



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA CIVIL

**TEMA:**

---

---

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA  
LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO

---

---

**AUTOR:**

CYNTHIA ELIZABETH TIRADO GUTIÉRREZ

**TUTOR:**

Ing. Mg. Marisol Bayas

Ambato – Ecuador

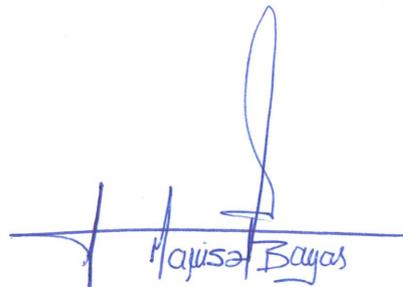
2019

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Marisol Bayas, certifico que el presente trabajo bajo el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”** es de autoría de la Srta. Tirado Gutiérrez Cynthia Elizabeth egresada de la carrera de Ingeniería Civil, el cual ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, diciembre del 2019



Ing. Mg. Marisol Bayas

TUTORA

## AUTORÍA

Yo, Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez con C.I.: 180540667-3, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el Trabajo Experimental con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”**, es de mi completa autoría.

Ambato, diciembre del 2019



---

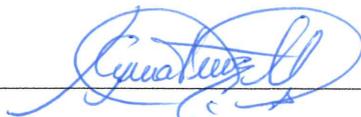
Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, diciembre del 2019



---

Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”**, de la egresada Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, el cual cumple con las disposiciones reglamentarias emitidas por el centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

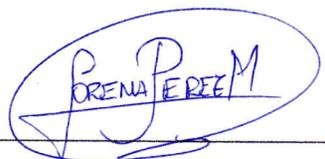
Ambato, diciembre del 2019

Para constancia firman:



---

Ing. Mg. Alex Lopez



---

Ing. Mg. Lorena Pérez

## **AGRADECI DEDICATORIA**

A mis padres, Rubén y Norma quienes, con todo su esfuerzo, dedicación, paciencia y cariño han logrado que pueda culminar con mi carrera, apoyándome en cada momento, guiándome para no rendirme y seguir siempre adelante.

A mis hermanos quienes me han brindado su apoyo incondicional en todo momento día a día, motivándome a seguir hasta poder culminar una de mis metas.

A toda mi familia, por haberme ayudado y apoyado de manera directa o indirecta, estando muy cerca de mí e incluso estando lejos, por darme consejos, brindarme su apoyo incondicional, motivarme y ayudándome a ser mejor persona y guiarme hasta poder llegar a ser una buena profesional, quienes han estado junto a mí en esta lucha.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios primero por todas las bendiciones que me ha brindado a lo largo de mi vida y mi carrera, porque me ha dado el coraje y la valentía de seguir adelante, acompañándome en todo momento, por impartirme sabiduría y paciencia, enseñándome que la vida en compañía de él es mucho más sencilla, quien ha estado a mi lado en los momentos más difíciles y duros y me ha dado la valentía para superar todos los obstáculos y llegar a culminar mi carrera.

A mi padre Rubén, pilar fundamental del hogar, quien me ha brindado su apoyo y paciencia, con su esfuerzo, trabajo y dedicación ha logrado que termine con una de mis metas, culminar mi carrera.

A mi madre Norma, mi mejor amiga y compañera de vida, mi sostén, apoyo, confidente, consejera, doctora, enfermera, mi fortaleza y orgullo de mujer y madre, quien día a día ha estado junto a mí, brindándome su mano en cada caída para poder levantarme, dándome su apoyo y amor incondicional, acompañándome en mis malas noches y días difíciles, mujer que admiro de principio a fin y me ha ayudado a terminar mi carrera con todo su esfuerzo y dedicación.

A mis hermanos María José y Rubén, mis pequeños que siempre los llevo en mi corazón, que han estado junto a mí, brindándome su tiempo, paciencia, apoyo, cariño, confianza y consejos infinitos para poder ser mejor hija, persona y poder llegar hasta aquí.

A Mariela, mi consejera y cómplice, quien ha estado junto a mi a lo largo de todo mi proyecto y a lo largo de mi vida, por su ayuda, apoyo y confianza.

A Fernando, gracias a sus consejos y compañía, una persona muy importante para mí, pero sobre todo un gran amigo.

A mis compañeros y más que todo amigos Nilson y Rodrigo, quienes durante años en mi carrera me han apoyado incondicionalmente, impartiendo sus conocimientos, compartiendo tiempo juntos para ayudarnos y cumplir juntos nuestra meta.

A mi tutora, Ing. Mg. Marisol Bayas, quien impartió sus conocimientos y con su esfuerzo y dedicación me ayudó a culminar el presente proyecto.

*Infinitas gracias.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

### A. PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	II
AUTORÍA.....	III
DERECHOS DE AUTOR .....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	V
AGRADECI DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTOS .....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	XIV
RESUMEN EJECUTIVO .....	XVII
ABSTRACT.....	XVIII

### B. CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	1
1.1.1. Antecedentes .....	1
1.1.2. Justificación.....	2
1.1.3. Fundamentación Teórica .....	3
1.1.4. Hipótesis.....	18
1.2. OBJETIVOS .....	18
1.2.1. Objetivo General .....	18
1.2.2. Objetivos Específicos .....	18
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....</b>	<b>19</b>
NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	19
POBLACIÓN Y MUESTRA.....	19

2.1.	MATERIALES Y EQUIPOS.....	23
2.1.1.	Equipos para el ensayo de Contenido de humedad.....	24
2.1.2.	Equipos para el ensayo de Granulometría .....	25
2.1.3.	Equipos para determinar la Gravedad Específica .....	26
2.1.4.	Equipos para determinar los Límites de Atterberg .....	28
2.1.5.	Equipos para el ensayo de Compactación Proctor Modificado .....	30
2.1.6.	Equipos para el ensayo CBR (California Bearing Ratio) .....	32
2.2.	MÉTODOS .....	33
2.2.1.	Plan de recolección de datos.....	33
2.2.2.	Plan de Procesamiento y Análisis de Información .....	34
2.2.2.1.	Ensayo de Contenido de humedad del suelo.....	34
2.2.2.2.	Ensayo Granulométrico.....	34
2.2.2.3.	Ensayo para obtener los Límites de Atterberg .....	35
2.2.2.4.	Ensayo de Gravedad específica.....	37
2.2.2.5.	Ensayo de Compactación Proctor Modificado.....	38
2.2.2.6.	Ensayo CBR (California Bearing Ratio).....	39
	<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>40</b>
3.1.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	40
3.1.1.	Contenido de humedad del suelo y muestra .....	40
3.1.2.	Análisis granulométrico del suelo y muestra.....	41
-	Suelo limo arenoso natural.....	41
-	Suelo arcilloso natural.....	42
-	Escoria de Siderurgia .....	43
3.1.3.	Análisis de la Gravedad Específica del suelo y muestra .....	45
-	Suelo limo arenoso, arcilloso y escoria de siderurgia.....	45
3.1.4.	Análisis de los Límites de Atterberg del suelo.....	46
-	Suelo limo arenoso natural.....	46

-	Suelo arcilloso natural.....	47
3.1.5.	Análisis de la Densidad y Contenido de Humedad Óptimo escoria de siderurgia.....	49
-	Muestra de Escoria de Siderurgia .....	49
3.1.6.	Análisis de la Densidad y Contenido de Humedad Óptimo del suelo limo arenoso más escoria.....	50
-	Suelo limo arenoso natural.....	50
-	Suelo limo arenoso más 8% escoria.....	51
-	Suelo limo arenoso más 10% escoria.....	52
-	Suelo limo arenoso más 35% escoria.....	52
3.1.7.	Análisis de la Densidad y Contenido de Humedad Óptimo del suelo arcilloso más escoria .....	53
-	Suelo arcilloso natural.....	53
-	Suelo arcilloso más 8% escoria de siderurgia .....	53
-	Suelo arcilloso más 10% escoria de siderurgia .....	54
-	Suelo arcilloso más 35% escoria.....	54
3.1.8.	Análisis de la Capacidad de Soporte CBR .....	59
-	Combinación de suelo natural limo arenoso más escoria de siderurgia.....	59
3.1.9.	Análisis Esponjamiento .....	63
3.2.	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS .....	77
	<b>CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>79</b>
4.1.	CONCLUSIONES .....	79
4.2.	RECOMENDACIONES .....	81
	<b>C. MATERIAL DE REFERENCIA</b>	
1)	BIBLIOGRAFÍA .....	82
2)	ANEXOS .....	85
	ANEXO A: FOTOGRAFÍAS .....	85

- ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD.....	85
- ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA .....	86
- ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO.....	87
- ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO .....	88
- ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRAVEDAD ESPECÍFICA .....	89
- ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO .....	90
- ENSAYO DE CBR (California Bearing Ratio).....	91
ANEXO B: ENSAYO GRANULOMÉTRICO .....	92
ANEXO C: ENSAYO DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG .....	95
ANEXO D: ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	97
ANEXO E: ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO....	100
ANEXO F: ENSAYO DE CAPACIDAD DE SOPORTE CBR (California Bearing Ratio).....	109

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Cantidad de muestra a ensayar suelo limo-arenoso .....	22
TABLA 2. Cantidad de muestra a ensayar suelo arcilloso .....	22
TABLA 3. Cantidad de muestra a ensayar de escoria de siderurgia.....	23
TABLA 4. Cuadro de resumen de cantidad total de muestras a ensayar .....	23
TABLA 5. Abertura de tamices .....	35
TABLA 6. Contenido de humedad de las muestras .....	40
TABLA 7. Granulometría de suelo limo arenoso .....	41
TABLA 8. Granulometría de suelo Arcilloso .....	42
TABLA 9. Granulometría de muestra de Escoria de Siderurgia .....	43
TABLA 10. Gravedad específica de las muestras .....	45
TABLA 11. Resumen de los Límites de Atterberg de suelo limo-arenoso .....	47
TABLA 12. Resumen de los Límites de Atterberg de suelo arcilloso.....	47
TABLA 13. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado de muestra de escoria de siderurgia.....	50
TABLA 14. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado suelo natural limo-arenoso.....	50
TABLA 15. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado combinación suelo natural limo arenoso + 8% Escoria de Siderurgia .....	51
TABLA 16. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado combinación suelo natural limo arenoso + 10% Escoria de Siderurgia .....	52
TABLA 17. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado combinación suelo natural limo arenoso + 35% Escoria de Siderurgia .....	52
TABLA 18. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado suelo natural arcilla.....	53
TABLA 19. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado suelo natural arcilla + 8% Escoria de Siderurgia.....	53
TABLA 20. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado suelo natural arcilla + 10% Escoria de Siderurgia.....	54
TABLA 21. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado suelo natural arcilla + 35% Escoria de Siderurgia.....	54
TABLA 22. Resumen de Ensayo de penetración CBR combinación suelo natural limo arenoso + distintos porcentajes de escoria de siderurgia .....	60

TABLA 23. Resumen de Ensayo de penetración CBR combinación suelo natural arcilla + escoria de siderurgia .....	61
TABLA 24. Sistema de clasificación general de suelos .....	62
TABLA 25. Ensayo de penetración CBR .....	63
TABLA 26. Resumen de Esponjamiento combinación suelo natural limo arenoso..	63
TABLA 27. Resumen de Esponjamiento combinación suelo natural limo arenoso + 8% escoria de siderurgia .....	64
TABLA 28. Resumen de Esponjamiento combinación suelo natural limo arenoso + 10% escoria de siderurgia .....	64
TABLA 29. Resumen de Esponjamiento combinación suelo natural limo arenoso + 35% escoria de siderurgia .....	65
TABLA 30. Resumen de Esponjamiento combinación suelo natural arcilla.....	65
TABLA 31. Resumen de Esponjamiento combinación suelo natural arcilla + 8% escoria de siderurgia.....	66
TABLA 32. Resumen de Esponjamiento combinación suelo natural arcilla + 10% escoria de siderurgia.....	66
TABLA 33. Resumen de Esponjamiento combinación suelo natural arcilla + 35% escoria de siderurgia.....	67
TABLA 34. Resumen de Esponjamiento escoria de siderurgia.....	67

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. Idealización de las fases del suelo y definición de variables.....	4
GRÁFICO 2. Curva Granulométrica .....	7
GRÁFICO 3. Idealización de las fases del suelo y definición de variables.....	10
GRÁFICO 4. Clasificación de suelos según SUCS .....	10
GRÁFICO 5. Muestra de suelo natural limo-arenoso.....	11
GRÁFICO 6. Muestra de suelo natural arcilla.....	12
GRÁFICO 7. Compactación mediante maquinaria .....	14
GRÁFICO 8. Estabilización de suelo mediante mezcla de suelos.....	14
GRÁFICO 9. Compactación mediante aditivos químicos .....	15
GRÁFICO 10. Proceso de HA .....	16
GRÁFICO 11. Muestras de escoria de siderurgia diferentes granulometrías .....	17
GRÁFICO 12. Mapa de la ubicación de la muestra de suelo arcilloso Murialdo-Pastaza .....	20
GRÁFICO 13. Mapa de la ubicación de la muestra de suelo limo arenoso Pilisurco-Tungurahua .....	20
GRÁFICO 14. Mapa de la ubicación de la muestra de escoria de siderurgia Ambato-Tungurahua .....	21
GRÁFICO 15. Recipientes metálicos .....	24
GRÁFICO 16. Horno .....	24
GRÁFICO 17. Balanza electrónica.....	25
GRÁFICO 18. Tamices y Tamizadora .....	25
GRÁFICO 19. Picnómetro.....	26
GRÁFICO 20. Máquina de Evaporación .....	27
GRÁFICO 21. Pipeta, termómetro y embudo.....	27
GRÁFICO 22. Copa Casa Grande .....	28
GRÁFICO 23 Mortero de porcelana, acanalador, espátula y apisonador .....	29
GRÁFICO 24. Mortero de porcelana, placa de vidrio, espátula y apisonador .....	30
GRÁFICO 25. Molde de Compactación.....	30
GRÁFICO 26. Martillo de Compactación .....	31
GRÁFICO 27. Regla Metálica.....	31
GRÁFICO 28. Disco espaciador.....	32
GRÁFICO 29. Prensa de compresión .....	32

GRÁFICO 30. Medidor de expansión y trípode .....	33
GRÁFICO 31. Gráfico comparativo del contenido de humedad de las muestras ...	40
GRÁFICO 32. Clasificación de suelos según SUCS .....	41
GRÁFICO 33. Gráfica Granulométrica del suelo Limo-arenoso .....	42
GRÁFICO 34. Gráfica Granulométrica del suelo Arcilloso .....	43
GRÁFICO 35. Gráfica Granulométrica de la Escoria de Siderurgia .....	44
GRÁFICO 36. Gráfico comparativo del análisis granulométrico de las muestras ....	44
GRÁFICO 37. Gráfico comparativo de la gravedad específica de las muestras .....	45
GRÁFICO 38. Carta de plasticidad de Casagrande .....	46
GRÁFICO 39. Gráfico comparativo del Límite Líquido de los suelos .....	48
GRÁFICO 40. Gráfico comparativo del Límite Plástico de los suelos .....	48
GRÁFICO 41. Gráfico comparativo del Índice de Plasticidad de los suelos .....	49
GRÁFICO 42. Gráfico comparativo de la densidad máxima de las muestras .....	55
GRÁFICO 43. Gráfico comparativo del Contenido de humedad óptimo de las muestras .....	55
GRÁFICO 44. Gráfico comparativo de la densidad máxima de la mezcla de limo arenoso más escoria de siderurgia.....	56
GRÁFICO 45. Gráfico comparativo del Contenido de humedad óptimo de la mezcla de limo arenoso más escoria de siderurgia.....	57
GRÁFICO 46. Gráfico comparativo de la densidad máxima de la mezcla de arcilla más escoria de siderurgia .....	58
GRÁFICO 47. Gráfico comparativo del Contenido de humedad óptimo de la mezcla de arcilla más escoria de siderurgia .....	59
GRÁFICO 48. Gráfico comparativo del Contenido de humedad óptimo de la mezcla de arcilla más escoria de siderurgia .....	60
GRÁFICO 49. Gráfico comparativo del Contenido de humedad óptimo de la mezcla de arcilla más escoria de siderurgia .....	61
GRÁFICO 50. Gráfico comparativo esponjamiento del suelo limo arenoso .....	68
GRÁFICO 51. Gráfico comparativo esponjamiento del suelo limo arenoso + 8% escoria de siderurgia.....	69
GRÁFICO 52. Gráfico comparativo esponjamiento del suelo limo arenoso + 10% escoria de siderurgia.....	70

GRÁFICO 53. Gráfico comparativo esponjamiento del suelo limo arenoso + 35% escoria de siderurgia.....	71
GRÁFICO 54. Gráfico comparativo esponjamiento del suelo arcilloso .....	72
GRÁFICO 55. Gráfico comparativo esponjamiento del suelo arcilloso + 8% escoria de siderurgia .....	73
GRÁFICO 56. Gráfico comparativo esponjamiento del suelo arcilloso + 10% escoria de siderurgia .....	74
GRÁFICO 57. Gráfico comparativo esponjamiento del suelo arcilloso + 35% escoria de siderurgia .....	75
GRÁFICO 58. Gráfico comparativo esponjamiento de escoria de siderurgia.....	76
GRÁFICO 59. Análisis comparativo del CBR del suelo limo arenoso .....	77
GRÁFICO 60. Análisis comparativo del CBR del suelo arcilloso .....	78

## **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**TEMA:** “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”

**AUTOR:** Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez

**TUTOR:** Ing. Mg. Marisol Bayas Altamirano

**FECHA:** Diciembre 2019

### **RESUMEN EJECUTIVO**

El presente proyecto experimental tiene como objetivo estabilizar diferentes tipos de suelo de distintas propiedades mediante la adición de escoria de siderurgia. La muestra número 1 suelo limo arenoso se sustrajo del Pilisurco provincia de Tungurahua, la muestra número 2 suelo arcilla se sustrajo de la parroquia Murialdo provincia de Pastaza, la muestra número 3 escoria de siderurgia se sustrajo del cantón Ambato. Una vez identificada la muestra y el lugar se procedió a extraer muestras de cada tipo de suelo.

Se realizaron los ensayos necesarios para establecer tipo, propiedad y características de cada suelo. Se realizó un análisis granulométrico y ensayo para la determinación de los límites de Atterberg para identificar el tipo de suelo según las tablas establecidas por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Se ejecutó el ensayo Proctor Modificado tipo D para determinar la capacidad de soporte del suelo CBR (Relación de Soporte California) el cual da resultados de cada muestra ensayada como la densidad seca máxima y la humedad óptima para con ellos proceder a realizar el ensayo CBR. Estos ensayos se realizaron con la combinación suelo más tres porcentajes 8, 10 y 35 por ciento de escoria de siderurgia. Éstas muestras fueron sumergidas en agua durante tres días para analizar el esponjamiento que genera cada tipo de suelo con la combinación con escoria de siderurgia.

Para este análisis comparativo se evaluó las propiedades y características de las muestras como su contenido de humedad, plasticidad y capacidad de soporte, las mismas que fueron analizadas de manera estadística con diferentes combinaciones, dando como resultado una alternativa idónea en la cual la escoria de siderurgia pueda ser utilizada para mejorar las propiedades del suelo y su uso como sub rasante.

**THEME:** “COMPARATIVE ANALYSIS OF THE USE OF SCORIA DE SIDERURGIA FOR THE STABILIZATION OF SOIL”

**AUTHOR:** Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez

**TUTOR:** Ing. Mg. Marisol Berries Altamirano

**DATE:** December 2019

### **ABSTRACT**

The present experimental project aims to stabilize different types of soil of different properties by adding steel slag. Sample # 1 sandy silt soil was subtracted from the Pilisurco province of Tungurahua, sample # 2 clay soil was subtracted from the parish Murialdo province of Pastaza, sample # 3 steel slag was stolen from Canton Ambato. Once the sample and the place were identified, samples were taken from each type of soil.

The necessary tests were carried out to establish the type, property and characteristics of each soil. A granulometric analysis and test for the determination of the Atterberg limits were performed to identify the type of soil according to the tables established by the Unified Soil Classification System (SUCS).

The Type D Modified Proctor test was run to determine the CBR soil support capacity (California Support Ratio) which gives results of each sample tested as the maximum dry density and the optimum humidity for them to proceed with the CBR test. These tests were carried out with the soil combination plus three percentages 8, 10 and 35% of steel slag. These samples were submerged in water for three days to analyze the sponge generated by each type of soil with the combination with steel slag.

For this comparative analysis, the properties and characteristics of the samples were evaluated, such as their moisture content, plasticity and support capacity, which were statistically analyzed with different combinations, resulting in an ideal alternative in which the steel slag It can be used to improve soil properties and its use as a subgrade.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

#### 1.1.1. Antecedentes

La solución para el mejoramiento de las propiedades del suelo para su utilización en carreteras con el fin de estabilizarlas, varía de acuerdo con la técnica a emplear, siendo las más conocidas y antiguas, la estabilización mecánica (mezcla de suelos) y la utilización de cal. [1]

El uso de escoria no ha ocasionado ningún impacto ambiental negativo siempre y cuando hayan cumplido con la normativa respectiva. El uso de escoria como sustituto de piedras naturales como caliza o granito además de ahorrar energía en la extracción de áridos naturales también eliminan impactos ambientales negativos relacionados con la minería.

En el estudio investigativo de Ana Méndez Piña, se ha demostrado que la escoria tiene diferentes usos como material sustituto de áridos en obras civiles como:

- Bases y sub bases de carreteras
- Componente de mezclas bituminosas
- Áridos en fabricación de hormigones y morteros [2].

Mediante estudios y ensayos realizados en Lima por Marcos Adrián Marquina Sierra para determinar las propiedades físicas de la escoria, resultado de la elaboración de acero de la planta de Arequipa en Pisco, se concluyó que son excelentes agregados para usarlos en base y sub base. Éstos cumplieron con la mayoría de los parámetros de las normas establecidas en la ASTM y del manual de diseño AASHTO para pavimentos [3].

Se ha demostrado de manera experimental, a partir de fundamentos teóricos, que mezclas adecuadas de residuos industriales como las escorias de fundición tienen

propiedades ligantes. Mediante la trituración mecánica y adición de otros residuos las características de ligantes pueden incrementar las mismas, las que permiten y ayudan a la estabilización de suelos naturales [4].

Se demostró que existen varias ventajas del uso de escoria mediante ensayos realizados, existe la posibilidad de reciclar este residuo; gracias al uso de escoria se reduce la explotación de canteras lo que es perjudicial para el medio ambiente en lo paisajístico y también en la contaminación que produce para obtener material de canteras. Se llegó a concluir que existe también una ventaja económica al usar escorias, ya que se puede ahorrar aproximadamente un 57% del presupuesto [5].

### **1.1.2. Justificación**

La falta de conocimiento de los estados del suelo y sus características físicas y mecánicas, ha conllevado a una serie de problemas que juntos a los elementos detonantes como el agua, sean generadores de un sinnúmero de problemas como, asentamientos, deslizamientos e infiltraciones. Con todos estos antecedentes se ha visto la necesidad de buscar nuevas alternativas que contribuyan a mejorar dichas propiedades y la utilización de nuevos materiales. Por ello, la identificación del suelo debe comenzar siempre por recolectar toda la información del lugar donde se realiza la obra [6].

El ingeniero frecuentemente encuentra suelos no adecuados los mismos que van a ser utilizados para un fin determinado en el lugar a realizar la obra. Esto ha conllevado a que existan 3 posibilidades que el ingeniero puede optar: -Adoptar el suelo encontrado, siempre y cuando se tome en cuenta la calidad y propiedades al momento del diseño. -Sustituir el suelo por otro de mejores características y propiedades óptimas para la construcción de la obra -Mejorar las propiedades del suelo encontrado en el lugar a llevar a cabo la obra para que cumpla de mejor manera los requerimientos, pudiendo así, ayudar al suelo a mejorar sus propiedades con la ayuda de otro material siendo apto para la construcción [7]. Esta última posibilidad se ha tomado como prioridad para poder utilizar otros recursos, en este caso la escoria de siderurgia.

Uno de los sistemas más antiguos es la industria de la metalurgia de elaboración de bienes materiales primordiales para la economía mundial, pero también uno de los más

contaminantes por su proceso de fabricación [8]. Los materiales considerados desde hace tiempo como materia prima útiles en obras civiles son las escorias de producción de hieros y aceros de la industria de la siderurgia [9]. Actualmente las escorias de siderurgia son consideradas una fuente de materia prima potencial de bajo precio, al reemplazar a otra natural representa un ahorro energético significativo además del transporte en su sector de influencia [10].

Es por esto que el presente trabajo consiste en el análisis del aprovechamiento de la escoria de siderurgia para poder estabilizar ciertos tipos de suelo, y así poder tener un mejor uso y no tener la necesidad de sustituir el suelo existente del lugar ya que esto representaría un costo adicional en el caso de no haber realizado un adecuado estudio de suelos, ya que el uso de escoria de siderurgia no representa un costo elevado además de que estaríamos contribuyendo con el medio ambiente al reciclar una fuente de materia prima como lo es la escoria.

### **1.1.3. Fundamentación Teórica**

#### **1.1.3.1. Suelo**

El suelo está formado por partículas sólidas contenida de espacios vacíos que generalmente ocupan el agua y el aire. [11]

El sistema del suelo está compuesto por tres fases que son:

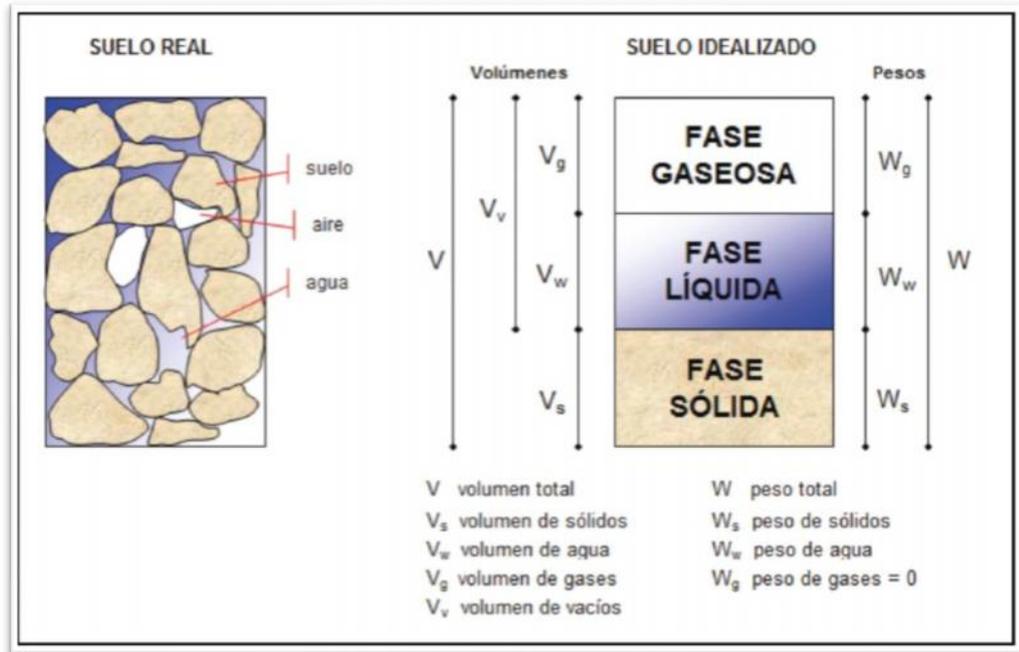
*Fase sólida.* Esta Fase está compuesta por agregados orgánicos y minerales. Minerales como la arena, el limo y la arcilla, y orgánicos como residuos vegetales. [12] [13]

*Fase líquida.* Esta fase compone el agua y sales disueltas, es decir es la solución del suelo. [12]

*Fase gaseosa.* Está formada por compuestos que están en forma gaseosa, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y vapor de agua, es decir ocupa los espacios que se encuentran vacíos. [12] [13]

En la siguiente figura podemos observar un sistema idealizado de las fases del suelo:

GRÁFICO 1. Idealización de las fases del suelo y definición de variables



**Fuente:** Representación de estados y trayectorias volumétricas y gravimétricas en suelos [14]

### 1.1.3.2. Relaciones fundamentales

#### Contenido de Humedad

Es la cantidad de agua que se encuentra en un suelo. Se define mediante la relación entre el peso del agua y el peso de los sólidos de la muestra de suelo. [15] Se denota  $\omega$ . Se lo expresa como porcentaje. Puede variar entre 0 hasta  $\infty$ . La humedad de los suelos puede variar entre límites muy elevados. [16] El contenido de humedad se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

#### Grado de Saturación del Agua

Es la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos. [11] Se lo expresa como porcentaje, su valor varía entre 0 siendo un suelo seco y 100% como un suelo

totalmente saturado. [16] El grado de saturación del agua se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$G_w = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

### **Grado de Saturación del Aire**

Se define como la cantidad de aire que se encuentra en una masa de suelo. [11] Se lo expresa como porcentaje. Es la relación entre el volumen de la fase gaseosa y el volumen de vacíos. [16] El grado de saturación del aire se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$G_A = \frac{V_g}{V_v} \times 100$$

### **1.1.3.3. Propiedades Índice del suelo**

#### **Densidad**

La densidad de un material se define como la masa por unidad de volumen que ocupa. Es necesario conocer la porosidad del suelo ya que un suelo poroso no llena todo el espacio por lo tanto el volumen que ocupan dejan espacios vacíos o poros. [17]

*Densidad relativa (Dr).* Unas de las características más influyentes del suelo es su compactación, mientras más compacto sea, más alta será su resistencia. [18] Se define como la relación entre la masa y el volumen real de un material, exceptuando el volumen de porosidad externa e interna de éste. [17]

*Densidad aparente (Da).* Se define densidad aparente como la relación entre el volumen de un material y el peso seco de éste incluyendo los poros y vacíos. [17]

### **Gravedad específica**

Se define como la relación entre el peso de un volumen de un material y el peso del mismo volumen del agua destilada libre de gas a 4°. [19] [20] El valor de la gravedad específica es adimensional.

$$G = \frac{W \times K}{W + W - W}$$

**Donde:**

**K:** Factor de corrección de temperatura

**Wa:** Masa del picnómetro más agua

**Ws:** Masa del suelo seco

**Wb:** Masa del picnómetro más agua más suelo

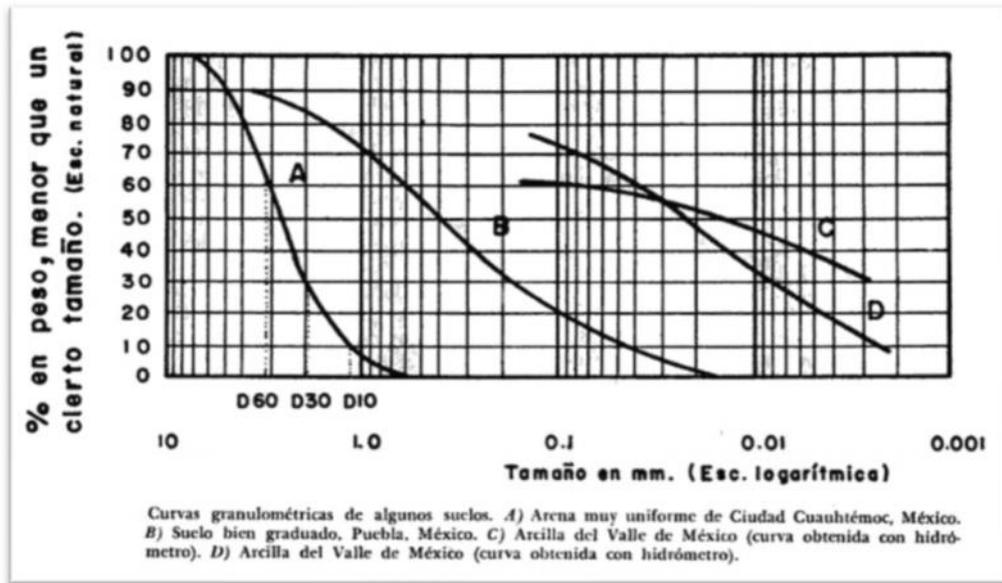
### **Granulometría**

Es la relación de los porcentajes de suelo en peso de los diferentes tamaños de partículas que se localiza en el suelo obtenido mediante tamizado u otros métodos. [21] Los resultados obtenidos del análisis granulométrico suelen ser mejor entendidos en una gráfica granulométrica que es una técnica frecuente para mostrar gráficamente las particularidades de un suelo por medio de una curva de estructuración del tamaño de partículas del suelo. [22]

La gráfica se la dibuja en porcentaje en peso que pasa como ordenadas y el tamaño de las partículas como abscisas. Se lo representa en escala logarítmica ya que si se lo hiciera de tamaño natural resultara muy comprimidos. [7]

A continuación, se presenta un modelo tipo de la curva de granulometría:

GRÁFICO 2. Curva Granulométrica



**Fuente:** La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas [7]

### Límites de Atterberg

Se define estos límites como los contenidos de agua propios para cada tipo de suelo. Por medio de estos límites se pueden clasificar el suelo a través de un ábaco de plasticidad. [23]

#### -Límite Líquido

Es el contenido de humedad en porcentaje, de una fracción de suelo amasada con respecto al peso de suelo seco, el cual se considera que ésta pasa del estado plástico al estado líquido. [23] [24]

#### -Límite Plástico

Es el contenido de humedad en porcentaje, de una fracción de suelo amasada con respecto al peso de suelo seco, el cual se considera que ésta pasa del estado plástico al estado semisólido, es decir pierde su plasticidad. [23] [24]

#### -Índice Plástico

Se define como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. [23]

## **Compactación Proctor Modificado**

Este método de ensayo se emplea para determinar la relación entre la humedad y la densidad de los suelos compactados en un molde con dimensiones dadas con un martillo de 10 lb que cae desde una altura de 18". La muestra a utilizar debe pasar el tamiz #4. La gráfica de densidad vs contenido de humedad muestra que el proceso a cualquier esfuerzo de compactación se vuelve cada vez más eficiente hasta un determinado valor de contenido de humedad, a partir del cual su eficiencia decrece [25] [26].

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

Este ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El CBR se define como la relación de la carga unitaria necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón dentro de la muestra compactada de suelo. Los ensayos CBR se realizan sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo determinado utilizando el ensayo de compactación Proctor. Este ensayo se lo realiza en una máquina de compresión manejando una tasa de deformación unitaria de 1,27 mm/min. El valor de CBR se utiliza para determinar una relación entre el comportamiento de los suelos en especial con fines para uso de base y subrasante. [25]

### **1.1.3.4. Propiedades físicas del suelo**

#### **Color**

El color es una característica del suelo más notoria, esta propiedad es muy útil ya que nos ayuda a poder diferenciar el tipo de suelo de una manera mucho más rápida y en el mayor de los casos muy eficiente. Es importante conocer que en ocasiones el suelo puede tener otro tipo de tonalidades debido a agentes externos, es decir esta propiedad debe ser utilizada con circunspección. [27]

El color por lo general varía según la temperatura, la movilidad con el agua, el contenido de materia orgánica [13] y el contenido de humedad, se puede identificar el tipo de suelo mediante la "Tabla de Colores Munsell" que tiene los siguientes componentes: tono, intensidad o brillantez y valor de luminosidad. [27]

Cada distinto color de suelo tiene relación con sus propiedades como las siguientes:

*Oscuro o negro:* Se debe a la existencia de materia orgánica, es propio de los horizontes A.

*Claro o blanco:* Se debe a los carbonatos de calcio y magnesio, al yeso u otras sales solubles, el color claro como consecuencia del lavado de arenas está dentro de los horizontes eluviales E.

*Pardo amarillento:* Debido a la presencia de óxidos de hierro,  $\text{FeO}(\text{OH})$  unidos a las arcilla y materia orgánica.

*Color rojo:* Este color se debe a la alteración de arcilla, están dentro de los horizontes Bw o Bt. Se debe a la presencia de óxidos férricos ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Este color revela que existe un buen drenaje del suelo.

*Grisés y veteados:* Este color se presencia en los suelos que se quedan en charcos durante un periodo de tiempo.

*Gris verdoso azulado:* Este color es propio de suelos que tienden a sufrir hidro morfía, falta de oxígeno. [28]

## **Textura**

Se determina textura a la composición de una proporción de suelo [27], es decir el porcentaje de los elementos que constituyen la proporción de suelo, arena gruesa, arena fina, limos y arcillas. [29] En sí la textura es el tamaño de partículas que contiene una muestra de suelo.

## **Estructura**

Se entiende como estructura a la manera o forma en cómo se adicionan las partículas del suelo. [13] La estructura puede variar en función del clima, el manejo del suelo, etc. [28] Un suelo de una estructura espléndida es mucho más fácil para cultivar ya que no corre el riesgo de que el viento o la lluvia lo arrastren, mientras que un suelo con pésima estructura es difícil que el aire penetre y cuando estos están húmedos tienden a formar una masa. [27]

Para el presente trabajo experimental se utilizará 2 tipos de suelos que están dentro de la clasificación de suelos según la AASHTO que es un sistema de clasificación muy amplio utilizado principalmente en ingeniería de vías y también para suelos que pretenden ser utilizados como material de sub base y base en un pavimento. Los suelos objeto de estudio serán suelos que contengan limos y arcillas que están dentro de la calificación regular a malo.

GRÁFICO 3. Idealización de las fases del suelo y definición de variables

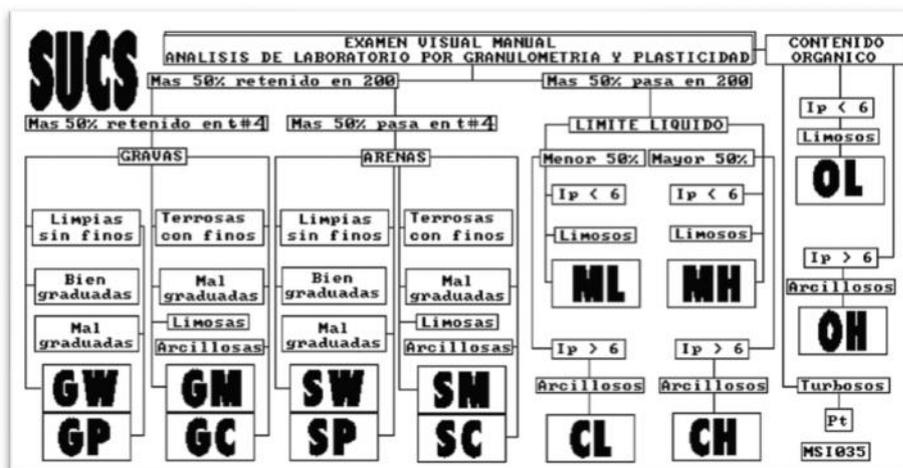
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)						Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)				
	A-1		A-3 <sup>A</sup>	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...	...			B			40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	N.P.			B			10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. <sup>B</sup>
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno						Regular a malo				

<sup>A</sup> La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

<sup>B</sup> El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

**Fuente:** La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas [7]

GRÁFICO 4. Clasificación de suelos según SUCS



**Fuente:** Clasificación Unificada de Suelos SUCS ASTM D2 487 [30]

### 1.1.3.5. Suelos limosos

Los suelos limosos se encuentran dentro del grupo A-4 y A-5 según la AASHTO. Las características del grupo A-4 son suelos sin plasticidad, más del 75% de sus partículas pasan por el tamiz No. 200, su índice de grupo varía de 1 a 8. Las características del grupo A-5 son similares a los del grupo A-4 a diferencia de que estos pueden llegar a ser más elásticos por su alto límite líquido, su índice de grupo varía de 1 a 12. [31]

GRÁFICO 5. Muestra de suelo natural limo-arenoso



**Fuente:** Cynthia Tirado

### 1.1.3.6. Propiedades de los suelos limosos

Las partículas del limo son partículas de roca y minerales más grandes que la arcilla, pero más pequeñas que la arena, para poder estar dentro de la clasificación de limo sus partículas deben estar dentro del rango entre 0.05mm y 0.005mm. [32]

Son suelos finos que tienden de escasa a ninguna plasticidad, estos pueden ser orgánicos e inorgánicos. Su color puede variar en diferentes tonalidades de grises de claro a oscuro. [31] Los limos tienen cierto grado de plasticidad, absorción y cohesión, pero en menor cantidad que la arcilla. Son muy poco aceptables al menos que sean mezclados con otros suelos o tenga al menos una cantidad de ellos tales como arcillas y arenas. [33]

### 1.1.3.7. Suelos arcillosos

Los suelos arcillosos se encuentran dentro del grupo A-6 y A-7 según la AASHTO. Los suelos del grupo A-6 son arcillas plásticas y más del 75% del material pasa por el tamiz No. 200, estos suelos tienden a cambiar o modificar su volumen debido a su humedad, su índice de grupo varía de 1 a 16 aumentando su índice plástico. Las características del grupo A-7 son similares a las del grupo A-6 a diferencia de que su límite líquido es muy alto, estos suelos tienden a ser muy elásticos y también experimentan cambios en su volumen, su índice de grupo varía de 1 a 20 en donde se refleja el aumento de la combinación entre el límite líquido y límite plástico [31].

GRÁFICO 6. Muestra de suelo natural arcilla



**Fuente:** Cynthia Tirado

### 1.1.3.8. Propiedades de los suelos arcillosos

Los suelos arcillosos suelen comportarse como rocas cuando están en su estado seco, pero cuando están en estado húmedo estos suelen ser plásticos. Estos suelos son elásticos y compresibles. Las arcillas sufren contracciones dependiendo el clima, es decir su volumen varía dependiendo su grado de humedad. [34] El tamaño de las partículas de los suelos arcillosos es menor a 0.002 mm o  $2 \mu$  .

Los suelos arcillosos cuando suelen estar secos estos tienden a tener grietas. Estos suelos tienen gran abundancia de agua, son impermeables y plásticos. [33]

## **Propiedades de las arcillas**

*Plasticidad.* Las arcillas son plásticas por naturaleza, esta propiedad se da debido a que las partículas de las arcillas son laminares y al momento de que el agua envuelve estas partículas produce un efecto liso que hace que el deslizamiento entre partículas sea sencillo. [35]

*Tixotropía.* Esta propiedad consiste en que cuando una arcilla es amasada o se ejerce presión en ella, esta se convierte en un líquido, pero luego con el tiempo esta recupera su cohesión y solidez. [35]

*Hinchamiento.* Se da especialmente en las esmectitas, esto ocurre cuando las láminas de arcilla se separan y es ahí cuando ocurre el hinchamiento, esto es consecuencia de la absorción de agua en el espacio interior de las láminas de la arcilla. [35]

*Capacidad de absorción.* Las arcillas son absorbentes y son capaces de absorber agua en su espacio entre sus láminas en especial las esmectitas. Se define como la cantidad de absorción de agua con relación a la masa. [35]

### **1.1.3.9. Estabilización de suelos**

La estabilización de suelos tiene como objetivo brindarle al suelo natural la suficiente al esfuerzo cortante para poder resistir ciertas cargas independientemente en el estado climático que se encuentre. [36]

Los objetivos que se busca mediante la estabilización de suelos son:

- Controlar cambios volumétricos
- Aumentar la resistencia
- Reducir la permeabilidad
- Reducir la compresibilidad
- Disminuir la plasticidad [37]

Existen varios métodos para poder estabilizar un suelo, pero los más utilizados son los siguientes:

## Estabilización mecánica

La compactación es un método de estabilización mecánica, el objetivo es densificar el suelo mediante la compactación por medios mecánicos, se lo hace generalmente en la sub base y base. [36]

GRÁFICO 7. Compactación mediante maquinaria



**Fuente:** La tecnología integrada de compactación de suelos de Caterpillar proporciona homogeneidad y estimula la productividad [38]

## Estabilización Física

Uno de los métodos para mejorar el suelo, mediante la estabilización física es la mezcla de dos o más suelos de diferentes clasificaciones y diferentes tipos de granulometría para así poder tener un material que cumpla con las características requeridas. La mezcla se puede hacer in situ y para después poder extender el suelo y compactarlo. [39] Otros métodos dentro de la estabilización física son: el empleo de geotextiles, vibro flotación y consolidación. [40]

GRÁFICO 8. Estabilización de suelo mediante mezcla de suelos



**Fuente:** Mezcla de suelos para la mejora del suelo [41]

## Estabilización Química

Los aditivos químicos se utilizan frecuentemente para estabilizar suelos no útiles, este método se lo utiliza cuando los métodos mecánicos y físicos no son suficientes o inadecuados. Existe un porcentaje muy elevado de proyectos que utilizan este método para mejorar los suelos mediante los siguientes aditivos que son los más comunes: cal, cemento, material bituminoso y cenizas. [42]

GRÁFICO 9. Compactación mediante aditivos químicos



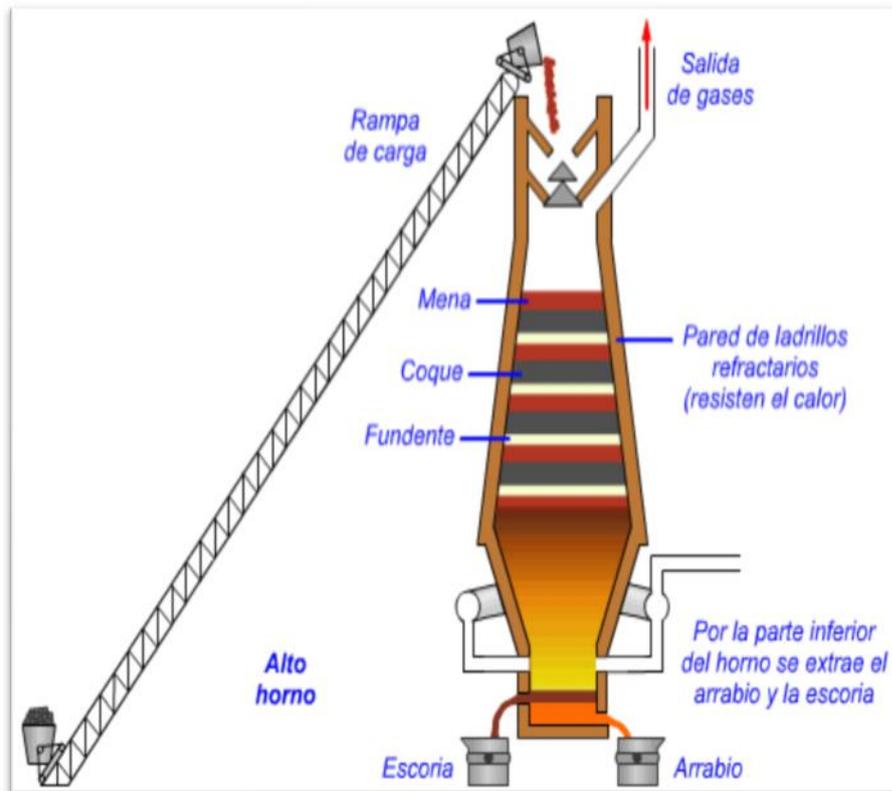
**Fuente:** Prefanicsa, Calidra [43]

### 1.1.3.10. Escorias Siderúrgicas

Las escorias de siderurgia son consideradas como desechos formados durante la fundición de materia prima como son la chatarra y metales utilizados. Las escorias también son estimadas como un subproducto después del proceso de fundición, es decir estas pueden ser reutilizadas o recicladas como fortalecer muros, para pavimentación, estabilización de suelos entre otras. Éstas tienen distinta composición química dependiendo del tipo de chatarra o metal utilizado. [44] [45]

Las escorias tienen lugar por fusión de metales a altas temperaturas de aproximadamente 1600°C y enfriamiento del magma acuoso a 1400°C hasta llegar a la temperatura ambiente. [46] La función de las escorias es eliminar ciertos residuos durante la fundición además de que ayudan a conservar constante la temperatura y disminuir la re oxidación del metal. [44]

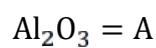
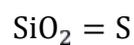
GRÁFICO 10. Proceso de HA



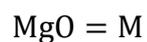
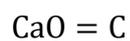
**Fuente:** Siderurgia Integral [47]

### Composición de las escorias de siderurgia

La escoria tiene diferentes componentes ácidos, sílice y alúmina



Se combinan componentes como la cal y magnesio



Éstos se relacionan de distintas maneras S/A y C/M también  $(\text{C}+\text{M}) / (\text{S}+\text{A})$ , esto depende de los materiales que son utilizados en cada fundición.

GRÁFICO 11. Muestras de escoria de siderurgia diferentes granulometrías



**Fuente:** Cynthia Tirado

#### **1.1.3.11. Ventajas del uso de escorias de siderurgia**

Las posibilidades de reducción de la generación de estas escorias son pocas, entonces se ha buscado una alternativa para poder reutilizar estos residuos para la fabricación de nuevos productos. [45] Uno de los beneficios de reciclar estos residuos es:

- Aprovechamiento de materias primas
- Disminución de los costos de transporte para la eliminación de estos residuos
- Producción de subproductos que pueden ser utilizados en otros sectores como en la construcción de carreteras y para la elaboración de materiales de construcción.[45]

#### **Reciclaje de las escorias para construcción de carreteras**

Suelen utilizarse escorias como bases y sub bases de las carreteras, ya que las características de éstas aportan una capacidad alta para transmitir cargas de tráfico a las capas inferiores sin que éstas sufran deformaciones.

Las escorias pueden ser utilizadas también en capas de rodadura siempre y cuando a éstas se incorporen materias primas naturales. [45]

#### **1.1.4. Hipótesis**

El proceso de estabilización de suelos con el uso de escoria de siderurgia permitirá mejorar las propiedades mecánicas del suelo.

### **1.2. OBJETIVOS**

#### **1.2.1. Objetivo General**

Analizar las propiedades y comportamiento mecánico de la estabilización de suelos a partir de la utilización de escoria de siderurgia, con el fin de mejorar las condiciones para su uso.

#### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- ) Determinar los tipos y propiedades de cada muestra sustraída.
- ) Obtener el porcentaje adecuado de escoria de siderurgia que necesita el suelo para mejorar la capacidad de soporte.
- ) Evaluar el comportamiento de cada tipo de suelo de las muestras sustraídas, estabilizadas con escoria de siderurgia.
- ) Analizar cómo la escoria de siderurgia mejora las propiedades del suelo
- ) Comparar los resultados de capacidad de soporte entre el suelo natural y el suelo estabilizado con la escoria de siderurgia.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

##### **Experimental**

La estabilización del suelo es realizada con escoria de siderurgia en distintos porcentajes. Esto es una nueva tecnología de investigación propuesta, con el objetivo de implementar nuevos materiales en la estabilización de suelos para la construcción de carreteras, por medio de la optimización del parámetro de resistencia al corte, y así, implementar la escoria de siderurgia en nuevos métodos, brindando seguridad en una carretera.

##### **De laboratorio**

El procedimiento para obtener datos de resistencia al corte se llevará a cabo en el laboratorio de mecánica de suelos de la carrera de Ingeniería Civil, es necesario comprobar que la resistencia al corte de las probetas ensayados cumpla con la resistencia mínima aceptada por las normas vigentes.

#### **POBLACIÓN Y MUESTRA**

##### **POBLACIÓN**

En el presente proyecto experimental se tomó muestras de dos diferentes tipos de suelo y de escoria de siderurgia, para poder hacer el análisis comparativo y poder establecer su comportamiento; los mismos que permitieron realizar el ensayo de estabilización de suelos.

Los suelos arcillosos y limo arenosos conforman la población. Las muestras de suelo para el presente proyecto experimental fueron extraídas de dos diferentes sectores.

La muestra de suelo arcilloso fue extraída de la región Amazónica del Ecuador, sector Murialdo, provincia Pastaza.

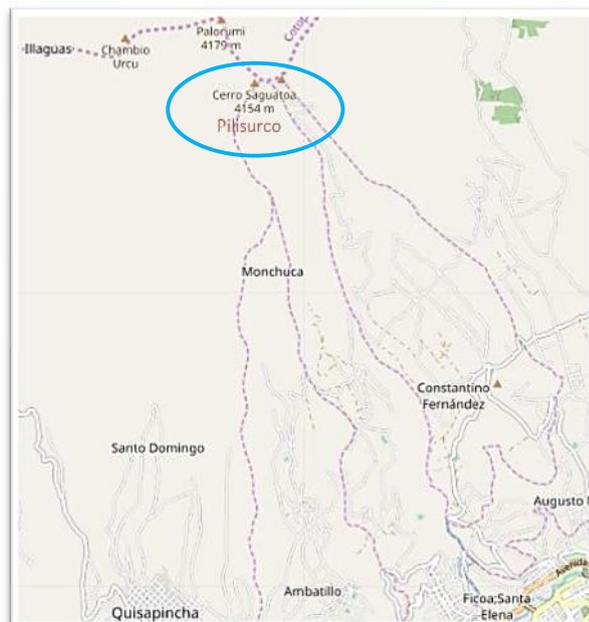
GRÁFICO 12. Mapa de la ubicación de la muestra de suelo arcilloso Murialdo-Pastaza



**Fuente:** OpenStreetMap

La muestra de suelo limo arenoso fue extraído de la región Sierra del Ecuador, sector Pilisurco, provincia Tungurahua.

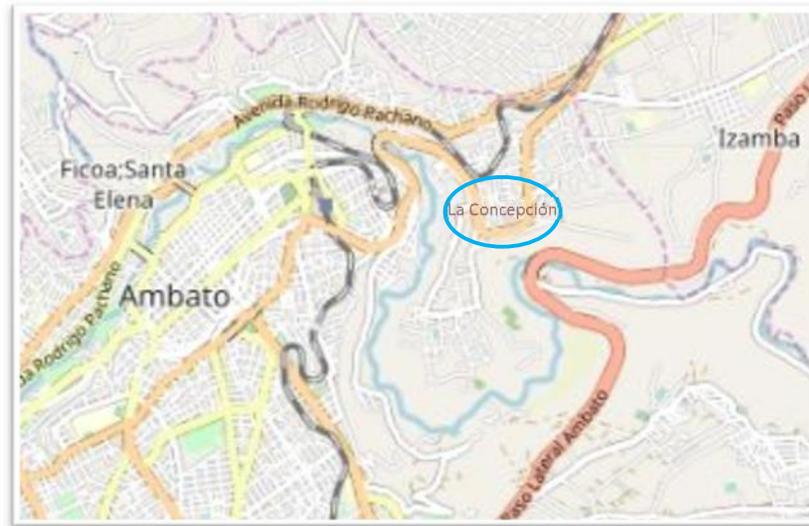
GRÁFICO 13. Mapa de la ubicación de la muestra de suelo limo arenoso Pilisurco-Tungurahua



**Fuente:** OpenStreetMap

La muestra de escoria de siderurgia fue extraída de la fábrica “El Mundo de la Polea” ubicada en la ciudad de Ambato. Esta muestra es resultado de la fundición de hierro en horno de cubilote.

GRÁFICO 14. Mapa de la ubicación de la muestra de escoria de siderurgia Ambato-Tungurahua



**Fuente:** OpenStreetMap

## **MUESTRA**

La norma AASHTO T-180 y ASTM D-1557 del ensayo Proctor Modificado establece que se debe realizar 4 probetas, en las cuales se utiliza 6000 gr de suelo en cada una para obtener los resultados requeridos, ver numeral 2.2.2.5 Ensayo de Compactación Proctor Modificado en el presente capítulo.

La norma AASHTO T-193 del ensayo CBR establece que se debe realizar 3 probetas, en las cuales se utiliza 6000 gr de suelo en cada una para obtener los resultados requeridos, ver numeral 2.2.2.6 Ensayo de Compactación Proctor Modificado en el presente capítulo.

Para los ensayos de contenido de humedad, granulometría, Límites de Atterberg y gravedad específica las normas INEN establecen valores exactos o aproximados (ver numeral 2.2 Métodos en el presente capítulo) mencionado en las siguientes tablas:

TABLA 1. Cantidad de muestra a ensayar suelo limo-arenoso

<b>“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”</b>		
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>		
<b>“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS”</b>		
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Pilisurco-Ambato-Ecuador Suelo Limo-Arenoso	
<b>Ensayo realizado</b>	<b>Número de Ensayos</b>	<b>Total Muestra</b>
Contenido de humedad	1	300
Granulometría	1	250
Límites de Atterbeg	1	180
Gravedad Específica	1	50
Proctor	4	84000
CBR	4	63000
<b>TOTAL MUESTRA</b>	147780 gr	

Fuente: Cynthia Tirado

TABLA 2. Cantidad de muestra a ensayar suelo arcilloso

<b>“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”</b>		
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>		
<b>“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS”</b>		
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Murialdo-Pastaza-Ecuador Suelo Arcilloso	
<b>Ensayo realizado</b>	<b>Número de Ensayos</b>	<b>Total Muestra</b>
Contenido de humedad	1	300
Granulometría	1	250
Límites de Atterbeg	1	180
Gravedad Específica	1	50
Proctor	4	84000
CBR	4	63000
<b>TOTAL MUESTRA</b>	147780 gr	

Fuente: Cynthia Tirado

TABLA 3. Cantidad de muestra a ensayar de escoria de siderurgia

<b>“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS”</b>		
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Ambato-Ecuador Escoria de Siderurgia	
<b>Ensayo realizado</b>	<b>Número de Ensayos</b>	<b>Total Muestra</b>
Contenido de humedad	1	300
Granulometría	1	250
Límites de Atterbeg	1	180
Gravedad Específica	1	50
Proctor	4	50000
CBR	4	37100
<b>TOTAL MUESTRA</b>	87880 gr	

**Fuente:** Cynthia Tirado

TABLA 4. Cuadro de resumen de cantidad total de muestras a ensayar

<b>“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS”</b>	
<b>TABLA RESUMEN TOTAL MUESTRAS</b>	
Muestra Suelo Limo-Arenoso	147780 gr
Muestra Suelo Arcilloso	147780 gr
Muestra Escoria de siderurgia	87880 gr

**Fuente:** Cynthia Tirado

## 2.1. MATERIALES Y EQUIPOS

Se deben realizar ensayos y pruebas para corroborar las propiedades y tipos de suelos sustraídos, así como de la escoria de siderurgia. Los resultados de los ensayos de cada tipo de muestra permitirán cumplir el objetivo principal. Son diversos los ensayos que se deben ejecutar en los laboratorios de suelos, todos los equipos deben cumplir con las características y especificaciones establecidas por las normas estandarizadas.

### 2.1.1. Equipos para el ensayo de Contenido de humedad

#### Recipientes

Los recipientes para poder determinar el contenido de humedad deben ser de material rígido pudiendo ser éstos de aluminio o acero inoxidable. Estos recipientes serán metidos al horno con las respectivas muestras de suelo por lo que deben resistir la temperatura del horno.

GRÁFICO 15. Recipientes metálicos



**Fuente:** Cynthia Tirado

#### Horno

El horno debe ser termostáticamente controlado con temperatura de  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  para poder secar las muestras de suelo a ensayar.

GRÁFICO 16. Horno



**Fuente:** Cynthia Tirado

## **Balanza electrónica**

La balanza debe trabajar con aproximación de 0,1 gr.

GRÁFICO 17. Balanza electrónica



**Fuente:** Cynthia Tirado

## **2.1.2. Equipos para el ensayo de Granulometría**

### **Tamices**

Las muestras sustraídas son finas por lo tanto se utilizaron tamices a partir del tamiz #4. Los tamices utilizados son #4, #8, #10, #16, #30, #40, #60, #100 y #200.

### **Tamizadora**

Es un dispositivo de tamizado mecánico cuya función es agitar los tamices de tal manera que las partículas de suelo reboten y caigan de un tamiz a otro.

GRÁFICO 18. Tamices y Tamizadora



**Fuente:** Cynthia Tirado

### 2.1.3. Equipos para determinar la Gravedad Específica

#### **Picnómetro**

El picnómetro debe tener una capacidad de 500 ml. El volumen del picnómetro debe ser 2 a 3 veces mayor al volumen del agua + muestra. El picnómetro más el contenido de agua debe tener una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

GRÁFICO 19. Picnómetro



**Fuente:** Cynthia Tirado

#### **Termómetro**

El termómetro debe tener un rango de medición capaz de evaluar  $25^{\circ}\text{C}$ . Debe contar con una exactitud de  $0.1^{\circ}\text{C}$ , profundidad de inmersión de 1 a 3 pulgadas y arrojar resultados de error máximo  $0.5^{\circ}\text{C}$ .

#### **Embudo**

El embudo debe poseer una superficie lisa y el cuello debe ser de un diámetro inferior al del cuello del picnómetro.

## **Pipeta**

Tubo de cristal, un uno de sus extremos tiene una punta cónica y en el otro extremo una boquilla. Esta pipeta se encuentra calibrada en diminutas divisiones de 0,1 ml.

## **Máquina de Evaporación (Baño María)**

Equipo con agua capaz de mantener una temperatura de  $25 \pm 1$  °C durante el tiempo que el picnómetro más la muestra esté sumergida, debe estar equipado con un sistema que permita mantener un nivel de agua constante.

GRÁFICO 20. Máquina de Evaporación



**Fuente:** Cynthia Tirado

GRÁFICO 21. Pipeta, termómetro y embudo



**Fuente:** Cynthia Tirado

#### **2.1.4. Equipos para determinar los Límites de Atterberg**

##### **Copa Casa Grande**

La Copa de Casa Grande es utilizada para realizar el ensayo que determina el límite líquido del suelo. Ésta está compuesta por una cuchara de bronce la cual se encuentra fija a un dispositivo de rotación por manivela que produce la elevación de la cuchara y su caída, chocándose ésta contra una base de caucho rígido.

GRÁFICO 22. Copa Casa Grande



**Fuente:** Cynthia Tirado

##### **Acanalador**

El ranurador forma parte del equipo para determinar el límite líquido del suelo. Es un instrumento de alta importancia para poder realizar el ensayo, el material de este instrumento es de acero inoxidable y tiene forma curva trapezoidal con el que se realiza la ranura en la muestra de suelo.

GRÁFICO 23 Mortero de porcelana, acanalador, espátula y apisonador  
(Ensayo Límite Líquido)



**Fuente:** Cynthia Tirado

### **Placa de vidrio**

Esta placa de vidrio se utiliza para determinar el límite plástico del suelo, ésta debe ser esmerilada para facilitar el ensayo al momento de realizar los rollos de suelo.

### **Mortero de porcelana**

Este recipiente es utilizado para mezclar y almacenar la muestra de suelo preparada para realizar el ensayo. Durante la mezcla se debe impedir que la muestra pierda agua. Es de preferencia utilizar un mortero de porcelana de 114 mm de diámetro. Se utiliza para los dos ensayos Límite líquido y Límite Plástico.

### **Espátula**

La espátula debe ser de hoja flexible de 75 a 100 mm de longitud y 20 mm de ancho. Se utiliza para los dos ensayos Límite líquido y Límite Plástico.

GRÁFICO 24. Mortero de porcelana, placa de vidrio, espátula y apisonador

(Ensayo Límite Plástico)



**Fuente:** Cynthia Tirado

### 2.1.5. Equipos para el ensayo de Compactación Proctor Modificado

#### Molde de compactación con base y collarín

Los moldes de compactación son cilíndricos metálicos con una altura de 12 cm, un diámetro interno de 15,25 cm y un diámetro externo de 16,95 cm aproximadamente. El collarín tiene 5,1 cm de alto y tiene que alinearse con el interior del molde. El plato base del molde en la parte inferior es plana.

GRÁFICO 25. Molde de Compactación



**Fuente:** Cynthia Tirado

### **Martillo de compactación**

El martillo de compactación debe cumplir con las especificaciones establecidas en la normativa, pesa de 10 lb y tiene una altura de caída de 18 pulgadas.

GRÁFICO 26. Martillo de Compactación



**Fuente:** Cynthia Tirado

### **Regla metálica**

La regla metálica debe ser rígida, debe tener una longitud no menor a 25 cm, longitud suficiente para poder enrazar el suelo del molde.

GRÁFICO 27. Regla Metálica



**Fuente:** Cynthia Tirado

### **2.1.6. Equipos para el ensayo CBR (California Bearing Ratio)**

Para realizar el ensayo CBR serán los mismos equipos utilizados para el ensayo de Compactación Proctor además de esos se requerirá los siguientes:

#### **Disco espaciador**

El disco espaciador debe ser metálico y debe tener un diámetro no menor a 15 cm y 1,85 cm de altura.

GRÁFICO 28. Disco espaciador



**Fuente:** Cynthia Tirado

#### **Prensa hidráulica de compresión con pistón de penetración**

Esta prensa tiene la fuerza suficiente para penetrar un pistón en la muestra, este pistón está ubicado en el cabezal. La capacidad que tiene la prensa es mayor o igual a 44,5 KN, aplica una fuerza uniforme a una velocidad de 1,27 mm por minuto.

GRÁFICO 29. Prensa de compresión



**Fuente:** Cynthia Tirado

### **Aparato medidor de expansión**

Está compuesto por una placa de metal perforada con dimensiones de 15 cm de diámetro. Posee un vástago en el centro perpendicular a la placa con un tornillo que permite regular la altura.

### **Trípode**

El trípode debe ser de metal y sus patas deben apoyarse en el borde del molde, en el cual se colocará un deformímetro cuyo vástago coincida con el de la placa, éste permite medir la expansión mientras dura la inmersión del espécimen.

GRÁFICO 30. Medidor de expansión y trípode



**Fuente:** Cynthia Tirado

## **2.2. MÉTODOS**

### **2.2.1. Plan de recolección de datos**

- Obtención de información imprescindible para realizar los ensayos requeridos como son: Contenido de humedad, Granulometría, Límites de Atterberg, Gravedad Específica, Proctor Modificado, Ensayo CBR y Ensayo de estabilización de suelo.
- A partir de la tabulación de datos, recolectar la información necesaria para proceder con los ensayos, en este caso determinar la cantidad de muestras de los diferentes tipos de suelo y escoria que van a ser utilizadas en los ensayos.

- Mediante el método de estabilización de suelos, obtener el porcentaje adecuado de escoria de siderurgia que necesita cada muestra de suelo para que mejoren sus propiedades y características.

## **2.2.2. Plan de Procesamiento y Análisis de Información**

### **2.2.2.1. Ensayo de Contenido de humedad del suelo**

El presente ensayo se lo realiza como establece la norma NTE INEN 690. Ver anexo (Anexo A. Ensayo para determinar el contenido de humedad del suelo)

- a) Determinar y registrar la masa del recipiente ( $m_1$ ) cuidando que esté seco y limpio.
- b) Colocar cuidadosamente en el recipiente la porción representativa del suelo a ensayarse, teniendo en cuenta que exteriormente no existan partículas de suelo adheridas, determinar y registrar su masa ( $m_2$ )
- c) Colocar el recipiente con la muestra húmeda en el horno de secado, manteniendo una temperatura de  $105 \pm 5$  °C.
- d) Después de sacar del horno el recipiente con la muestra de suelo seca, determinar y registrar de manera inmediata su masa ( $m_3$ ).

El contenido de humedad se expresa como porcentaje y se calcula de la siguiente manera:

$$w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} * 100$$

Siendo:

$w$  = contenido de agua en %

$m_1$  = masa de recipiente en gr

$m_2$  = masa de recipiente y suelo húmedo gr

$m_3$  = masa del recipiente y suelo seco en gr

### **2.2.2.2. Ensayo Granulométrico**

El presente ensayo se lo realiza como establece la norma NTE INEN 696. Ver anexo (Anexo A. Ensayo para determinar la granulometría)

- a) Secar la muestra en el horno a una temperatura de  $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$
- b) Elegir los tamices necesarios y adecuados que cubran los tamaños de las partículas del material a ensayarse.
- c) Utilizar los tamices que sean necesarios para poder obtener información más selectiva y adicional.
- d) Ordenar los tamices en forma decreciente según el tamaño de su abertura de arriba a abajo y colocar la muestra a ensayar en el tamiz superior.
- e) Colocar los tamices ordenados en el agitador de tamices mecánico durante un período suficiente, de tal manera que puedan pasar las partículas de un tamiz a otro pero que no se disgreguen.

TABLA 5. Abertura de tamices

<b>TAMIZ #</b>	
<b>N°</b>	<b>Abertura mm</b>
<b>#4</b>	4,76
<b>#8</b>	2,38
<b>#10</b>	2
<b>#16</b>	1,19
<b>#30</b>	0,595
<b>#40</b>	0,42
<b>#60</b>	0,25
<b>#100</b>	0,149
<b>#200</b>	0,074

**Fuente:** Cynthia Tirado

Los datos obtenidos en la retención de material por cada tamiz deben ser registrados en una tabla de tal manera que con estos resultados del % que pasa cada tamiz y la abertura del tamiz se realice una gráfica semi-logarítmica, la cual se visualice la tendencia que tienen los tamaños de las partículas. Se considera a un suelo como fino cuando el 50% de la muestra de suelo pasa el tamiz #200.

### **2.2.2.3. Ensayo para obtener los Límites de Atterberg**

#### **➤ Límite Líquido LL**

El presente ensayo se lo realiza como establece la norma NTE INEN 691. Ver anexo (Anexo A. Ensayo para determinar el Límite Líquido)

- a) Se procede a preparar la muestra con una porción de 150 gr obtenida del material que pase por el tamiz #40.
- b) A la muestra tomada se le añade agua y se la mezcla completamente en el mortero usando la espátula hasta obtener una pasta de suelo homogénea y densa que pueda ser moldeada fácilmente con los dedos.
- c) Colocar una porción de ésta pasta en la copa Casagrande sobre la parte que reposa en la base, extendiéndola rápidamente con ayuda de la espátula cuidando que no queden atrapadas burbujas de aire.
- d) Nivelar la muestra con la espátula paralelamente a la base, debe tener una profundidad de 10 mm en la sección de espesor máximo.
- e) Realizar un corte en la muestra con ayuda del acanalador, evitando despegar la muestra de la copa, de manera que su plano de simetría sea perpendicular a la articulación de la copa.
- f) Encender el equipo copa Casagrande y observar el número de golpes registrados que fueron necesarios para que las dos mitades de la muestra se pongan en contacto al fondo del canal.
- g) Tomar con la espátula una porción de muestra de alrededor 10 gr del lugar donde se juntan los bordes del canal, colocarla en un recipiente y determinar el contenido de agua de acuerdo con la Norma INEN 690.
- h) Realizar los pasos c-h mencionados en este ensayo, por lo menos 4 veces, usando la misma muestra con nuevos incrementos de agua, los cuales deben hacerse de tal manera que el número de golpes necesario para cerrar el canal varíe de 45 a 5, dos ensayos deben estar bajo los 25 golpes y dos sobre los 25 golpes.

Los datos obtenidos del ensayo para determinar el límite líquido LL deben ser registrados en una tabla de tal manera que con estos resultados del contenido de humedad expresada en % y el número de golpes se pueda realizar una gráfica. La intersección entre el contenido de humedad y 25 golpes debe ser tomado como límite líquido de la muestra.

#### ➤ **Límite Plástico LP**

El presente ensayo se lo realiza como establece la norma NTE INEN 692. Ver anexo (Anexo A. Ensayo para determinar el Límite Plástico)

- a) Al inicio del ensayo se debe tomar una muestra aproximada de 30 gr, ésta debe ser suficientemente homogénea y plástica para que pueda formarse con facilidad una bola, tomando en cuenta que no debe adherirse a los dedos al formar un rollito.
- b) De la muestra preparada tomar 10 gr aproximadamente, moldearla entre las puntas de los dedos de la mano y la placa de vidrio, con una presión suficiente como para formar un rollo de 3 mm de diámetro y realizar movimientos completos (hacia atrás y hacia adelante)
- c) En el caso de que el rollo se desmenuce antes de alcanzar los 3 mm de diámetro, adicionar agua destilada a toda la muestra. Volver a mezclarlo y proceder con los pasos b-c antes mencionados del presente ensayo.
- d) Si el rollo llega a los 3 mm de diámetro sin presentar fisuras recoger las porciones desmenuzadas de los rollos de suelo en un recipiente para poder determinar el contenido de humedad de acuerdo con la Norma INEN 690.

Los datos obtenidos del ensayo para determinar el límite plástico LP deben ser registrados en una tabla, con éstos se determina el contenido de humedad de las muestras, el valor del límite plástico será el promedio de los contenidos de humedad.

#### ➤ **Índice Plástico**

El índice plástico IP se determina mediante la diferencia entre el Límite Líquido LL y el Límite Plástico LP.

$$I_p = LL - LP$$

#### **2.2.2.4. Ensayo de Gravedad específica**

El presente ensayo se lo realiza como establece la norma NTE INEN 856. Ver anexo (Anexo A. Ensayo para determinar la gravedad específica)

- a) Colocar la muestra en un recipiente metálico y secarla en el horno a una temperatura  $105 \pm 5$  °C, dejarla que se enfríe durante 15 minutos para su uso.
- b) Llenar el picnómetro inicialmente con agua hasta la marca de aforo, registrar el peso de picnómetro más agua. Vaciar el agua de éste e introducir  $50 \pm 10$  gr de la muestra ya preparada como se describe en el literal a. Llenar con agua

adicional con ayuda de la pipeta el picnómetro hasta llegar lo más cercano a la marca de aforo.

- c) Colocar el picnómetro + agua + muestra de suelo en la máquina de evaporación durante diez minutos aproximadamente hasta observar que las burbujas hayan desaparecido. Sacarlo de la máquina de evaporación.
- d) Inclinar el picnómetro y hacerlo girar suavemente en círculos de manera que se desaloje todo el aire atrapado que no se expulsó en la máquina de evaporación, continuar con este proceso hasta cuando no suban más burbujas a la superficie.
- e) Una vez eliminadas todas las burbujas, ajustar la temperatura del picnómetro y su contenido a  $23 \pm 2$  °C.
- f) Tomar lectura final de la masa del picnómetro con agua y muestra.
- g) Retirar la muestra del picnómetro y secarlo en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C y enfriarlo a temperatura ambiente, determinar su masa.

#### **2.2.2.5. Ensayo de Compactación Proctor Modificado**

El presente ensayo se lo realiza como establecen las normas AASHTO T-180; ASTM D 1557. Ver anexo (Anexo A. Ensayo de compactación Proctor Modificado)

- a) Tamizar la muestra de suelo por el tamiz #4, toda la cantidad que pasó este tamiz se utiliza para el ensayo.
- b) Tomar y registrar las medidas de todos los cilindros en los que se va a realizar el ensayo altura y diámetro al igual que su peso excluyendo el collarín.
- c) Se procede a pesar 6000 gr de muestra de suelo por cada cilindro a ser ensayado. Colocarlo en una bandeja metálica para poder realizar la mezcla.
- d) Llenar la probeta con el 3% de agua y añadir el agua en la muestra para proceder a mezclar el suelo junto con el respectivo contenido de agua.
- e) Se coloca la mezcla de suelo dentro del cilindro en 5 capas asegurando que cada capa deba tener el mismo espesor aproximadamente. Se procede a realizar la compactación de cada capa con 56 golpes. La compactación se realiza con el martillo de compactación y se debe verificar que cada golpe alcance la altura máxima de caída.

- f) Una vez terminada la compactación se retira el collarín del cilindro y se debe enrasar el suelo. Registrar el peso del cilindro más el suelo compactado.
- g) Tomar dos muestras de la parte superior e inferior del cilindro, se debe tomar muestras de suelo y se los coloca en recipientes con el fin de determinar el contenido de humedad.
- h) Es necesario preparar 4 muestras de suelo, de esta manera se genera los puntos en la gráfica de compactación y observar su línea de tendencia, el pico de la curva debe indicar la mayor densidad seca.

#### **2.2.2.6. Ensayo CBR (California Bearing Ratio)**

El presente ensayo se lo realiza como establecen las normas AASHTO T-193; ASTM D 1883. Ver anexo (Anexo A. Ensayo CBR)

- a) Para el ensayo CBR se realizarán los mismos pasos del ensayo de compactación Proctor Modificado del literal a-g mencionados en la pág 41 a la pág 42.
- b) Con los resultados del contenido de humedad óptimo del ensayo que antecede se realiza el ensayo de CBR.
- c) Se deben tomar 3 muestras de suelo, 3 moldes, con diferentes cantidades de golpes por cada uno; es decir, 11, 27 y 56 golpes respectivamente.
- d) Una vez terminada la compactación y el registro del peso de cada molde enrasado se procede a sumergir en agua, para determinar el esponjamiento de la muestra de suelo, el remojo se hará durante.
- e) Se colocan a cada cilindro deformímetros para determinar la deformación del suelo al ser sumergido en agua durante el tiempo ya establecido. Se toma lectura el primer y último día de sumersión de los cilindros.
- f) Una vez terminada la sumersión se sacan los cilindros del agua y se los escurre aproximadamente 15 minutos y se registra los pesos de cada cilindro.
- g) A continuación, se procede a ensayarlos en la máquina de compresión con una velocidad de penetración de 1,27 mm por minuto.
- h) Se toman pequeñas muestras de suelo en los recipientes para determinar el contenido de humedad.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

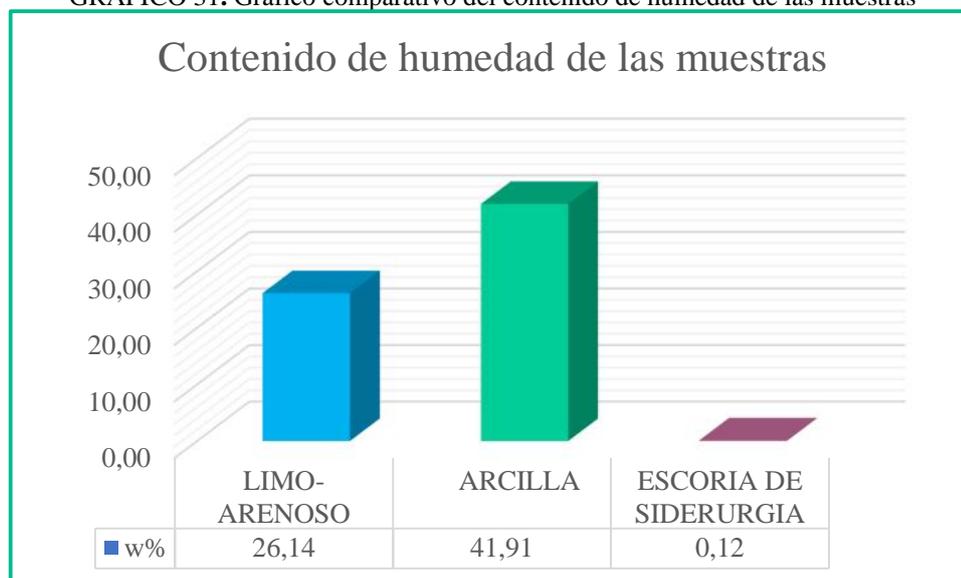
##### 3.1.1. Contenido de humedad del suelo y muestra

TABLA 6. Contenido de humedad de las muestras

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD		
MUESTRA	UBICACIÓN	CONTENIDO DE HUMEDAD w%
Limo-arenoso	Pilisurco-Tungurahua	26,14%
Arcilla	Murialdo-Pastaza	41,91%
Escoria de siderurgia	Ambato-Tungurahua	0,12%

Fuente: Cynthia Tirado

GRÁFICO 31. Gráfico comparativo del contenido de humedad de las muestras



Fuente: Cynthia Tirado

#### *Análisis:*

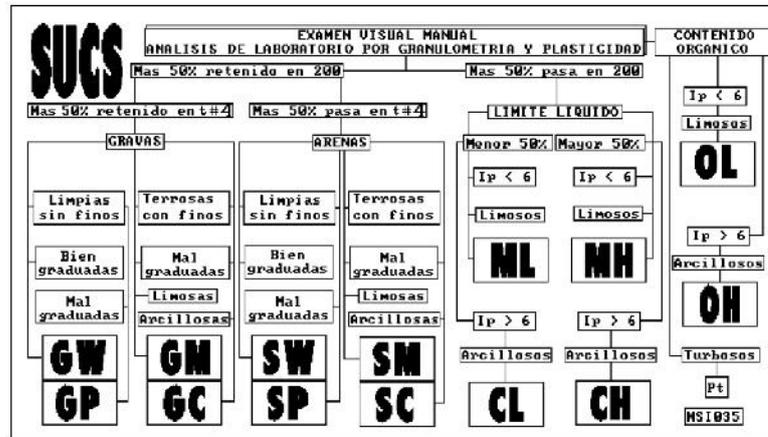
Mediante el ensayo para la determinación del contenido de humedad de cada muestra se obtuvo los siguientes resultados: Limo arenoso 26,14%, Arcilla 41,91% y Escoria de siderurgia 0,12%, se observa que la muestra de suelo arcilloso obtuvo un porcentaje

muy elevado de contenido de humedad con respecto a las otras muestras y siendo la escoria de siderurgia la muestra de menor contenido de humedad.

### 3.1.2. Análisis granulométrico del suelo y muestra

Para identificar el tamaño de las partículas de suelo que tenemos, se debe realizar un análisis granulométrico para identificar en base a la tabla del SUCS.

GRÁFICO 32. Clasificación de suelos según SUCS



Fuente: SUCS

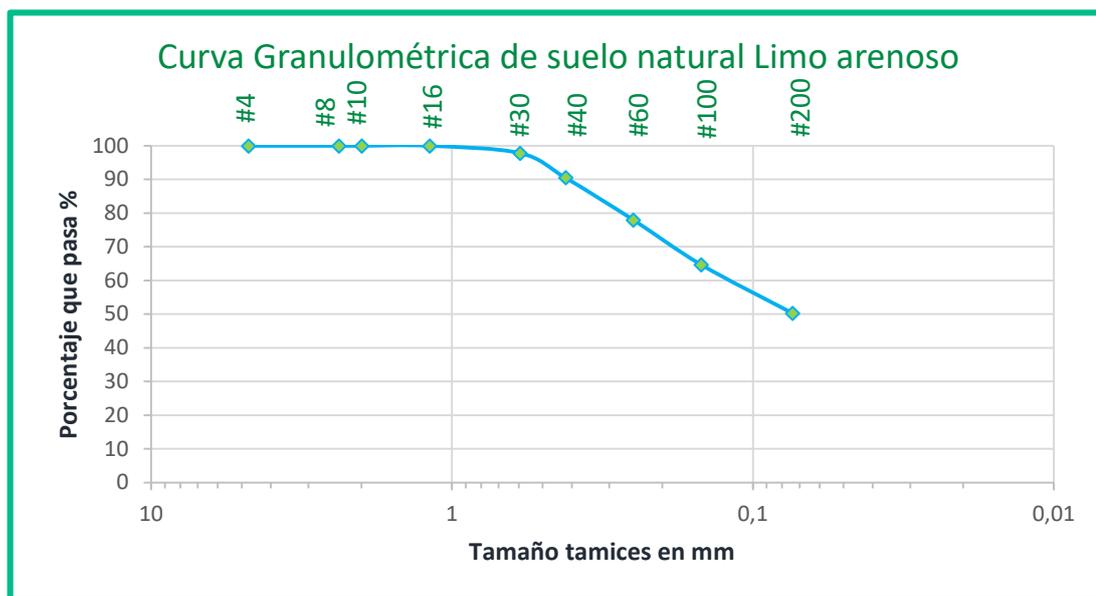
- Suelo limo arenoso natural

TABLA 7. Granulometría de suelo limo arenoso

TAMIZ #		PESO RET/ACUM	%	% QUE PASA
plg	mm			
#4	4,76	0		100
#8	2,38	0	0,00	100,00
#10	2	0	0,00	100,00
#16	1,19	0	0,00	100,00
#30	0,595	5,4	2,16	97,84
#40	0,42	18,2	7,28	90,56
#60	0,25	31,4	12,56	78,00
#100	0,149	33,1	13,24	64,76
#200	0,074	36,1	14,44	50,32
Pasa tamiz #200		125,8	50,32	
Peso de la muestra seca			250,0	

Fuente: Cynthia Tirado

GRÁFICO 33. Gráfica Granulométrica del suelo Limo-arenoso



Fuente: Cynthia Tirado

**Análisis:**

En el gráfico 33 se puede determinar mediante el análisis granulométrico de la muestra de suelo natural que un 50,32% pasa el tamiz #200. Por lo tanto, esta muestra se encuentra dentro del grupo de suelos finos.

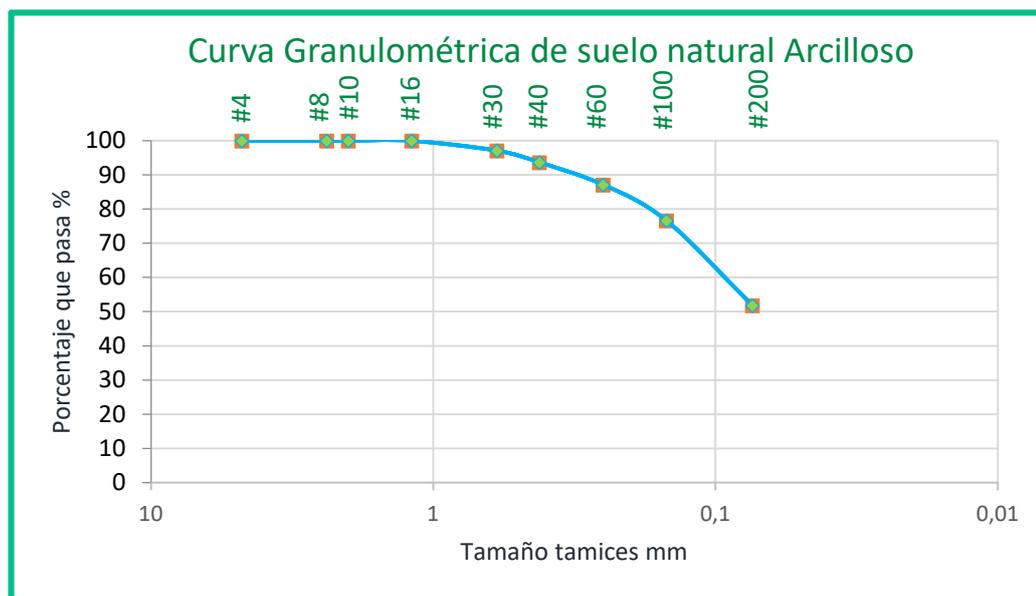
**- Suelo arcilloso natural**

TABLA 8. Granulometría de suelo Arcilloso

TAMIZ #		PESO RET/ACUM	% RETENIDO	% QUE PASA
plg	mm			
#4	4,76	0		100
#8	2,38	0	0,00	100,00
#10	2	0	0,00	100,00
#16	1,19	0	0,00	100,00
#30	0,595	7,2	2,88	97,12
#40	0,42	8,6	3,44	93,68
#60	0,25	16,3	6,52	87,15
#100	0,149	26,3	10,52	76,63
#200	0,074	62,1	24,85	51,78
<b>Pasa tamiz #200</b>		129,4	<b>51,78</b>	
<b>Peso de la muestra seca</b>			249,9	

Fuente: Cynthia Tirado

GRÁFICO 34. Gráfica Granulométrica del suelo Arcilloso



Fuente: Cynthia Tirado

**Análisis:**

En el gráfico 34 se puede determinar mediante el análisis granulométrico de la muestra de suelo natural que un 51,78% pasa el tamiz #200. Por lo tanto, esta muestra se encuentra dentro del grupo de suelos finos.

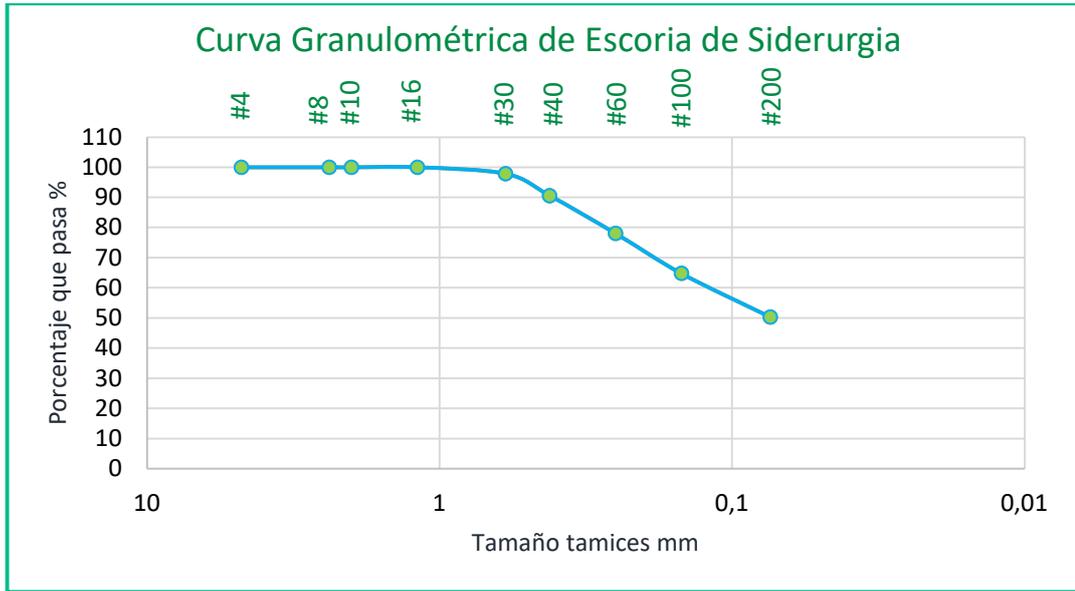
**- Escoria de Siderurgia**

TABLA 9. Granulometría de muestra de Escoria de Siderurgia

TAMIZ #		PESO RET/ACUM	% RETENIDO	% QUE PASA
plg	mm			
#4	4,76	0		100
#8	2,38	0	0,00	100,00
#10	2	0,5	0,20	99,80
#16	1,19	42,5	17,01	82,79
#30	0,595	106,9	42,78	40,02
#40	0,42	47,4	18,97	21,05
#60	0,25	6,3	2,52	18,53
#100	0,149	18,6	7,44	11,08
#200	0,074	14,2	5,68	5,40
<b>Pasa tamiz #200</b>		13,5	<b>5,40</b>	
<b>Peso de la muestra seca</b>			249,9	

Fuente: Cynthia Tirado

GRÁFICO 35. Gráfica Granulométrica de la Escoria de Siderurgia



Fuente: Cynthia Tirado

**Análisis:**

En el gráfico 35 se observa mediante el análisis granulométrico de la muestra de suelo natural que un 42,78% pasa el tamiz #30, siendo este el tamaño nominal de la escoria.

GRÁFICO 36. Gráfico comparativo del análisis granulométrico de las muestras



Fuente: Cynthia Tirado

### 3.1.3. Análisis de la Gravedad Específica del suelo y muestra

#### - Suelo limo arenoso, arcilloso y escoria de siderurgia

TABLA 10. Gravedad específica de las muestras

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA		
MUESTRA	UBICACIÓN	GRAVEDAD ESPECÍFICA
Limo arenoso	Pilisurco-Tungurahua	2,672 $g / c^3$
Arcilla	Murialdo-Pastaza	2,705 $g / c^3$
Escoria de siderurgia	Ambato-Tungurahua	3,39 $g / c^3$

Fuente: Cynthia Tirado

GRÁFICO 37. Gráfico comparativo de la gravedad específica de las muestras



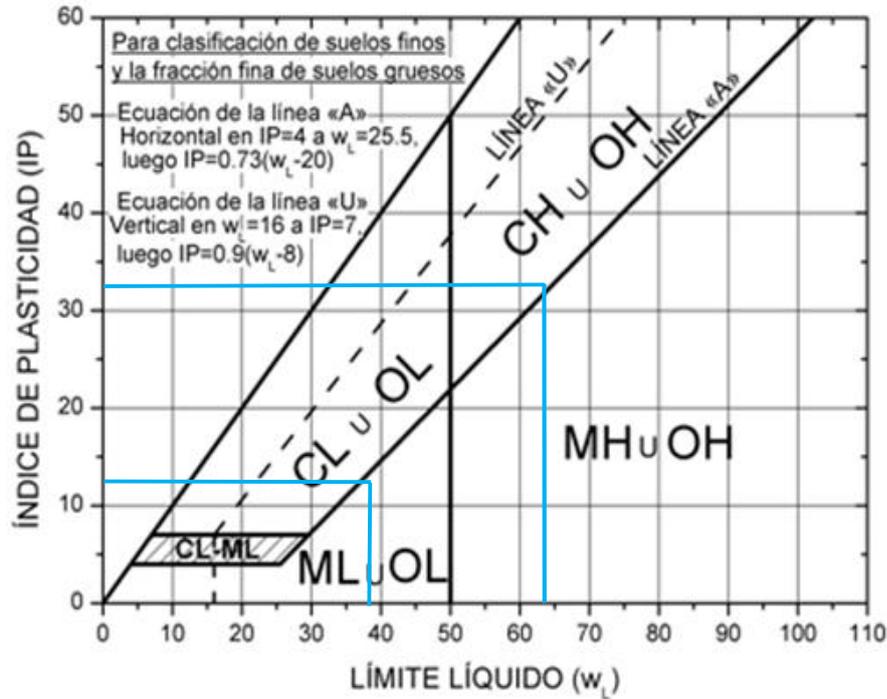
Fuente: Cynthia Tirado

#### **Análisis:**

En el gráfico 37 se observa que la muestra de suelo limo-arenoso presenta una gravedad específica de 2,682  $g / c^3$ , la muestra de suelo arcilloso una gravedad específica de 2,705  $g / c^3$  lo que cumple dentro de los rangos de valores establecidos de un suelo limo-arenoso y un suelo arcilloso. La muestra escoria de siderurgia tiene un valor de gravedad específica de 3,385  $g / c^3$  que está dentro de los rangos de escorias de siderurgias estudiadas.

### 3.1.4. Análisis de los Límites de Atterberg del suelo

GRÁFICO 38. Carta de plasticidad de Casagrande



Fuente: SUCS

#### - Suelo limo arenoso natural

Dentro de la clasificación según la SUCS, establece que para que sea un suelo limoso o que contenga gran parte de éste, debe tener un porcentaje dentro del Límite Líquido menor del 50% y dentro del Índice de Plasticidad menor al 6%, para que pueda cumplir con las especificaciones y características de un suelo limoso.

En la muestra de suelo ensayada obtuvimos el Límite Líquido de 37,50% y el Límite Plástico de 33,06%, a partir de estos resultados se obtuvo el Índice de Plasticidad de 4,44% lo que cumple con los parámetros establecidos de un Limo de Baja Plasticidad.

Para obtener el índice de plasticidad se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_p = L - L$$

$$I_p = 37,50\% - 33,06\%$$

$$I_p = 4,4 \%$$

TABLA 11. Resumen de los Límites de Atterberg de suelo limo-arenoso

<b>LÍMITES DE ATTERBERG</b>	
<b>Límite Líquido (Ll%)</b>	37,50
<b>Límite Plástico (Lp%)</b>	33,06
<b>Índice de Plasticidad (Ip%)</b>	4,44
<b>Clasificación del suelo según SUCS</b>	ML (Limo arenoso de Baja Plasticidad)

**Fuente:** Cynthia Tirado

**- Suelo arcilloso natural**

Dentro de la clasificación según la SUCS establece que para que sea un suelo limoso o que contenga gran parte de ese debe tener un porcentaje dentro del Límite Líquido mayor al 50% y dentro del Índice de Plasticidad mayor al 6%, para que pueda cumplir con las especificaciones y características de un suelo arcilloso.

En la muestra de suelo ensaya obtuvimos el Límite Líquido de 61,00% y el Límite Plástico de 51,90%, a partir de estos resultados se obtuvo el Índice de Plasticidad de 9,10% lo que cumple con los parámetros establecidos de una Arcilla de Alta Plasticidad.

Para obtener el índice de plasticidad se utiliza la siguiente ecuación:

$$IP = L - L$$

$$I_1 = 61,00\% - 51,90\%$$

$$I_1 = 9,1 \%$$

TABLA 12. Resumen de los Límites de Atterberg de suelo arcilloso

<b>LÍMITES DE ATTERBERG</b>	
<b>Límite Líquido (Ll%)</b>	61,00
<b>Límite Plástico (Lp%)</b>	51,90
<b>Índice de Plasticidad (Ip%)</b>	9,10
<b>Clasificación del suelo según SUCS</b>	CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

**Fuente:** Cynthia Tirado

GRÁFICO 39. Gráfico comparativo del Límite Líquido de los suelos

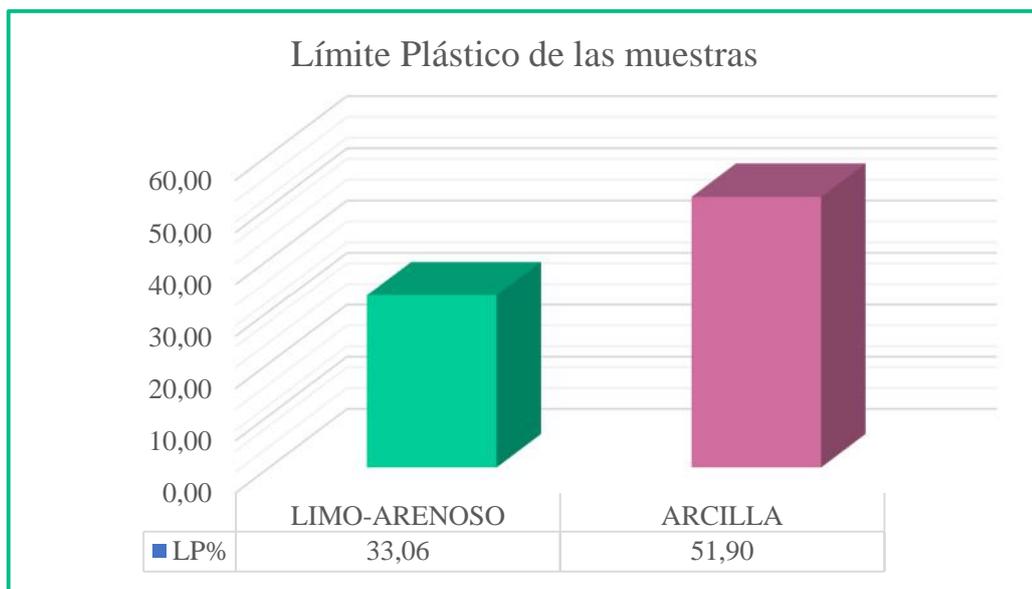


Fuente: Cynthia Tirado

**Análisis:**

En el gráfico 39 se observa que la muestra de suelo limo-arenoso presenta un límite líquido 37,50%, la muestra de suelo arcilloso un límite líquido 64,00%, estos valores se encuentran dentro de los rangos de valores establecidos para que cumplan con las características de un suelo limo-arenoso y un suelo arcilloso.

GRÁFICO 40. Gráfico comparativo del Límite Plástico de los suelos

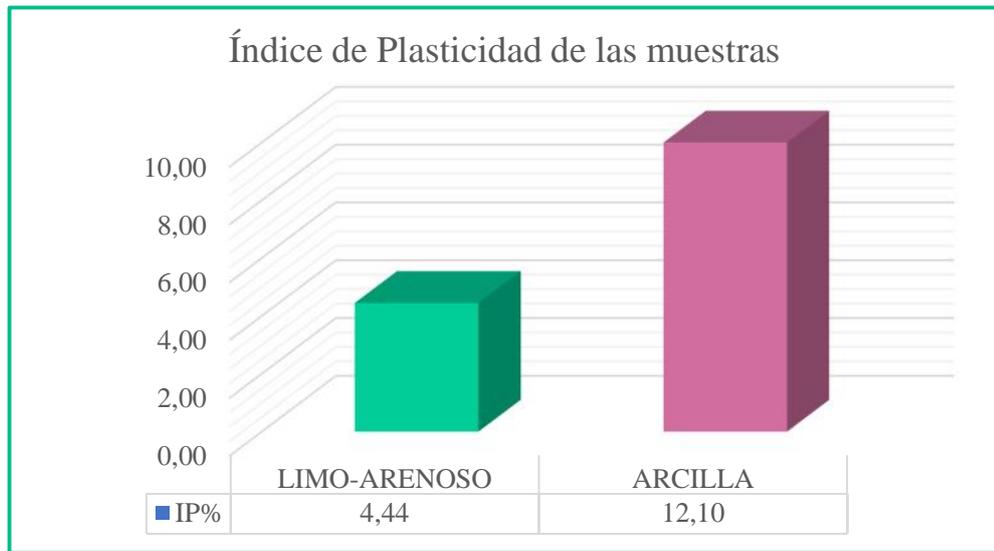


Fuente: Cynthia Tirado

**Análisis:**

En el gráfico 40 se observa que la muestra de suelo limo-arenoso presenta un límite plástico 33,06%, la muestra de suelo arcilloso un límite plástico 51,90%, estos valores se encuentran dentro de los rangos de valores establecidos para que cumplan con las características de un suelo limo-arenoso y un suelo arcilloso.

GRÁFICO 41. Gráfico comparativo del Índice de Plasticidad de los suelos



**Fuente:** Cynthia Tirado

**Análisis:**

En el gráfico 41 se observa que la muestra de suelo limo-arenoso presenta un índice de plasticidad de 4,44%, la muestra de suelo arcilloso un índice de plasticidad de 12,10%, estos valores se encuentran dentro de los rangos de valores establecidos para que cumplan con las características de un suelo limo-arenoso y un suelo arcilloso.

**3.1.5. Análisis de la Densidad y Contenido de Humedad Óptimo escoria de siderurgia**

- **Muestra de Escoria de Siderurgia**

TABLA 13. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado de muestra de escoria de siderurgia

<b>PRÓCTOR MODIFICADO TIPO D MUESTRA ESCORIA DE SIDERURGIA</b>								
Número de golpes	56	Número de capas	5		Altura molde	12,1 cm		
Altura de caída	18"	Peso molde	14952		Diámetro molde	15,20 cm		
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180		Volumen molde	2195,65 cm <sup>3</sup>		
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>								
Número de ensayo	1		2		3		4	
Peso inicial deseado	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial estimada %	3		6		9		16	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
Número de recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
w% promedio	3,49		5,88		8,65		14,17	
Peso volumétrico seco	1,861		1,903		1,947		1,823	
Resultados del Ensayo	Densidad máxima máx = 1,937 g / c <sup>3</sup>							
	Contenido de humedad óptimo w = 8,50 %							

Fuente: Cynthia Tirado

### 3.1.6. Análisis de la Densidad y Contenido de Humedad Óptimo del suelo limo arenoso más escoria

#### - Suelo limo arenoso natural

TABLA 14. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado suelo natural limo-arenoso

<b>PRÓCTOR MODIFICADO TIPO D SUELO #1 LIMO ARENOSO</b>								
Número de golpes	56	Número de capas	5		Altura molde	12,1		
Altura de caída	18"	Peso molde	14952		Diámetro molde	15,20		
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180		Volumen molde	2195,65		
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>								
Número de ensayo	1		2		3		4	
Peso inicial deseado	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial estimada %	1		3		6		9	
Peso del molde y el suelo húmedo	19017		19270		19274		19115	
Peso suelo húmedo Wm	4065		4318		4322		4163	
Peso unitario húmedo	1,851		1,967		1,968		1,896	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
Número de recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso muestra húmeda + recp	123,9	129,8	123,1	137	154	140,1	180,4	173,8

Peso muestra seca + recp	105,5	110,6	103,8	115,1	124,9	114,1	142,9	137,9
Peso recipiente	24,6	26	29,9	30,4	25	25,4	30,8	30,9
Peso del agua	18,4	19,2	19,3	21,9	29,1	26	37,5	35,9
Peso muestra seca	80,9	81,5	73,9	84,7	99,9	88,7	112,1	107
Contenido de humedad	22,74	23,56	26,12	25,86	29,13	29,31	33,45	33,55
w% promedio	23,15		25,99		29,22		33,50	
Peso volumétrico seco	1,503		1,561		1,523		1,420	

RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD - DENSIDAD

Resultados del Ensayo	Densidad máxima máx = 1,542 g / c <sup>3</sup>
	Contenido de humedad óptimo w = 26,6 %

**Fuente:** Cynthia Tirado

**- Suelo limo arenoso más 8% escoria**

TABLA 15. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado combinación suelo natural limo arenoso + 8% Escoria de Siderurgia

<b>PRÓCTOR MODIFICADO TIPO D SUELO #1 LIMO ARENOSO + 8% ESCORIA DE SIDERURGIA</b>					
Número de golpes	56	Número de capas	5	Altura molde	12,1 cm
Altura de caída	18"	Peso molde	14952	Diámetro molde	15,20 cm
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180	Volumen molde	2195,65 cm <sup>3</sup>
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>					
Número de ensayo	1	2	3	4	
w% promedio	14,22	20,82	24,40	29,01	
Peso volumétrico seco	1,495	1,556	1,528	1,456	
<b>Resultados del ensayo</b>	Densidad máxima máx = 1,551 g / c <sup>3</sup>				
	Contenido de humedad óptimo w = 21,30 %				

**Fuente:** Cynthia Tirado

- **Suelo limo arenoso más 10% escoria**

TABLA 16. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado combinación suelo natural limo arenoso + 10% Escoria de Siderurgia

<b>PRÓCTOR MODIFICADO TIPO D SUELO #1 LIMO ARENOSO + 10% ESCORIA DE SIDERURGIA</b>					
Número de golpes	56	Número de capas	5	Altura molde	12,1 cm
Altura de caída	18"	Peso molde	14952	Diámetro molde	15,20 cm
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180	Volumen molde	2195,65 cm <sup>3</sup>
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>					
Número de ensayo	1	2	3	4	
w% promedio	14,46	19,76	23,57	28,02	
Peso volumétrico seco	1,465	1,563	1,511	1,394	
<b>Resultados del ensayo</b>	Densidad máxima máx = 1,553 g / c <sup>3</sup>				
	Contenido de humedad óptimo w = 20,50 %				

**Fuente:** Cynthia Tirado

- **Suelo limo arenoso más 35% escoria**

TABLA 17. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado combinación suelo natural limo arenoso + 35% Escoria de Siderurgia

<b>PRÓCTOR MODIFICADO TIPO D SUELO #1 LIMO ARENOSO + 35% ESCORIA DE SIDERURGIA</b>					
Número de golpes	56	Número de capas	5	Altura molde	12,1 cm
Altura de caída	18"	Peso molde	14952	Diámetro molde	15,20 cm
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180	Volumen molde	2195,65 cm <sup>3</sup>
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>					
Número de ensayo	1	2	3	4	
w% promedio	16,15	17,96	19,50	20,54	
Peso volumétrico seco	1,465	1,554	1,509	1,430	
<b>Resultados del ensayo</b>	Densidad máxima máx = 1,559 g / c <sup>3</sup>				
	Contenido de humedad óptimo w = 18,10 %				

**Fuente:** Cynthia Tirado

### 3.1.7. Análisis de la Densidad y Contenido de Humedad Óptimo del suelo arcilloso más escoria

#### - Suelo arcilloso natural

TABLA 18. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado suelo natural arcilla

<b>PRÓCTOR MODIFICADO TIPO D SUELO #2 ARCILLA</b>					
Número de golpes	56	Número de capas	5	Altura molde	12,1
Altura de caída	18"	Peso molde	14952	Diámetro molde	15,20
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180	Volumen molde	2195,65
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>					
Número de ensayo	1	2	3	4	
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000	
Humedad inicial estimada %	5	10	15	20	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
w% promedio	22,49	27,71	35,90	47,89	
Peso volumétrico seco	1,249	1,276	1,298	1,200	
<b>Resultados del ensayo</b>	Densidad máxima máx = 1,295 g /c <sup>3</sup>				
	Contenido de humedad óptimo w = 33,50 %				

Fuente: Cynthia Tirado

#### - Suelo arcilloso más 8% escoria de siderurgia

TABLA 19. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado suelo natural arcilla + 8% Escoria de Siderurgia

<b>PRÓCTOR MODIFICADO TIPO D SUELO #2 ARCILLA + 8% ESCORIA DE SIDERURGIA</b>					
Número de golpes	56	Número de capas	5	Altura molde	12,1 cm
Altura de caída	18"	Peso molde	14913	Diámetro molde	15,20 cm
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180	Volumen molde	2195,65 cm <sup>3</sup>
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>					
Número de ensayo	1	2	3	4	
w% promedio	20,20	28,12	36,52	42,64	
Peso volumétrico seco	1,236	1,272	1,297	1,187	
<b>Resultados del ensayo</b>	Densidad máxima máx = 1,297 g /c <sup>3</sup>				
	Contenido de humedad óptimo w = 31,40 %				

Fuente: Cynthia Tirado

- **Suelo arcilloso más 10% escoria de siderurgia**

TABLA 20. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado suelo natural arcilla + 10% Escoria de Siderurgia

<b>PRÓCTOR MODIFICADO TIPO D SUELO #2 ARCILLA + 10% ESCORIA DE SIDERURGIA</b>					
Número de golpes	56	Número de capas	5	Altura molde	12,1 cm
Altura de caída	18"	Peso molde	14913	Diámetro molde	15,20 cm
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180	Volumen molde	2195,65 cm <sup>3</sup>
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>					
Número de ensayo	1	2	3	4	
w% promedio	20,61	26,82	33,78	39,27	
Peso volumétrico seco	1,235	1,277	1,295	1,191	
<b>Resultados del ensayo</b>	Densidad máxima máx = 1,300 g /c <sup>3</sup>				
	Contenido de humedad óptimo w = 29,70 %				

**Fuente:** Cynthia Tirado

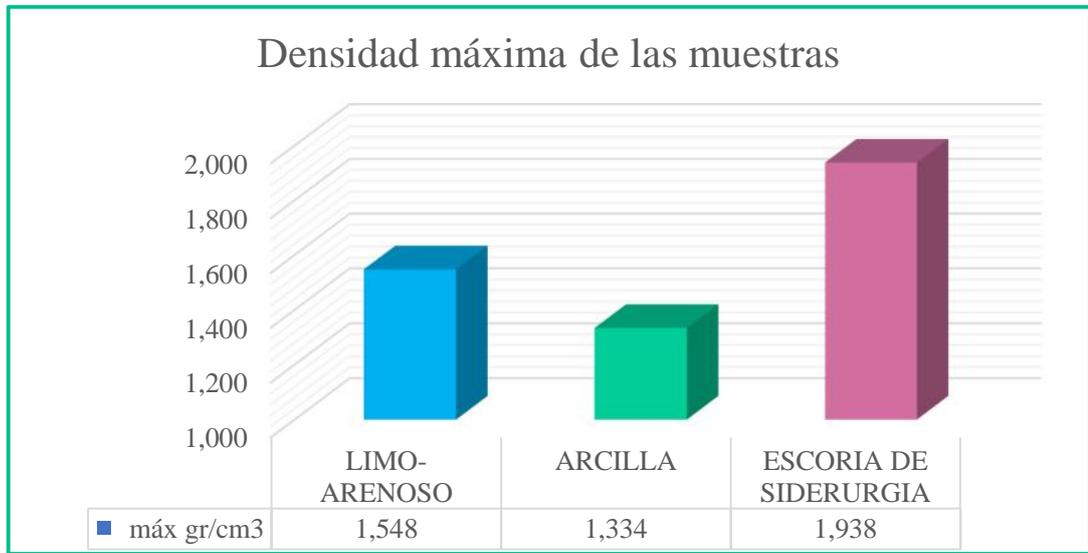
- **Suelo arcilloso más 35% escoria**

TABLA 21. Resumen del Ensayo de compactación Próctor Modificado suelo natural arcilla + 35% Escoria de Siderurgia

<b>PRÓCTOR MODIFICADO TIPO D SUELO #2 ARCILLA + 35% ESCORIA DE SIDERURGIA</b>					
Número de golpes	56	Número de capas	5	Altura molde	12,1 cm
Altura de caída	18"	Peso molde	14952	Diámetro molde	15,20 cm
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180	Volumen molde	2195,65 cm <sup>3</sup>
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>					
Número de ensayo	1	2	3	4	
w% promedio	17,07	23,30	30,25	36,40	
Peso volumétrico seco	1,237	1,298	1,314	1,184	
<b>Resultados del ensayo</b>	Densidad máxima máx = 1,322 g /c <sup>3</sup>				
	Contenido de humedad óptimo w = 25,70 %				

**Fuente:** Cynthia Tirado

GRÁFICO 42. Gráfico comparativo de la densidad máxima de las muestras

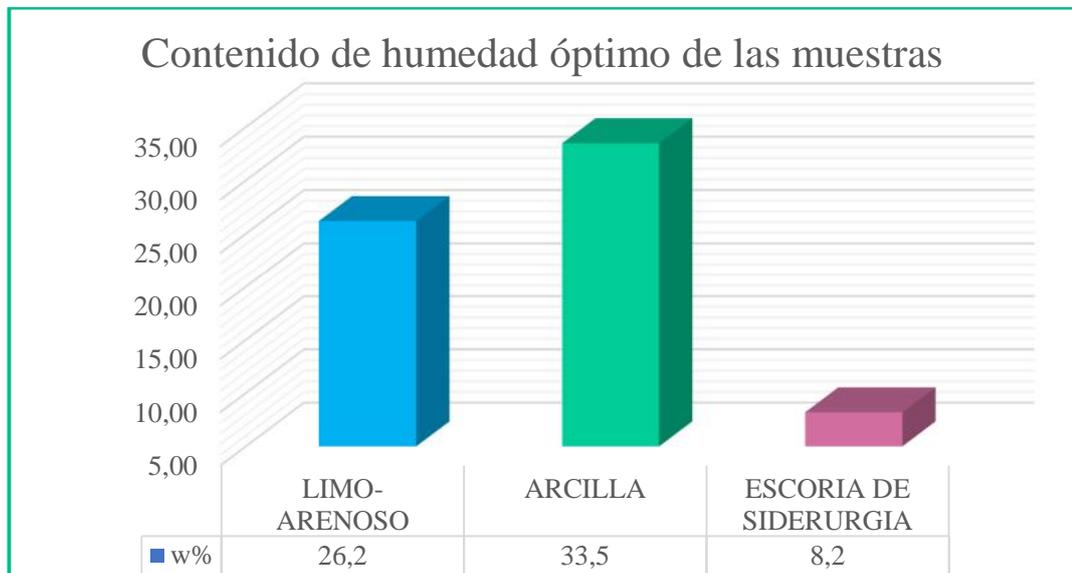


Fuente: Cynthia Tirado

**Análisis:**

Mediante el ensayo Próctor Modificado tipo D se logró determinar la densidad seca máxima de las muestras, en el gráfico 42 se observa los valores de densidad seca máxima para la muestra #1 limo arenoso máx de  $1,548 \text{ g / c}^3$ , para la muestra #2 arcilla máx de  $1,334 \text{ g / c}^3$  y la muestra #3 escoria de siderurgia máx de  $1,938 \text{ g / c}^3$ . La mayor densidad es la de la escoria de siderurgia siendo ésta apta para la combinación con las otras muestras.

GRÁFICO 43. Gráfico comparativo del Contenido de humedad óptimo de las muestras



Fuente: Cynthia Tirado

**Análisis:**

Mediante el ensayo Próctor Modificado tipo D se logró determinar el contenido de humedad de las muestras, en el gráfico 43 se observa los valores. A continuación, se detalla el contenido de humedad:

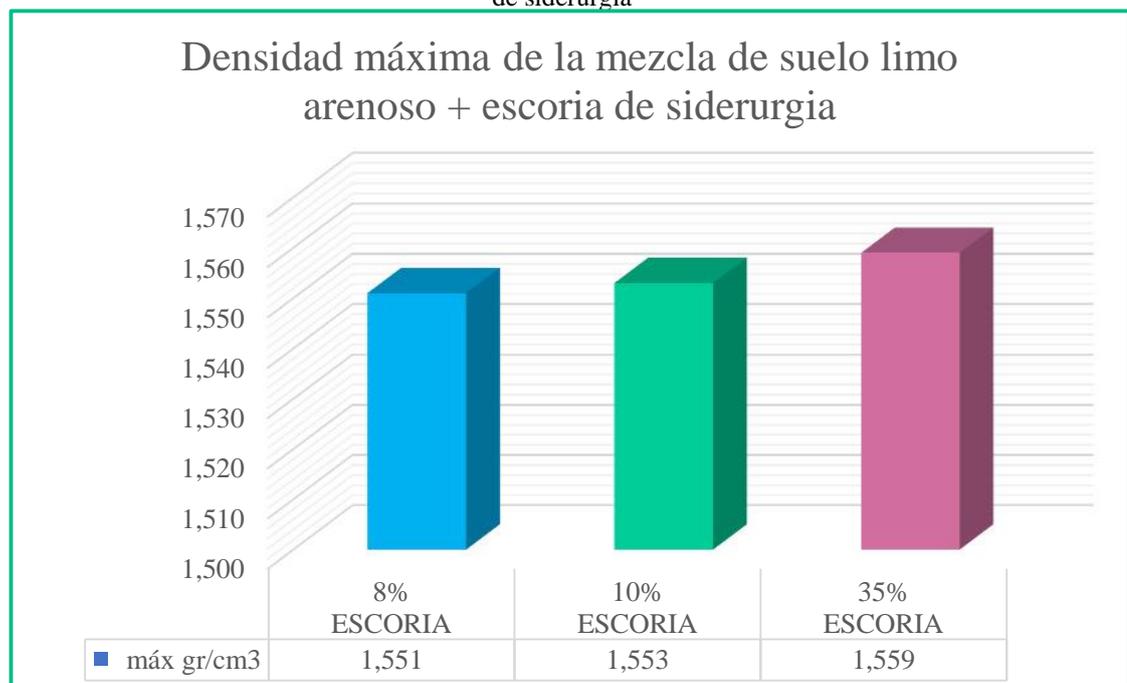
Muestra #1 limo arenoso → w 26,2%

Muestra #2 arcilla → w 33,5%

Muestra #3 escoria de siderurgia → w 8,2%.

La arcilla tiene el mayor porcentaje de contenido de humedad.

GRÁFICO 44. Gráfico comparativo de la densidad máxima de la mezcla de limo arenoso más escoria de siderurgia



Fuente: Cynthia Tirado

**Análisis:**

Mediante el ensayo Próctor Modificado tipo D se logró determinar la densidad seca máxima de las combinaciones suelo + % escoria de siderurgia, en el gráfico 44 se observan los valores de densidad seca máxima A continuación, se detalla:

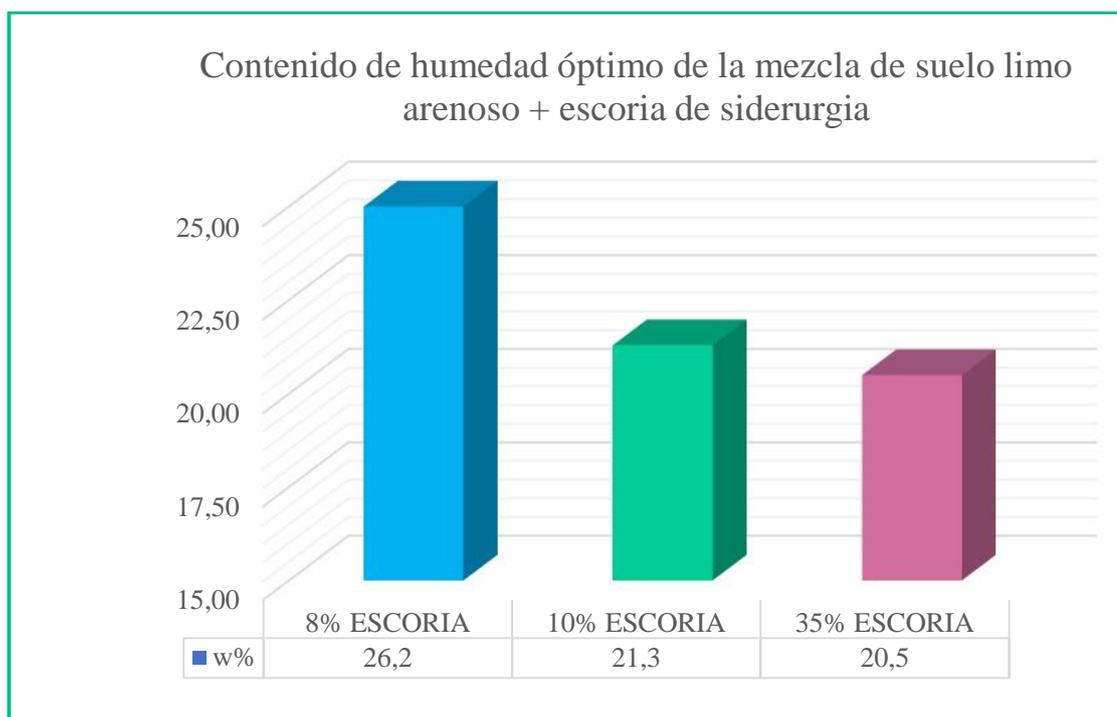
Combinación limo arenoso + 8% escoria de siderurgia → máx de 1,551 g /c<sup>3</sup>

Combinación limo arenoso + 10% escoria de siderurgia → máx de 1,553 g /c<sup>3</sup>

Combinación limo arenoso + 35% escoria de siderurgia → máx de 1,559 g /c<sup>3</sup>

La mayor densidad es la de la combinación limo arenoso + 35% escoria de siderurgia.

GRÁFICO 45. Gráfico comparativo del Contenido de humedad óptimo de la mezcla de limo arenoso más escoria de siderurgia



Fuente: Cynthia Tirado

### **Análisis:**

En el gráfico 45 se observa que los contenidos de humedad van decreciendo a medida que aumenta el porcentaje de escoria de siderurgia. A continuación, se detalla el contenido de humedad:

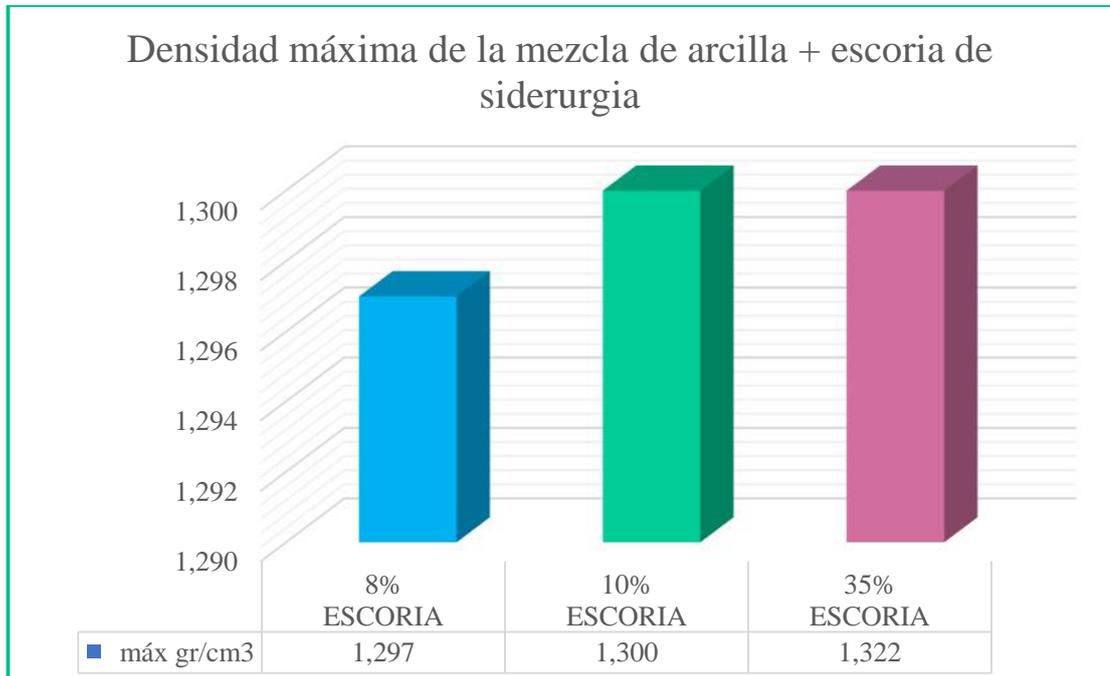
Combinación suelo limo arenoso + 8% escoria de siderurgia → w óptimo de 26,2%

Combinación suelo limo arenoso + 10% escoria de siderurgia → w óptimo de 21,3%

Combinación suelo limo arenoso + 35% escoria de siderurgia → w óptimo de 20,5%

El menor contenido de humedad lo tiene la combinación limo arenoso + 35% escoria de siderurgia.

GRÁFICO 46. Gráfico comparativo de la densidad máxima de la mezcla de arcilla más escoria de siderurgia



Fuente: Cynthia Tirado

**Análisis:**

En el gráfico 46 se observa que la densidad seca máxima de las muestras va incrementando a medida que aumenta el porcentaje de escoria de siderurgia. A continuación, se detalla la densidad seca máxima:

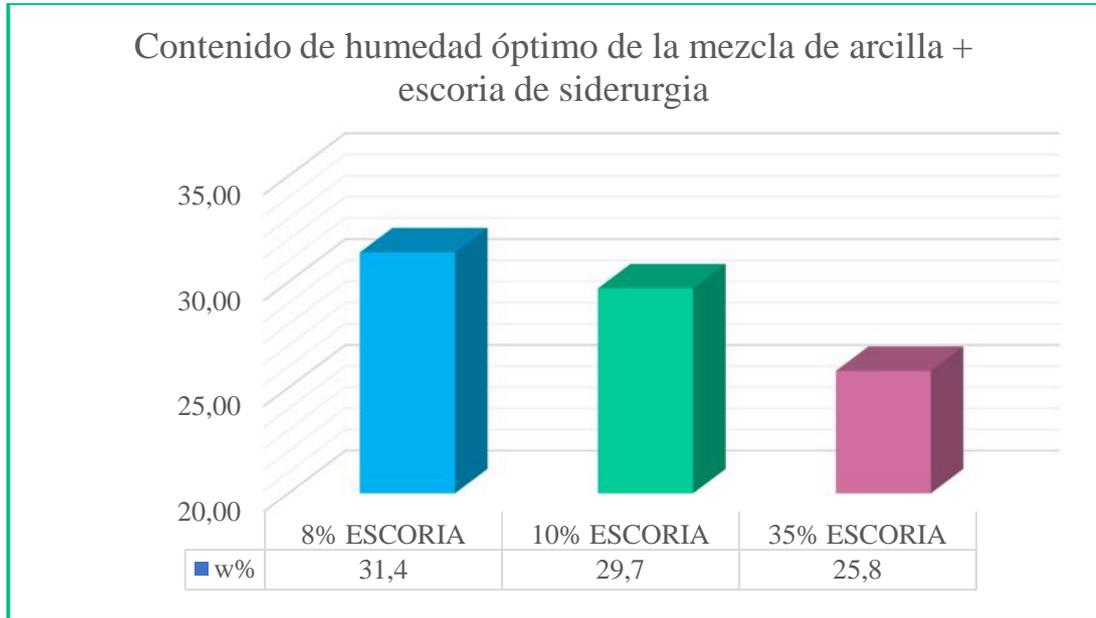
Combinación suelo arcilloso + 8% escoria de siderurgia → máx de  $1,297 \text{ g /c}^3$

Combinación suelo arcilloso + 10% escoria de siderurgia → máx de  $1,300 \text{ g /c}^3$

Combinación suelo arcilloso + 35% escoria de siderurgia → máx de  $1,322 \text{ g /c}^3$

El valor mayor de la densidad seca máxima es de la combinación de arcilla + 35% escoria de siderurgia.

GRÁFICO 47. Gráfico comparativo del Contenido de humedad óptimo de la mezcla de arcilla más escoria de siderurgia



Fuente: Cynthia Tirado

**Análisis:**

En el gráfico 47 se observa que los contenidos de humedad van decreciendo a medida que aumenta el porcentaje de escoria de siderurgia. A continuación, se detalla el contenido de humedad óptimo:

Combinación suelo arcilloso + 8% escoria de siderurgia → w óptimo de 31,4%

Combinación suelo arcilloso + 10% escoria de siderurgia → w óptimo de 29,7%

Combinación suelo arcilloso + 35% escoria de siderurgia → w óptimo de 25,8%.

El menor contenido de humedad lo tiene la combinación limo arenoso + 35% escoria de siderurgia.

**3.1.8. Análisis de la Capacidad de Soporte CBR**

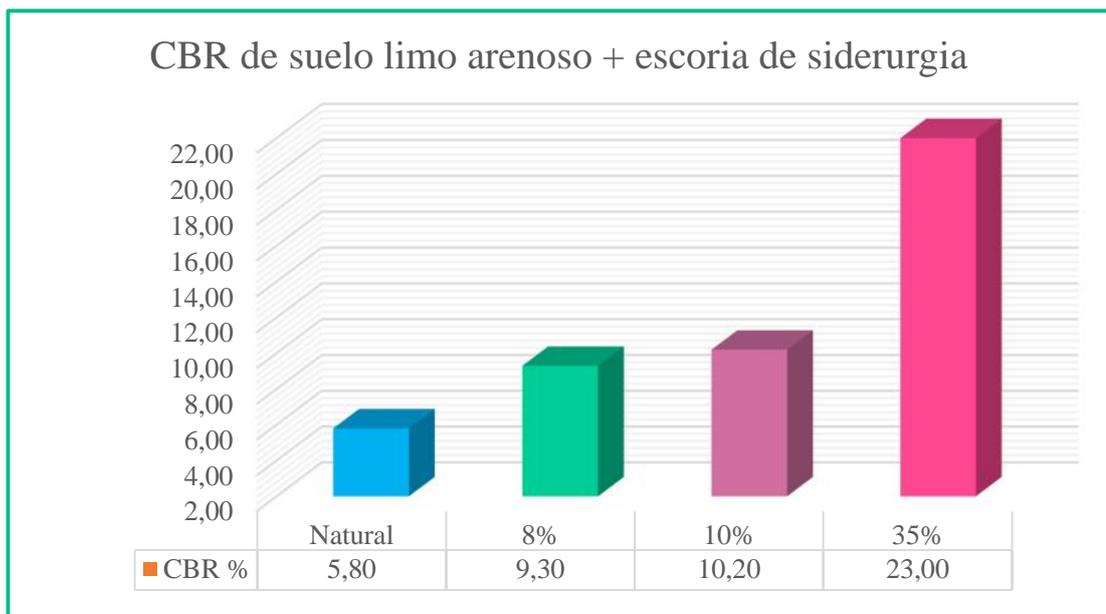
- **Combinación de suelo natural limo arenoso más escoria de siderurgia**

TABLA 22. Resumen de Ensayo de penetración CBR combinación suelo natural limo arenoso + distintos porcentajes de escoria de siderurgia

Ensayo de Penetración CBR				
Combinación Suelo + Escoria de Siderurgia				
Muestra N°	Origen muestra	Tipo de Muestra	Porcentaje de Escoria	CBR (%)
1	Pilisurco-Tungurahua-Ecuador	Limo arenoso	Natural	5,80
2			8%	9,30
3			10%	10,20
4			35%	23,00

Fuente: Cynthia Tirado

GRÁFICO 48. Gráfico comparativo del Contenido de humedad óptimo de la mezcla de arcilla más escoria de siderurgia



Fuente: Cynthia Tirado

**Análisis:**

En el gráfico 48 se puede observar que el CBR incrementa de manera significativa a medida que aumenta el porcentaje de escoria de siderurgia. A continuación, se detalla el CBR:

5,80% → el suelo en su estado natural

9,30% → la combinación de suelo limo arenoso + 8% de escoria de siderurgia

10,20% → la combinación de suelo limo arenoso + 10% de escoria de siderurgia

23,00% → la combinación de suelo limo arenoso + 35% de escoria de siderurgia.

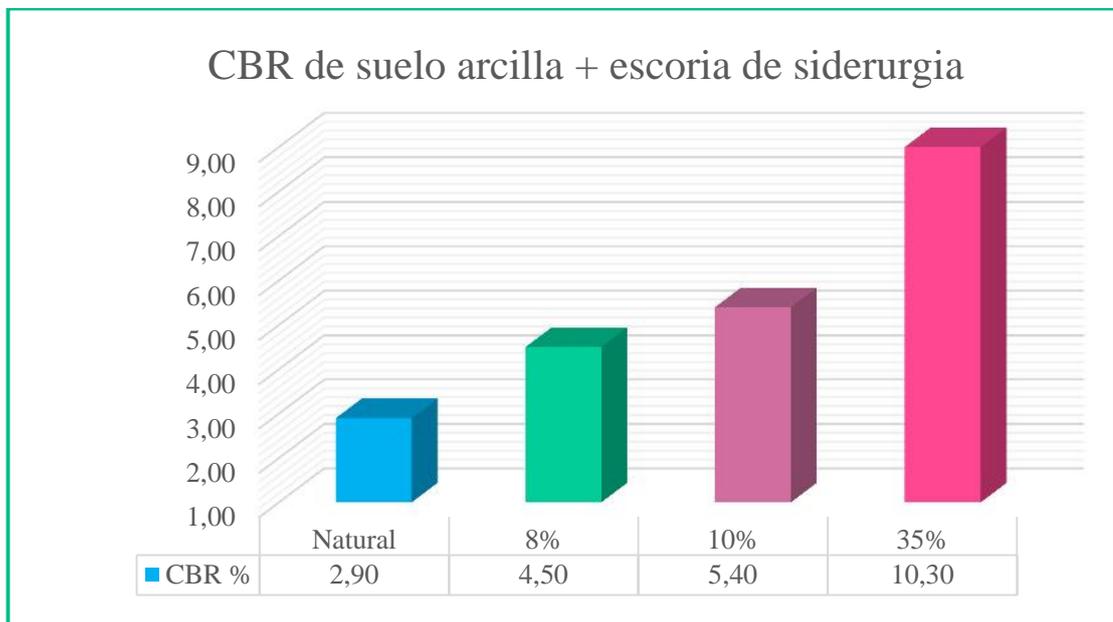
Podemos observar que el mayor valor de CBR es de la combinación suelo limo arenoso + 35% escoria de siderurgia.

TABLA 23. Resumen de Ensayo de penetración CBR combinación suelo natural arcilla + escoria de siderurgia

Ensayo de Penetración CBR				
Combinación Suelo + Escoria de Siderurgia				
Muestra N°	Origen muestra	Tipo de Muestra	Porcentaje de Escoria	CBR (%)
1	Murialdo - Pastaza - Ecuador	Arcilla	Natural	2,90
2			8%	4,50
3			10%	5,40
4			35%	10,30

Fuente: Cynthia Tirado

GRÁFICO 49. Gráfico comparativo del Contenido de humedad óptimo de la mezcla de arcilla más escoria de siderurgia



Fuente: Cynthia Tirado

**Análisis:**

En el gráfico 49 se puede observar que el CBR incrementa de manera significativa a medida que aumenta el porcentaje de escoria de siderurgia. A continuación, se detalla el CBR:

2,90% → Suelo en su estado natural

4,50% → Combinación de suelo limo arenoso + 8% de escoria de siderurgia,

5,40% → Combinación de suelo limo arenoso + 10% de escoria de siderurgia

10,30% → Combinación de suelo limo arenoso + 35% de escoria de siderurgia.

Podemos observar que el mayor valor de CBR es de la combinación arcilla + 35% escoria de siderurgia.

TABLA 24. Sistema de clasificación general de suelos

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN		
Nº CBR %	Clasificación General	Usos
2-5	Muy mala	Subrasante
5-8	Mala	Subrasante
8-20	Regular-Buena	Subrasante
20-30	Excelente	Subrasante
30-60	Buena	Subbase
60-80	Buena	Base
>80	Excelente	Base

**Fuente:** Diseño de Pavimentos, AASHTO-93 [48]

TABLA 25. Ensayo de penetración CBR

ENSAYO DE CARGA PENETRACION																	
CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3p12																	
MOLDE NUMERO			15				18				44						
TIEMPO		PENET. " 10-3	Q		PRESIONES		CBR	Q		PRESIONES		CBR	Q		PRESIONES		CBR
MIN	SEG		LECT	LEIDA	CORG	lb/plg2		%	LECT	LEIDA	CORG		lb/plg2	%	LECT	LEIDA	
		0	0,0		0			0,0		0			0,0		0		
0	30	25	42,8		31,4			28,0		20,6			18,4		13,5		
1	0	50	98,4		72,3			61,2		45,0			41,6		30,6		
1	30	75	148,3		109,0			89,4		65,7			55,1		40,5		
2	0	100	195,4		143,6	143,6	14	108,3		79,6	79,6	8,0	58,4		42,9	42,9	4,3
3	0	150	258,4		189,8			122,6		90,1			68,3		50,2		
4	0	200	298,4		219,2			145,3		106,7			76,1		55,9		
5	0	250	339,5		249,4			159,6		117,3			83,2		61,1		
6	0	300	378,1		277,8			178,8		131,4			85,6		62,9		
8	0	400	459,6		337,7			209,5		153,9			93,1		68,4		
10	0	500	519,3		381,5			237,2		174,3			97,6		71,7		
CBR corregido							14					8,0					4,3

Densidades		Resistencias	
1,320	gr/cm3	14,36	%
1,243	gr/cm3	7,96	%
1,151	gr/cm3	4,29	%

Densidad Máx	1,322	gr/cm3
95% de DM	1,256	gr/cm3
CBR PUNTUAL	10,3	%

Fuente: Cynthia Tirado

### 3.1.9. Análisis Esponjamiento

TABLA 26. Resumen de Esponjamiento combinación suelo natural limo arenoso

Esponjamiento CBR					
Suelo Natural					
Día	Origen muestra	Tipo de Muestra	N° de golpes	Porcentaje de Escoria	Esponjamiento
1	Pilisurco-Tungurahua-Ecuador	Limo arenoso	56	0%	0,00
2					0,87
3					1,53
Día	Origen muestra	Tipo de Muestra	N° de golpes	Porcentaje de Escoria	Esponjamiento
1	Pilisurco-Tungurahua-Ecuador	Limo arenoso	27	0%	0,00
2					0,90
3					2,04
Día	Origen muestra	Tipo de Muestra	N° de golpes	Porcentaje de Escoria	Esponjamiento
1	Pilisurco-Tungurahua-Ecuador	Limo arenoso	11	0%	0,00
2					0,45
3					0,98

Fuente: Cynthia Tirado

TABLA 27. Resumen de Esponjamiento combinación suelo natural limo arenoso + 8% escoria de siderurgia

<b>Esponjamiento CBR</b>					
<b>Combinación Suelo + Escoria de Siderurgia</b>					
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Pilisorco-Tungurahua-Ecuador	Limo arenoso	56	8%	0,00
2					0,83
3					1,18
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Pilisorco-Tungurahua-Ecuador	Limo arenoso	27	8%	0,00
2					0,94
3					1,84
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Pilisorco-Tungurahua-Ecuador	Limo arenoso	11	8%	0,00
2					1,24
3					1,98

Fuente: Cynthia Tirado

TABLA 28. Resumen de Esponjamiento combinación suelo natural limo arenoso + 10% escoria de siderurgia

<b>Esponjamiento CBR</b>					
<b>Combinación Suelo + Escoria de Siderurgia</b>					
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Pilisorco-Tungurahua-Ecuador	Limo arenoso	56	10%	0,00
2					0,53
3					0,80
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Pilisorco-Tungurahua-Ecuador	Limo arenoso	27	10%	0,00
2					0,73
3					1,28
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Pilisorco-Tungurahua-Ecuador	Limo arenoso	11	10%	0,00
2					1,00
3					1,46

Fuente: Cynthia Tirado

TABLA 29. Resumen de Esponjamiento combinación suelo natural limo arenoso + 35% escoria de siderurgia

<b>Esponjamiento CBR</b>					
<b>Combinación Suelo + Escoria de Siderurgia</b>					
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Pilisurco-Tungurahua-Ecuador	Limo arenoso	56	35%	0,00
2					0,22
3					0,39
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Pilisurco-Tungurahua-Ecuador	Limo arenoso	27	35%	0,00
2					0,43
3					0,85
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Pilisurco-Tungurahua-Ecuador	Limo arenoso	11	35%	0,00
2					0,83
3					1,20

Fuente: Cynthia Tirado

TABLA 30. Resumen de Esponjamiento combinación suelo natural arcilla

<b>Esponjamiento CBR</b>					
<b>Suelo Natural</b>					
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Murialdo-Pastaza-Ecuador	Arcilla de alta plasticidad	56	0%	0,00
2					2,22
3					3,19
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Murialdo-Pastaza-Ecuador	Arcilla de alta plasticidad	27	0%	0,00
2					1,34
3					2,49
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Murialdo-Pastaza-Ecuador	Arcilla de alta plasticidad	11	0%	0,00
2					0,47
3					1,61

Fuente: Cynthia Tirado

TABLA 31. Resumen de Esponjamiento combinación suelo natural arcilla + 8% escoria de siderurgia

<b>Esponjamiento CBR</b>					
<b>Combinación Suelo + Escoria de Siderurgia</b>					
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Murialdo-Pastaza-Ecuador	Arcilla de alta plasticidad	56	8%	0,00
2					4,46
3					6,06
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Murialdo-Pastaza-Ecuador	Arcilla de alta plasticidad	27	8%	0,00
2					1,70
3					2,36
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Murialdo-Pastaza-Ecuador	Arcilla de alta plasticidad	11	8%	0,00
2					0,71
3					1,63

Fuente: Cynthia Tirado

TABLA 32. Resumen de Esponjamiento combinación suelo natural arcilla + 10% escoria de siderurgia

<b>Esponjamiento CBR</b>					
<b>Combinación Suelo + Escoria de Siderurgia</b>					
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Murialdo-Pastaza-Ecuador	Arcilla de alta plasticidad	56	10%	0,00
2					2,08
3					3,58
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Murialdo-Pastaza-Ecuador	Arcilla de alta plasticidad	27	10%	0,00
2					0,84
3					2,26
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Murialdo-Pastaza-Ecuador	Arcilla de alta plasticidad	11	10%	0,00
2					0,60
3					0,98

Fuente: Cynthia Tirado

TABLA 33. Resumen de Esponjamiento combinación suelo natural arcilla + 35% escoria de siderurgia

<b>Esponjamiento CBR</b>					
<b>Combinación Suelo + Escoria de Siderurgia</b>					
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Murialdo-Pastaza-Ecuador	Arcilla de alta plasticidad	56	35%	0,00
2					0,69
3					1,69
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Murialdo-Pastaza-Ecuador	Arcilla de alta plasticidad	27	35%	0,00
2					0,70
3					1,54
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Murialdo-Pastaza-Ecuador	Arcilla de alta plasticidad	11	35%	0,00
2					0,76
3					1,04

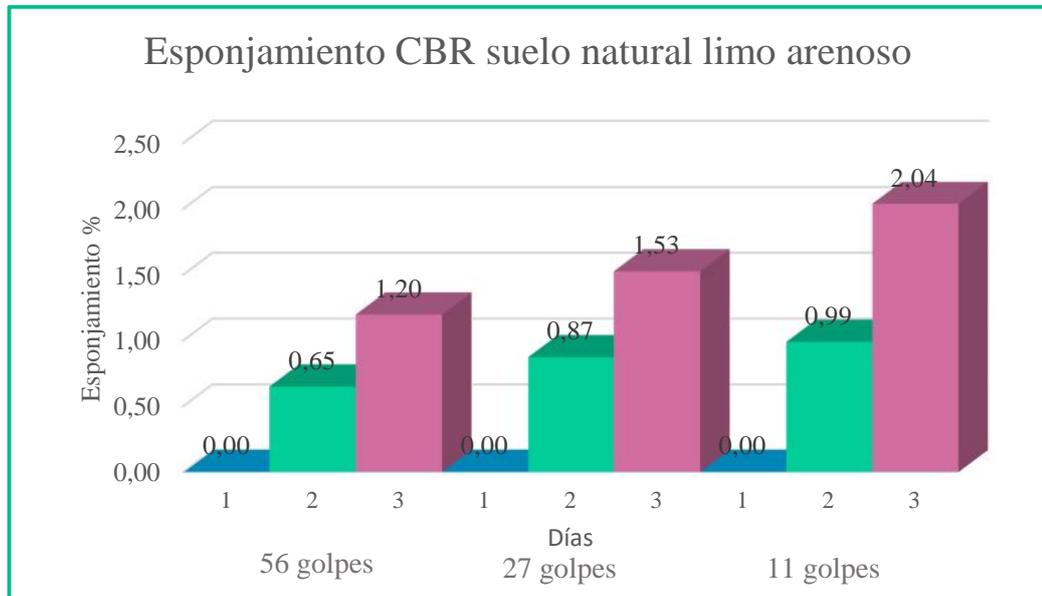
Fuente: Cynthia Tirado

TABLA 34. Resumen de Esponjamiento escoria de siderurgia

<b>Esponjamiento CBR</b>					
<b>Escoria de Siderurgia</b>					
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Ambato-Tungurahua-Ecuador	Escoria de Siderurgia	56	100%	0,00
2					1,02
3					1,94
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Ambato-Tungurahua-Ecuador	Escoria de Siderurgia	27	100%	0,00
2					0,69
3					1,29
<b>Día</b>	<b>Origen muestra</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Porcentaje de Escoria</b>	<b>Esponjamiento</b>
1	Ambato-Tungurahua-Ecuador	Escoria de Siderurgia	11	100%	0,00
2					0,55
3					1,16

Fuente: Cynthia Tirado

GRÁFICO 50. Gráfico comparativo esponjamiento del suelo limo arenoso



**Fuente:** Cynthia Tirado

***Análisis:***

En el gráfico 50 observamos como el esponjamiento incrementa a medida que pasa el tiempo de sumersión. Las probetas ensayadas al tercer día de sumersión tienen el valor más elevado. A continuación, se detallan:

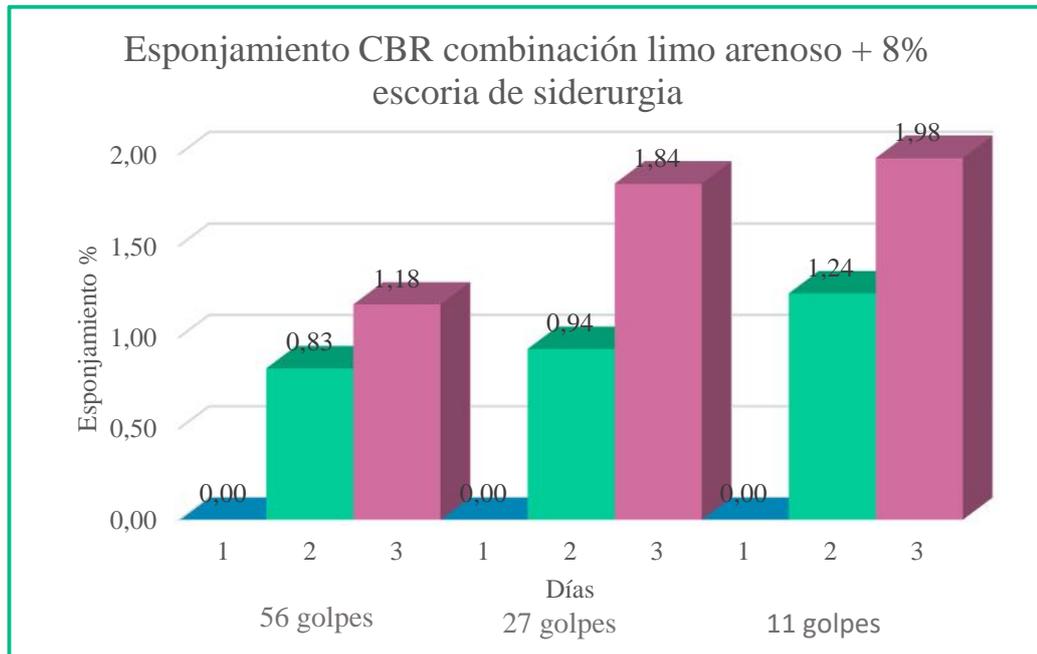
Con 56 golpes → esponjamiento de 1,20

Con 27 golpes → esponjamiento de 1,53

Con 11 golpes → esponjamiento de 2,04

Se observa que en el suelo natural limo arenoso mientras más compacto sea el suelo el esponjamiento es menor.

GRÁFICO 51. Gráfico comparativo esponjamiento del suelo limo arenoso + 8% escoria de siderurgia



**Fuente:** Cynthia Tirado

**Análisis:**

En el gráfico 51 observamos como el esponjamiento incrementa a medida que pasa el tiempo de sumersión. Las probetas ensayadas al tercer día de sumersión tienen el valor más elevado. A continuación, se detallan:

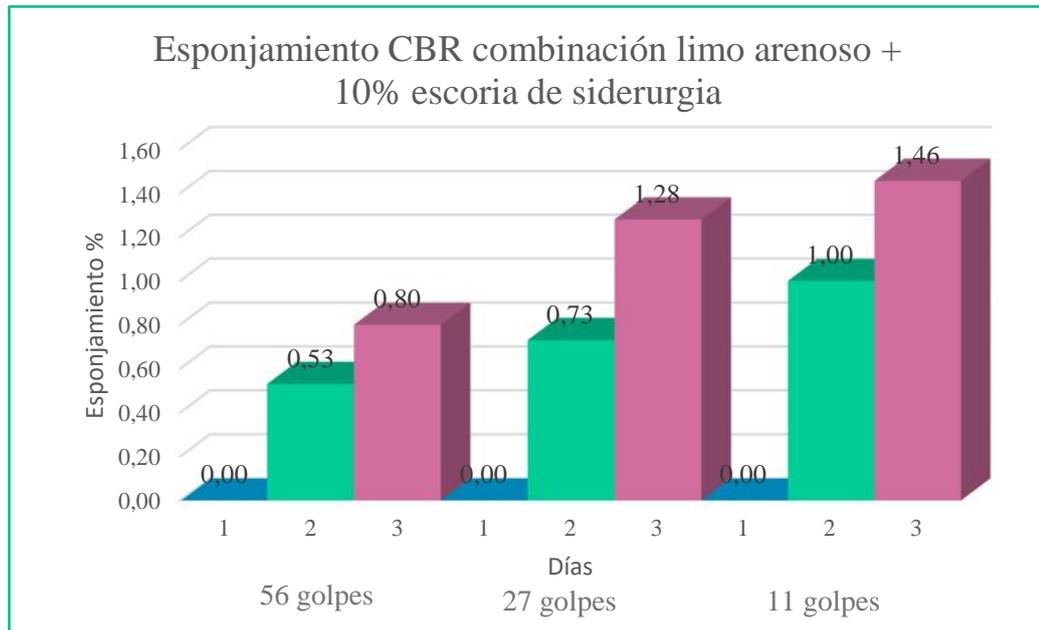
Con 56 golpes → esponjamiento de 1,18

Con 27 golpes → esponjamiento de 1,84

Con 11 golpes → esponjamiento de 1,98

Se observa que en la combinación suelo limo arenoso + 8% de escoria de siderurgia mientras más compacto sea el suelo el esponjamiento es menor.

GRÁFICO 52. Gráfico comparativo esponjamiento del suelo limo arenoso + 10% escoria de siderurgia



**Fuente:** Cynthia Tirado

***Análisis:***

En el gráfico 52 observamos como el esponjamiento incrementa a medida que pasa el tiempo de sumersión. Las probetas ensayadas al tercer día de sumersión tienen el valor más elevado. A continuación, se detallan:

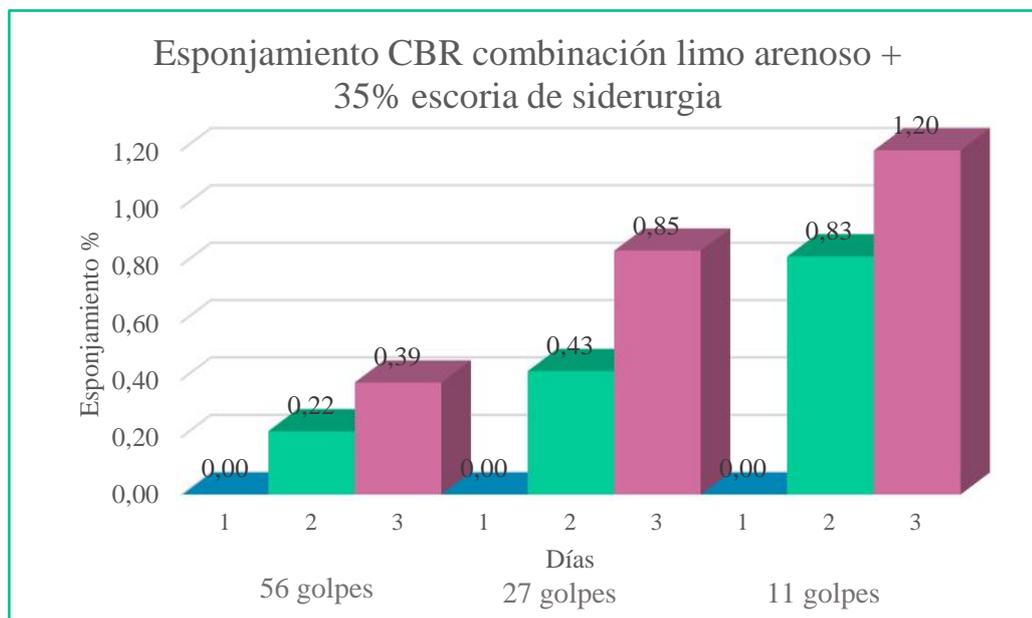
Con 56 golpes → esponjamiento de 0,80

Con 27 golpes → esponjamiento de 1,28

Con 11 golpes → esponjamiento de 1,46

Se observa que en la combinación suelo limo arenoso + 10% de escoria de siderurgia mientras más compacto sea el suelo el esponjamiento es menor.

GRÁFICO 53. Gráfico comparativo esponjamiento del suelo limo arenoso + 35% escoria de siderurgia



**Fuente:** Cynthia Tirado

**Análisis:**

En el gráfico 53 observamos como el esponjamiento incrementa a medida que pasa el tiempo de sumersión. Las probetas ensayadas al tercer día de sumersión tienen el valor más elevado. A continuación, se detallan:

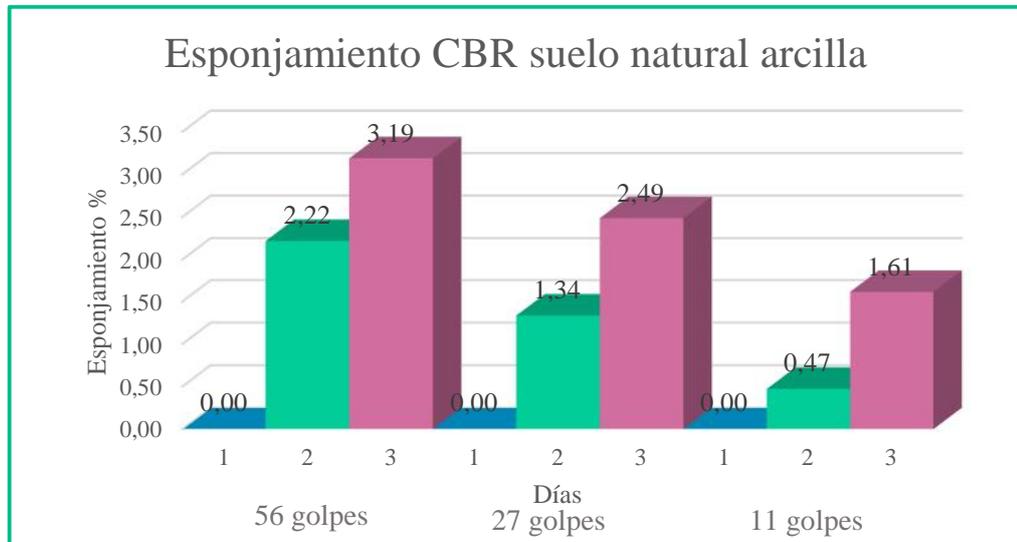
Con 56 golpes → esponjamiento de 0,39

Con 27 golpes → esponjamiento de 0,85

Con 11 golpes → esponjamiento de 1,20

Se observa que en la combinación suelo limo arenoso + 35% de escoria de siderurgia mientras más compacto sea el suelo el esponjamiento es menor.

GRÁFICO 54. Gráfico comparativo esponjamiento del suelo arcilloso



**Fuente:** Cynthia Tirado

**Análisis:**

En el gráfico 54 observamos como el esponjamiento incrementa a medida que pasa el tiempo de sumersión. Las probetas ensayadas al tercer día de sumersión tienen el valor más elevado. A continuación, se detallan:

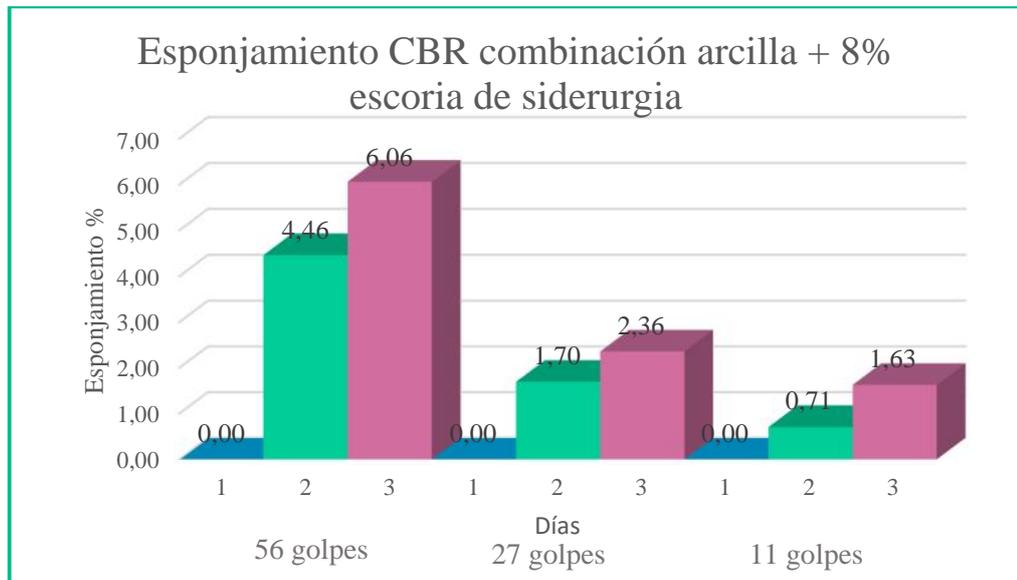
Con 56 golpes → esponjamiento de 3,19

Con 27 golpes → esponjamiento de 2,49

Con 11 golpes → esponjamiento de 1,61

Se observa que en el suelo natural arcilla mientras menos compacto sea el suelo el esponjamiento es menor.

GRÁFICO 55. Gráfico comparativo esponjamiento del suelo arcilloso + 8% escoria de siderurgia



Fuente: Cynthia Tirado

**Análisis:**

En el gráfico 55 observamos como el esponjamiento incrementa a medida que pasa el tiempo de sumersión. Las probetas ensayadas al tercer día de sumersión tienen el valor más elevado. A continuación, se detallan:

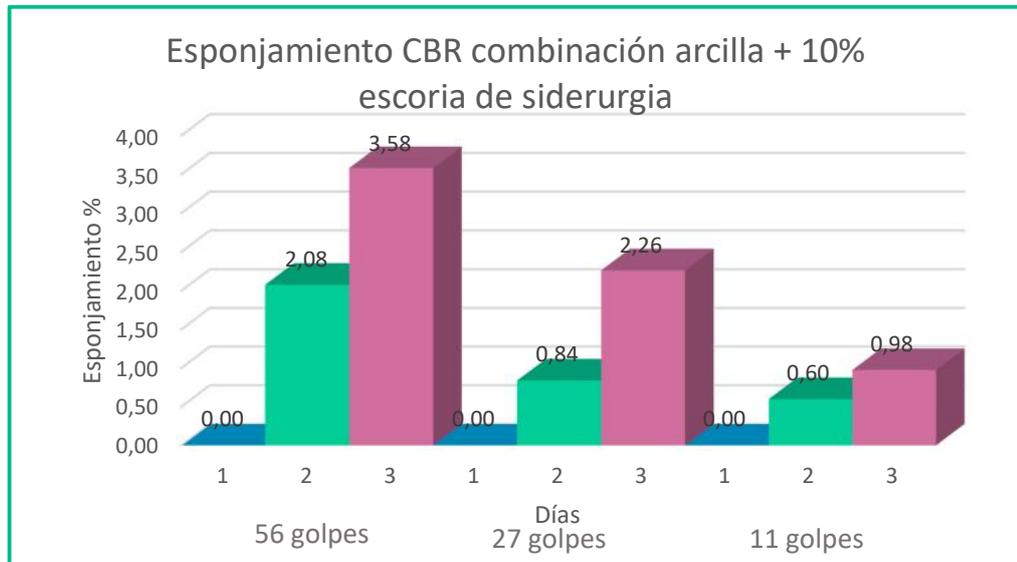
Con 56 golpes → esponjamiento de 6,06

Con 27 golpes → esponjamiento de 2,36

Con 11 golpes → esponjamiento de 1,63

Se observa que en la combinación suelo arcilloso + 8% escoria de siderurgia mientras menos compacto sea el suelo el esponjamiento es menor.

GRÁFICO 56. Gráfico comparativo esponjamiento del suelo arcilloso + 10% escoria de siderurgia



**Fuente:** Cynthia Tirado

**Análisis:**

En el gráfico 56 observamos como el esponjamiento incrementa a medida que pasa el tiempo de sumersión. Las probetas ensayadas al tercer día de sumersión tienen el valor más elevado. A continuación, se detallan:

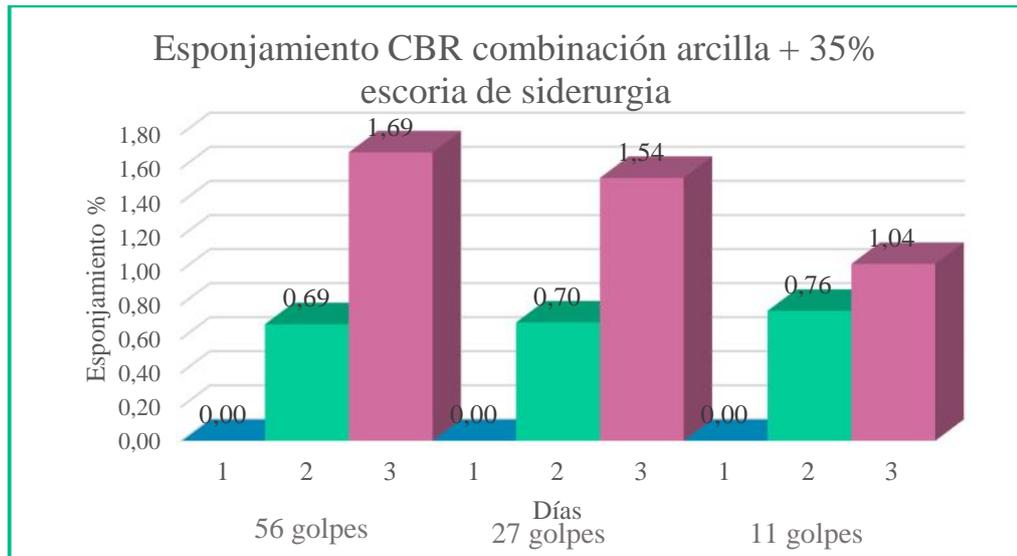
Con 56 golpes → esponjamiento de 3,58

Con 27 golpes → esponjamiento de 2,26

Con 11 golpes → esponjamiento de 0,98

Se observa que en la combinación suelo arcilloso + 10% escoria de siderurgia mientras menos compacto sea el suelo el esponjamiento es menor.

GRÁFICO 57. Gráfico comparativo esponjamiento del suelo arcilloso + 35% escoria de siderurgia



Fuente: Cynthia Tirado

**Análisis:**

En el gráfico 55 observamos como el esponjamiento incrementa a medida que pasa el tiempo de sumersión. Las probetas ensayadas al tercer día de sumersión tienen el valor más elevado. A continuación, se detallan:

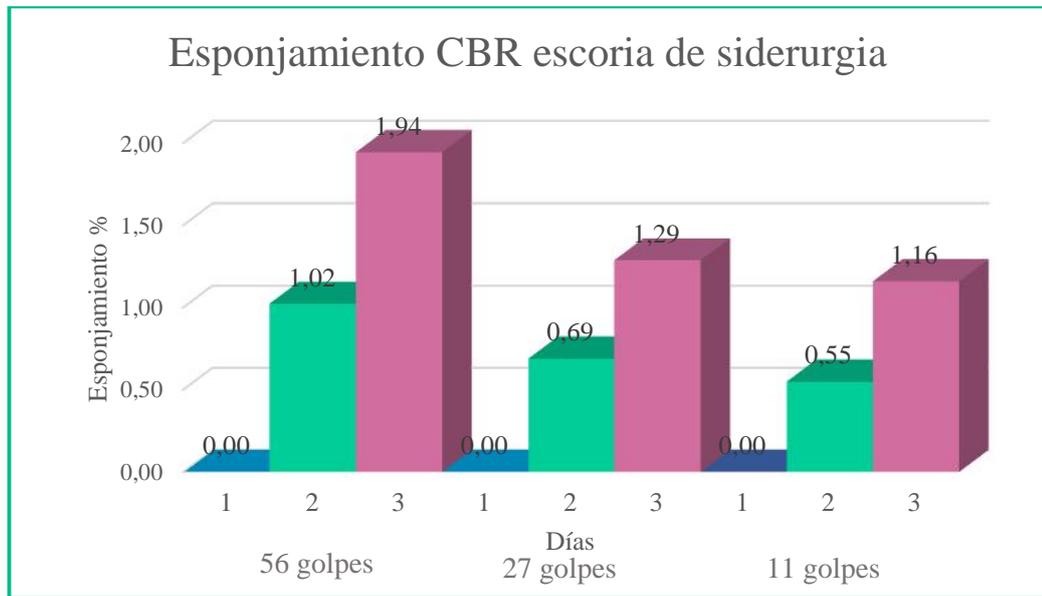
Con 56 golpes → esponjamiento de 1,69

Con 27 golpes → esponjamiento de 1,54

Con 11 golpes → esponjamiento de 1,04

Se observa que en la combinación suelo arcilloso + 35% escoria de siderurgia mientras menos compacto sea el suelo el esponjamiento es menor.

GRÁFICO 58. Gráfico comparativo esponjamiento de escoria de siderurgia



Fuente: Cynthia Tirado

**Análisis:**

En el gráfico 55 observamos como el esponjamiento incrementa a medida que pasa el tiempo de sumersión. Las probetas ensayadas al tercer día de sumersión tienen el valor más elevado. A continuación, se detallan:

Con 56 golpes → esponjamiento de 1,94

Con 27 golpes → esponjamiento de 1,29

Con 11 golpes → esponjamiento de 1,16.

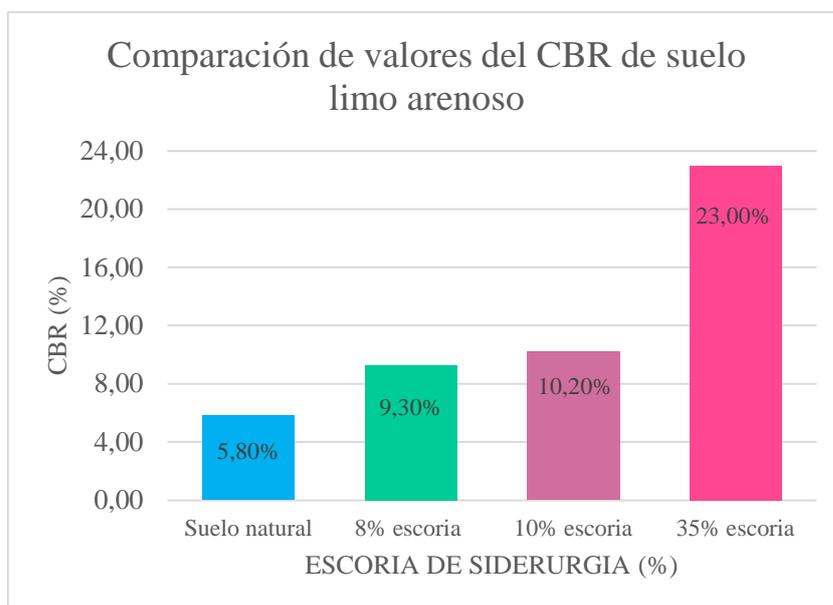
Se observa que en la combinación suelo arcilloso + 35% escoria de siderurgia mientras menos compacto sea el suelo el esponjamiento es menor.

### 3.2. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Una vez determinados los valores de CBR de los suelos y sus correspondientes combinaciones con escoria de siderurgia se indica una comparación de resultados en los gráficos 59 y 60.

La combinación de escoria de siderurgia con el suelo limo arenoso mejoró las propiedades del suelo de manera significativa así se muestra en el gráfico 60.

GRÁFICO 59. Análisis comparativo del CBR del suelo limo arenoso



Fuente: Cynthia Tirado

**Ho:** Hipótesis Nula    **Hi:** Hipótesis Alternativa

**Ho:** El uso de escoria de siderurgia no mejora de manera significativa el CBR del suelo limo arenoso.

**Hi:** El uso de escoria de siderurgia mejora de manera significativa el CBR del suelo limo arenoso.

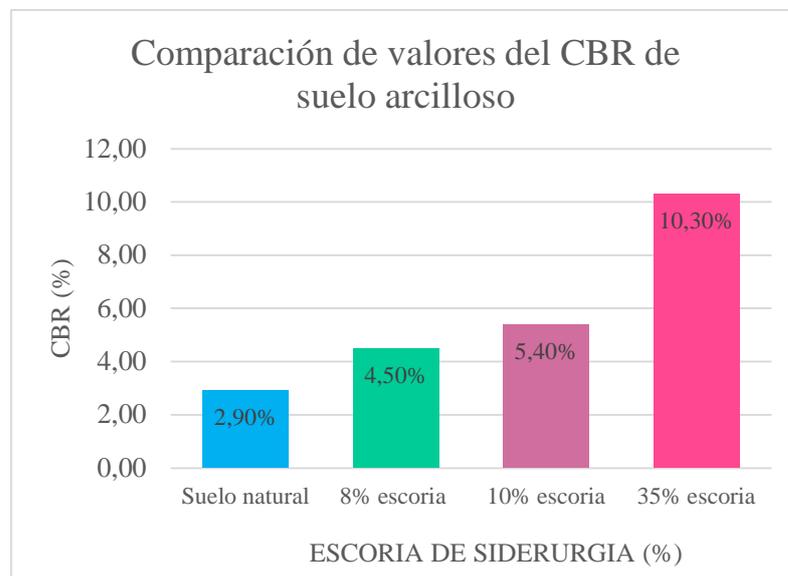
El uso de la escoria de siderurgia mejoró significativamente el suelo siendo este apto como sub rasante, se eligió el valor más alto de CBR del suelo natural y se comparó con el valor de CBR del suelo estabilizado.

La capacidad de soporte del suelo aumentó su CBR en un 17,2% correspondiente al 35% de escoria de siderurgia siendo éste el porcentaje óptimo para mejorar las propiedades y ser utilizado como una sub rasante.

Con el análisis realizado se aprueba la Hipótesis Alternativa (**Hi**) el uso de escoria de siderurgia mejora de manera significativa el CBR del suelo limo arenoso.

La combinación de escoria de siderurgia con el suelo arcilloso mejoró las propiedades del suelo de manera ínfima así se muestra en el gráfico 60.

GRÁFICO 60. Análisis comparativo del CBR del suelo arcilloso



**Fuente:** Cynthia Tirado

**Ho:** Hipótesis Nula    **Hi:** Hipótesis Alternativa

**Ho:** El uso de escoria de siderurgia mejora el CBR del suelo arcilloso.

**Hi:** El uso de escoria de siderurgia no mejora el CBR del suelo arcilloso.

El uso de la escoria de siderurgia mejoró de manera ínfima el suelo, se eligió el valor más alto de CBR del suelo natural y se comparó con el valor de CBR del suelo estabilizado.

El CBR aumentó en 7,4% con el 35% de escoria de siderurgia, no es del todo suficiente ya que se encuentra dentro del rango regular-bueno de una sub rasante pero mejoró el CBR por el cual se aprueba la Hipótesis Alternativa (**Hi**) el uso de escoria de siderurgia mejora el CBR del suelo arcilloso.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- Una vez realizado el presente proyecto experimental se determinó mediante los límites de Atterberg que el suelo ensayado muestra #1 sustraído del Pilisurco fue un limo arenoso de baja plasticidad según la clasificación establecida en la tabla del SUCS.
- Una vez realizado el presente proyecto experimental se determinó mediante los límites de Atterberg que el suelo ensayado muestra #2 sustraído de Murialdo fue una arcilla de alta plasticidad según la clasificación establecida en la tabla del SUCS.
- Mediante el ensayo CBR se evaluó y concluyó que a medida que aumenta el porcentaje de escoria de siderurgia va incrementando la capacidad de soporte para ambas muestras siendo más evidente en la muestra limo arenosa y menor en la arcilla.
- A través de los ensayos realizados CBR se determinó que entre los tres porcentajes utilizados 8, 10 y 35% de escoria de siderurgia el porcentaje óptimo para mejorar la capacidad de soporte es del 35% de escoria de siderurgia para la muestra #1 limo arenoso y la muestra #2 arcilla.
- A través de un cuadro comparativo tabla #22 de la pág. 61 se logró establecer que al aumentar el 35% de escoria de siderurgia a la muestra #1 limo arenoso el CBR aumentó de manera significativa siendo CBR 5,80% en el suelo en estado natural y CBR 23% en la combinación de suelo natural limo arenoso + 35% de escoria de siderurgia, obteniendo una mejora de CBR del suelo del 396,6%.
- A través de un cuadro comparativo tabla #23 de la pág. 62 se logró establecer que al aumentar el 35% de escoria de siderurgia a la muestra #2 arcilla el CBR se incrementó siendo CBR 2,90% en el suelo en estado natural y CBR 10,30% la

combinación de suelo natural arcilla + 35% de escoria de siderurgia, obteniendo una mejora de CBR del suelo del 355,2%.

- A medida que se aumenta escoria se observó que el esponjamiento de cada muestra va disminuyendo, siendo más notable con el 35% de escoria de siderurgia combinada en la muestra #1 limo arenoso y en la muestra #2 arcilla.
- Se concluyó que la escoria de siderurgia es un material óptimo e idóneo para la estabilización de suelos, así lo demuestra los ensayos del presente trabajo experimental.
- El valor de CBR de la combinación de suelo limo arenoso + 35% escoria de siderurgia es de 23%, que según la AASHTO-93 es un suelo excelente que puede ser utilizado como subrasante.
- El valor de CBR de la combinación de suelo arcilloso + 35% escoria de siderurgia es de 10.30%, que según la AASHTO-93 es un suelo bueno que puede ser utilizado como subrasante.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

- Triturar el suelo arcilloso cuando esté en estado seco para proceder a realizar el ensayo granulométrico, así como también determinar los límites de Atterberg y Gravedad Específica, ya que a medida que ésta se seca se forman pedazos rígidos de suelo.
- Realizar todos los ensayos necesarios siguiendo los lineamientos de las normas establecidas tanto como la AASHTO, INEN y ASTM.
- Contribuir al presente proyecto experimental con la elaboración de ensayos, aplicando porcentajes diferentes a los utilizados, los mismos que aportarán para el uso de escoria de siderurgia en estabilización de suelos.
- Las muestras de los diferentes tipos de suelos extraídos deben estar completamente secas para la ejecución de distintos ensayos necesarios para obtener datos precisos y adecuados.
- Triturar la escoria de siderurgia para facilitar su trabajabilidad durante el proceso.
- Una vez analizados los datos que refleja el presente proyecto experimental, se recomienda utilizar la escoria de siderurgia como alternativa para estabilizar suelos.

## 1) BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. M. Palomino Ugaz, *ESTABILIZACION DE SUELOS Y SU APLICACIÓN EN EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE*, Lima, 2006.
- [2] A. Piña Méndez, *PROYECTO SOBRE RESÍDUOS: UTILIZACIÓN DE ESCORIAS COMO SUSTITUTOS DE ÁRIDOS*, Sevilla, 2011.
- [3] M. A. Marquina Sierra, *Uso de las escorias obtenidas como sub producto de la elaboración de acero de la planta n°2 de aceros de Arequipa - Pisco para fines de cimentación y pavimentación*, Lima, 2008.
- [4] M. V. A., «Empleo de residuos industriales siderúrgicos como materiales aglomerantes en construcción,» *Revista de Metalurgia*, vol. 34, 1998.
- [5] A. Carrillo Gil y E. García García, «Uso de escorias de acería de horno eléctrico en obras viales,» *XII CONIC*, 2009.
- [6] A. Mazariegos de la Serna, F. Escolano Sánchez y J. R. Sánchez Lavín, *EL ESTUDIO GEOTÉCNICO CAMPAÑA DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO*, Madrid: IBERGARCETA PUBLICACIONES, S.L., 2015.
- [7] A. Rico Rodriguez y H. Del Castillo, *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas*, México: LIMUSA, 2005.
- [8] L. M. Parra Araque y D. P. Sánchez García, «ANÁLISIS DE LA VALORIZACIÓN DE ESCORIAS NEGRAS COMO MATERIAL AGREGADO PARA CONCRETO EN EL MARCO DE LA GESTIÓN AMBIENTAL DE LA SIDERÚRGICA DIACO MUNICIPIO TUTA BOYACÁ,» *Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria*, 2010.
- [9] V. Ortega López, *APROVECHAMIENTO DE ESCORIAS BLANCAS (LFS) Y NEGRAS (EAFS) DE ACERÍA ELÉCTRICA EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y EN CAPAS DE FIRMES DE CAMINOS RURALES*, Burgos, 2011.
- [10] E. Cedeño Linares, A. Cruz-Crespo, L. Perdomo González, A. Simón La Rosa, R. Jerez Pereira y A. Baños, «Evaluación del impacto ambiental de las escorias de cubilote de la fundición "Román Roca",» *Centro Azúcar*, vol. 40, 2013.
- [11] A. J. Leoni, «Relaciones Volumétricas y Gravimétricas,» Buenos Aires, 2010.
- [12] D. F. Jaramillo Jaramillo, «Introducción a la ciencia del suelo,» Medellín, 2002.
- [13] R. Ramírez Carvajal, *PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS*, Santafé de Bogotá, 1997.

- [14] O. Correa Calle, F. J. García Orozco y D. A. Escobar García, «Representación de estados y trayectorias volumétricas y gravimétricas en suelos,» *AVANCES Investigación en Ingeniería*, vol. Vol. 10, n° No. 1, 2013.
- [15] G. Duque Escobar y C. E. Escobar, *GEOMECÁNICA*, Manizales, 2016.
- [16] E. Juárez Badillo y A. Rico Rodríguez, *Mecánica de Suelos*, México DF: LIMUSA, 2005.
- [17] K. Gutiérrez, «Densidad Aparente y Densidad Real,» Lima, 2016.
- [18] M. Del Santo y R. Sandoval, *Propiedades Índices de los Suelos*, La Plata, 2013.
- [19] F. Rivera Trejo, A. Gutiérrez López, R. Val Segura, R. Mejía Zermeño, P. A. Sánchez Ruiz, J. Aparicio Mijares y L. L. Díaz Flores, *La medición de sedimentos en México*, Jiutepec: IMTA, 2005.
- [20] L. G. Cruz Vela, *Mecánica de Suelos I*, Popayán, 2017.
- [21] A. E. Barrios M, *Mecánica de Suelos*, Caracas, 2016.
- [22] H. C. Tavera Mendoza, *GRANULOMETRÍA DE SUELOS*, 2011.
- [23] D. Graux, *FUNDAMENTOS DE MECANICA DEL SUELO, PROYECTO DE MUROS Y CIMENTACIONES*, Barcelona: EDITORES TECNICOS ASOCIADOS, S. A., 1975.
- [24] M. González Caballero, *El terreno*, Barcelona: EDICIONS UPC, 2001.
- [25] J. E. Bowles, *Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil*, México: McGRAW-HILL, 1981.
- [26] N. INVIAS, «ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN,» Bogotá, 2013.
- [27] D. Campos Sandoval y J. Semino Santos, *Propiedades Físicas de los Suelos*, Piura, 2013.
- [28] R. Bazan Tapia, *Propiedades Físicas de los Suelos*, Lima.
- [29] L. Rucks, F. García, A. Kaplán, J. Ponce de León y M. Hill, *Propiedades Físicas del Suelo*, Montevideo, 2004.
- [30] I. Matus Lazo y M. Blanco Rodríguez, «SlideShare,» [En línea].
- [31] C. Crespo Villalaz, *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, Monterrey: LIMUSA, 2004.

- [32] K. Rutledge, M. McDaniel, D. Boudreau, T. Ramroop, S. Teng, E. Sprout, H. Costa, H. Hall y J. Hunt, «Silt,» 13 Mayo 2011. [En línea]. Available: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/silt/>.
- [33] A. E. Mendoza y V. A. Vásquez, *CURSO DE PRODUCCIÓN DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS ALIMENTICIOS DEL DISTRITO DE ZAPOTITAN, ZAPOTITAN*, 1983.
- [34] J. R. Bernal, *Hormigón armado*, Zapatas, Buenos Aires: Nobuko, 2005.
- [35] E. García Romero y M. Suárez Barrios, «GEOLOGÍA DE ARCILLAS,» [En línea]. Available: <http://campus.usal.es/~delcien/doc/GA.PDF>.
- [36] O. Z. Cuchillo Cayturo, «civilgeeks.com,» 27 Junio 2015. [En línea]. Available: <https://civilgeeks.com/2015/06/27/guia-la-estabilizacion-suelos/>.
- [37] J. Suárez Días, *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS*, Bucaramanga.
- [38] O. Urbanas, «La tecnología integrada de compactación de suelos de Caterpillar proporciona homogeneidad y estimula la productividad,» 2014.
- [39] «Soil Stabilization».
- [40] «ESTABILIZACION DE SUELOS PARA PAVIMENTOS».
- [41] K. HOLDING, *Mezcla de suelos para la mejora del suelo*.
- [42] H. D. O. T. ARMY, «Military Soil Engineering FM 5-410,» Washington, 1997.
- [43] Prefanicsa, *Calidra*.
- [44] J. Pérez Porto, *Definición de escoria*, 2017.
- [45] R. L. Paci y C. N. Orellana, *Guía de Mejores Técnicas Disponibles para el Manejo de Escorias de Metalúrgica en el sector de Fundición*, 2011.
- [46] J. Calleja, «Escorias y cementos siderúrgicos,» *Materiales de Construcción*, n° 186, 1982.
- [47] C. González, «Siderurgia Integral,» 10 Diciembre 2015. [En línea]. Available: [http://siderurgiaintegral.blogspot.com/2015/12/equipos\\_10.html](http://siderurgiaintegral.blogspot.com/2015/12/equipos_10.html).
- [48] J. E. Bowles, *Manual de LABORATORIO DE SUELOS en Ingeniería Civil*, Bogotá: McGRAW-HILL, 1981.
- [49] J. Rojas, «DENSIDAD APARENTE,» Resistencia.

## 2) ANEXOS

### ANEXO A: FOTOGRAFÍAS

#### - ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD

	
<p>Peso de los recipientes metálicos</p>	<p>Recipientes metálicos con muestra de arcilla seca</p>
	
<p>Recipientes metálicos con muestra de escoria seca</p>	<p>Recipientes metálicos con muestra de Limo arenoso seca</p>

- ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA



Muestra de arcilla seca que se coloca en los tamices



Muestra de limo arenoso seca que se coloca en los tamices



Muestra de escoria de siderurgia seca que se coloca en los tamices



Tamices colocados en la tamizadora con la muestra a ensayar

- ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO



Muestra de arcilla seca y pulverizada



Colocación de la muestra de suelo en la copa de Casagrande



Conteo del número de golpes en la copa de Casagrande



Muestras secas del ensayo

- ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO



Pulverización y mezcla de la muestra y agua



Rollos de la mezcla en la placa de vidrio



Muestras secas de arcilla

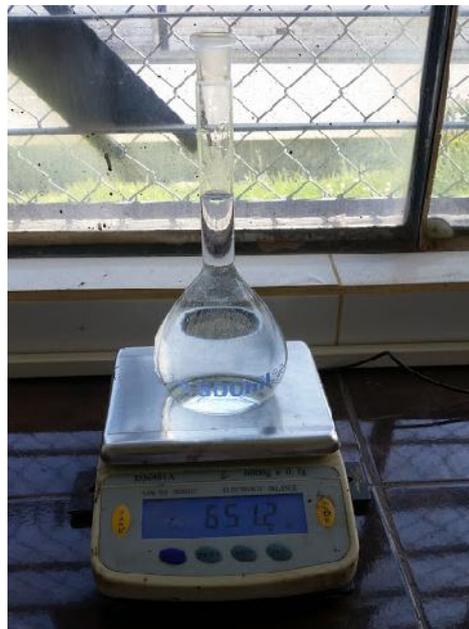


Muestras secas de limo arenoso

**- ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRAVEDAD ESPECÍFICA**



**Peso de la muestra de suelo**



**Peso de picnómetro + agua**



**Picnómetro más muestra de suelo más agua**



**Rotación del picnómetro hasta que salgan todas sus burbujas**

**- ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO**



Peso muestra de suelo



Peso de molde sin collarín



Mezcla de la muestra más el contenido de humedad



División del suelo para colocarlo en capas

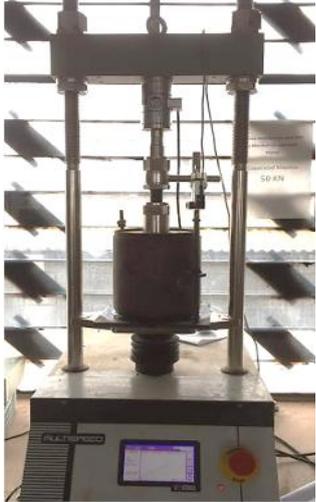


Compactación del suelo por capas con el martillo



Peso del molde más suelo compactado

- ENSAYO DE CBR (California Bearing Ratio)

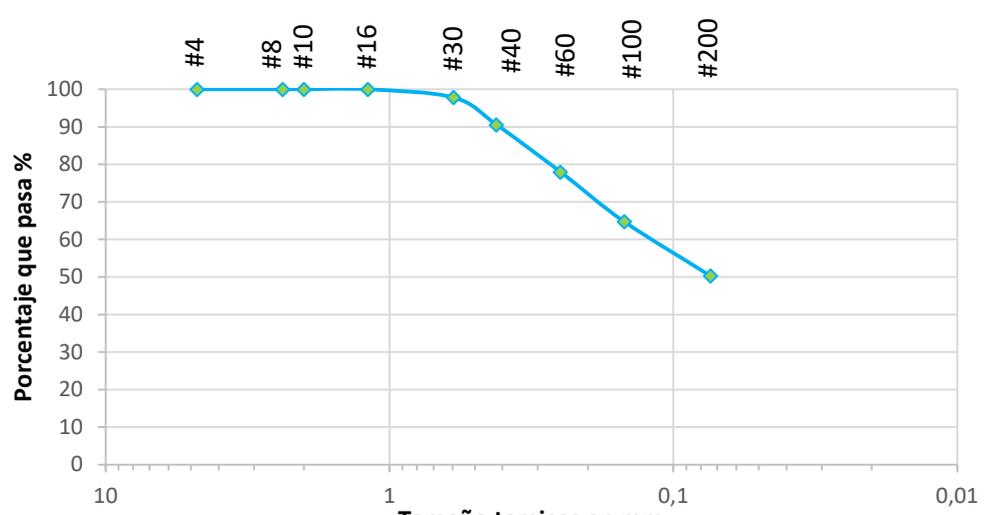
	
<p>Peso de molde más suelo compactado</p>	<p>Sumersión de los moldes con el suelo compactado</p>
	
<p>Lectura del esponjamiento con el dial</p>	<p>Molde más suelo compactado en la máquina de compresión</p>
 <p>Moldes con el suelo ensayado</p>	

## ANEXO B: ENSAYO GRANULOMÉTRICO

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>				
<b>LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”</b>				
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Pilisurco-Tungurahua-Ecuador			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez			
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas			
<b>NORMA:</b>	ASTM D 421 y D 422; AASHTO T-87 y T-88			
DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE SUELOS MUESTRA #1				
TAMIZ #		PESO RET/ACUM	% RETENIDO	% QUE PASA
plg	mm			
#4	4,76	0		100
#8	2,38	0	0,00	100,00
#10	2	0	0,00	100,00
#16	1,19	0	0,00	100,00
#30	0,595	5,4	2,16	97,84
#40	0,42	18,2	7,28	90,56
#60	0,25	31,4	12,56	78,00
#100	0,149	33,1	13,24	64,76
#200	0,074	36,1	14,44	50,32
<b>Pasa tamiz #200</b>		125,8	50,32	
<b>Peso de la muestra seca</b>	250,0			

Curva Granulométrica de suelo natural Limo arenoso



Tamaño tamices en mm	Porcentaje que pasa %
4,76 (#4)	100
2,38 (#8)	100
2 (#10)	100
1,19 (#16)	100
0,595 (#30)	97,84
0,42 (#40)	90,56
0,25 (#60)	78,00
0,149 (#100)	64,76
0,074 (#200)	50,32



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**



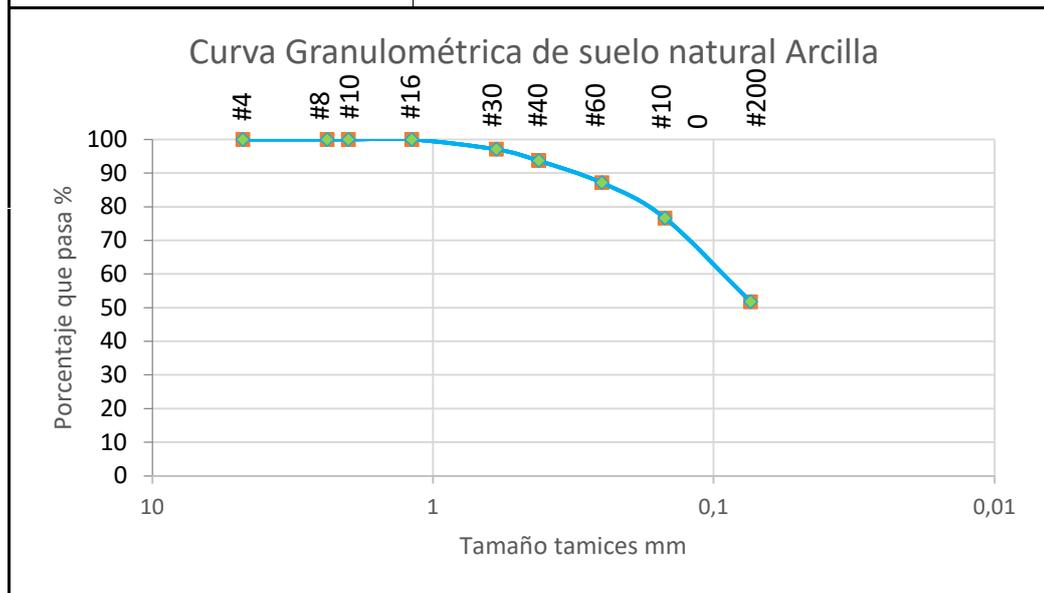
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**

“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Murialdo-Pastaza-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	ASTM D 421 y D 422; AASHTO T-87 y T-88

**DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE SUELOS MUESTRA #2**

TAMIZ #		PESO RET/ACUM	% RETENIDO	% QUE PASA
plg	mm			
#4	4,76	0		100
#8	2,38	0	0,00	100,00
#10	2	0	0,00	100,00
#16	1,19	0	0,00	100,00
#30	0,595	7,2	2,88	97,12
#40	0,42	8,6	3,44	93,68
#60	0,25	16,3	6,52	87,15
#100	0,149	26,3	10,52	76,63
#200	0,074	62,1	24,85	51,78
<b>Pasa tamiz #200</b>		129,4	<b>51,78</b>	
<b>Peso de la muestra seca</b>		249,9		





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

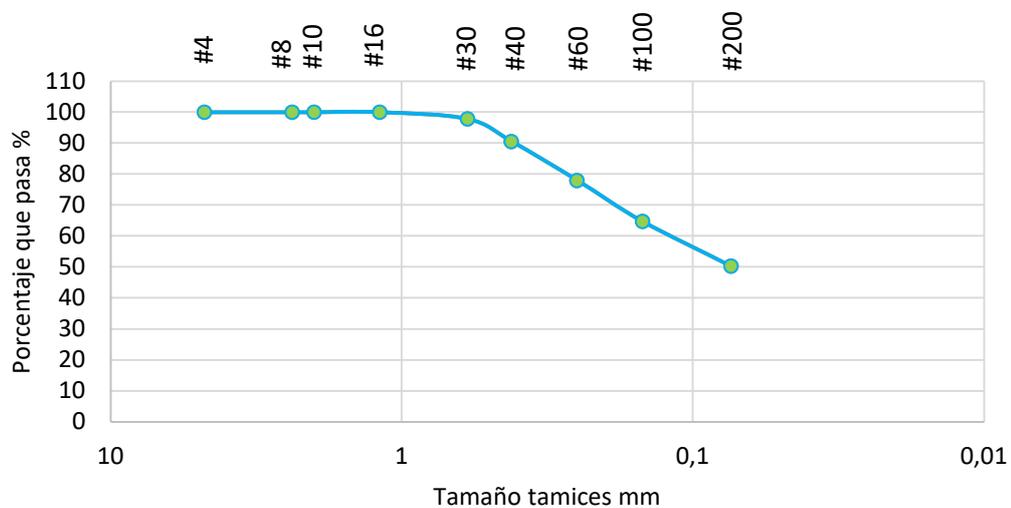


**LABORATORIO MECÁNICA DE**  
**SUELOS INGENIERÍA CIVIL**

“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Ambato-Tungurahua-Ecuador			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez			
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas			
<b>NORMA:</b>	ASTM D 421 y D 422; AASHTO T-87 y T-88			
<b>DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE SUELOS ESCORIA</b>				
TAMIZ #		PESO RET/ACUM	% RETENIDO	% QUE PASA
plg	mm			
#4	4,76	0		100
#8	2,38	0	0,00	100,00
#10	2	0,5	0,20	99,80
#16	1,19	42,5	17,01	82,79
#30	0,595	106,9	42,78	40,02
#40	0,42	47,4	18,97	21,05
#60	0,25	6,3	2,52	18,53
#100	0,149	18,6	7,44	11,08
#200	0,074	14,2	5,68	5,40
<b>Pasa tamiz #200</b>		13,5	<b>5,40</b>	
<b>Peso de la muestra seca</b>	249,9			

Curva Granulométrica de Escoria de Siderurgia



## ANEXO C: ENSAYO DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA	
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL	
“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”	
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Pilisurco-Tungurahua-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	
<b>DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG SUELO #1</b>	
<b>DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO SUELO #1</b>	
<b>Recipiente N°</b>	
<b>Peso muestra húmeda + recipiente; (Wm+rec)</b>	(gr) 16,50 16,80 18,90 18,90 19,70 19,10 16,30 17,90
<b>Peso muestra seca + recipiente; (Ws+rec)</b>	(gr) 14,90 15,20 16,40 16,90 17,50 16,90 15,00 16,20
<b>Peso recipiente; (rec)</b>	(gr) 11,10 11,00 10,80 11,00 11,30 11,20 11,00 11,40
<b>Peso agua; (Ww)</b>	(gr) 1,60 1,60 2,50 2,00 2,20 2,20 1,30 1,70
<b>Peso muestra seca; (Wa)</b>	(gr) 3,80 4,20 5,60 5,90 6,20 5,70 4,00 4,80
<b>Contenido de humedad w%</b>	(%) 42,11 38,10 44,64 33,90 35,48 38,60 32,50 35,42
<b>Contenido de Humedad Promedio w%</b>	(%) 40,10 39,27 37,04 33,96
<b>Número de golpes</b>	# 14 20 28 37
<b>REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL LÍMITE LÍQUIDO SUELO #1</b>	
<p><b>Gráfica Límite Líquido</b></p>	
<b>DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO SUELO #1</b>	
<b>Recipiente N°</b>	
<b>Peso muestra húmeda + recipiente; (Wm+rec)</b>	(gr) 11,80 11,90 11,70 11,20 12,00
<b>Peso muestra seca + recipiente; (Ws+rec)</b>	(gr) 11,50 11,60 11,40 11,10 11,60
<b>Peso recipiente; (rec)</b>	(gr) 10,60 10,70 10,60 10,50 10,70
<b>Peso agua; (Ww)</b>	(gr) 0,30 0,30 0,30 0,10 0,40
<b>Peso muestra seca; (Wa)</b>	(gr) 0,90 0,90 0,80 0,60 0,90
<b>Contenido de humedad w%</b>	(%) 33,33 33,33 37,50 16,67 44,44
<b>Contenido de Humedad Promedio w%</b>	(%) 33,06
<b>LÍMITES DE ATTERBERG</b>	
<b>Límite Líquido (Ll%)</b>	37,50
<b>Límite Plástico (Lp%)</b>	33,06
<b>Índice de Plasticidad (Ip%)</b>	4,44
<b>CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN SUCS</b>	ML (Limo-arenoso de Baja Plasticidad)



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Muriaklo-Pastaza-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	

**DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG SUELO #2**

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO SUELO #2**

Recipiente N°		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso muestra húmeda + recipiente; (Wm+rec)	(gr)	20,50	18,40	17,10	17,30	18,80	18,90	22,20	22,00
Peso muestra seca + recipiente; (Ws+rec)	(gr)	17,20	15,30	14,80	14,90	15,80	15,90	18,10	17,80
Peso recipiente; (rec)	(gr)	11,50	11,30	10,80	11,60	11,00	11,10	10,80	11,30
Peso agua; (Ww)	(gr)	3,30	3,10	2,30	2,40	3,00	3,00	4,10	4,20
Peso muestra seca; (Wa)	(gr)	5,70	4,00	4,00	3,30	4,80	4,80	7,30	6,50
Contenido de humedad w%	(%)	57,89	77,50	57,50	72,73	62,50	62,50	56,16	64,62
Contenido de Humedad Promedio w%	(%)	67,70			65,11		62,50		60,39
Número de golpes	#	15			21		28		32

**REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL LÍMITE LÍQUIDO SUELO #2**



**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO SUELO #2**

Recipiente N°		1	2	3	4	5
Peso muestra húmeda + recipiente; (Wm+rec)	(gr)	7,20	7,10	6,90	7,00	7,10
Peso muestra seca + recipiente; (Ws+rec)	(gr)	6,80	6,70	6,60	6,70	6,80
Peso recipiente; (rec)	(gr)	6,00	6,10	6,00	6,00	6,20
Peso agua; (Ww)	(gr)	0,40	0,40	0,30	0,30	0,30
Peso muestra seca; (Wa)	(gr)	0,80	0,60	0,60	0,70	0,60
Contenido de humedad w%	(%)	50,00	66,67	50,00	42,86	50,00
Contenido de Humedad Promedio w%	(%)	51,90				

**LÍMITES DE ATTERBERG**

<b>Límite Líquido (Ll%)</b>	64,00
<b>Límite Plástico (Lp%)</b>	51,90
<b>Índice de Plasticidad (Ip%)</b>	12,10
<b>CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN SUCS</b>	CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

## ANEXO D: ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS</b> <b>INGENIERÍA CIVIL</b>	
<b>“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”</b>		
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Pilisurco-Tungurahua-Ecuador	
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez	
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas	
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-100/ INEN 156	
<b>DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA #1</b>		
<b>Muestra N°</b>	<b>1</b>	
<b>Picnómetro N°</b>	<b>GERMANY</b>	
<b>Temperatura del agua y suelo °C</b>	18	
<b>Recipiente N°</b>	2	
<b>Peso recipiente (Wr)</b>	41,1	
<b>Peso recipiente + suelo seco (Wr + Ws)</b>	87,3	
<b>Peso suelo seco (Ws)</b>	46,2	
<b>Peso picnómetro + agua (Wbw)</b>	648	
<b>Ws+Wbw</b>	694,2	
<b>Peso picnómetro + agua + suelo (Wbws)</b>	677	
<b>Desplazamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)</b>	17,2	
<b>Factor de corrección de temperatura (k)</b>	0,9986	
<b>Gravedad Específica (Gs)</b>	2,68	
<b>Gravedad Específica promedio (Gs)</b>	2,682	



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y**  
**MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS**  
**INGENIERÍA CIVIL**



“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Murialdo-Pastaza-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-100/ INEN 156
<b>DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA #2</b>	
<b>Muestra N°</b>	<b>1</b>
<b>Picnómetro N°</b>	<b>GERMANY</b>
<b>Temperatura del agua y suelo °C</b>	18
<b>Recipiente N°</b>	1
<b>Peso recipiente (Wr)</b>	62,4
<b>Peso recipiente + suelo seco (Wr + Ws)</b>	105,2
<b>Peso suelo seco (Ws)</b>	42,8
<b>Peso picnómetro + agua (Wbw)</b>	648
<b>Ws+Wbw</b>	690,8
<b>Peso picnómetro + agua + suelo (Wbws)</b>	675,1
<b>Desplazamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)</b>	15,7
<b>Factor de corrección de temperatura (k)</b>	0,9986
<b>Gravedad Específica (Gs)</b>	2,72
<b>Gravedad Específica promedio (Gs)</b>	2,722



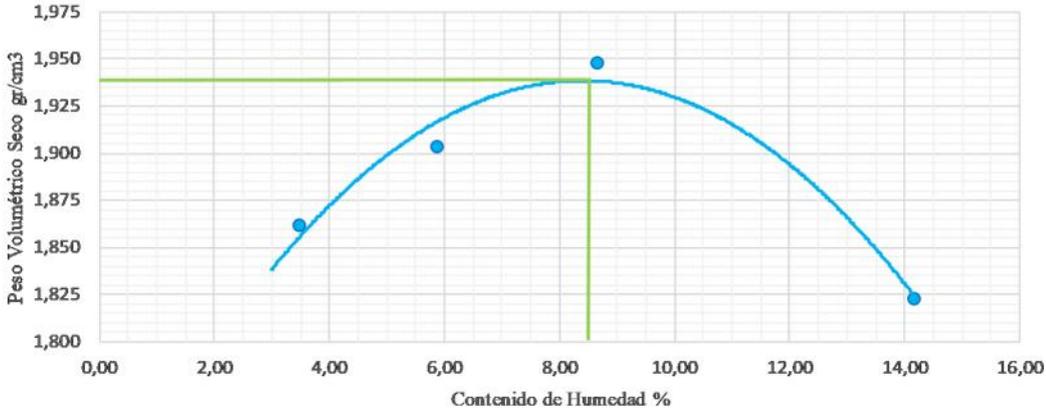
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y**  
**MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS**  
**INGENIERÍA CIVIL**



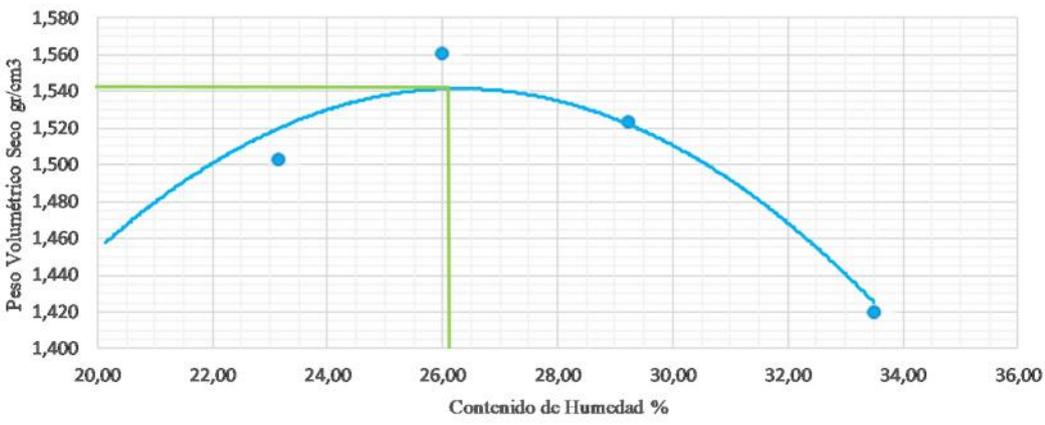
“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Ambato-Tungurahua-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-100/ INEN 156
<b>DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA ESCORIA</b>	
<b>Muestra N°</b>	<b>1</b>
<b>Picnómetro N°</b>	<b>GERMANY</b>
<b>Temperatura del agua y suelo °C</b>	18
<b>Recipiente N°</b>	3
<b>Peso recipiente (Wr)</b>	43,2
<b>Peso recipiente + suelo seco (Wr + Ws)</b>	87,3
<b>Peso suelo seco (Ws)</b>	44,1
<b>Peso picnómetro + agua (Wbw)</b>	651,2
<b>Ws+Wbw</b>	695,3
<b>Peso picnómetro + agua + suelo (Wbws)</b>	682,7
<b>Desplazamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)</b>	12,64
<b>Factor de corrección de temperatura (k)</b>	0,9986
<b>Gravedad Específica (Gs)</b>	3,48
<b>Gravedad Específica promedio (Gs)</b>	3,484

## ANEXO E: ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO J ESCORIA DE SIDERURGIA

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL</b>							
<b>“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”</b>								
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Ambato-Ecuador							
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez							
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas							
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180							
<b>PRÓCTOR MODIFICADO TIPO D MUESTRA ESCORIA DE SIDERURGIA</b>								
Número de golpes	56	Número de capas	5	Altura molde	12,1			
Altura de caída	18"	Peso molde	14952	Diámetro molde	15,20			
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180	Volumen molde	2195,65			
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>								
Número de ensayo	1	2	3	4				
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000				
Humedad inicial estimada %	3	6	9	16				
Peso del molde y el suelo húmedo	19181	19377	19598	19521				
Peso suelo húmedo Wm	4229	4425	4646	4569				
Peso unitario húmedo	1,926	2,015	2,116	2,081				
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
Número de recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso muestra húmeda + recp	141,2	168,1	138,6	169,4	171,5	201,3	171,3	189,7
Peso muestra seca + recp	137,8	165	132,5	161,5	160,3	187,1	152,8	170,3
Peso recipiente	30,5	26,6	30,4	24,8	30,8	23,1	24,5	30,9
Peso del agua	3,4	3,1	6,1	7,9	11,2	14,2	18,5	19,4
Peso muestra seca	107,3	81,5	102,1	136,7	129,5	164	128,3	139,4
Contenido de humedad	3,17	3,80	5,97	5,78	8,65	8,66	14,42	13,92
w% promedio	3,49		5,88		8,65		14,17	
Peso volumétrico seco	1,861		1,903		1,947		1,823	
<b>RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD - DENSIDAD</b>								
								
<b>Resultados del ensayo</b>	<b>Densidad máxima <math>\gamma_{máx} = 1,937 \text{ gr/cm}^3</math></b> <b>Contenido de humedad óptimo <math>w = 8,50 \%</math></b>							

) LIMO ARENOSO

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL</b>								
<b>“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”</b>								
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Pilisurco-Tungurahua-Ecuador							
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez							
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas							
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180							
<b>PRÓCTOR MODIFICADO TIPO D SUELO #1 LIMO ARENOSO</b>								
Número de golpes	56	Número de capas	5	Altura molde	12,1			
Altura de caída	18"	Peso molde	14952	Diámetro molde	15,20			
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180	Volumen molde	2195,65			
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>								
Número de ensayo	1	2	3	4				
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000				
Humedad inicial estimada %	1	3	6	9				
Peso del molde y el suelo húmedo	19017	19270	19274	19115				
Peso suelo húmedo Wm	4065	4318	4322	4163				
Peso unitario húmedo	1,851	1,967	1,968	1,896				
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
Número de recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso muestra húmeda + recp	123,9	129,8	123,1	137	154	140,1	180,4	173,8
Peso muestra seca + recp	105,5	110,6	103,8	115,1	124,9	114,1	142,9	137,9
Peso recipiente	24,6	26	29,9	30,4	25	25,4	30,8	30,9
Peso del agua	18,4	19,2	19,3	21,9	29,1	26	37,5	35,9
Peso muestra seca	80,9	81,5	73,9	84,7	99,9	88,7	112,1	107
Contenido de humedad	22,74	23,56	26,12	25,86	29,13	29,31	33,45	33,55
w% promedio	23,15		25,99		29,22		33,50	
Peso volumétrico seco	1,503		1,561		1,523		1,420	
<b>RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD - DENSIDAD</b>								
								
<b>Resultados del ensayo</b>	Densidad máxima $\gamma_{\text{máx}} = 1,542 \text{ gr/cm}^3$ Contenido de humedad óptimo $w = 26,20 \%$							



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Pilisorco-Tungurahua-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180

**ÓCTOR MODIFICADO TIPO D SUELO #1 LIMO ARENOSO + 8% ESCORIA DE SIDERURCO**

Número de golpes	56	Número de capas	5	Altura molde	12,1
Altura de caída	18"	Peso molde	14952	Diámetro molde	15,20
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180	Volumen molde	2195,65

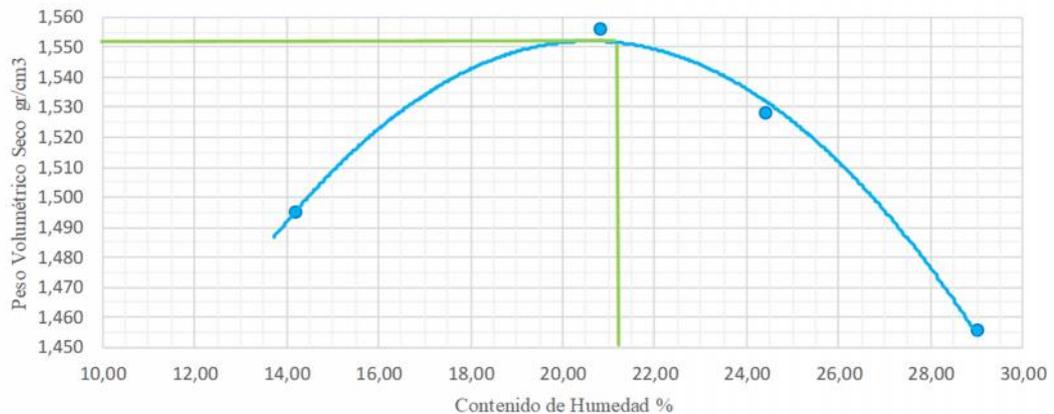
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN**

Número de ensayo	1	2	3	4
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000
Humedad inicial estimada %	1	3	6	9
Peso del molde y el suelo húmedo	18701	19079	19125	19075
Peso suelo húmedo Wm	3749	4127	4173	4123
Peso unitario húmedo	1,707	1,880	1,901	1,878

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

Número de recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso muestra húmeda + recp	57,2	65,3	67,2	69,7	106,4	84,1	96,1	95,3
Peso muestra seca + recp	49,6	56,6	56,9	59,1	87,4	68,8	75,5	76,2
Peso recipiente	6,8	7,9	7,7	7,9	8	7,3	7,6	7,2
Peso del agua	7,6	8,7	10,3	10,6	19	15,3	20,6	19,1
Peso muestra seca	42,8	81,5	49,2	51,2	79,4	61,5	67,9	69
Contenido de humedad	17,76	10,67	20,93	20,70	23,93	24,88	30,34	27,68
w% promedio	14,22		20,82		24,40		29,01	
Peso volumétrico seco	1,495		1,556		1,528		1,456	

**RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD - DENSIDAD**



<b>Resultados del ensayo</b>	Densidad máxima $\gamma_{\text{máx}} = 1,551 \text{ gr/cm}^3$
	Contenido de humedad óptimo $w = 21,30 \%$



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Pilisurco-Tungurahua-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180

**FACTORES MODIFICADO TIPO D SUELO #1 LIMO ARENOSO + 10% ESCORIA DE SIDERURGIA**

Número de golpes	56	Número de capas	5	Altura molde	12,1
Altura de caída	18"	Peso molde	14952	Diámetro molde	15,20
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180	Volumen molde	2195,65

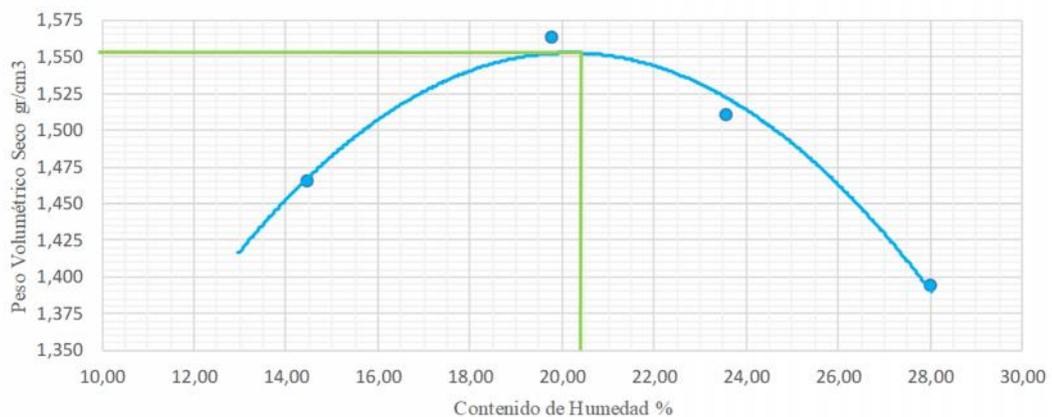
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN**

Número de ensayo	1	2	3	4
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000
Humedad inicial estimada %	1	3	6	9
Peso del molde y el suelo húmedo	18633	19061	19052	18869
Peso suelo húmedo Wm	3681	4109	4100	3917
Peso unitario húmedo	1,676	1,871	1,867	1,784

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

Número de recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso muestra húmeda + recp	56,7	63,9	55,2	58,1	66,3	69,7	117,3	103,9
Peso muestra seca + recp	49,6	54,1	47,3	49,8	55,6	57,3	92,6	83,4
Peso recipiente	7,6	7,3	7,8	7,3	7,5	7,5	7,2	7,8
Peso del agua	7,1	9,8	7,9	8,3	10,7	12,4	24,7	20,5
Peso muestra seca	42	81,5	39,5	42,5	48,1	49,8	85,4	75,6
Contenido de humedad	16,90	12,02	20,00	19,53	22,25	24,90	28,92	27,12
w% promedio	14,46		19,76		23,57		28,02	
Peso volumétrico seco	1,465		1,563		1,511		1,394	

**RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD - DENSIDAD**



<b>Resultados del ensayo</b>	Densidad máxima $\gamma_{\max} = 1,553 \text{ gr/cm}^3$
	Contenido de humedad óptimo $w = 20,50 \%$



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Pilsurco-Tungurahua-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180

**ÓCTOR MODIFICADO TIPO D SUELO #1 LIMO ARENOSO + 35% ESCORIA DE SIDERUR**

Número de golpes	56	Número de capas	5	Altura molde	12,1
Altura de caída	18"	Peso molde	14952	Diámetro molde	15,20
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180	Volumen molde	2195,65

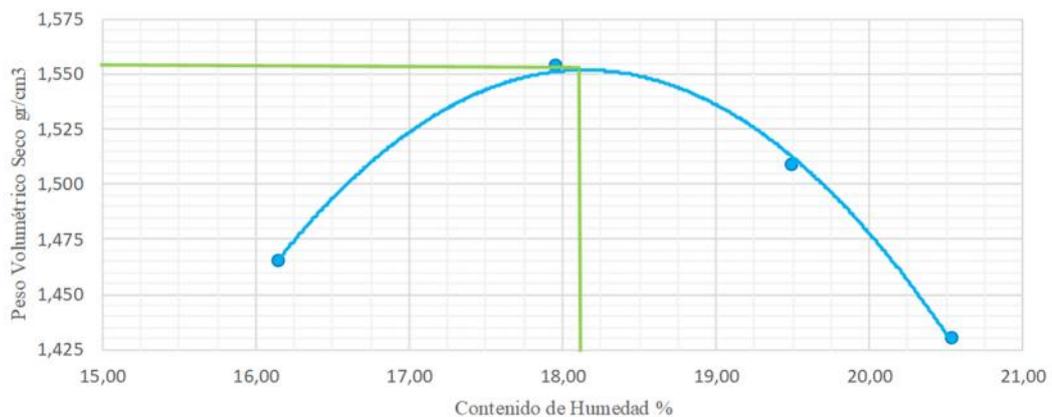
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN**

Número de ensayo	1	2	3	4
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000
Humedad inicial estimada %	1	3	6	9
Peso del molde y el suelo húmedo	18689	18977	18910	18737
Peso suelo húmedo Wm	3737	4025	3958	3785
Peso unitario húmedo	1,702	1,833	1,803	1,724

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

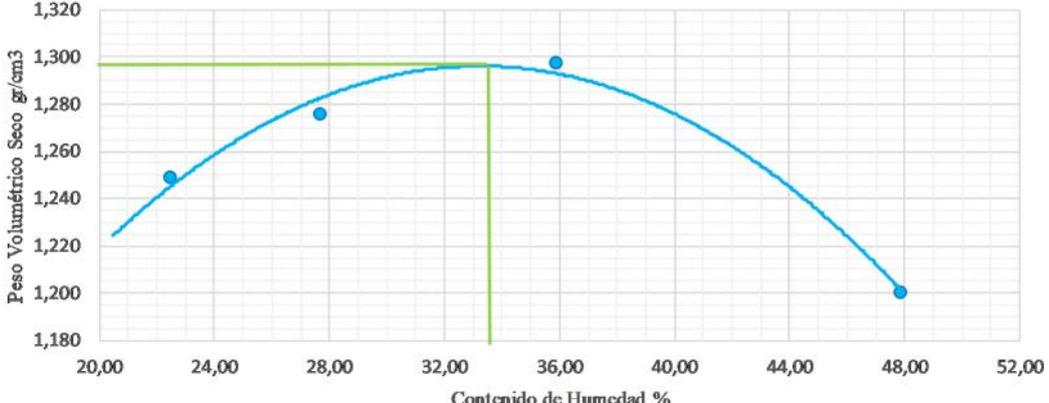
Número de recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso muestra húmeda + recip	132,5	126,9	130,2	126,2	142,8	128,7	127,6	136,1
Peso muestra seca + recip	119,8	109,8	113,8	106,1	121,4	108,3	114,7	107,2
Peso recipiente	7,6	7,3	7,8	7,8	7,3	7,5	7,2	7,8
Peso del agua	12,7	17,1	16,4	20,1	21,4	20,4	12,9	28,9
Peso muestra seca	112,2	81,5	106	98,3	114,1	100,8	107,5	99,4
Contenido de humedad	11,32	20,98	15,47	20,45	18,76	20,24	12,00	29,07
w% promedio	16,15		17,96		19,50		20,54	
Peso volumétrico seco	1,465		1,554		1,509		1,430	

**RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD - DENSIDAD**



<b>Resultados del ensayo</b>	Densidad máxima $\gamma_{\text{máx}} = 1,559 \text{ gr/cm}^3$
	Contenido de humedad óptimo $w = 18,10 \%$

) ARCILLA

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL</b>								
<b>“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”</b>								
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Murialdo- Pastaza-Ecuador							
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez							
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas							
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180							
<b>PRÓCTOR MODIFICADO TIPO D SUELO #2 ARCILLA</b>								
Número de golpes	56	Número de capas	5	Altura molde	12,1			
Altura de caída	18"	Peso molde	14952	Diámetro molde	15,20			
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180	Volumen molde	2195,65			
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>								
Número de ensayo	1	2	3	4				
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000				
Humedad inicial estimada %	5	10	15	20				
Peso del molde y el suelo húmedo	18310	18529	18824	18849				
Peso suelo húmedo Wm	3358	3577	3872	3897				
Peso unitario húmedo	1,529	1,629	1,763	1,775				
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
Número de recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso muestra húmeda + recp	130,7	113,2	116,1	113,8	119,9	115,2	144,9	149,3
Peso muestra seca + recp	110	96,3	97,4	95,7	94,7	91,6	108,9	110
Peso recipiente	24,6	26	29,9	30,4	25	25,4	30,8	30,9
Peso del agua	20,7	16,9	18,7	18,1	25,2	23,6	36	39,3
Peso muestra seca	85,4	81,5	67,5	65,3	69,7	66,2	78,1	79,1
Contenido de humedad	24,24	20,74	27,70	27,72	36,15	35,65	46,09	49,68
w% promedio	22,49		27,71		35,90		47,89	
Peso volumétrico seco	1,249		1,276		1,298		1,200	
<b>RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD - DENSIDAD</b>								
								
<b>Resultados del ensayo</b>	Densidad máxima $\gamma_{m\acute{a}x} = 1,295 \text{ gr/cm}^3$							
	Contenido de humedad óptimo $w = 33,50 \%$							



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”**

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Murialdo- Pastaza-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180

**PRÓCTOR MODIFICADO TIPO D SUELO #2 ARCILLA + 8% ESCORIA DE SIDERURGIA**

Número de golpes	56	Número de capas	5	Altura molde	12,1
Altura de caída	18"	Peso molde	14913	Diámetro molde	15,20
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180	Volumen molde	2195,65

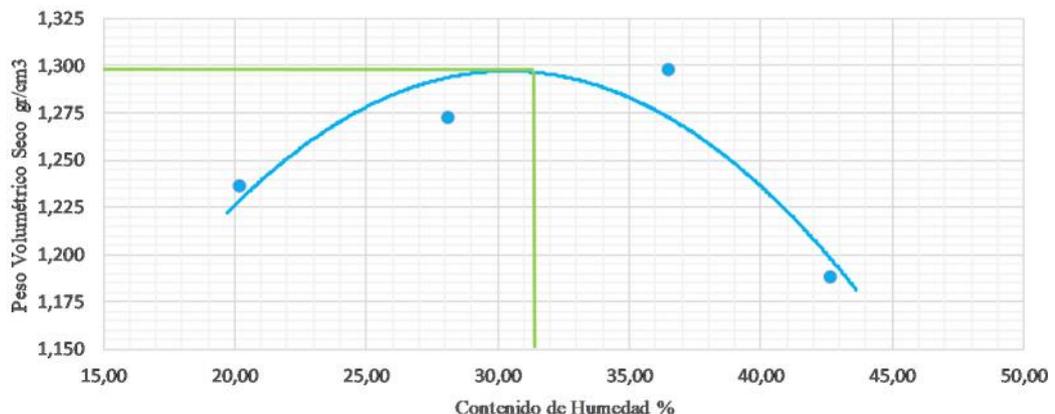
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN**

Número de ensayo	1	2	3	4
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000
Humedad inicial estimada %	5	10	15	27
Peso del molde y el suelo húmedo	18175	18491	18802	18632
Peso suelo húmedo Wm	3262	3578	3889	3719
Peso unitario húmedo	1,486	1,630	1,771	1,694

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

Número de recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso muestra húmeda + recp	101,2	105,4	121,2	107,5	119,1	94,7	156,8	156,9
Peso muestra seca + recp	87,8	91,5	100,3	89,1	93,8	77,6	118,3	118,2
Peso recipiente	30,4	30,9	26,6	23,1	24,5	30,8	30,5	24,8
Peso del agua	13,4	13,9	20,9	18,4	25,3	17,1	38,5	38,7
Peso muestra seca	57,4	81,5	73,7	66	69,3	46,8	87,8	93,4
Contenido de humedad	23,34	17,06	28,36	27,88	36,51	36,54	43,85	41,43
w% promedio	20,20		28,12		36,52		42,64	
Peso volumétrico seco	1,236		1,272		1,297		1,187	

**RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD - DENSIDAD**



<b>Resultados del ensayo</b>	Densidad máxima $\gamma_{m\acute{a}x} = 1,297 \text{ gr/cm}^3$
	Contenido de humedad óptimo $w = 31,40 \%$



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”**

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Murialdo- Pastaza-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180

**PRÓCTOR MODIFICADO TIPO D SUELO #2 ARCILLA + 10% ESCORIA DE SIDERURGIA**

Número de golpes	56	Número de capas	5	Altura molde	12,1
Altura de caída	18"	Peso molde	14913	Diámetro molde	15,20
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180	Volumen molde	2195,65

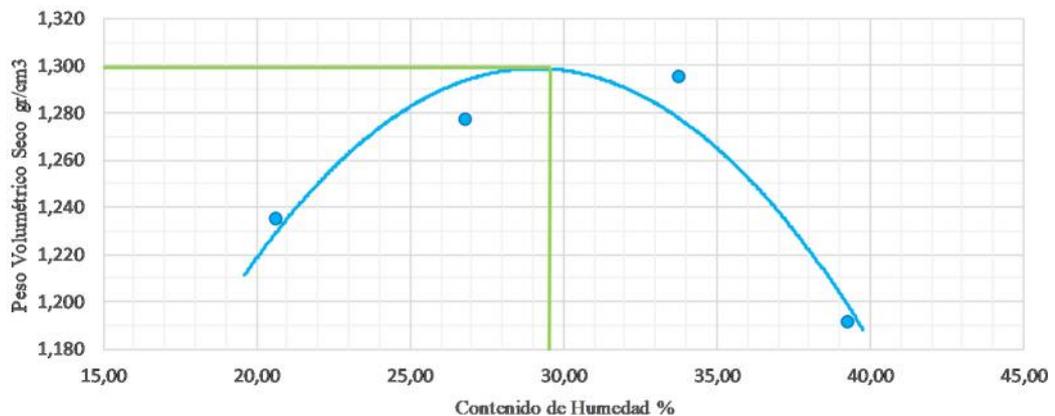
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN**

Número de ensayo	1	2	3	4
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000
Humedad inicial estimada %	1	3	6	9
Peso del molde y el suelo húmedo	18183	18469	18718	18556
Peso suelo húmedo Wm	3270	3556	3805	3643
Peso unitario húmedo	1,489	1,620	1,733	1,659

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

Número de recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso muestra húmeda + recp	133,6	117,3	116,2	118,7	124,6	107,9	160,8	153,4
Peso muestra seca + recp	116	99,4	97,4	100,6	99,9	86,7	124,1	118,9
Peso recipiente	24,6	26	29,9	30,4	25	25,4	30,8	30,9
Peso del agua	17,6	17,9	18,8	18,1	24,7	21,2	36,7	34,5
Peso muestra seca	91,4	81,5	67,5	70,2	74,9	61,3	93,3	88
Contenido de humedad	19,26	21,96	27,85	25,78	32,98	34,58	39,34	39,20
w% promedio	20,61	26,82	33,78	39,27				
Peso volumétrico seco	1,235	1,277	1,295	1,191				

**RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD - DENSIDAD**



<b>Resultados del ensayo</b>	Densidad máxima $\gamma_{m\acute{a}x} = 1,300 \text{ gr/cm}^3$
	Contenido de humedad óptimo $w = 29,70 \%$



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”**

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Murialdo- Pastaza-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180

**PRÓCTOR MODIFICADO TIPO D SUELO #2 ARCILLA + 35% ESCORIA DE SIDERURGIA**

Número de golpes	56	Número de capas	5	Altura molde	12,1
Altura de caída	18"	Peso molde	14952	Diámetro molde	15,20
Peso martillo	10 lb	Norma	AASHTO T-180	Volumen molde	2195,65

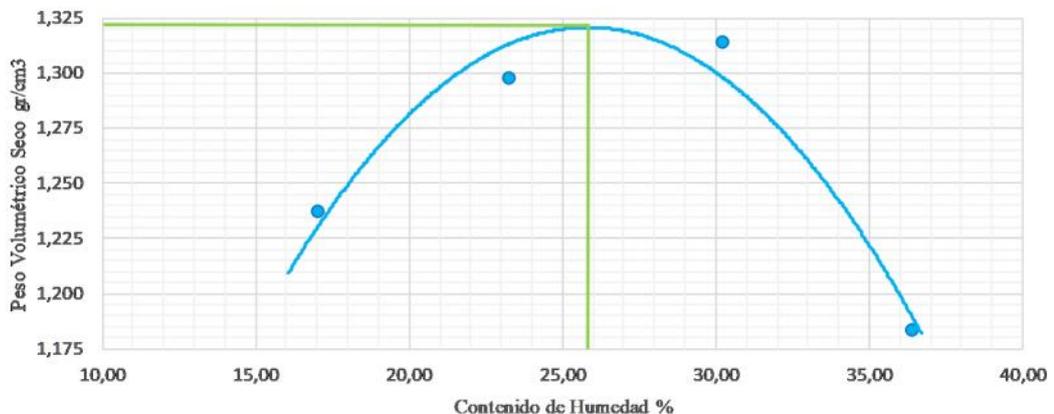
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN**

Número de ensayo	1	2	3	4
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000
Humedad inicial estimada %	1	3	6	9
Peso del molde y el suelo húmedo	18131	18465	18709	18497
Peso suelo húmedo Wm	3179	3513	3757	3545
Peso unitario húmedo	1,448	1,600	1,711	1,615

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

Número de recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso muestra húmeda + recp	75,9	62,9	54,7	44,7	75,8	72,9	109,2	82,7
Peso muestra seca + recp	63,7	52,9	45	38,4	60,3	57,3	81,9	62,7
Peso recipiente	7,9	7,4	7,6	7,9	7,3	7,4	7,5	7,3
Peso del agua	12,2	10	9,7	6,3	15,5	15,6	27,3	20
Peso muestra seca	55,8	81,5	37,4	30,5	53	49,9	74,4	55,4
Contenido de humedad	21,86	12,27	25,94	20,66	29,25	31,26	36,69	36,10
w% promedio	17,07		23,30		30,25		36,40	
Peso volumétrico seco	1,237		1,298		1,314		1,184	

**RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD - DENSIDAD**



<b>Resultados del ensayo</b>	Densidad máxima $\gamma_{m\acute{a}x} = 1,322 \text{ gr/cm}^3$
	Contenido de humedad óptimo $w = 25,80 \%$

**ANEXO F: ENSAYO DE CAPACIDAD DE SOPORTE CBR (California Bearing Ratio)**

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL</b> 							
“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”							
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Ambato-Tungurahua-Ecuador						
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez						
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas						
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180						
<b>ENSAYO DE PENETRACIÓN C.B.R. ESCORIA DE SIDERURGIA</b>							
<b>Molde N°</b>		<b>1-C</b>		<b>2-C</b>		<b>3-C</b>	
<b>N° de Capas</b>	#	5		5		5	
<b>N° de Golpes por Capa</b>	#	56		27		11	
<b>Características de la muestra</b>		<b>Antes del remojo</b>	<b>Después del remojo</b>	<b>Antes del remojo</b>	<b>Después del remojo</b>	<b>Antes del remojo</b>	<b>Después del remojo</b>
<b>Wm + Molde</b>	(gr)	11105,8	11393	11082,4	11296,9	10593	10914,2
<b>Peso Molde</b>	(gr)	6360,4	6360,4	6383,2	6383,2	6360,8	6360,8
<b>Peso muestra húmeda</b>	(gr)	4745,4	5032,6	4699,2	4913,7	4232,2	4553,4
<b>Volumen de la muestra</b>	(cm <sup>3</sup> )	2301	2301	2301	2301	2301	2301
<b>Densidad húmeda</b>	(gr/cm <sup>3</sup> )	2,062	2,187	2,042	2,135	1,839	1,979
<b>Densidad seca</b>	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,897	1,906	1,877	1,846	1,696	1,646
<b>Densidad seca promedio</b>	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,902		1,861		1,671	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>							
<b>Recipiente N°</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Wm + Recipiente</b>	(gr)	181,32	278,7	220,55	297,18	120,34	325,18
<b>Peso muestra seca + recipient</b>	(gr)	170,28	248,84	206,53	262,05	112,66	281,42
<b>Peso agua</b>	(gr)	11,04	29,86	14,02	35,13	7,68	43,76
<b>Peso recipiente</b>	(gr)	43,56	46	47,33	38,36	21,93	65,04
<b>Peso muestra seca</b>	(gr)	126,72	202,84	159,2	223,69	90,73	216,38
<b>Contenido de Humedad w%</b>	(%)	8,71	14,72	8,81	15,70	8,46	20,22
<b>Agua absorbida %</b>	(%)	6,01		6,90		11,76	



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Ambato-Tungurahua-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-193

**ENSAYO DE C.B.R. ESCORIA DE SIDERURGIA**

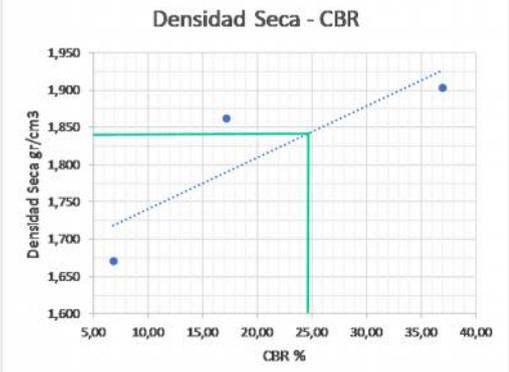
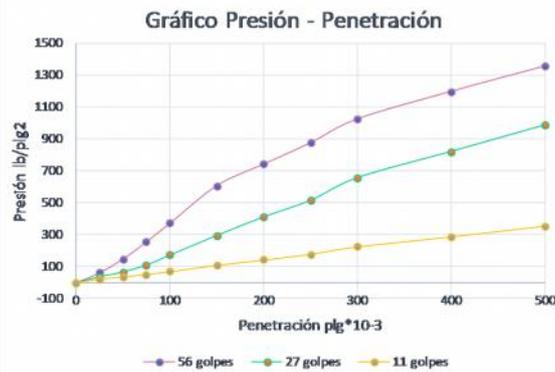
3

MOLDE NUMERO			15				18				44			
FECHA	TIEMPO		LECT	h	ESPONJ		LECT	h	ESPONJ		LECT	h	ESPONJ	
DIA Y MES	HORA	DIAS	DIAL	Mues	Pigs.	%	DIAL	Mues	Pigs.	%	DIAL	Mues	Pigs.	%
			Pigs.	Pigs.	*10-2		Pigs.	Pigs.	*10-2		Pigs.	Pigs.	*10-2	
19 oct 19	18:10	1	0,21	5,00	0,00	0,00	0,12	5,00	0,00	0,00	0,03	5,00	0,00	0,00
20 oct 19	18:08	2	0,26		5,12	1,02	0,14		1,44	0,29	0,06		3,54	0,71
21 oct 19	18:20	3	0,31		9,72	1,94	0,19		6,44	1,29	0,11		8,15	1,63

**ENSAYO DE CARGA PENETRACION**

CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3p12

MOLDE NUMERO			15				18				44			
TIEMPO		PENET.	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR
MIN	SEG	" 10-3	LECT	LEIDA	CORG		LECT	LEIDA	CORG		LECT	LEIDA	CORG	
			DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%
		0	0,0	0			0,0	0			0,0	0		
0	30	25	83,3	61,2			50,6	37,2			30,5	22,4		
1	0	50	200,4	147,2			91,0	66,9			48,5	35,6		
1	30	75	346,2	254,3			149,9	110,1			70,9	52,1		
2	0	100	504,0	370,3	370,3	37,0	234,2	172,1	172,1	17,2	93,2	68,5	68,5	6,8
3	0	150	824,3	605,6			400,9	294,5			147,6	108,4		
4	0	200	1008,0	740,5			558,6	410,4			192,0	141,1		
5	0	250	1189,4	873,8			699,4	513,8			241,9	177,7		
6	0	300	1392,2	1022,8			891,2	654,7			304,7	223,9		
8	0	400	1626,4	1194,9			1115,0	819,2			390,3	286,7		
10	0	500	1842,2	1353,4			1339,4	984,0			482,1	354,2		
CBR corregido						37,0				17,2				6,8



Densidades	Resistencias	Densidad Máx	1,938	gr/cm <sup>3</sup>
1,902	37,03	95% de DM	1,841	gr/cm <sup>3</sup>
1,861	17,21			
1,671	6,85			
		CBR PUNTUAL	25,0	%



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL



“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”

ORIGEN MUESTRA:	Pilisurco-Tungurahua-Ecuador
ENSAYADO POR:	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
REVISADO POR:	Ing. Marisol Bayas
NORMA:	AASHTO T-180

ENSAYO DE PENETRACIÓN C.B.R. SUELO LIMO-ARENOSO

Molde N°		1-C		2-C		3-C	
N° de Capas	#	5		5		5	
N° de Golpes por Capa	#	56		27		11	
Características de la muestra		Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Wm + Molde	(gr)	10041,4	10487,8	9372	10220,2	9177	9795,8
Peso Molde	(gr)	5864,5	5864,5	5965,5	5965,5	5775	5775
Peso muestra húmeda	(gr)	4176,9	4623,3	3406,5	4254,7	3402	4020,8
Volumen de la muestra	(cm3)	2301	2301	2301	2301	2301	2301
Densidad húmeda	(gr/cm3)	1,815	2,009	1,480	1,849	1,478	1,747
Densidad seca	(gr/cm3)	1,550	1,613	1,266	1,452	1,226	1,316
Densidad seca promedio	(gr/cm3)	1,582		1,359		1,271	

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°		1	2	3	4	5	6
Wm + Recipiente	(gr)	211,77	166,54	212,48	150,96	226,18	142,11
Peso muestra seca + recipient	(gr)	187,35	140,23	188,52	128,12	195,61	118,34
Peso agua	(gr)	24,42	26,31	23,96	22,84	30,57	23,77
Peso recipiente	(gr)	44,62	33,02	46,9	44,63	47,16	45,9
Peso muestra seca	(gr)	142,73	107,21	141,62	83,49	148,45	72,44
Contenido de Humedad w%	(%)	17,11	24,54	16,92	27,36	20,59	32,81
Agua absorbida %	(%)	7,43		10,44		12,22	



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Pilsurco-Ambato-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-193

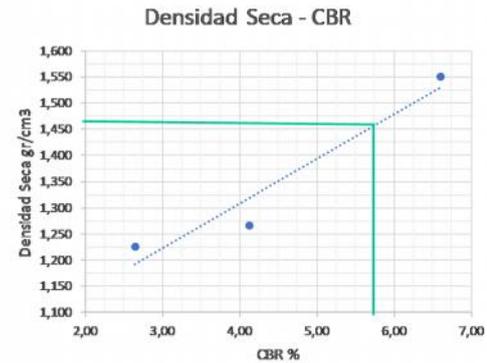
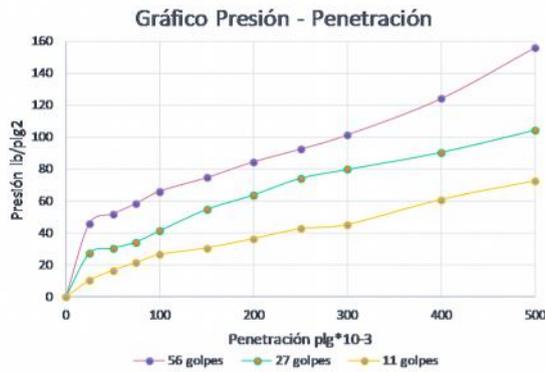
**ENSAYO DE C.B.R. SUELO LIMO ARENOSO**  
**ESPONJAMIENTO**

MOLDE NUMERO			15				18				44			
FECHA	TIEMPO		LECT	h	ESPONJ		LECT	h	ESPONJ		LECT	h	ESPONJ	
DIA Y MES	HORA	DIAS	DIAL	Mues	Pigs.	%	DIAL	Mues	Pigs.	%	DIAL	Mues	Pigs.	%
			Pigs.	Pigs.	*10-2		Pigs.	Pigs.	*10-2		Pigs.	Pigs.	*10-2	
25 sep 19	15:10	1	0,13	5,00	0,00	0,00	0,04	5,00	0,00	0,00	0,03	5,00	0,00	0,00
26 sep 19	14:08	2	0,17		4,37	0,87	0,09		4,48	0,90	0,05		2,24	0,45
27 sep 19	14:45	3	0,20		7,64	1,53	0,15		10,20	2,04	0,08		4,92	0,98

**ENSAYO DE CARGA PENETRACION**

CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3p12

MOLDE NUMERO			15				18				44			
TIEMPO		PENET.	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR
MIN	SEG	" 10-3	LECT	LEIDA	CORG		LECT	LEIDA	CORG		LECT	LEIDA	CORG	
			DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%
		0	0,0	0			0,0	0			17,4	0		
0	30	25	62,6	46,0			36,9	27,1			31,3	10,2		
1	0	50	70,8	52,0			41,5	30,5			40,0	16,6		
1	30	75	79,8	58,6			46,8	34,4			46,5	21,4		
2	0	100	89,9	66,0	66,0	6,6	56,2	41,3	41,3	4,1	53,5	26,5	26,5	2,7
3	0	150	101,5	74,6			74,5	54,7			59,1	30,6		
4	0	200	115,0	84,5			86,8	63,8			67,0	36,4		
5	0	250	125,8	92,4			100,8	74,1			75,5	42,7		
6	0	300	138,0	101,4			108,3	79,6			79,1	45,3		
8	0	400	169,0	124,2			123,0	90,4			100,4	61,0		
10	0	500	212,6	156,2			142,0	104,3			116,0	72,5		
CBR corregido														2,7



Densidades 1,550 gr/cm3 1,266 gr/cm3 1,226 gr/cm3	Resistencias 6,60 % 4,13 % 2,65 %	Densidad Máx 1,542 gr/cm3 95% de DM 1,465 gr/cm3 CBR PUNTUAL <b>5,8</b> %
--	--	---



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE

<b>ORIGEN</b>	Pilisurco-Tungurahua-Ecuador						
<b>MUESTRA</b>							
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez						
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas						
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180						
<b>ENSAYO DE PENETRACIÓN C.B.R. SUELO LIMO ARENOSO + 8% ESCORIA DE SIDERURGIA</b>							
<b>Molde N°</b>		<b>1-C</b>		<b>2-C</b>		<b>3-C</b>	
<b>N° de Capas</b>	#	5		5		5	
<b>N° de Golpes por Capa</b>	#	56		27		11	
<b>Características de la muestra</b>		<b>Antes del re mojo</b>	<b>Después del re mojo</b>	<b>Antes del re mojo</b>	<b>Después del re mojo</b>	<b>Antes del re mojo</b>	<b>Después del re mojo</b>
<b>Wm + Molde</b>	(gr)	9895,4	9811,6	9428,8	9741,2	8785,8	9492,4
<b>Peso Molde</b>	(gr)	5864,5	5864,5	5965,5	5965,5	5775	5775
<b>Peso muestra húmeda</b>	(gr)	4030,9	3947,1	3463,3	3775,7	3010,8	3717,4
<b>Volumen de la muestra</b>	(cm3)	2301	2301	2301	2301	2301	2301
<b>Densidad húmeda</b>	(gr/cm3)	1,752	1,715	1,505	1,641	1,308	1,616
<b>Densidad seca</b>	(gr/cm3)	1,541	1,093	1,333	1,015	1,123	0,974
<b>Densidad seca promedio</b>	(gr/cm3)	1,317		1,174		1,049	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>							
<b>Recipiente N°</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Wm + Recipiente</b>	(gr)	176,22	162,92	164,61	192,67	171,12	157,9
<b>Peso muestra seca + recipient</b>	(gr)	160,6	120,66	151,07	136,18	153,4	113,4
<b>Peso agua</b>	(gr)	15,62	42,26	13,54	56,49	17,72	44,5
<b>Peso recipiente</b>	(gr)	46,49	46,46	46,55	44,62	45,81	45,79
<b>Peso muestra seca</b>	(gr)	114,11	74,2	104,52	91,56	107,59	67,61
<b>Contenido de Hume dad w%</b>	(%)	13,69	56,95	12,95	61,70	16,47	65,82
<b>Agua absorbida %</b>	(%)	43,27		48,74		49,35	



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Pilsurco-Ambato-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-193

**ENSAYO DE C.B.R. SUELO LIMO ARENOSO + 8% ESCORIA DE SIDERURGIA**

**ESPONJAMIENTO**

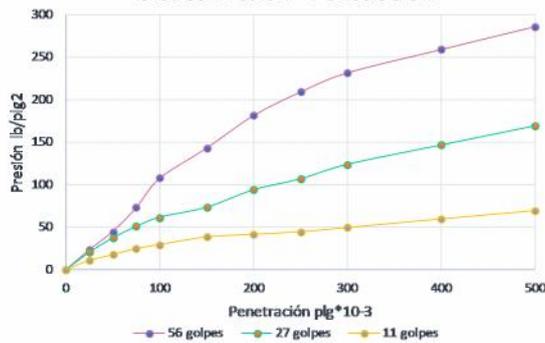
MOLDE NUMERO		15					18					44				
FECHA	TIEMPO	LECT	h	ESPONJ			LECT	h	ESPONJ			LECT	h	ESPONJ		
DIA Y MES	HORA	DIAS	DIAL	Mues	Plgs.	%	DIAL	Mues	Plgs.	%	DIAL	Mues	Plgs.	%		
			Plgs.	Plgs.	*10-2		Plgs.	Plgs.	*10-2		Plgs.	Plgs.	*10-2			
28 sep 19	15:10	1	0,04	5,00	0,00	0,00	0,04	5,00	0,00	0,00	0,04	5,00	0,00	0,00		
29 sep 19	14:08	2	0,08		4,13	0,83	0,09		4,68	0,94	0,11		6,20	1,24		
30 sep 19	14:45	3	0,10		5,91	1,18	0,13		9,20	1,84	0,14		9,92	1,98		

**ENSAYO DE CARGA PENETRACION**

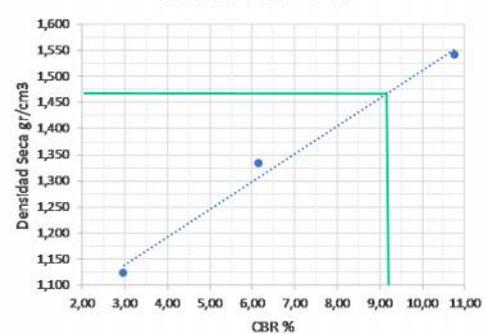
CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3p12

MOLDE NUMERO		15					18					44				
TIEMPO		PENET.	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR		
MIN	SEG	" 10-3	DIAL	LEIDA	CORG		DIAL	LEIDA	CORG		DIAL	LEIDA	CORG			
			lb/plg2	lb/plg2		%	lb/plg2		%	lb/plg2		%				
		0	0,0	0			0,0	0			0,0	0				
0	30	25	32,1	23,6			27,9	20,5			15,0	11,0				
1	0	50	61,3	45,0			50,9	37,4			24,2	17,8				
1	30	75	99,6	73,2			69,2	50,8			34,2	25,1				
2	0	100	146,4	107,6	107,6	10,8	83,9	61,6	61,6	6,2	40,6	29,8	29,8	3,0		
3	0	150	194,7	143,0			99,7	73,2			52,9	38,9				
4	0	200	246,9	181,4			127,7	93,8			57,1	41,9				
5	0	250	284,5	209,0			145,1	106,6			61,4	45,1				
6	0	300	315,2	231,6			168,3	123,6			68,1	50,0				
8	0	400	352,7	259,1			199,3	146,4			82,1	60,3				
10	0	500	389,3	286,0			229,9	168,9			95,3	70,0				
CBR corregido										6,2				3,0		

**Gráfico Presión - Penetración**



**Densidad Seca - CBR**



Densidades	
1,541	gr/cm <sup>3</sup>
1,333	gr/cm <sup>3</sup>
1,123	gr/cm <sup>3</sup>

Resistencias	
10,76	%
6,16	%
2,98	%

Densidad Máx	1,551	gr/cm <sup>3</sup>
95% de DM	1,473	gr/cm <sup>3</sup>
<b>CBR PUNTUAL</b>	<b>9,3</b>	<b>%</b>



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Pilisuro o-Tungurahua-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180

**ENSAYO DE PENETRACIÓN C.B.R. SUELO LIMO ARENOSO + 10% ESCORIA DE SIDERURGIA**

Molde N°		1-C		2-C		3-C	
N° de Capas	#	5		5		5	
N° de Golpes por Capa	#	56		27		11	
Características de la muestra		Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Wm + Molde	(gr)	9991,4	10007	9682	9890	8986,2	9498,4
Peso Molde	(gr)	5864,5	5864,5	5965,5	5965,5	5775	5775
Peso muestra húmeda	(gr)	4126,9	4142,5	3716,5	3924,5	3211,2	3723,4
Volumen de la muestra	(cm3)	2301	2301	2301	2301	2301	2301
Densidad húmeda	(gr/cm3)	1,794	1,800	1,615	1,706	1,396	1,618
Densidad seca	(gr/cm3)	1,533	1,414	1,363	1,211	1,200	1,105
Densidad seca promedio	(gr/cm3)	1,473		1,287		1,153	

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

Recipiente N°		1	2	3	4	5	6
Wm + Recipiente	(gr)	197,06	211,25	180,7	120,44	198,96	296,13
Peso muestra seca + recipient	(gr)	174,9	175,8	159,78	98,45	176,45	233,4
Peso agua	(gr)	22,16	35,45	20,92	21,99	22,51	62,73
Peso recipiente	(gr)	44,67	45,96	46,5	44,62	38,36	98,19
Peso muestra seca	(gr)	130,23	129,84	113,28	53,83	138,09	135,21
Contenido de Humedad w%	(%)	17,02	27,30	18,47	40,85	16,30	46,39
Agua absorbida %	(%)	10,29		22,38		30,09	



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Pilsurco-Ambato-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-193

**ENSAYO DE C.B.R. SUELO LIMO ARENOSO + 10% ESCORIA DE SIDERURGIA**

**ESPONJAMIENTO**

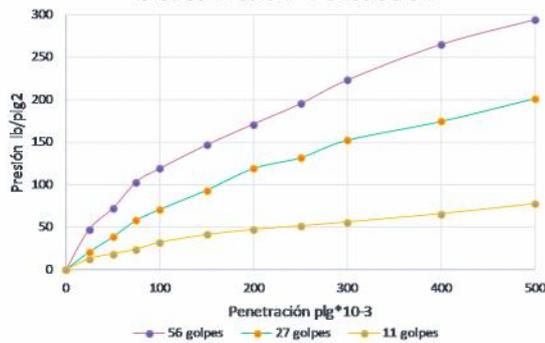
MOLDE NUMERO			15				18				44			
FECHA	TIEMPO		LECT	h	ESPONJ		LECT	h	ESPONJ		LECT	h	ESPONJ	
DIA Y MES	HORA	DIAS	DIAL	Mues	Pigs.	%	DIAL	Mues	Pigs.	%	DIAL	Mues	Pigs.	%
			Pigs.	Pigs.	*10-2		Pigs.	Pigs.	*10-2		Pigs.	Pigs.	*10-2	
1 oct 19	15:10	1	0,12	5,00	0,00	0,00	0,08	5,00	0,00	0,00	0,02	5,00	0,00	0,00
2 oct 19	14:08	2	0,14		2,64	0,53	0,11		3,64	0,73	0,07		5,00	1,00
3 oct 19	14:45	3	0,16		4,02	0,80	0,14		6,40	1,28	0,09		7,28	1,46

**ENSAYO DE CARGA PENETRACION**

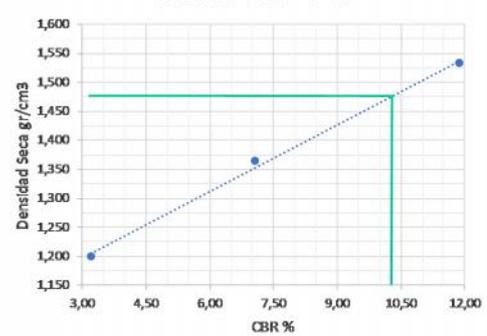
CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3pL2

MOLDE NUMERO			15				18				44			
TIEMPO		PENET.	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR
MIN	SEG	" 10-3	LECT	LEIDA	CORG		LECT	LEIDA	CORG		LECT	LEIDA	CORG	
			DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%
		0	0,0	0			0,0	0			0,0	0		
0	30	25	64,8	47,6			28,4	20,9			17,7	13,0		
1	0	50	98,0	72,0			52,2	38,3			25,5	18,7		
1	30	75	140,2	103,0			79,1	58,1			32,7	24,0		
2	0	100	161,8	118,9	118,9	11,9	96,3	70,7	70,7	7,1	43,7	32,1	32,1	3,2
3	0	150	199,4	146,5			127,4	93,6			55,9	41,1		
4	0	200	232,9	171,1			162,1	119,1			64,2	47,2		
5	0	250	265,2	194,8			179,2	131,7			69,9	51,4		
6	0	300	303,1	222,7			207,2	152,2			76,1	55,9		
8	0	400	360,2	264,6			237,4	174,4			89,4	65,7		
10	0	500	399,8	293,7			274,0	201,3			105,2	77,3		
CBR corregido						11,9				7,1				3,2

**Gráfico Presión - Penetración**



**Densidad Seca - CBR**



Densidades	
1,533	gr/cm <sup>3</sup>
1,363	gr/cm <sup>3</sup>
1,200	gr/cm <sup>3</sup>

Resistencias	
11,89	%
7,07	%
3,21	%

Densidad Máx	1,553	gr/cm <sup>3</sup>
95% de DM	1,475	gr/cm <sup>3</sup>
<b>CBR PUNTUAL</b>	<b>10,2</b>	<b>%</b>



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Pilisuro o-Tungurahua-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180

**ENSAYO DE PENETRACIÓN C.B.R. SUELO ARENO-LIMOSO + 35% ESCORIA DE SIDERURGIA**

Molde N°		1-C		2-C		3-C	
N° de Capas	#	5		5		5	
N° de Golpes por Capa	#	56		27		11	
Características de la muestra		Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Wm + Molde	(gr)	10212,5	10186,6	9854,8	10178,8	9438,2	9796
Peso Molde	(gr)	5864,5	5864,5	5965,5	5965,5	5775	5775
Peso muestra húmeda	(gr)	4348	4322,1	3889,3	4213,3	3663,2	4021
Volumen de la muestra	(cm3)	2301	2301	2301	2301	2301	2301
Densidad húmeda	(gr/cm3)	1,890	1,878	1,690	1,831	1,592	1,748
Densidad seca	(gr/cm3)	1,552	1,438	1,373	1,302	1,306	1,105
Densidad seca promedio	(gr/cm3)	1,495		1,337		1,206	

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

Recipiente N°		1	2	3	4	5	6
Wm + Recipiente	(gr)	200,37	235,13	214,8	185,4	202,3	296,13
Peso muestra seca + recipient	(gr)	172,58	190,8	181,65	145,45	173,48	223,4
Peso agua	(gr)	27,79	44,33	33,15	39,95	28,82	72,73
Peso recipiente	(gr)	44,67	45,96	38,36	47,16	41,97	98,19
Peso muestra seca	(gr)	127,91	144,84	143,29	98,29	131,51	125,21
Contenido de Humedad w%	(%)	21,73	30,61	23,13	40,65	21,91	58,09
Agua absorbida %	(%)	8,88		17,51		36,17	



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Pilsurco-Ambato-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-193

**ENSAYO DE C.B.R. SUELO LIMO ARENOSO + 35% ESCORIA DE SIDERURGIA**

**ESPONJAMIENTO**

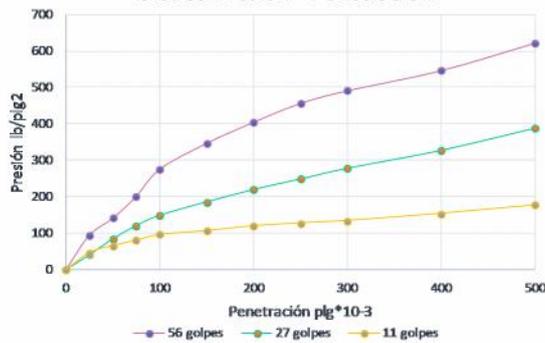
MOLDE NUMERO			15				18				44			
FECHA	TIEMPO		LECT	h	ESPONJ		LECT	h	ESPONJ		LECT	h	ESPONJ	
DIA Y MES	HORA	DIAS	DIAL	Mues	Plgs.	%	DIAL	Mues	Plgs.	%	DIAL	Mues	Plgs.	%
			Plgs.	Plgs.	*10-2		Plgs.	Plgs.	*10-2		Plgs.	Plgs.	*10-2	
4 oct 19	15:10	1	0,07	5,00	0,00	0,00	0,04	5,00	0,00	0,00	0,01	5,00	0,00	0,00
5 oct 19	14:08	2	0,08		1,10	0,22	0,06		2,16	0,43	0,05		4,13	0,83
6 oct 19	14:45	3	0,09		1,97	0,39	0,08		4,23	0,85	0,07		5,98	1,20

**ENSAYO DE CARGA PENETRACION**

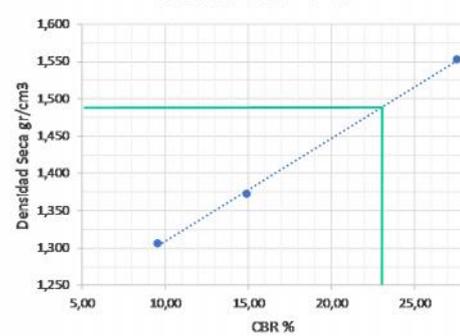
CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3p12

MOLDE NUMERO			15				18				44			
TIEMPO		PENET.	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR
MIN	SEG	" 10-3	LECT	LEIDA	CORG		LECT	LEIDA	CORG		LECT	LEIDA	CORG	
			DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%
		0	0,0	0			0,0	0			0,0	0		
0	30	25	128,4	94,3			55,5	40,8			63,6	46,7		
1	0	50	191,9	141,0			115,3	84,7			89,8	66,0		
1	30	75	273,7	201,1			164,5	120,9			109,3	80,3		
2	0	100	375,2	275,6	27,6		203,0	149,1	14,9		130,4	95,8	95,8	9,6
3	0	150	471,9	346,7			253,2	186,0			145,1	106,6		
4	0	200	550,6	404,5			299,3	219,9			162,8	119,6		
5	0	250	621,0	456,2			338,6	248,8			173,8	127,7		
6	0	300	668,1	490,8			378,4	278,0			182,8	134,3		
8	0	400	743,6	546,3			445,4	327,2			209,3	153,8		
10	0	500	846,3	621,7			528,4	388,2			240,3	176,5		
CBR corregido						27,6				14,9				9,6

**Gráfico Presión - Penetración**



**Densidad Seca - CBR**



Densidades	
1,552	gr/cm <sup>3</sup>
1,373	gr/cm <sup>3</sup>
1,306	gr/cm <sup>3</sup>

Resistencias	
27,56	%
14,91	%
9,58	%

Densidad Máx	1,559	gr/cm <sup>3</sup>
95% de DM	1,481	gr/cm <sup>3</sup>
<b>CBR PUNTUAL</b>	<b>23,0</b>	<b>%</b>



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Murialdo-Pastaza-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180

**ENSAYO DE PENETRACIÓN C.B.R. SUELO ARCILLA**

Molde N°		1-C		2-C		3-C	
N° de Capas	#	5		5		5	
N° de Golpes por Capa	#	56		27		11	
Características de la muestra		Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Wm + Molde	(gr)	9765,2	10306	9800,7	10248,8	9285,6	10098,2
Peso Molde	(gr)	6360,4	6360,4	6383,2	6383,2	6360,8	6360,8
Peso muestra húmeda	(gr)	3404,8	3945,6	3417,5	3865,6	2924,8	3737,4
Volumen de la muestra	(cm3)	2301	2301	2301	2301	2301	2301
Densidad húmeda	(gr/cm3)	1,480	1,715	1,485	1,680	1,271	1,624
Densidad seca	(gr/cm3)	1,300	1,263	1,297	1,200	1,155	1,179
Densidad seca promedio	(gr/cm3)	1,282		1,249		1,167	

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

Recipiente N°		1	2	3	4	5	6
Wm + Recipiente	(gr)	207,72	175,36	169,7	170,86	202,37	229,14
Peso muestra seca + recipient	(gr)	188,24	141,23	153,73	135,41	187,71	179,2
Peso agua	(gr)	19,48	34,13	15,97	35,45	14,66	49,94
Peso recipiente	(gr)	47,2	45,84	43,54	46,76	41,95	47,05
Peso muestra seca	(gr)	141,04	95,39	110,19	88,65	145,76	132,15
Contenido de Humedad w%	(%)	13,81	35,78	14,49	39,99	10,06	37,79
Agua absorbida %	(%)	21,97		25,50		27,73	



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Murialdo-Pastaza-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-193

**ENSAYO DE C.B.R. SUELO ARCILLA**

**ESPONJAMIENTO**

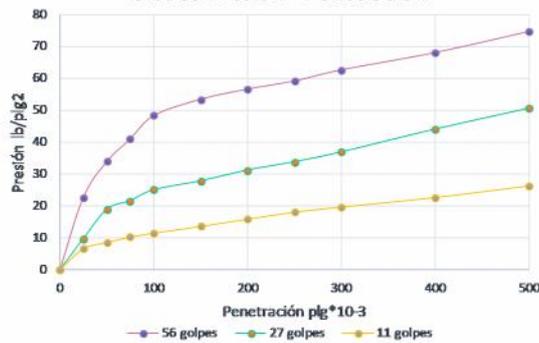
MOLDE NUMERO			15				18				44			
FECHA	TIEMPO		LECT	h	ESPONJ		LECT	h	ESPONJ		LECT	h	ESPONJ	
DIA Y MES	HORA	DIAS	DIAL	Mues	Pigs.	%	DIAL	Mues	Pigs.	%	DIAL	Mues	Pigs.	%
			Pigs.	Pigs.	*10-2		Pigs.	Pigs.	*10-2		Pigs.	Pigs.	*10-2	
7 oct 19	18:10	0	0,01	5,00	0,00	0,00	0,21	5,00	0,00	0,00	0,09	5,00	0,00	0,00
8 oct 19	18:08	1	0,12		11,10	2,22	0,27		6,68	1,34	0,11		2,36	0,47
9 oct 19	18:20	2	0,17		15,94	3,19	0,33		12,44	2,49	0,17		8,07	1,61

**ENSAYO DE CARGA PENETRACION**

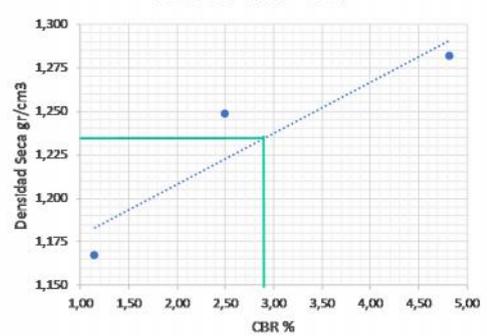
CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3p12

MOLDE NUMERO			15				18				44			
TIEMPO		PENET.	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR
MIN	SEG	" 10-3	LECT	LEIDA	CORG		LECT	LEIDA	CORG		LECT	LEIDA	CORG	
			DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%
		0	0,0	0			0,0				0,0	0		
0	30	25	30,9	22,7			13,3	9,8			8,9	6,5		
1	0	50	46,1	33,9			25,7	18,9			11,6	8,5		
1	30	75	55,8	41,0			29,4	21,6			13,9	10,2		
2	0	100	65,7	48,3	48,3	<b>4,8</b>	34,0	25,0	25,0	<b>2,5</b>	15,6	11,5	<b>11,5</b>	<b>1,1</b>
3	0	150	72,7	53,4			37,8	27,8			18,5	13,6		
4	0	200	77,0	56,6			42,4	31,1			21,6	15,9		
5	0	250	80,5	59,1			45,9	33,7			24,6	18,1		
6	0	300	85,2	62,6			50,1	36,8			26,8	19,7		
8	0	400	92,6	68,0			59,8	43,9			30,9	22,7		
10	0	500	101,6	74,6			68,7	50,5			35,9	26,4		
CBR corregido						<b>4,8</b>				<b>2,5</b>				<b>1,1</b>

**Gráfico Presión - Penetración**



**Densidad Seca - CBR**



Densidades	
1,282	gr/cm <sup>3</sup>
1,249	gr/cm <sup>3</sup>
1,167	gr/cm <sup>3</sup>

Resistencias	
4,83	%
2,50	%
1,15	%

Densidad Máx	1,299	gr/cm <sup>3</sup>
95% de DM	1,234	gr/cm <sup>3</sup>
<b>CBR PUNTUAL</b>	<b>2,90</b>	<b>%</b>



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL



“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”

ORIGEN	Murialdo-Pastaza-Ecuador						
MUESTRA	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez						
ENSAYADO POR:	Ing. Marisol Bayas						
REVISADO POR:	Ing. Marisol Bayas						
NORMA:	AASHTO T-180						
<b>ENSAYO DE PENETRACIÓN C.B.R. SUELO ARCILLA + 8% ESCORIA DE SIDERURGIA</b>							
Molde N°		1-C		2-C		3-C	
N° de Capas	#	5		5		5	
N° de Golpes por Capa	#	56		27		11	
Características de la muestra		Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Wm + Molde	(gr)	9651,6	10193,4	9177,4	9826,6	9126,4	9759,4
Peso Molde	(gr)	6360,4	6360,4	6383,2	6383,2	6360,8	6360,8
Peso muestra húmeda	(gr)	3291,2	3833	2794,2	3443,4	2765,6	3398,6
Volumen de la muestra	(cm3)	2301	2301	2301	2301	2301	2301
Densidad húmeda	(gr/cm3)	1,430	1,666	1,214	1,496	1,202	1,477
Densidad seca	(gr/cm3)	1,171	1,250	0,967	1,067	1,118	1,180
Densidad seca promedio	(gr/cm3)	1,211		1,017		1,149	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>							
Recipiente N°		1	2	3	4	5	6
Wm + Recipiente	(gr)	251,15	155,64	180,6	189,34	198,36	211,35
Peso muestra seca + recipient	(gr)	217,54	128,23	153,2	148,41	187,71	178,34
Peso agua	(gr)	33,61	27,41	27,4	40,93	10,65	33,01
Peso recipiente	(gr)	65,62	45,84	46,02	46,76	46,5	47,05
Peso muestra seca	(gr)	151,92	82,39	107,18	101,65	141,21	131,29
Contenido de Humedad w%	(%)	22,12	33,27	25,56	40,27	7,54	25,14
Agua absorbida %	(%)	11,15		14,70		17,60	



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Muriáldo-Pastaza-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-193

**ENSAYO DE C.B.R. SUELO ARCILLA + 8% ESCORIA DE SIDERURGIA**

**ESPONJAMIENTO**

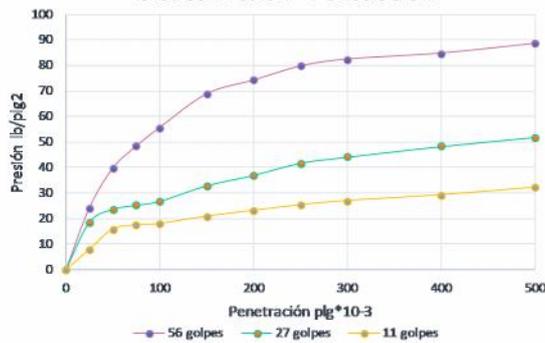
MOLDE NUMERO			15				18				44			
FECHA	TIEMPO		LECT	h	ESPONJ		LECT	h	ESPONJ		LECT	h	ESPONJ	
DIA Y MES	HORA	DIAS	DIAL	Mues	Pigs.	%	DIAL	Mues	Pigs.	%	DIAL	Mues	Pigs.	%
			Pigs.	Pigs.	*10-2		Pigs.	Pigs.	*10-2		Pigs.	Pigs.	*10-2	
10 oct 19	18:10	0	0,02	5,00	0,00	0,00	0,19	5,00	0,00	0,00	0,04	5,00	0,00	0,00
11 oct 19	18:08	1	0,24		22,32	4,46	0,27		8,48	1,70	0,07		3,54	0,71
12 oct 19	18:20	2	0,32		30,31	6,06	0,31		11,80	2,36	0,12		8,15	1,63

**ENSAYO DE CARGA PENETRACION**

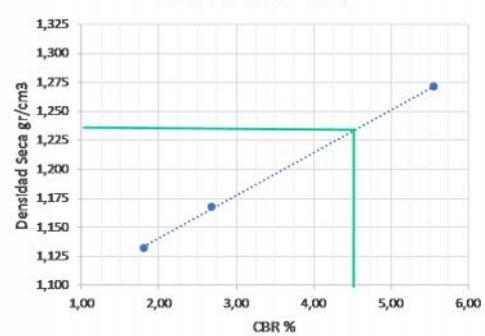
CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3pI2

MOLDE NUMERO			15				18				44			
TIEMPO		PENET.	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR
MIN	SEG	" 10-3	LECT	LEIDA	CORG		LECT	LEIDA	CORG		LECT	LEIDA	CORG	
			DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%
		0	0,0	0			0,0	0			0,0	0		
0	30	25	32,9	24,2			25,3	18,6			10,9	8,0		
1	0	50	54,1	39,7			32,2	23,7			21,6	15,9		
1	30	75	65,8	48,3			34,4	25,3			23,9	17,6		
2	0	100	75,7	55,6	55,6	5,6	36,5	26,8	26,8	2,7	24,6	18,1	18,1	1,8
3	0	150	93,7	68,8			44,8	32,9			28,5	20,9		
4	0	200	101,0	74,2			50,4	37,0			31,6	23,2		
5	0	250	108,5	79,7			56,9	41,8			34,6	25,4		
6	0	300	112,2	82,4			60,1	44,2			36,8	27,0		
8	0	400	115,4	84,8			65,8	48,3			39,9	29,3		
10	0	500	120,6	88,6			70,7	51,9			43,9	32,3		
CBR corregido						5,6				2,7				1,8

**Gráfico Presión - Penetración**



**Densidad Seca - CBR**



Densidades 1,271 gr/cm <sup>3</sup> 1,168 gr/cm <sup>3</sup> 1,132 gr/cm <sup>3</sup>	Resistencias 5,56 % 2,68 % 1,81 %	Densidad Máx 1,297 gr/cm <sup>3</sup> 95% de DM 1,232 gr/cm <sup>3</sup> CBR PUNTUAL <b>4,5</b> %
--	--	---



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL



“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”

ORIGEN MUESTRA:	Murialdo-Pastaza-Ecuador
ENSAYADO POR:	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
REVISADO POR:	Ing. Marisol Bayas
NORMA:	AASHTO T-180

ENSAYO DE PENETRACIÓN C.B.R. SUELO ARCILLA + 10% ESCORIA DE SIDERURGIA

Molde N°		1-C		2-C		3-C	
N° de Capas	#	5		5		5	
N° de Golpes por Capa	#	56		27		11	
Características de la muestra		Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Wm + Molde	(gr)	9459,6	10015,4	9332	9909,8	8859,2	9496,6
Peso Molde	(gr)	5864,5	5864,5	5965,5	5965,5	5775	5775
Peso muestra húmeda	(gr)	3595,1	4150,9	3366,5	3944,3	3084,2	3721,6
Volumen de la muestra	(cm3)	2298	2298	2298	2298	2298	2298
Densidad húmeda	(gr/cm3)	1,564	1,806	1,465	1,716	1,342	1,619
Densidad seca	(gr/cm3)	1,299	1,259	1,195	1,211	1,085	1,105
Densidad seca promedio	(gr/cm3)	1,279		1,203		1,095	

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°		1	2	3	4	5	6
Wm + Recipiente	(gr)	180,12	158,94	203,51	153,92	195,48	152,07
Peso muestra seca + recipient	(gr)	157,41	124,85	174,44	122,63	167,07	118,33
Peso agua	(gr)	22,71	34,09	29,07	31,29	28,41	33,74
Peso recipiente	(gr)	46,49	46,49	46,01	47,65	46,96	45,95
Peso muestra seca	(gr)	110,92	78,36	128,43	74,98	120,11	72,38
Contenido de Humedad w%	(%)	20,47	43,50	22,63	41,73	23,65	46,62
Agua absorbida %	(%)	23,03		19,10		22,96	



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Muriáldo-Pastaza-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-193

**ENSAYO DE C.B.R. SUELO ARCILLA + 10% ESCORIA DE SIDERURGIA**  
**ESPONJAMIENTO**

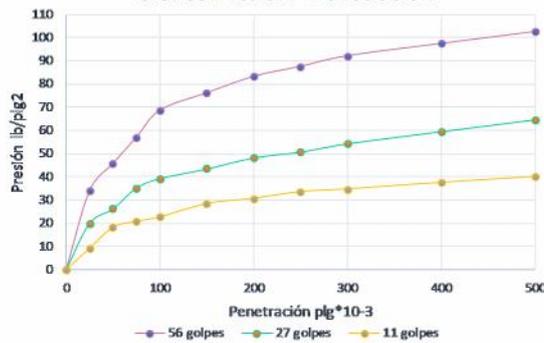
MOLDE NUMERO			15				18				44			
FECHA	TIEMPO		LECT	h	ESPONJ		LECT	h	ESPONJ		LECT	h	ESPONJ	
DIA Y MES	HORA	DIAS	DIAL	Mues	Pigs.	%	DIAL	Mues	Pigs.	%	DIAL	Mues	Pigs.	%
			Pigs.	Pigs.	*10-2		Pigs.	Pigs.	*10-2		Pigs.	Pigs.	*10-2	
13 oct 19	15:10	1	0,04	5,00	0,00	0,00	0,09	5,00	0,00	0,00	0,04	5,00	0,00	0,00
14 oct 19	14:08	2	0,14		10,39	2,08	0,13		4,20	0,84	0,07		3,00	0,60
15 oct 19	14:45	3	0,22		17,91	3,58	0,20		11,32	2,26	0,08		4,88	0,98

**ENSAYO DE CARGA PENETRACION**

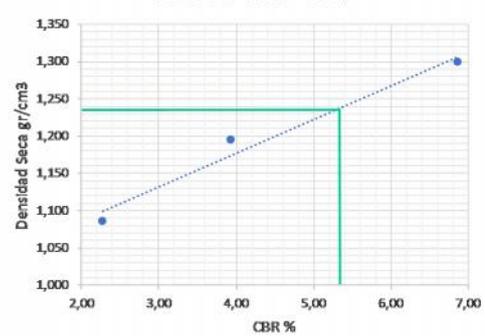
CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3pI2

MOLDE NUMERO			15				18				44			
TIEMPO		PENET.	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR
MIN	SEG	" 10-3	LECT	LEIDA	CORG		LECT	LEIDA	CORG		LECT	LEIDA	CORG	
			DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%
		0	0,0	0			0,0	0			0,0	0		
0	30	25	46,2	33,9			27,2	19,9			12,5	9,2		
1	0	50	62,3	45,8			35,8	26,3			24,8	18,2		
1	30	75	77,7	57,1			48,0	35,3			28,3	20,8		
2	0	100	93,5	68,7	68,7	<b>6,9</b>	53,5	39,3	39,3	<b>3,9</b>	30,9	22,7	<b>22,7</b>	<b>2,3</b>
3	0	150	103,7	76,2			59,2	43,5			38,7	28,4		
4	0	200	113,3	83,2			65,8	48,3			41,8	30,7		
5	0	250	119,2	87,6			69,2	50,8			45,7	33,6		
6	0	300	125,4	92,1			74,1	54,4			47,3	34,7		
8	0	400	132,6	97,4			81,2	59,7			51,1	37,5		
10	0	500	139,6	102,6			88,2	64,8			54,5	40,0		
CBR corregido						<b>6,9</b>				<b>3,9</b>				<b>2,3</b>

**Gráfico Presión - Penetración**



**Densidad Seca - CBR**



Densidades	
1,299	gr/cm3
1,195	gr/cm3
1,085	gr/cm3

Resistencias	
6,87	%
3,93	%
2,27	%

Densidad Máx	1,300	gr/cm3
95% de DM	1,235	gr/cm3
<b>CBR PUNTUAL</b>	<b>5,4</b>	<b>%</b>



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”

<b>ORIGEN</b>	Murialdo-Pastaza-Ecuador						
<b>MUESTRA:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez						
<b>ENSAYADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas						
<b>REVISADO POR:</b>	AASHTO T-180						
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180						
<b>ENSAYO DE PENETRACIÓN C.B.R. SUELO ARCILLA + 35% ESCORIA DE SIDERURGIA</b>							
<b>Molde N°</b>		<b>1-C</b>		<b>2-C</b>		<b>3-C</b>	
<b>N° de Capas</b>	#	5		5		5	
<b>N° de Golpes por Capa</b>	#	56		27		11	
<b>Características de la muestra</b>		<b>Antes del remojo</b>	<b>Después del remojo</b>	<b>Antes del remojo</b>	<b>Después del remojo</b>	<b>Antes del remojo</b>	<b>Después del remojo</b>
<b>Wm + Molde</b>	(gr)	10118	10554,8	9806,4	10331,4	9415,2	10171,1
<b>Peso Molde</b>	(gr)	6360,4	6360,4	6383,2	6383,2	6360,8	6360,8
<b>Peso muestra húmeda</b>	(gr)	3757,6	4194,4	3423,2	3948,2	3054,4	3810,3
<b>Volumen de la muestra</b>	(cm <sup>3</sup> )	2301	2301	2301	2301	2301	2301
<b>Densidad húmeda</b>	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,633	1,823	1,488	1,716	1,327	1,656
<b>Densidad seca</b>	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,320	1,212	1,243	1,133	1,151	1,110
<b>Densidad seca promedio</b>	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,266		1,188		1,130	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>							
<b>Recipiente N°</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Wm + Recipiente</b>	(gr)	250,82	167,8	208,62	161,1	214,09	192,2
<b>Peso muestra seca + recipient</b>	(gr)	215,36	126,15	181,2	122,39	191,28	144,33
<b>Peso agua</b>	(gr)	35,46	41,65	27,42	38,71	22,81	47,87
<b>Peso recipiente</b>	(gr)	65,64	43,55	41,86	47,2	42,93	47,05
<b>Peso muestra seca</b>	(gr)	149,72	82,6	139,34	75,19	148,35	97,28
<b>Contenido de Humedad w%</b>	(%)	23,68	50,42	19,68	51,48	15,38	49,21
<b>Agua absorbida %</b>	(%)	26,74		31,80		33,83	



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS INGENIERÍA CIVIL**



"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"

<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	Muriáldo-Pastaza-Ecuador
<b>ENSAYADO POR:</b>	Cynthia Elizabeth Tirado Gutiérrez
<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Marisol Bayas
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-193

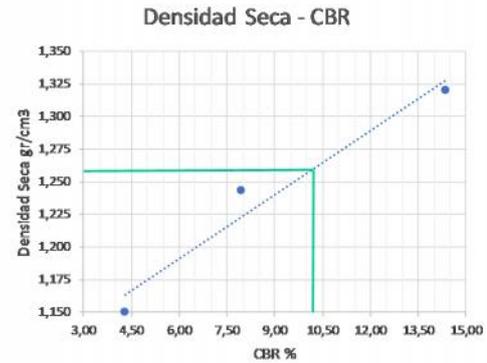
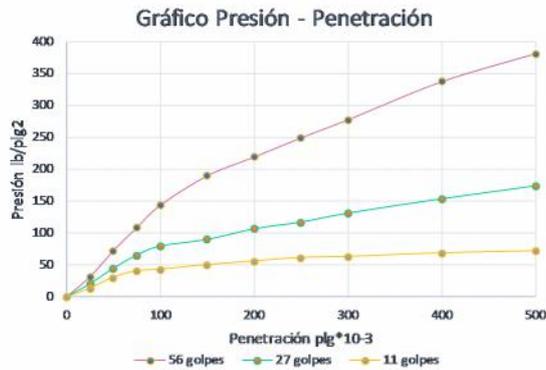
**ENSAYO DE C.B.R. SUELO ARCILLA + 35% ESCORIA DE SIDERURGIA**  
**ESPONJAMIENTO**

MOLDE NUMERO			15				18				44			
FECHA	TIEMPO		LECT	h	ESPONJ		LECT	h	ESPONJ		LECT	h	ESPONJ	
DIA Y MES	HORA	DIAS	DIAL	Mues	Pigs.	%	DIAL	Mues	Pigs.	%	DIAL	Mues	Pigs.	%
			Pigs.	Pigs.	*10-2		Pigs.	Pigs.	*10-2		Pigs.	Pigs.	*10-2	
16 oct 19	18:10	0	0,13	5,00	0,00	0,00	0,20	5,00	0,00	0,00	0,02	5,00	0,00	0,00
17 oct 19	18:08	1	0,16		3,43	0,69	0,24		3,48	0,70	0,06		3,82	0,76
18 oct 19	18:20	2	0,21		8,46	1,69	0,28		7,72	1,54	0,07		5,20	1,04

**ENSAYO DE CARGA PENETRACION**

CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3pI2

MOLDE NUMERO			15				18				44			
TIEMPO		PENET.	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR	Q	PRESIONES		CBR
MIN	SEG	" 10-3	LECT	LEIDA	CORG		LECT	LEIDA	CORG		LECT	LEIDA	CORG	
			DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%
		0	0,0	0			0,0	0			0,0	0		
0	30	25	42,8	31,4			28,0	20,6			18,4	13,5		
1	0	50	98,4	72,3			61,2	45,0			41,6	30,6		
1	30	75	148,3	109,0			89,4	65,7			55,1	40,5		
2	0	100	195,4	143,6	143,6	14	108,3	79,6	79,6	8,0	58,4	42,9	42,9	4,3
3	0	150	258,4	189,8			122,6	90,1			68,3	50,2		
4	0	200	298,4	219,2			145,3	106,7			76,1	55,9		
5	0	250	339,5	249,4			159,6	117,3			83,2	61,1		
6	0	300	378,1	277,8			178,8	131,4			85,6	62,9		
8	0	400	459,6	337,7			209,5	153,9			93,1	68,4		
10	0	500	519,3	381,5			237,2	174,3			97,6	71,7		
CBR corregido										8,0				4,3



Densidades 1,320 gr/cm3 1,243 gr/cm3 1,151 gr/cm3	Resistencias 14,36 % 7,96 % 4,29 %	Densidad Máx 1,322 gr/cm3 95% de DM 1,256 gr/cm3 CBR PUNTUAL <b>10,3</b> %
--	---	--