - Peso del Molde (g), 03 - Peso Suelo Humedo (g), 04 - Volumen del Molde (cm³), 05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm³), 06 - Tarro N°, 07 - Peso suelo humedo + tarro (g), 08 - Peso suelo seco + tarro (g), 09 - Peso del agua (g), 10 - Peso del tarro (g), 11 - Peso suelo seco (g), 12 - Contenido de Humedad (%), 13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm³).

Contenido Optimo Humedad 12.6 % Densidad Seca Maxima, 1.676 g/cm³



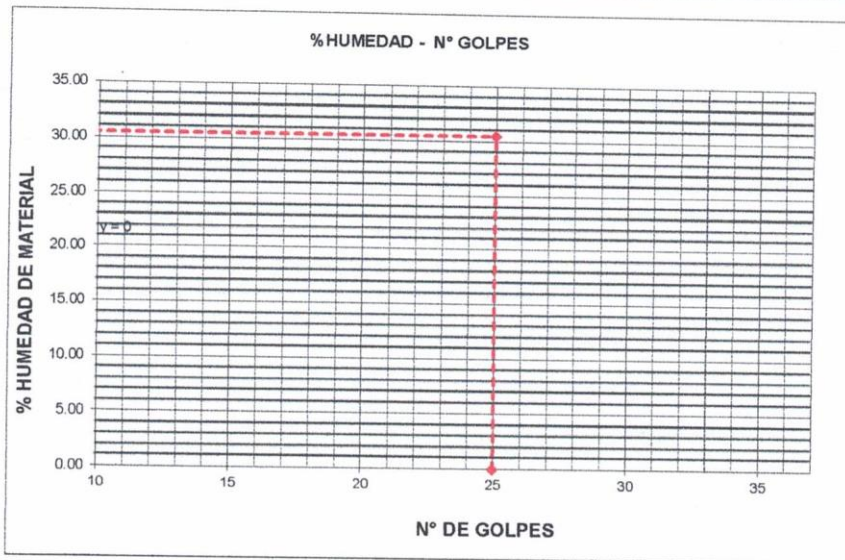
UNIVERSIDAD SAN PEDRO CHIMBOTE
Ing. Miguel Solar Jara
DIRECTOR
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO**  
(MTC E-110,E-111,ASTM D-4318 y MTC E-110, AASHTO T89, T90)

SOLICITA : JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA  
 TESIS INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LAS ESCORIAS DEL HORNO ELÉCTRICO DE SIDER PERÚ EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS EN CHIMBOTE  
 LUGAR : SAN PEDRO - SANTA - ANCASH  
 FECHA : 09/05/2022  
 MUESTRA : TERRENO NATURAL CALICATA-1

Nro. DE ENSAYO	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P
PESO DE LA TARA (gr.)	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P
PESO DEL AGUA (gr.)	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P
PESO SUELO SECO (gr.)	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P
Nro. DE GOLPES	N.P	N.P	N.P	N.P		



**LIMITE LIQUIDO**  
(MTC E-110,ASTM D-4318 y AASHTO T89)  
LL : N.P

**LIMITE PLASTICO**  
(MTC E-111,ASTM D-4318 y AASHTO T90)  
LP : N.P

**INDICE DE PLASTICIDAD**  
ASTM D-438  
IP : N.P

NOTA: La muestras de las calicatas NO PRESENTA LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO


UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
CHIMBOTE  
*Ing. Miguel Solar Jara*  
DIRECTOR  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil





### REGISTRO DE EXCAVACIÓN

<b>SOLICITA</b>	JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA		
<b>TESIS</b>	INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LAS ESCORIAS DEL HORNO ELÉCTRICO DE SIDER PERÚ EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS EN CHIMBOTE		
<b>LUGAR</b>	SAN PEDRO - CHIMBOTE - ANCASH	<b>NIVEL FREÁTICO ( m. )</b>	No presenta
<b>FECHA</b>	09/05/2022	<b>MÉTODO DE EXCAVACIÓN</b>	Cielo abierto
<b>CALICATA</b>	C - 1 M - 1	<b>TAMAÑO DE EXCAVACIÓN</b>	1.00 x 1.00 x 1.50

MUESTRA		PROFUNDIDAD			CARACTERÍSTICAS
Simbolo	Grafico	En Mts.	Muestra		
SP		1.50	M - 1		De -0.00 a -1.50 m. Arena mal graduada arenas con grava, pocos finos o sin finos de color beige claro , no presenta plasticidad, sin gravas de grano y textura fina a media, de compacidad compacto y en estado ligeramente humedo.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
CHIMBOTE  
*Ing. Miguel Solar Jara*  
DIRECTOR  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**CONTENIDO DE HUMEDAD**

(ASTM D-2216)

**SOLICITA** : JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA  
**TESIS** : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LAS ESCORIAS DEL HORNO ELÉCTRICO DE SIDER PERÚ EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS EN CHIMBOTE  
**MUESTRA** : CALICATA - 1  
**LUGAR** : SAN PEDRO - CHIMBOTE - ANCASH  
**FECHA** : 09/05/2022

ENSAYO N°	M-1	M-2
Peso de tara + MH	626.10	762.90
Peso de tara + MS	619.30	754.80
Peso de tara	167.70	204.00
Peso del agua	6.80	8.10
MS	451.60	550.80
Contenido de humedad (%)	1.51	1.47
<b>Humedad promedio(%)</b>	1.49	

**NOTA** : La muestra fue traída y realizado por el interesado en este Laboratorio.

**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**  
CHIMBOTE  
**Ing. Miguel Solar Jara**  
DIRECTOR  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO  
(ASTM D422)**

SOLICITA : JHADRIT JANINA GUEVARA TUESTA  
 TESIS : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LAS ESCORIAS DEL HORNO ELÉCTRICO DE SIDER PERÚ EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS EN CHIMBOTE  
 MUESTRA : CALICATA - 1  
 LUGAR : SAN PEDRO - CHIMBOTE - SANTA  
 FECHA : 09/05/2022

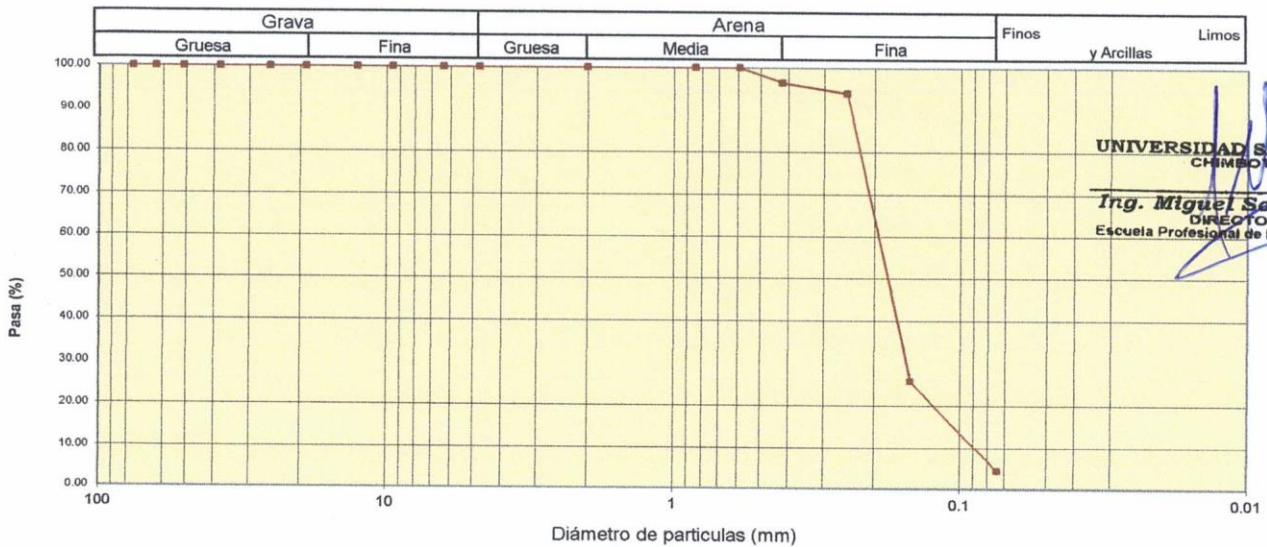
Peso Seco Inicial	602	gr.
Peso Seco Lavado	575.1	gr.
Peso perdido por lavado	26.9	gr.

CALICATA - 1
M - 1
PROF : 1.50

Tamiz(Apertura)		Peso Retenido(gr.)	Retenido Parcial(%)	Retenido Acumulado(%)	Pasante (%)	Clasificació AASTO
N°	(mm)					
2 1/2"	76.20	0.0	0.0	0.0	100.0	Material granular Excelente a bueno como subgrado A-3 Arena fina
2"	50.80	0.0	0.0	0.0	100.0	
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	0.0	100.0	
1"	22.50	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.50	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/8"	9.50	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/4"	6.30	0.0	0.0	0.0	100.0	
N° 4	4.75	0.0	0.0	0.0	100.0	
N° 10	2.00	0.0	0.0	0.0	100.0	
N° 20	0.850	0.2	0.0	0.0	100.0	Valor del Índice de grupo (IG):
N° 30	0.600	0.0	0.0	0.0	100.0	Clasificación (S.U.C.S.)
N° 40	0.425	20.4	3.4	3.4	96.6	Suelo de partículas gruesas. Suelo limpio.
N° 60	0.250	15.2	2.5	5.9	94.1	Arena mal graduada SP
N° 100	0.150	410.5	68.2	74.1	25.9	Pasa tamiz N° 4 (%) : 100.0
N° 200	0.075	128.8	21.4	95.5	4.5	Pasa tamiz N° 200 (%) : 4.5
< 200		26.9	4.5	100.0	0.0	D60 (mm) : 0.19
Total		602.0			100.0	D30 (mm) : 0.136
						D10 (mm) : 0.100
						Cu : 1.9
						Cc : 0.975

Límite líquido LL	0
Límite plástico LP	0
Índice plasticidad IP	0

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
CHIMBOTE  
**Ing. Miguel Sotol Jara**  
DIRECTOR  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

# Informe De Tesis Influencia de la adición de las escorias del horno eléctrico de Sider Perú en la estabilización de subrasante para pavimentos en Chimbote.pdf

## INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	1library.co Fuente de Internet	2%
5	Submitted to Universidad Señor de Sipan Trabajo del estudiante	1%
6	vdocuments.es Fuente de Internet	1%
7	pt.scribd.com Fuente de Internet	1%
8	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	

<1 %

10

[repository.uniminuto.edu](https://repository.uniminuto.edu)

Fuente de Internet

<1 %

11

[repositorio.unesum.edu.ec](https://repositorio.unesum.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

12

[repositorio.unsa.edu.pe](https://repositorio.unsa.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

13

[repositorio.usanpedro.edu.pe](https://repositorio.usanpedro.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

14

Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana

Trabajo del estudiante

<1 %

15

[www.scielo.org.co](http://www.scielo.org.co)

Fuente de Internet

<1 %

16

[dspace.unl.edu.ec](https://dspace.unl.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

17

[datospdf.com](https://datospdf.com)

Fuente de Internet

<1 %

18

[repositorio.ulatina.ac.cr](https://repositorio.ulatina.ac.cr)

Fuente de Internet

<1 %

19

[riunet.upv.es](https://riunet.upv.es)

Fuente de Internet

<1 %

20

[www3.uah.es](http://www3.uah.es)

Fuente de Internet

<1 %

21

Submitted to Universidad Nacional de San  
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1 %

22

[revistaschilenas.uchile.cl](http://revistaschilenas.uchile.cl)

Fuente de Internet

<1 %

23

Submitted to Consorcio CIXUG

Trabajo del estudiante

<1 %

24

[repositorio.unab.edu.pe](http://repositorio.unab.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

25

[repository.usta.edu.co](http://repository.usta.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

26

Submitted to Universidad San Ignacio de  
Loyola

Trabajo del estudiante

<1 %

27

[cybertesis.unmsm.edu.pe](http://cybertesis.unmsm.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

28

[repositorio.continental.edu.pe](http://repositorio.continental.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

29

[repositorio.espe.edu.ec](http://repositorio.espe.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

30

[repositorio.ucsp.edu.pe](http://repositorio.ucsp.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

31	<a href="http://www.bobrick.co.uk">www.bobrick.co.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://issuu.com">issuu.com</a> Fuente de Internet	<1 %
33	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
34	<a href="http://html.rincondelvago.com">html.rincondelvago.com</a> Fuente de Internet	<1 %
35	<a href="http://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
36	Norma Cristina Solarte Vanegas. "Efecto en el módulo dinámico de la mezcla asfáltica modificada con añadido de residuos triturados de la industria cerámica", Universitat Politecnica de Valencia, 2022 Publicación	<1 %
37	<a href="http://repositorio.upse.edu.ec">repositorio.upse.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://www.jourlib.org">www.jourlib.org</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="http://www2.slideshare.net">www2.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="http://doku.pub">doku.pub</a> Fuente de Internet	<1 %

41	<a href="http://dollarsrus.com.au">dollarsrus.com.au</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="http://prezi.com">prezi.com</a> Fuente de Internet	<1 %
43	<a href="http://repositorio.cuc.edu.co">repositorio.cuc.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
44	<a href="http://repositorio.unprg.edu.pe">repositorio.unprg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
45	<a href="http://repositorio.upsc.edu.pe">repositorio.upsc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
46	<a href="http://repositorio.uteq.edu.ec">repositorio.uteq.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
47	<a href="http://riubu.ubu.es">riubu.ubu.es</a> Fuente de Internet	<1 %
48	<a href="http://upc.aws.openrepository.com">upc.aws.openrepository.com</a> Fuente de Internet	<1 %
49	<a href="http://web.fonade.gov.co">web.fonade.gov.co</a> Fuente de Internet	<1 %
50	<a href="http://www.dspace.unitru.edu.pe">www.dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
51	<a href="http://bibdigital.epn.edu.ec">bibdigital.epn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
52	<a href="http://biblioteca.usac.edu.gt">biblioteca.usac.edu.gt</a> Fuente de Internet	<1 %



53

[pdfcoffee.com](https://pdfcoffee.com)

Fuente de Internet

<1 %

54

[repositorio.upt.edu.pe](https://repositorio.upt.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

55

[repositorio.uwiener.edu.pe](https://repositorio.uwiener.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

56

[servidor-opsu.tach.ula.ve](https://servidor-opsu.tach.ula.ve)

Fuente de Internet

<1 %

57

[www.biblioteca.cij.gob.mx](https://www.biblioteca.cij.gob.mx)

Fuente de Internet

<1 %

58

Trujillo, Verónica Esther Munárriz.

"Percepciones de los Estudiantes de Cuarto Grado de Educación Secundaria Sobre Las Funciones Que Cumplen Los Materiales Educativos Que Utilizan Los Docentes para Favorecer el Aprendizaje en el área De Comunicación en Una institución Educativa de Lima Metropolitana", Pontificia Universidad Católica del Perú - CENTRUM Católica (Peru), 2022

Publicación

<1 %

59

[addi.ehu.es](https://addi.ehu.es)

Fuente de Internet

<1 %

60

[archive.org](https://archive.org)

Fuente de Internet

<1 %

[colposdigital.colpos.mx:8080](https://colposdigital.colpos.mx:8080)

Fuente de Internet

61

<1 %

62

[dspace.esPOCH.edu.ec](https://dspace.esPOCH.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

63

[repositorio.ug.edu.ec](https://repositorio.ug.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

64

[repositorio.unheval.edu.pe](https://repositorio.unheval.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

65

[repositorio.uprit.edu.pe](https://repositorio.uprit.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

66

[ri.ues.edu.sv](https://ri.ues.edu.sv)

Fuente de Internet

<1 %

67

[stutzartists.org](https://stutzartists.org)

Fuente de Internet

<1 %

68

[www.repositorio.usac.edu.gt](https://www.repositorio.usac.edu.gt)

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado