



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL**  
**TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**Tema:**

---

**“ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y**  
**MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS**  
**GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO”**

**AUTOR:** Christian Danilo Pérez Galarza

**TUTOR:** Ing. Favio Portilla

**Ambato – Ecuador**

**2020**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Favio Portilla, certifico que el presente trabajo bajo el tema: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO, es de autoría del Sr. Christian Danilo Pérez Galarza, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, enero del 2020



Ing. Favio Portilla

## AUTORÍA

Yo, Christian Danilo Pérez Galarza con CI: 180448621-3, egresado de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO, es de mi completa autoría.

Ambato, enero del 2020



---

Christian Danilo Pérez Galarza

## 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 ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, enero del 2020

Autor



---

Christian Danilo Pérez Galarza

180448621-3

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

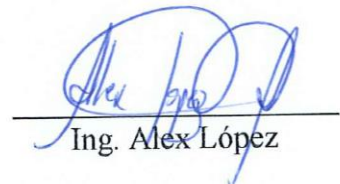
Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO”, del egresado Christian Danilo Pérez Galarza, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, enero del 2020

Para constancia firman.



Ing. Lorena Pérez



Ing. Alex López

## **DEDICATORIA**

A mis padres, César Pérez y Maura Galarza, pilares fundamentales de mi vida, quienes desde pequeño supieron educarme y darme su amor, inculcarme valores y sobretodo apoyarme incondicionalmente en este camino largo de preparación académica.

A mi hermana, Stefanny Pérez, aunque no se encuentra presente en este momento desde lejos siempre me ha brindado su apoyo y nunca me ha dejado solo.

A mis tíos y primos, quienes siempre con una palabra de aliento estuvieron cerca, dándome consejos para alcanzar la tan ansiada meta.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios por darme la sabiduría de escoger esta hermosa carrera y sobretodo darme fuerza para no desmayar en el camino y continuar hasta poder llegar a ser un profesional.

Agradezco a mi familia, pero sobre todo a mis padres. Esto es por y para ustedes, los amo.

Agradezco a mí querida Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. En ella supe nutrirme de conocimiento el cual se ha ido reflejando en los últimos semestres de carrera.

De forma especial a mi tutor, el Ingeniero Favio Portilla, por su paciencia y compromiso con esta investigación, gracias a su conocimiento y guía, hemos podido concluir con éxito este proyecto.

## ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	ii
AUTORÍA.....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN EJECUTIVO .....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos .....	1
1.1.1 Antecedentes.....	1
1.1.2 Justificación .....	2
1.1.3 Fundamentación Teórica.....	3
1.1.3.1 PROPIEDADES ÍNDICE .....	3
CONTENIDO DE HUMEDAD .....	3
GRANULOMETRÍA .....	4
LÍMITE LÍQUIDO .....	4
LÍMITE PLÁSTICO .....	5
ÍNDICE PLÁSTICO .....	6
GRAVEDAD ESPECÍFICA .....	6
PROCTOR MODIFICADO TIPO D .....	6
DENSIDAD DE CAMPO .....	8
CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.....	8



SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO .....	8
SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS .....	12
1.1.3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS .....	14
RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - CBR .....	14
PROSPECCIÓN GEOFÍSICA .....	16
MÉTODO SÍSMICO .....	16
MÉTODO MAGNÉTICO .....	17
MÉTODO RADIOMÉTRICO .....	17
MÉTODO ELÉCTRICO .....	17
FUNDAMENTOS ELÉCTRICOS .....	18
Carga Eléctrica .....	18
Campo Eléctrico .....	18
Voltaje .....	19
Corriente .....	19
Ley de Ohm .....	19
MÉTODO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA .....	19
ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y REGRESIÓN .....	23
CORRELACIÓN DE DOS VARIABLES .....	23
MODELOS LINEAL Y NO LINEALES .....	23
CRITERIO DE MÍNIMOS CUADRADOS .....	25
CORRELACIONES DE VARIABLES MÚLTIPLES .....	26
1.1.4 Hipótesis .....	26
1.2. Objetivos .....	27
1.2.1 Objetivo General .....	27
1.2.2 Objetivos Específicos .....	27
CAPÍTULO II .....	28
2.1 MATERIALES Y EQUIPOS .....	31

2.2 MÉTODOS.....	32
2.2.1 PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	32
2.2.1.1 ENSAYOS DE CAMPO .....	34
Resistividad eléctrica .....	34
2.2.1.2 ENSAYOS DE LABORATORIO .....	35
Ensayo de granulometría.....	35
Ensayo de Límite líquido .....	36
Ensayo de Límite plástico .....	36
Ensayo de Gravedad específica.....	37
Ensayo de Compactación .....	37
Ensayo CBR.....	38
2.2.2 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	38
Correlación Lineal Múltiple.....	39
Correlación Logarítmica Múltiple .....	39
Correlación Potencial Múltiple.....	40
Correlación Exponencial Múltiple.....	41
CAPÍTULO III.....	43
3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	43
3.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS .....	43
3.1.2 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS .....	46
3.1.3 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA EN CAMPO .....	47
3.1.3.1 Resumen de los ensayos en campo y laboratorio.....	49
3.1.4 CORRELACIONES .....	50
3.1.4.1 Correlación N° 1 .....	52
3.1.4.2 Correlación N° 2 .....	53
3.1.4.3 Correlación N° 3 .....	54
3.1.4.4 Correlación N° 4 .....	55

3.1.4.5 Correlación N° 5 .....	56
3.1.4.6 Correlación N° 6 .....	57
3.1.4.7 Correlación N° 7 .....	58
3.1.4.8 Correlación N° 8 .....	59
3.1.4.9 Correlación N° 9 .....	60
3.1.4.10 Correlación N° 10 .....	61
3.1.4.11 Correlación N° 11 .....	62
3.1.4.12 Correlación N° 12 .....	63
3.1.4.13 Correlación N° 13 .....	64
3.1.4.14 Correlación N° 14 .....	65
3.1.4.15 Correlación N° 15 .....	66
3.1.4.16 Correlación N° 16 .....	67
3.1.4.17 Correlación N° 17 .....	68
3.1.4.18 Correlación N° 18 .....	69
3.1.4.19 Correlación N° 19 .....	70
3.1.4.20 Correlación N° 20 .....	71
3.1.4.21 Correlación N° 21 .....	72
3.1.4.22 Correlación N° 22 .....	73
3.1.4.23 Correlación N° 23 .....	74
3.1.4.24 Correlación N° 24 .....	75
3.1.4.25 Correlación N° 25 .....	76
3.1.4.26 Correlación N° 26 .....	77
3.1.4.27 Correlación N° 27 .....	78
3.1.4.28 Correlación N° 28 .....	79
3.1.4.29 Correlación N° 29 .....	80
3.1.4.30 Correlación N° 30 .....	81
CAPÍTULO IV.....	84

4.1 CONCLUSIONES.....	84
4.2 RECOMENDACIONES .....	85
ANEXOS .....	90
Anexo 1. Zonas de trabajo para las parroquias urbanas del Cantón Ambato.....	90
Anexo 2. Puntos de recolección de muestras de la Zona 3 .....	91
Nomenclatura .....	92
Anexo 3. Ensayos de las 10 muestras de la Zona 3.....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Rango de Gs para diferentes suelos .....	6
<b>Tabla 2:</b> Sistema de clasificación AASHTO.....	8
<b>Tabla 3:</b> Sistema SUCS.....	12
<b>Tabla 4:</b> Comparación entre los Sistemas AASHTO y SUCS.....	13
<b>Tabla 5:</b> Valores de Carga Unitaria Patrón .....	15
<b>Tabla 6:</b> Clasificaciones de suelos con valores CBR.....	16
<b>Tabla 7:</b> Peso total del suelo .....	30
<b>Tabla 8:</b> Materiales y equipos .....	31
<b>Tabla 9:</b> Plan de recolección de datos .....	32
<b>Tabla 10:</b> Granulometría y clasificación de los suelos .....	43
<b>Tabla 11:</b> Límites de Atterberg de la zona 3.....	45
<b>Tabla 12:</b> Resultados ensayo SPT.....	47
<b>Tabla 13:</b> Resumen de ensayos .....	49
<b>Tabla 14:</b> Bondad de ajuste.....	50
<b>Tabla 15:</b> Resumen de las correlaciones .....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Copa de Casagrande .....	5
<b>Figura 2:</b> Moldes metálicos y martillos de compactación .....	7
<b>Figura 3:</b> Carta de plasticidad .....	13
<b>Figura 4:</b> Máquina para ensayo CBR.....	14
<b>Figura 5:</b> Fenómeno de tetra partición de la energía a la llegada a cada interfase ...	17
<b>Figura 6:</b> Telurómetro.....	20
<b>Figura 7:</b> Configuración de Wenner para el Método de Resistividad.....	21
<b>Figura 8:</b> Mapa de ubicación Geográfica.....	29
<b>Figura 9:</b> Limpieza de la capa vegetal .....	34
<b>Figura 10:</b> Ubicación de los electrodos en el terreno.....	34
<b>Figura 11:</b> Telurómetro.....	35
<b>Figura 12:</b> Peso del material retenido en el tamiz.....	35
<b>Figura 13:</b> Copa de Casagrande .....	36
<b>Figura 14:</b> Placa de vidrio y rollitos de suelo .....	36
<b>Figura 15:</b> Picnómetro con agua y suelo.....	37
<b>Figura 16:</b> Peso del molde y suelo compactado.....	37
<b>Figura 17:</b> Máquina de ensayos CBR .....	38
<b>Figura 18:</b> Granulometría muestras G1 - G10 .....	44
<b>Figura 19:</b> Carta de plasticidad de muestras G1 - G10.....	46
<b>Figura 20:</b> Contenido de humedad vs. Resistividad eléctrica.....	48
<b>Figura 21:</b> Límite líquido vs. Límite plástico .....	52
<b>Figura 22:</b> Humedad óptima vs. Densidad seca máxima.....	53
<b>Figura 23:</b> Límite plástico vs. Densidad seca máxima .....	54
<b>Figura 24:</b> Densidad seca máxima vs. Humedad óptima vs. Densidad de campo....	55
<b>Figura 25:</b> Límite líquido vs. Límite plástico vs. Gravedad específica .....	56
<b>Figura 26:</b> Humedad natural vs. Pasa N°200 vs. Gravedad específica.....	57
<b>Figura 27:</b> Humedad óptima vs. Gravedad específica vs. Densidad seca máxima...	58
<b>Figura 28:</b> Resistividad eléctrica vs. Humedad natural .....	59
<b>Figura 29:</b> Resistividad eléctrica vs. Pasa N°200 .....	60
<b>Figura 30:</b> Resistividad eléctrica vs. Límite plástico vs. Límite líquido .....	61
<b>Figura 31:</b> Resistividad eléctrica vs. Humedad natural vs. Densidad de campo .....	62

<b>Figura 32:</b> Resistividad eléctrica vs. Pasa N°200 vs. Densidad de campo .....	63
<b>Figura 33:</b> Resistividad eléctrica vs. Grado de saturación del agua .....	64
<b>Figura 34:</b> Resistividad eléctrica vs. Humedad óptima vs. Densidad seca máxima. 65	
<b>Figura 35:</b> Resistividad eléctrica vs. Humedad natural vs. Grado de saturación del agua .....	66
<b>Figura 36:</b> Resistividad eléctrica vs. Pasa N°200 vs. Densidad seca máxima.....	67
<b>Figura 37:</b> Resistividad eléctrica vs. N-SPT.....	68
<b>Figura 38:</b> Resistividad eléctrica vs. Densidad de campo vs. Grado de compactación .....	69
<b>Figura 39:</b> Resistividad eléctrica vs. Densidad seca máxima vs. CBR .....	70
<b>Figura 40:</b> Resistividad eléctrica vs. Índice plástico vs. Índice líquido.....	71
<b>Figura 41:</b> Resistividad eléctrica vs. Índice líquido vs. Humedad óptima .....	72
<b>Figura 42:</b> Resistividad eléctrica vs. Índice líquido vs. CBR.....	73
<b>Figura 43:</b> Resistividad eléctrica vs. Índice líquido vs N-SPT.....	74
<b>Figura 44:</b> Resistividad eléctrica vs. CBR.....	75
<b>Figura 45:</b> Resistividad eléctrica vs. Densidad seca máxima .....	76
<b>Figura 46:</b> Resistividad eléctrica vs. N-SPT vs. Humedad óptima.....	77
<b>Figura 47:</b> Resistividad eléctrica vs. Grado de compactación vs. CBR .....	78
<b>Figura 48:</b> Humedad óptima vs. CBR.....	79
<b>Figura 49:</b> Límite líquido vs. Humedad óptima vs. CBR .....	80
<b>Figura 50:</b> Densidad en campo vs. Humedad natural vs. CBR.....	81
<b>Figura 51:</b> Relación entre las propiedades del suelo.....	82

## RESUMEN EJECUTIVO

### TEMA DE INVESTIGACIÓN:

“ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO”

**AUTOR:** Christian Danilo Pérez Galarza

**TUTOR:** Ing. Mg. Favio Portilla

En el presente trabajo de investigación se desarrolló un estudio de resistividad eléctrica para posteriormente analizarlo con las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares en la ciudad de Ambato, todos los procedimientos que se realizaron durante el proyecto se indican a continuación.

Se formó un proyecto macro señalando cuatro zonas de Ambato para poder alcanzar un mayor tamaño muestral de la investigación. Se realizó una visita a los sectores donde se seleccionó 10 puntos por cada zona, los mismos que con anterioridad se identificaron en trabajos de titulación previos. En los puntos identificados se realizaron los ensayos en campo y posteriormente se recolectaron muestras para realizar los respectivos ensayos en laboratorio.

Con los resultados obtenidos mediante los ensayos se estableció las regresiones correlaciones mediante el método de mínimos cuadrados utilizado un software de procesamiento de datos. Se escogieron los valores de correlación que presentaban una relación sensata y los que tenían un valor de correlación mayor al 50 por ciento.

Finalmente, se encontró 30 correlaciones con coeficientes de correlación que comprendían entre 61 a 96 por ciento, lo que indicó que el método de resistividad eléctrica resulta confiable y de cierta manera económica para encontrar diferentes propiedades índices y mecánicas de los suelos granulares.



## ABSTRACT

The experimental work developed an electrical resistivity study to later analyze it with the index and mechanical properties of granular soils in the city of Ambato, all the procedures that were performed during the project are indicated below.

A macro project was formed indicating four areas of Ambato in order to reach a larger sample size of the research. A visit was made to the sectors where 10 points were selected for each zone, the same ones that were previously identified in previous titling works. At the identified points, field tests were carried out and samples were subsequently collected to perform the respective laboratory tests.

With the results obtained through the tests, correlation regressions were established using the method of least squares used data processing software. Correlation values that had a sensible relationship and those that had a correlation value greater than 50 percent were chosen.

Finally, 30 correlations were found with R2 correlation coefficients that comprised between 61 to 96 percent, which indicated that the electrical resistivity method is reliable and in a certain economic way to find certain index and mechanical properties of granular soils.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes Investigativos

#### 1.1.1 Antecedentes

Según Khairul Anwar Hatta y Syed Baharom Azahar Syed Osman analizan: “Parámetros eléctricos que reemplazan los parámetros físicos tradicionales. Los datos de caracterización física y eléctrica del suelo, obtenidos en un estudio de campo mediante el sondeo eléctrico vertical 1D (VES) y el método de penetración estándar, que se utilizan en el método de regresión de mínimos cuadrados, para así evaluar las correlaciones de resistividad eléctrica y valores de SPT-N. La relación lineal entre la resistividad y SPT indican que son directamente proporcionales entre sí, es decir que a valores bajos de resistividad, menor número de N. Se obtuvieron correlaciones preliminares cuyos resultados muestran la posibilidad de usar la resistividad eléctrica como un ensayo alternativo al método de penetración estándar SPT.” [1]

Según Chang-Seon Park, Jin-Hoon Jeong, Hae-Won Park and Kyoungchul Kim exponen: “La ventaja de emplear el método de electrodo plano (FEM) para la detección de cavidades debajo de los pavimentos, en lugar del método de electrodo de polo (PEM), mediante experimentos de campo y laboratorio usando la resistividad eléctrica. Se aplicaron en un terreno con y sin cavidades, y en un pavimento de concreto con y sin cavidades, en los cuales se observó una distribución más amplia de resistividad eléctrica usando FEM, sin embargo las cavidades se detectaron con precisión utilizando ambos métodos. Los resultados obtenidos muestran que FEM para un estudio de resistividad eléctrica es aceptable ya que la diferencia entre los datos obtenidos, en comparación con PEM, es mínima. Además al usar FEM el daño que se produce al pavimento es menor.” [2]

Según Syed Baharom Syed Osman, Fahad Irfan Siddiqui, Mohammad Yaakob Behan analizan: “La relación existente entre la resistividad eléctrica y el índice de plasticidad del suelo, mediante ensayos de campo y laboratorio. Los valores obtenidos en base a

estudios de resistividad en campo, perforación de suelo y pruebas de límite de Atterberg a partir de muestras extraídas in situ, muestran una correlación significativa. Se concluyó que la correlación resistividad - índice de plasticidad es inversamente proporcional. Los suelos de arena limosa presentan un alto índice de plasticidad y valores bajos de resistividad, mientras que los suelos arenosos se caracterizan por presentar índices de plasticidad bajos y altos valores de resistividad.” [3]

Según Fahad Irfan Siddiqui, Syed Baharom Azahar y Bin Syed Osman exponen: “Correlacionar la resistividad eléctrica con las propiedades del suelo permite caracterizar la superficie del suelo sin realizar excavaciones. Los resultados de los ensayos de resistividad eléctrica en campo y laboratorio y las propiedades del suelo fueron evaluados mediante los análisis de regresión simple y múltiple obteniendo correlaciones cualitativas y cuantitativas. El índice de plasticidad y la resistividad mostraron una relación curvilínea en arcillas, concluyendo que mientras más alto es el valor de plasticidad, la resistividad tiende a bajar. También se puede añadir que mediante un estudio de resistividad in situ podrían estimarse de manera eficiente el contenido de humedad y ángulo de fricción interna del suelo.” [4]

### **1.1.2 Justificación**

Las posibles decisiones tomadas en la etapa de diseño, rehabilitación o reforzamiento en un proyecto de construcción dependerán en gran medida de la correcta determinación de las propiedades índice y mecánicas del suelo. [5]

La mayor parte de los parámetros que cada una de las propiedades exige se las obtiene mediante ensayos de campo y laboratorio, con muestras de suelo tomadas in situ a través de métodos de extracción como calicatas y SPT (ensayo de penetración estándar). El tiempo que demanda todo el proceso de exploración, muestreo, transporte, ensayo y análisis de resultados es relativamente grande, por lo que resulta ser un factor de retraso y encarecimiento de los proyectos [3], [4] aún más cuando la topografía propia del terreno en estudio dificulta el acceso a la misma.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción exige un número mínimo de sondeos y una profundidad específica por unidad de construcción para la determinación de las propiedades del suelo [5], sin embargo en ciertos casos debido a lo que comúnmente

llaman experiencia del constructor, se estiman los parámetros de dichas propiedades, o se les calcula de forma empírica, lo cual resulta ser inquietante ya que la ciudad de Ambato se ubica en una zona de alto riesgo sísmico [6].

Varios métodos geofísicos considerados no invasivos, no destructivos, económicos y de rápida ejecución últimamente se han ido popularizando dentro del campo de la ingeniería, como la refracción sísmica, electromagnetismo, etc. [3], [4], [7]. Mediante el método de resistividad eléctrica, estudiada por algunos autores [2], [3], [4], [7], y considerada como una alternativa atractiva a los métodos destructivos de común ejecución, se han obtenido correlaciones latas en cuanto al ángulo de fricción [4], índice plástico [3], [4] contenido de humedad [2], [4], [7], SPT [1], etc. El método puede ser utilizado como una herramienta útil para determinar de forma rápida y precisa las propiedades del suelo, correlacionando los suelos presentes en la ciudad de Ambato como las ecuaciones que representen dichas correlaciones con el fin de obtener los resultados más cercanos a la realidad.

En base a una inspección en campo de los puntos ensayados en tesis previas [8] se ha determinado una zonificación de la ciudad de Ambato, en la cual la ZONA 3 (Ver Anexo 1) corresponde al sitio en donde se desarrollará la presente investigación con la utilización de un telurómetro y varios ensayos de propiedades índice y mecánicas.

### **1.1.3 Fundamentación Teórica**

#### **1.1.3.1 PROPIEDADES ÍNDICE**

##### **CONTENIDO DE HUMEDAD**

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación existente entre el peso de agua contenida en el mismo y el peso de las partículas sólidas, expresada como porcentaje.

$$W\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

El contenido de humedad de un material varía teóricamente de 0 a  $\infty$ .

Para determinar el peso de agua eliminada, se seca una muestra de suelo húmedo en

un horno controlado a  $110 \pm 5$  °C. El peso de la muestra de suelo que permanece posterior al secado en horno corresponde al peso de las partículas sólidas. La diferencia entre el peso del suelo húmedo y el peso de las partículas obtenidas después del secado es considerado como el peso del agua.

El secado en horno, siguiendo este método (a 110 °C) nos da resultados confiables cuando el suelo contiene yeso u otros minerales con gran cantidad de agua de hidratación, a diferencia de un suelo que contiene grandes cantidades de material orgánico, el cual debe ser secado en un horno a una temperatura de 60 °C para obtener el mismo grado de confiabilidad respecto al contenido de humedad [9].

## **GRANULOMETRÍA**

Se denomina análisis granulométrico al procedimiento por el cual se separa un agregado en fracciones constituidas por partículas según sus tamaños, de tal manera se puede conocer los pesos de cada cantidad según tamaños que conforman el peso total de la muestra analizada.

Las fracciones de la muestra se pueden separar por tamaños utilizando una serie de mallas normalizadas de diferentes aberturas (tamices), las cuales proporcionan el tamaño de las partículas que quedan retenidas en cada una de ellas. Los pesos del material que se encuentran en cada malla se expresan como porcentajes retenidos con respecto al peso total de la muestra, los cuales se calculan tanto parciales como acumulados.

Con los datos obtenidos de los porcentajes retenidos acumulados se procede a graficar la curva granulométrica, ubicándose en las abscisas el diámetro de las partículas a una escala logarítmica y en las ordenadas el porcentaje a una escala natural [10].

## **LÍMITE LÍQUIDO**

El límite líquido de un suelo se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje, existente en un suelo cuando éste se halla entre el límite del estado plástico y el estado semi líquido.

El ensayo de laboratorio se realiza mediante el uso de un instrumento de medición

denominado “Copa de Casagrande”, que es un recipiente de bronce o latón con un tacón sólido. Sobre la copa se coloca el suelo amasado con cierta cantidad de agua, que es una muestra que pasa por el tamiz N° 40 (0.425 mm) y posteriormente se procede a hacer una ranura trapezoidal separando la muestra en dos porciones, usando un ranurador laminar. El objetivo es hacer cerrar la ranura golpeando la copa contra el tacón sólido al que se encuentra apoyado. Se considera que el suelo ha alcanzado el límite líquido cuando los bordes inferiores de la ranura se tocaban al cabo de un cierto número de golpes sin mezclarse [11].



**Figura 1:** Copa de Casagrande

**Fuente:** Juárez Badillo. Mecánica de suelos.

Conociendo 3 ó 4 resultados comprendidos entre 10 y 40 golpes obtenidos empleando diferentes contenidos de agua, se traza una gráfica semi logarítmica, en la cual se ubica en el eje de las ordenadas la humedad en escala natural, y en el eje de las abscisas el número de golpes en escala logarítmica.

El valor de la humedad que corresponde al punto que interseca la ordenada de 25 golpes con la recta, es el contenido de agua que se designa como límite líquido, aproximando el valor al entero más próximo [12].

## **LÍMITE PLÁSTICO**

Se define como la humedad más baja con la que puede formarse rollitos de suelo de 3 mm (1/8”) de diámetro. La muestra de suelo tomada debe pasar únicamente por el tamiz N° 40 (0.425 mm). Para formar los rollitos de suelo usualmente se utiliza una placa de vidrio. La única condición es que cuando los rollitos alcancen el diámetro

mencionado ocurra el desmoronamiento y agrietamiento. La humedad que contenga en ese momento la muestra corresponderá al límite plástico [12].

## ÍNDICE PLÁSTICO

Se define al índice de plasticidad como la diferencia numérica entre su límite líquido y su límite plástico de un mismo suelo [13].

## GRAVEDAD ESPECÍFICA

Es la relación entre el peso del volumen de sólidos a una temperatura dada y el peso del mismo volumen de agua, a la misma temperatura [14].

El ensayo de laboratorio se realiza mediante la utilización de un picnómetro el cual debe ser calibrado con anterioridad, tomando los pesos del mismo lleno de agua para varias temperaturas. Los valores se representan en una gráfica que se denomina curva de calibración. Este es el modo operativo que se utiliza para determinar el peso específico de los suelos [15].

Los suelos se pueden clasificar de acuerdo a los valores de gravedad específica obtenidos en el ensayo, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 1:** Rango de Gs para diferentes suelos

TIPO DE SUELO	GRAVEDAD ESPECÍFICA
Grava	2.65 - 2.68
Arena	2.65 - 2.68
Arena limosa	2.66 - 2.70
Limo	2.66 - 2.70
Suelos inorgánicos	2.68 - 2.80
Suelo orgánico	< 2.00

**Fuente:** Gravedad específica de sólidos por método de Botella de Densidad (2019).

## PROCTOR MODIFICADO TIPO D

Prueba para determinar el peso por unidad de volumen del suelo mediante un procedimiento específico de compactación usado en el laboratorio, empleando diferentes contenidos de humedad [16]. El objeto de la prueba es determinar el peso volumétrico seco máximo  $\gamma_{d\text{ máx}}$  que puede alcanzar el suelo, y la humedad óptima

$W_o$  a la que tendrá que hacerse la compactación. Generalmente el ensayo se lo requiere en el ámbito vial para determinar el grado de compactación de una carretera.

Se limita a los suelos que pasen en su totalidad el tamiz N° 4, o a su vez que el material contenga un porcentaje retenido del 5% en dicho tamiz pero que en su totalidad pase el tamiz 3/4”.

Continuando con el procedimiento se adiciona una cantidad de agua determinada y se mezcla uniformemente. Cuando la mezcla ha alcanzado la humedad necesaria para iniciar con el ensayo se compacta en el molde cilíndrico en cinco capas iguales aproximadamente, cada una de 56 golpes uniformemente repartidos con un martillo de compactación de 10 lbf. (44.5N) a una altura de caída de 18 pulg. (457mm), generando un esfuerzo de compactación sobre el suelo de 56 000 pie-lbf/pie<sup>3</sup> (2 700 kN-m/m<sup>3</sup>).

Compactada la última capa se remueve el collarín y se retira el material excedente enrazándolo con la regla metálica para posteriormente pesarlo. Se extrae una pequeña cantidad de la parte superior e inferior de la muestra para determinar el contenido de humedad.



**Figura 2:** Moldes metálicos y martillos de compactación

**Fuente:** GVA Ingeniería y Arquitectura, S.A.

Los pesos volumétricos secos y las humedades obtenidas se usan para graficar la curva de compactación, ubicando en el eje de las abscisas la humedad; a partir de la cual se obtienen los valores de contenido óptimo de humedad y el peso seco unitario máximo [17].



## DENSIDAD DE CAMPO

Este método se utiliza para determinar la densidad del suelo in situ, y verificar los resultados de trabajos de compactación realizados en la construcción de proyectos de ingeniería, especialmente de tipo vial, y compararlos con las especificaciones técnicas establecidas [18].

El procedimiento consiste en excavar manualmente un hoyo en el suelo y guardar el material extraído en una bolsa impermeable para evitar la pérdida de humedad. Para efectuar la excavación se alisa el terreno en el lugar escogido y se realiza la operación con gran cuidado evitando la pérdida de material excavado. Se llena el hoyo con arena de Ottawa, cuya densidad es conocida y así se puede determinar el volumen del hoyo. La densidad del suelo extraído in situ se calcula dividiendo su masa húmeda para el volumen del hoyo. Se determina el valor del contenido de humedad del material extraído y el peso seco del mismo; y la densidad seca se calcula con los valores de la masa del suelo húmedo, el contenido de humedad y el volumen del hoyo [19].

## CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

### SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO

**Tabla 2:** Sistema de clasificación AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)						
	A-1		A-3	A-2			
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
<b>TAMIZADO (% QUE PASA)</b>							
Nº 10 (2.00 mm)	50 máx	...	...	...	...	...	...
Nº 40 (425 µm)	30 máx	50 máx	51 mín	...	...	...	...
Nº 200 (75 µm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx
<b>CONSISTENCIA</b>							
Límite líquido	...		...	B			
Índice de plasticidad	6 máx		N.P.				
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena alimoarcillosa			
Calificación	Excelente a bueno						

<b>Clasificación general</b>	<b>Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)</b>			
<b>Clasificación de grupo</b>	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 ; A-7-6
<b>TAMIZADO, % QUE PASA</b>				
<b>N° 10 (2.00 mm)</b>	...	...	...	...
<b>N° 40 (425 µm)</b>	...	...	...	...
<b>N° 200 (75 µm)</b>	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín
<b>CONSISTENCIA</b>				
<b>Límite líquido</b>	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
<b>Índice de plasticidad</b>	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
<b>Tipos de materiales característicos</b>	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
<b>Calificación</b>	Regular a malo			

**Fuente: AASHTO**

En esta clasificación los suelos, según su granulometría y plasticidad, se dividen en siete grupos. Estos grupos a su vez se subdividen a dos categorías de suelos. Los suelos que se encuentran comprendidos por los grupos A-1, A-2 y A-3 son suelos granulares, de los cuales menos del 35% del total del material pasa por el tamiz n° 200 y los que se encuentran en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son suelos limo-arcillosos, de los cuales más del 35% del material total pasa por el tamiz n° 200 [14].

## **MATERIALES GRANULARES**

**Grupo A-1.** Corresponde a una mezcla bien graduada de grava, arena gruesa y fina, y finos no plásticos o de baja plasticidad. También pertenecen a este grupo las mezclas bien graduadas de gravas y arenas sin finos.

**A-1-a.** Incluye los suelos en los que predominan las gravas, con o sin material fino bien graduado.

**A-1-b.** Incluye suelos que consisten principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado.

**Grupo A-3.** El material típico corresponde a suelos constituidos por arena fina de playa o desiertos sin finos de limo o arcilla, o con pequeñas cantidades de limo no

plástico. También se incluye en este grupo depósitos fluviales de arena fina mal graduada con cantidades pequeñas de arena gruesa o grava.

**Grupo A-2.** Este grupo incluye a todos los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa el tamiz N° 200 (0.074 mm) y que no pueden ser catalogados dentro de los grupos A-1 y A-3, debido a que el porcentaje de finos o plasticidad de éstos, están por encima de los límites fijados de dichos grupos; por lo cual este grupo contiene una gran variedad de suelos granulares correspondientes a los grupos A-1 y A-3 y a los grupos de material limo-arcilloso A-4, A-5, A-6 y A-7.

**A-2-4 y A-2-5.** Se incluyen en estos subgrupos a los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz N° 200 (0.074 mm), y la fracción que pasa por el tamiz N° 40 tienen características de suelos limosos pertenecientes a los grupos A-4 y A-5. Se encuentran también incluidos los suelos compuestos por grava y arena gruesa con limo o índices de plasticidad por encima de los límites del grupo A-1, y los suelos compuestos por arena fina con una proporción de limo no plástico que excede el límite del grupo A-3.

**A-2-6 y A-2-7.** Incluyen suelos similares como los descritos en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que los finos contienen arcilla plástica tienen características de los grupos A-6 y A-7.

## **MATERIALES LIMOARCILLOSOS**

**Grupo A-4.** El material característico en este grupo es un suelo limoso no plástico o plástico moderado, que tiene normalmente un 75% o más de material que pasa por el tamiz N° 200 (0.074 mm). También se incluye en este grupo los suelos constituidos por mezclas de suelo fino limosos y hasta un 64% de gravas y arena retenida en el tamiz N° 200.

**Grupo A-5.** El suelo típico de este grupo tiene similares características al descrito en el grupo A-4. La diferencia es que suele tener un carácter diatomáceo o micáceo, y puede ser muy compresibles, como refleja su elevado límite líquido.

**Grupo A-6.** El suelo típico de este grupo es una arcilla plástica que se caracteriza porque un 75% o más de material pasa por el tamiz N° 200 (0.074 mm). También se

incluye mezclas de suelo fino arcilloso, y un 64% de gravas y arenas retenidas en el tamiz N°200. Estos suelos generalmente experimentan grandes cambios volumétricos en estado seco y húmedo.

**Grupo A-7.** El suelo característico de este grupo es similar al que se describió en el grupo A-6, salvo que tiene elevado el límite líquido al igual que el grupo A-5, por lo que puede ser elástico y estar sujeto a grandes cambios volumétricos.

El grupo A-7 se subdivide en dos grupos dependiendo de las siguientes condiciones: Si  $LP > 30$  pertenece a A-7-5, y si  $LP < 30$  pertenece a A-7-6.

**A-7-5.** Incluyen suelos con un índice de plasticidad moderado con relación al límite líquido y que pueden ser compresibles en gran medida, además de presentar significativos cambios volumétricos.

**A-7-6.** Incluyen suelos con un alto índice de plasticidad con relación al límite líquido y están sujetos a importantes cambios volumétricos.

Lo que busca este sistema es evaluar la calidad del suelo en base a una medición numérica denominado índice de grupo (IG), el cual se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$IG = (P_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(P_{200} - 15)(IP - 10)$$

Donde:

$P_{200}$  = Porcentaje de suelo que pasa el tamiz N° 200

LL = Límite líquido

IP = Índice plástico

A continuación se muestran algunas reglas para determinar el índice de grupo:

- Si la ecuación da como resultado un valor negativo, el IG se expresa igual a cero.
- El IG debe ser redondeado al valor entero más próximo.
- Los grupos de suelos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 tienen un valor de IG igual a cero.
- Para calcular el IG de los grupos de suelos A-2-6 y A-2-7 se usa la siguiente

expresión:

$$IG = 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

El valor del índice de grupo, deberá ser redondeado al valor del entero más cercano, o en el caso de ser negativo se igualará a cero ( $IG = 0$ ). Finalmente lo que se reporta es la clasificación del grupo según la tabla anterior y el IG entre paréntesis.

### SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS

Se basa en la determinación de la distribución del tamaño de las partículas de un material, relacionando el límite líquido e índice plástico. Este sistema de clasificación también está basado en la carta de plasticidad obtenida por medios investigativos [11].

Este sistema divide al suelo en dos grandes grupos:

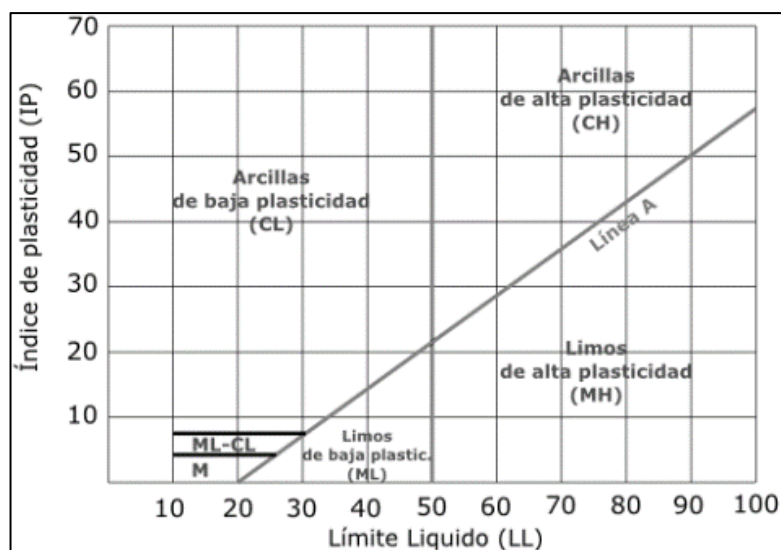
El material se considera grueso si se retiene más del 50% en el tamiz N°200		El material se considera fino si pasa más del 50% por el tamiz N°200
Grava (G)	Arena (S)	Limo o Arcilla
Si más del 50% queda retenido en el tamiz N°4	Si más del 50% pasa por el tamiz N°4	En este grupo también están incluidos los suelos altamente orgánicos

**Tabla 3:** Sistema SUCS

Simbolo de grupo	Nombre típico	Identificación de laboratorio	
GW	Gravas bien graduadas, mezclas grava - arena, pocos o sin finos	Cu = D60/D10 > 4 Cc=(D30) <sup>2</sup> /D10 x D60 entre 1 y 3	
GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava - arena, pocos o sin finos	No cumple con las especificaciones de granulometría para GW	
GM	Gravas limosas, mezclas grava - arena - limo	IP < 4	Doble símbolo para 4 < IP < 7
GC	Gravas arcillosas, mezclas grava - arena - arcilla	IP > 7	
SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos o sin finos	Cu = D60/D10 > 6 Cc=(D30) <sup>2</sup> /D10 x D60 entre 1 y 3	
SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos o sin finos	No cumple con las especificaciones de granulometría para SW	
SM	Arenas limosas, mezclas arena y limo	IP < 4	Doble símbolo para 4 < IP < 7
SC	Arenas arcillosas, mezclas arena y arcilla	IP > 7	
ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con baja plasticidad	1. Determinar el % de gravas y arenas de la curva granulométrica 2. Dependiendo del % de finos (fracción que retiene el tamiz N°200) los suelos se clasifican: Menos del 5% - GW, GP, SW, SP Más del 12% - GM, GC, SM, SC Del 5% al 12% - Doble símbolo	
CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas		

OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad
MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos
PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico

**Fuente:** Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS)



**Figura 3:** Carta de plasticidad

**Fuente:** Diccionario de Geotecnia

El límite líquido y límite plástico son valores que se utilizan para determinar el prefijo M, O, ó C, dependiendo de la coordenada que ocupe dentro de la carta de plasticidad.

**Tabla 4:** Comparación entre los Sistemas AASHTO y SUCS

AASHTO	SUCS
A-1a	GW, GP, SW, GM
A-1b	SW, SP, SM, GC
A-3	SP
A-2-4	CL, ML
A-2-5	CL, ML, CH, MH
A-2-6	CL, ML
A-2-7	CL, ML, CH, MH
A-4	CL, ML
A-5	CL, ML, CH, MH
A-6	CL, ML
A-7	CL, ML, CH, MH
A-8	Turba y detrito orgánicos

**Fuente:** Aybar G. Comparación SUCS y AASHTO

### 1.1.3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

#### RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - CBR

El ensayo de Relación de Soporte de California sirve para determinar la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo. A partir de los resultados se puede evaluar la calidad del terreno a usarse como subrasante, sub base o base en la construcción de pavimentos.

El ensayo normalmente se realiza sobre suelo preparado en el laboratorio bajo condiciones controladas de humedad y densidad, pero también puede efectuarse de la misma manera sobre muestras inalteradas tomadas in situ [20].

Luego de preparar el molde, se procede a la elaboración de especímenes de ensayo, compactando el suelo mediante un sistema dinámico de compactación (Proctor Estándar o Modificado) utilizando en cada molde el porcentaje de agua óptima calculada anteriormente, y la energía necesaria para que el suelo alcance la humedad y densidad deseadas. Para suelos granulares el ensayo se realiza utilizando tres moldes dando 55, 26 y 12 golpes respectivamente, en tres o cinco capas. Se toma una pequeña muestra de suelo antes de empezar la compactación y otra al final, se mezclan y se calcula el contenido de humedad [20].



**Figura 4:** Máquina para ensayo CBR

**Fuente:** UTEST. Equipo para ensayos en materiales

Por lo general, la condición de humedad más desfavorable de un suelo se obtiene

cuando el material está completamente saturado, razón por la cual el método original contempla que el ensayo de los especímenes se debe realizar después de haber estado sumergidos en agua y confinados en el molde por un período de cuatro días (96 horas), bajo una sobrecarga tal que produzca una presión equivalente a la originada por el peso del pavimento. En ningún caso la sobrecarga total tendrá que ser menor a 4.54 kg (10 lb).

Después del período de inmersión se deja escurrir el molde durante 15 minutos y se procede a ensayarlo, colocando una sobrecarga similar a la que se usó en la saturación para evitar el empuje ascendente del suelo dentro del molde. Se utiliza una máquina de compresión la cual penetra un pistón en la muestra de suelo, utilizando una tasa de deformación unitaria de 0.5 plg/min [21].

Finalmente se toma una pequeña muestra de suelo de la parte superior e inferior para determinar el contenido de humedad.

El valor de la relación de soporte CBR se lo determina como la relación de la carga unitaria (lb/plg<sup>2</sup>) ejercida por el pistón sobre el suelo para una determinada penetración, con respecto a la presión requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra patrón, expresado en porcentaje.

$$\%CBR = \frac{\text{carga unitaria ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} * 100$$

**Tabla 5:** Valores de Carga Unitaria Patrón

Penetración (plg)	Carga Unitaria Patrón (lb/plg <sup>2</sup> )
0.1	1000
0.2	1500
0.3	1900
0.4	2300
0.5	2600

**Fuente:** Aybar G. Comparación SUCS y AASHTO

El valor de CBR es utilizado para relacionar el comportamiento de los suelos a usarse como base, sub base y subrasante en pavimentos de carreteras y aeropistas. A continuación se muestran calificaciones de CBR:



**Tabla 6:** Clasificaciones de suelos con valores CBR

CBR (%)	Clasificación General	Usos	SUCS
0-3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL
3-7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL
7-30	Regular	Sub base	OL, CL, ML, SC, SM, SP
20-50	Bueno	Base, sub base	GM, GC, SW, SM, SP, GP
>50	Excelente	Base	GW, GM

**Fuente:** Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS)

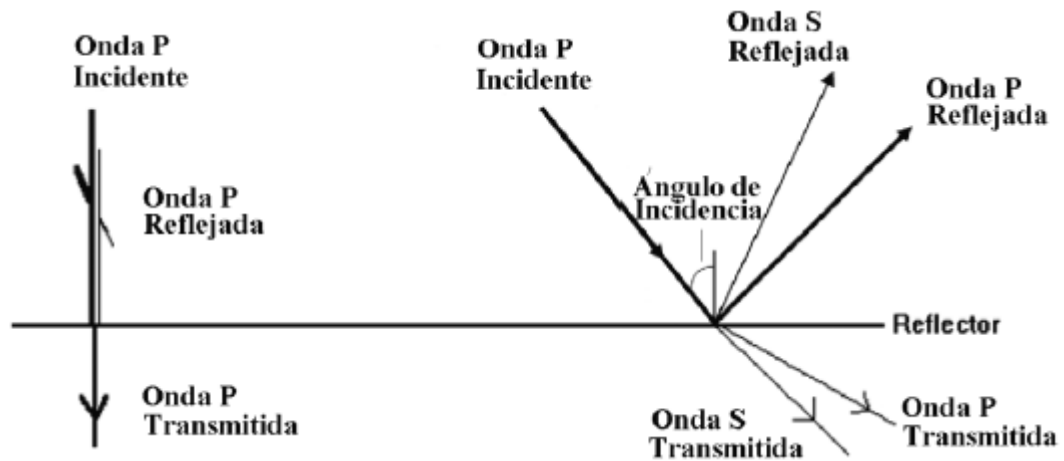
## PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Conjunto de técnicas matemáticas y físicas destinadas a explorar el subsuelo para la búsqueda y estudio de yacimientos de diferentes sustancias (petróleo, minerales, carbón, aguas subterráneas, etc.) y evaluar las propiedades mecánicas de los materiales, ubicar cavidades subterráneas, etc. mediante observaciones superficiales de la tierra. Además es posible determinar la estratigrafía de suelos y rocas aplicando métodos geofísicos, mediante las características físicas de los materiales como la velocidad de propagación de onda, resistividad eléctrica, susceptibilidad magnética, etc. [22].

## MÉTODO SÍSMICO

Consiste en la generación artificial de pequeños sismos en la superficie por medio de explosiones pequeñas, golpes verticales en el suelo, caída de un objeto, etc., para lo cual se tiende en el campo receptores ubicados de forma adecuada, llamados geófonos. Estos sensores son los encargados de receptar ondas Primarias y Secundarias en cada punto, debido a que el subsuelo genera y propaga ondas, actuando como una fuente independiente. Este fenómeno es llamado conversión de ondas, en el cual intervienen la densidad, la velocidad P y la S del medio superior e inferior, a partir de un modelo de capas establecido por métodos potenciales. Además se ha comprobado que estudios determinan con precisión la presencia de hidrocarburos.

La conversión de ondas está íntimamente relacionada con las diferentes propiedades de las rocas, mencionando a las más importantes como la porosidad, tipo de fluido, permeabilidad y rigidez.; abajo se ven ondas de cuerpo propagándose en una interface sencilla, y en un modelo de capas, que genera respuestas complejas [23].



**Figura 5:** Fenómeno de tetra partición de la energía a la llegada a cada interfase

**Fuente:** Mario Emilio Sigismondi. Métodos de prospección Geofísica, 2018.

## MÉTODO MAGNÉTICO

Este método consiste en medir las variaciones o anomalías en el campo magnético de la tierra, debido a la presencia de minerales ferromagnéticos, diamagnéticos o paramagnéticos.

Casi todas las rocas poseen pequeñas cantidades de óxidos de hierro, de tal forma que si se cristalizan a partir del magma en presencia de un campo magnético externo, los momentos magnéticos terminarán orientados, produciendo así una anomalía magnética [24].

## MÉTODO RADIOMÉTRICO

Consisten en realizar mediciones de radiaciones mediante la utilización de sensores radiactivos como los contadores Geiger – Muller o escintilómetros, emitidas desde el interior de la Tierra, permitiendo así detectar procesos radiactivos naturales y artificiales. Este método es adecuado para encontrar minerales como el radio o el uranio [22]. De todos los métodos geofísicos, éste es el que emplea menor penetración, debido a que las radiaciones son absorbidas a menos de noventa centímetros del material radiactivo.

## MÉTODO ELÉCTRICO

Generalmente se emplea un campo artificial eléctrico creado en la superficie,

emitiendo corriente alterna o directa, a través de un dispositivo, por uno o varios electrodos llamados de corriente, y los receptores son llamados electrodos de potencial. A la diferencia entre las corriente emitida y la recibida se la denomina resistencia eléctrica, y se la expresa en Ohmios. Los datos obtenidos a partir del ensayo se los tabula en softwares específicos, con la finalidad de obtener precisión y rapidez las propiedades físicas del subsuelo. De tal forma se pueden interpretar los cambios eléctricos que se producen debido a la presencia de humedad o al contenido de minerales del suelo.

Según la distancia a la que se ubiquen los electrodos emisores y receptores, se pueden obtener valores del subsuelo hasta una profundidad de 500 metros. Además dependiendo de la configuración electrónica se pueden obtener resultados, tanto en el plano horizontal como en el plano vertical [25].

## **FUNDAMENTOS ELÉCTRICOS**

### **Carga Eléctrica**

Es una propiedad intrínseca de la materia, que produce una fuerza de atracción o repulsión cuando hay otra materia cerca cargadas eléctricamente. La carga se puede transferir de un cuerpo a otro mediante el contacto directo o a través de un material conductor. Es una propiedad física y se expresa a través de fuerzas de atracción y repulsión. Técnicamente hablando, la carga eléctrica es una medida de capacidad de una partícula para intercambiar electrones [26].

### **Campo Eléctrico**

Es la región del espacio en la que cualquier carga situada dentro de dicha región experimenta una interacción o fuerza eléctrica debido a la presencia de una o varias cargas eléctricas. Físicamente se conoce como la fuerza eléctrica por unidad de carga. El campo eléctrico se encuentra radialmente dirigido hacia fuera de una carga positiva y hacia el interior de una carga negativa [26].

La fuerza ejercida por el campo eléctrico está basada en la ley de Lorentz:

$$E = \frac{F}{q}$$

Donde:

E = Campo eléctrico (volt/metro)

F = Fuerza eléctrica (Newtons)

q = Carga eléctrica (Coulombs)

### **Voltaje**

Magnitud que se encarga de cuantificar la diferencia de potencial eléctrico presente entre dos puntos. Físicamente se conoce como la energía potencial eléctrica por unidad de carga, su unidad de medida es el voltio [27].

### **Corriente**

Una corriente es el desplazamiento de cargas a través de cualquier medio. Se conoce como la relación entre la cantidad de carga y la unidad de tiempo. La corriente eléctrica se mide y se expresa en amperios [28].

### **Ley de Ohm**

Físicamente se conoce como la relación entre el voltaje, corriente y resistencia. La intensidad de corriente que pasa por un circuito es directamente proporcional al voltaje e inversamente proporcional a la resistencia de dicho circuito [28].

$$I = \frac{V}{R}$$

Donde:

I = Intensidad (Amperios)

V = Voltaje (Voltios)

R = Resistencia (Ohms)

## **MÉTODO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA**

La resistividad es la propiedad que tiene el suelo para conducir electricidad, conocida además como la resistencia específica del terreno.

El método de resistividad eléctrica es un ensayo no destructivo que se emplea para determinar variaciones de la conductibilidad en el interior del suelo, y se utiliza con frecuencia en los proyectos de ingeniería civil para determinar la profundidad a que se encuentra la roca firme, debido a que existe gran contraste entre la conductibilidad de la roca firme y los materiales no consolidados que se encuentran sobre ella [29].

### **Telurómetro**

Es un aparato electrónico empleado para medir la resistencia de la puesta a tierra, así como también la resistividad del suelo en el cual será instalada, siendo éste el factor más importante ya que varía con respecto a la humedad, las condiciones o la temperatura, entre otras.

El aparato cuenta con un filtro que se encarga de eliminar cualquier tipo de señal que distorsione los resultados, con el fin de proporcionar datos reales y muy confiables.



**Figura 6:** Telurómetro

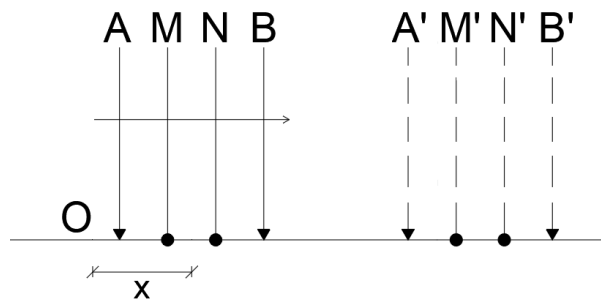
**Fuente:** Castro Chunga. Prospección Geofísica, 2018

Hasta el día de hoy existen dos tipos de telurómetros. La utilización es la misma, la única diferencia es la forma en la que se muestran los resultados:

- Telurómetro analógico: Es uno de los aparatos clásicos y tradicionales. Se encarga de mostrar los datos a lo largo de una regla, mediante una aguja que apunta al valor específico.
- Telurómetro digital: Es un aparato moderno que expresa los resultados directamente en números. Cuenta con varias funciones adicionales a las que presenta el analógico [22].

## Procedimiento de medición

Para calcular la resistividad del terreno se debe hincar los cuatro electrodos AMNB del dispositivo (telurómetro) a lo largo de una línea recta, manteniendo una separación constante, y a una profundidad constante, así se obtiene un perfil de resistividades aparentes a lo largo del mismo. Este procedimiento es conocido como método de Wenner, desarrollado en 1915 por el Dr. Frank Wenner. A continuación se presenta la distancia de origen O, al centro de los electrodos MN para cada distancia x.



**Figura 7:** Configuración de Wenner para el Método de Resistividad

**Fuente:** Castro Chunga. Prospección Geofísica, 2018

El ensayo se puede realizar en forma de sondeo eléctrico, a medida que cada electrodo cruza una interface existe una variación de la resistividad. De la misma forma ocurre con la profundidad, para ello se ubican los electrodos en diferentes medidas, variando la distancia entre ellos y manteniendo el centro de la alineación en un punto fijo [22].

La resistividad eléctrica se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{4 \cdot \pi \cdot A \cdot R}{\left[ 1 + \left[ \frac{2 \cdot A}{(A^2 + 4B^2)^{0.5}} \right] - \frac{2 \cdot A}{(4A^2 + 4B^2)^{0.5}} \right]}$$

Donde:

$\rho$  = Resistividad eléctrica (ohm/m)

A = Distancia entre electrodos (m)

B = Profundidad de enterrado de los electrodos (m)

R = Resistencia del suelo (ohm)

Si la profundidad a la que están enterrados los electrodos (B) es veinte veces menor

que la distancia de separación entre ellos ( $A$ ),  $A > 20B$ , se aplica la siguiente fórmula:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot A \cdot R$$

El resultado obtenido aplicando las ecuaciones expuestas representa la resistividad promedio del terreno, el cual abarca un radio igual a la distancia a la que se encuentran separados los electrodos.

La resistividad eléctrica del suelo varía considerablemente a lo largo del globo terrestre debido a diferentes factores que son:

- Sales solubles
- Composición propia del terreno
- Estratigrafía
- Granulometría
- Estado higrométrico
- Temperatura
- Compactación

### **Fundamentación física**

El principio básico del método es la inyección de corriente directa o de baja frecuencia, la cual se desplaza a través de la tierra debido a fenómenos electrolíticos, por lo que se concluye que la resistividad eléctrica depende básicamente de la humedad del terreno y de la concentración de sales presentes en el agua. Debido a tal característica existe una variación con rangos muy amplios, de valores de la resistividad en cada tipo de terreno.

Se deben tomar lecturas en diferentes direcciones variando los grados de inclinación de la línea de referencia y manteniendo el centro en un punto fijo, para obtener un promedio de resistividad.

### **Profundidad de exploración**

Conforme se incrementa la distancia de separación entre cada electrodo, la profundidad alcanzada por las líneas de corriente también aumenta, por tanto el ensayo abarca a una mayor profundidad de suelo. Si la resistividad crece, puede concluirse

que hay un estrato profundo, sucediendo lo contrario si la resistividad decrece aún sí si la separación entre electrodos aumenta. La profundidad de exploración hasta la que puede aplicarse es de unos 20 metros [22].

## **ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y REGRESIÓN**

El término regresión indica establecer una relación entre dos o más variables, para posteriormente poder estimar una de ellas (variable dependiente) en función de una o más variables (variables independientes) que suponemos conocida, a través de una ecuación matemática. Así el análisis de correlación permite medir la fuerza de asociación, o grado de relación que existe entre las variables [30].

### **CORRELACIÓN DE DOS VARIABLES**

Mediante la previa observación se puede determinar cualitativamente si una línea recta o una línea curva describe mejor la relación entre las variables X y Y.

Para establecer de manera cuantitativa el criterio que mejor se ajuste a la dispersión de los datos, respecto a una línea o a una curva, es necesario encontrar una medida de la correlación [30].

### **MODELOS LINEAL Y NO LINEALES**

#### **Correlación Lineal**

Por lo general en el análisis de regresión, por la facilidad en el cálculo, se utiliza una línea recta. Si en el diagrama de dispersión, la ubicación de los puntos tiende a formar una línea recta, o presenta un crecimiento o decrecimiento aritmético, la correlación se llama “lineal”. El modelo matemático que describe la relación lineal cuando se calcula el valor de Y en función de X se representa por la siguiente ecuación:

$$y = bx + c$$

Donde:

y = variable dependiente, será estimada en función de la otra.

x = variable independiente, su valor es conocido.

b = pendiente de la recta (ángulo de inclinación).



$c$  = coeficiente que indica la posición u origen de la ordenada.

Si  $Y$  tiende a aumentar conforme aumenta  $X$ , la correlación se considera positiva o directa. Si  $Y$  tiende a disminuir conforme aumenta  $X$ , la correlación es considerada negativa o inversa [31].

### **Correlación Parabólica**

Cuando las variables ubicadas en el diagrama de dispersión presentan una trayectoria ascendente y posteriormente descendente, o viceversa, la correlación que debe usarse es parabólica. La ecuación que define a este criterio es:

$$Y = ax^2 + bx + c$$

El sistema de ecuaciones utilizado para determinar el valor de los coeficientes  $a$ ,  $b$  y  $c$ , son las siguientes:

$$\sum y = a\sum x^2 + b\sum x + nc$$

$$\sum xy = a\sum x^3 + b\sum x^2 + c\sum x$$

$$\sum x^2y = a\sum x^4 + b\sum x^3 + c\sum x^2 \quad [30].$$

### **Correlación Exponencial y Logarítmica**

Cuando las variables que se encuentran en el diagrama de dispersión presentan un crecimiento o decrecimiento geométrico, la correlación más adecuada que debe usarse es la exponencial.

$$Y = cb$$

Esta función presentada puede convertirse en una función lineal cuando se trabaja con logaritmos neperianos o de base 10. Así tenemos como resultado una función logarítmica:

$$\log Y = \log c + (x) \log b$$

Cuando la variable  $X$  (independiente) localizada en el eje de las abscisas presenta una proyección aritmética, mientras que la variable  $Y$  (dependiente) presenta una

proyección logarítmica, se debe usar un papel semi logarítmico para representar gráficamente la función expuesta. Si ambas variables presentan un crecimiento geométrico, el papel utilizado debe ser logarítmico, es decir que debe ambos ejes deber estar en escalas logarítmicas [30].

### **CRITERIO DE MÍNIMOS CUADRADOS**

La principal problemática de la regresión y correlación es hallar una ecuación que relacione las variables que se encuentran graficadas en un sistema rectangular de coordenadas, denominado “diagrama de dispersión”.

En el diagrama es posible visualizar la curva cuya forma se aproxime a los datos. A esta curva se la llama curva de aproximación. En general, al procedimiento para hallar la ecuación de una curva de aproximación que se ajusta a un conjunto de puntos se lo conoce como “ajuste de curvas”.

El método de estimación más efectivo es el de mínimos cuadrados, por el cual las cantidades a estimar son determinadas mediante la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados ( $x$ ) y los valores estimados ( $y$ ):

$$\sum e_i^2 = \sum (x_i - y_i)^2 = \text{mínimo}$$

Donde  $e$  es considerado como residual o error que se puede cometer en la estimación, el cual debe ser mínimo en comparación a otros criterios, para proporcionar una buena representación de los puntos mediante la línea de regresión establecida.

Si esta cantidad es pequeña, se dice que el ajuste es bueno, sin embargo si es grande, el ajuste es malo. De esta manera se escoge, de entre todos los modelos estudiados, aquella curva que tiene la propiedad de que  $e$  sea la mínima, la cual toma el nombre de “curva de mejor ajuste”

La curva que posee esta propiedad se dice que se ajusta a los datos en el sentido de mínimos cuadrados y se la denomina curva de mínimos cuadrados. Es así que una recta que cumple con lo establecido se la llama recta de mínimos cuadrados, una parábola es una parábola de mínimos cuadrados, etc.

## CORRELACIONES DE VARIABLES MÚLTIPLES

Se conoce como correlación múltiple al grado de relación existente en una regresión entre tres o más variables.

La ecuación de regresión es aquella que se utiliza para estimar una variable dependiente Y, en base a los valores conocidos de las variables independientes  $X_1$  y  $X_2$ . Se la llama ecuación de regresión de Y sobre  $X_1$  y  $X_2$ .

Cuando se trabaja con tres variables, la ecuación de regresión más simple de Y sobre  $X_1$  y  $X_2$  tiene la forma siguiente:

$$Y = b + b_1X_1 + b_2X_2 \quad (1)$$

Donde b,  $b_1$  y  $b_2$  son constantes.

En un sistema rectangular tridimensional de coordenadas, la ecuación presentada anteriormente representa un plano al que se lo conoce como “plano de regresión”, el cual se ajusta a un conjunto de N puntos ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) en un diagrama de dispersión.

El plano de regresión de mínimos cuadrados de Y sobre  $X_1$  y  $X_2$  tiene la ecuación (1), donde b,  $b_1$  y  $b_2$  se determinan resolviendo de manera simultánea las siguientes ecuaciones:

$$\sum Y = b N + b_1 \sum X_1 + b_2 \sum X_2$$

$$\sum Y X_1 = b \sum X_1 + b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_1 X_2$$

$$\sum Y X_2 = b \sum X_2 + b_1 \sum X_1 X_2 + b_2 \sum X_2^2$$

Estas ecuaciones se obtienen multiplicando ambos lados de la ecuación (1) por 1, por  $X_1$  y por  $X_2$  respectivamente para cada caso, posteriormente dicho sistema de ecuaciones se lo resuelve aplicando métodos matriciales [31].

### 1.1.4 Hipótesis

La resistividad eléctrica de los suelos se puede estimar en base a los valores obtenidos de las propiedades índice o el ensayo de Relación de Soporte de California (CBR).

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar correlaciones entre propiedades índices y mecánicas con la resistividad eléctrica de los suelos granulares de la zona 3 de la ciudad de Ambato.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar un estudio de las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares de la zona 3 de la ciudad de Ambato.
- Determinar la correlación entre el contenido de humedad con la resistividad eléctrica.
- Determinar la correlación entre la granulometría con la resistividad eléctrica
- Determinar la correlación entre los límites de Atterberg con la resistividad eléctrica.
- Determinar la correlación entre la densidad de campo con la resistividad eléctrica.
- Determinar la correlación entre Proctor modificado con la resistividad eléctrica.
- Determinar la correlación entre el valor de SPT con la resistividad eléctrica.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **Nivel o Tipo de Investigación**

La presente investigación va a ser analizada dentro de los siguientes niveles: exploratoria, explicativa, experimental, de campo y descriptiva.

#### **Investigación Exploratoria**

Se considera de tipo exploratorio, debido a que mediante la recolección de muestras tomadas in situ, y posterior a los ensayos de laboratorio, se determinan las propiedades de los suelos y sus respectivas correlaciones.

#### **Investigación Explicativa**

La presente investigación es de tipo explicativa, ya que se presentan y detallan los diferentes ensayos de laboratorio y de campo, y a partir de los resultados obtenidos se pueden determinar las correlaciones.

#### **Investigación Experimental**

La investigación expuesta es de tipo experimental, debido a que se realizaron ensayos de granulometría, límites de Atterberg, compactación y CBR, para poder alcanzar en su totalidad los objetivos presentados a inicio del proyecto.

#### **Investigación de Campo**

La presente investigación es considerada de campo, debido a que se efectuó un reconocimiento de los puntos a estudiarse, a partir de los cuales se realizó la presente investigación, socializando con cada uno de los dueños de dichos predios acerca del alcance que tiene dicho proyecto.

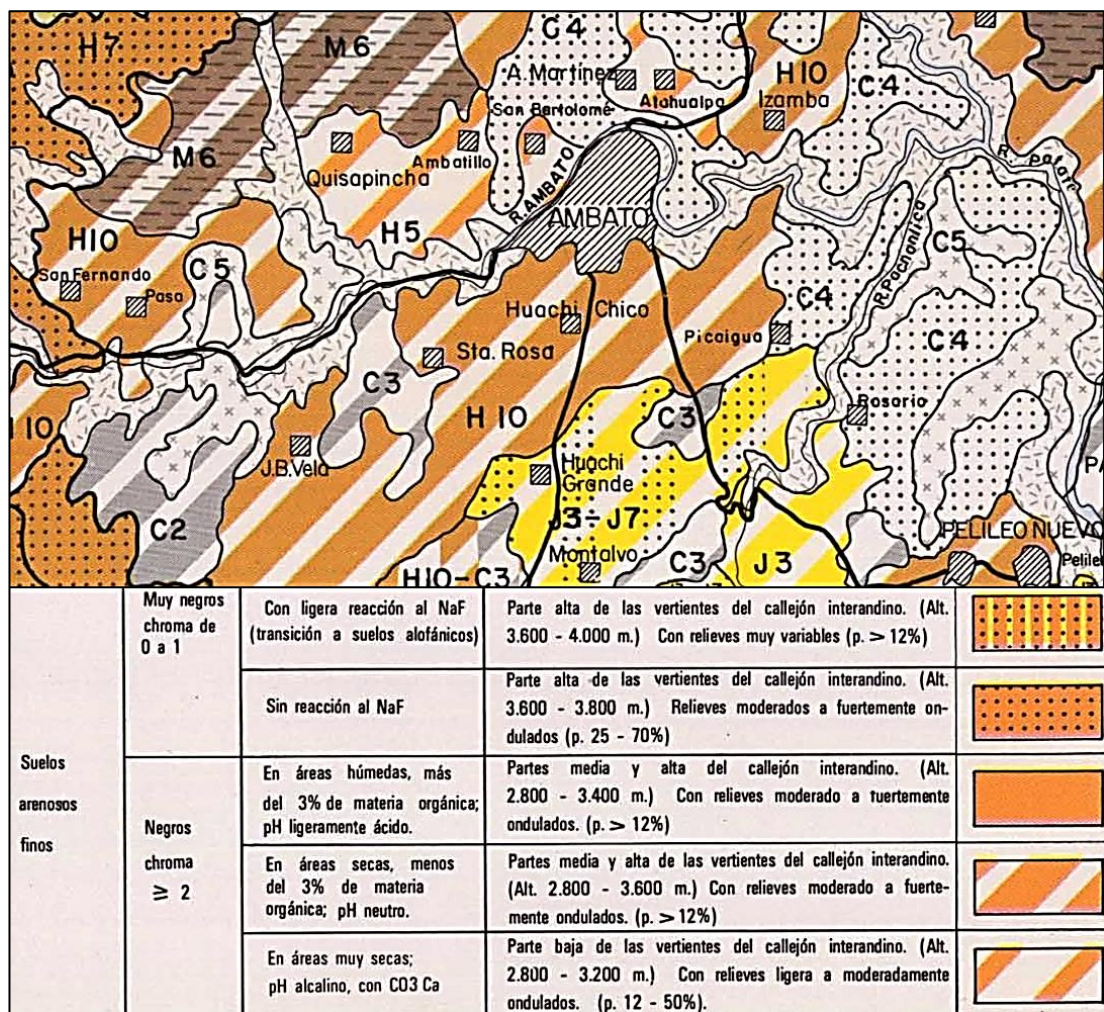
#### **Investigación Descriptiva**

Se considera de tipo descriptiva ya que se presentan los resultados obtenidos en base

a los ensayos expuestos con anterioridad, para determinar correlaciones empleando los criterios de mínimos cuadrados.

### Población

La población con la que se trabaja en el proyecto de suelos granulares de la zona Andina del cantón Ambato provincia de Tungurahua, específicamente en las parroquias urbanas: La Matriz, Celiano Monje y Huachi Loreto.



**Figura 8:** Mapa de ubicación Geográfica

**Fuente:** Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia San Fernando

La ciudad de Ambato, localizada en el centro de la Región interandina del Ecuador, cabecera cantonal del Cantón Ambato y capital de la Provincia de Tungurahua. Se encuentra a una altitud de 2580 msnm y posee un clima templado que va desde los 10°C a los 25°C. En el último censo realizado se registraron 504 583 habitantes,

ocupando la quinta posición de las ciudades más pobladas del país. Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC – Peligro sísmico, presenta un tipo de suelo D.

### **Muestra**

Se tomaron diferentes cantidades de suelo para realizar los ensayos correspondientes a los sectores de la zona 3 (Ver anexo 1), los cuales se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 7:** Peso total del suelo

<b>MUESTRAS SUELO G1 hasta G10</b>			
<b>TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA</b>			
<b>Muestra (gr)</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de ensayos</b>	<b>Total (kg)</b>
250	Granulometría	10	2.50
50	Gravedad específica	10	0.50
24000	Ensayos Proctor	10	240
18000	Ensayos CBR	10	180
<b>TOTAL DE LA MUESTRA</b>			<b>423 kg</b>

**Fuente:** Christian Pérez, 2019

Para el ensayo de granulometría se requiere únicamente 250 gramos muestra de suelo por punto en estudio, debido a que el suelo es relativamente fino y no se requiere tamizar por el tamiz #4. El ensayo se lo realiza según las normas AASHTO T-87-70 y ASTM D-421-58.

Para el ensayo de gravedad específica se requiere una muestra de suelo con un peso aproximado de 50 gramos por punto en estudio. La muestra utilizada debe pasar necesariamente por el tamiz #4 según la norma AASHTO T-100-2015 y ASTM D-854-58.

Para la prueba del Proctor Modificado se realizó un ensayo por punto en estudio, para cada ensayo se requiere un peso total de 24000 gramos de muestra de suelo, es decir que se utilizarán 6000 gramos por cada molde. En total son diez los ensayos a realizarse, con un peso requerido aproximado de 240 kg de suelo. El ensayo se los realiza según lo establecido en las normas ASTM D-1557 y AASHTO T-180.

Para realizar el ensayo CBR se requieren 18000 gramos de muestra de suelo por punto

en estudio, es decir 6000 gramos de suelos para calda molde, cuyo procedimiento se lo hace aplicando las normas ASTM D-1883-73 y AASHTO T-193-63. Se efectúan en total diez ensayos, por lo que se requiere una muestra con un peso requerido aproximado de 180 kg.

Para los ensayos de límite líquido y límite plástico, la muestra de suelo a utilizarse será aproximadamente de 150 gramos por cada límite. Este valor es aproximado, puesto que existen ensayos de prueba y error, por lo tanto la cantidad utilizada puede variar según el tipo de suelo de cada muestra. Las normas aplicadas son: AASHTO T-90-70 y ASTM D-424-71.

## 2.1 MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales y equipos utilizados para desarrollar esta tesis se detallan a continuación:

**Tabla 8:** Materiales y equipos

ENSAYOS	MATERIALES	EQUIPOS	NORMA
<b>Pozo a Cielo Abierto</b>	Muestras in situ	Pala Pico Flexómetro Barra	AASHTO T 87-70
<b>Densidad de Campo (Método del Cono y Arena de Ottawa)</b>	Muestras in situ	Cono Cinzel Cuchareta Placa metálica Clavos Martillo Balanza	AASHTO T 191 2014
<b>Gravedad específica de sólidos</b>	50 gr de suelo que pasa tamiz # 4	Tamiz #4 Picnómetro Embudo Termómetro Recipiente metálico Baño María Pipeta	AASHTO T 100 2015
<b>Granulometría</b>	Muestra cuarteada	Tamizadora Juego de Tamices Recipiente Brocha	AASHTO T 88 2013



<b>Límite Líquido (Copa Casagrande)</b>	150 gr de suelo que pasa tamiz # 40	Copa Casagrande Acanalador Espátula Recipientes de aluminio Mortero de porcelana Pistilo de caucho	AASHTO T 89 2013
<b>Límite Plástico</b>	150 gr de suelo que pasa tamiz # 40	Placa de vidrio Fuente de mezclado	AASHTO T 90 2016
<b>Proctor Modificado tipo B</b>	18 kg de suelo que pasa el tamiz # 4	Bandeja metálica cuadrada Martillo de compactación Molde Ø 6" con extensión y base Palustre Probeta graduada Regleta Metálica	AASHTO T 180 2018
<b>California Bearing Ratio (CBR)</b>	18 kg de suelo que pasa el tamiz # 4	MULTISPEED 34-V1172	AASHTO T 193 2013

**Fuente:** Christian Pérez, 2019

## 2.2 MÉTODOS

### 2.2.1 PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS

**Tabla 9:** Plan de recolección de datos

<b>PREGUNTAS BÁSICAS</b>	<b>EXPLICACIÓN</b>
<b>¿Para qué?</b>	Correlacionar las propiedades índices y mecánicas de diferentes suelos con el valor de resistividad eléctrica obtenido in situ.
<b>¿A quiénes?</b>	A las muestras de suelo extraídas in situ
<b>¿Sobre qué aspectos?</b>	Las propiedades de los suelos obtenidas mediante los diferentes ensayos de campo y laboratorio, así como el valor de resistividad eléctrica obtenida in situ.
<b>¿Quién?</b>	Christian Danilo Pérez Galarza
<b>¿Cuándo?</b>	Ensayos de campo del 16 de junio al 07 de julio. Ensayos de laboratorio del 08 de julio al 05 de septiembre.

	<p>Procesamiento y análisis de información desde septiembre a diciembre.</p>
<p><b>¿Dónde?</b></p>	<p>Parroquias La Matriz, Celiano Monje y Huachi Loreto para tomas de muestras y ensayos en situ.</p> <p>Laboratorio de Ensayos de Materiales y Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.</p>
<p><b>¿Técnicas de Recolección?</b></p>	<p>Se retira la capa vegetal y se procede a realizar el ensayo de resistividad eléctrica y la Densidad de Campo por el método de Cono y Arena bajo la norma AASHTO T 191, ambos ensayos realizados en situ.</p> <p>Posterior a ello se toma la muestra se suelo aproximadamente 50 kg, esto para los ensayos de laboratorio. La muestra de suelo es pasada a través del tamiz rectangular # 4 y colocada en la bandeja para su secado.</p> <p>Para el análisis granulométrico se toma una muestra representativa de suelo, la misma que debe estar totalmente seca y se la coloca en la tamizadora con el juego de tamices en forma descendente como lo establece la norma AASHTO T 88 2013.</p> <p>Los límites de Atterberg son realizados bajo las normas AASHTO T 89 2013 y AASHTO T 90 2016, la gravedad específica bajo la norma AASHTO T 100 2015, estos ensayos requieren una muestra de suelo que pase el tamiz #40.</p> <p>En la determinación del contenido óptimo de humedad es necesario mínimo cuatro puntos, tres de ellos deberán generar un pico y el otro menor al máximo, esto bajo la norma AASHTO T 180 2018 del ensayo del Proctor Modificado, con este contenido de humedad se realiza el ensayo CBR, este último normado mediante AASHTO T 193 2013</p>

**Fuente:** Christian Pérez, 2019

### 2.2.1.1 ENSAYOS DE CAMPO

#### Resistividad eléctrica

El procedimiento que se llevó a cabo para la determinación de la resistividad eléctrica del suelo in situ fue el siguiente:

1. Limpieza de la capa vegetal en la zona a realizar el ensayo.

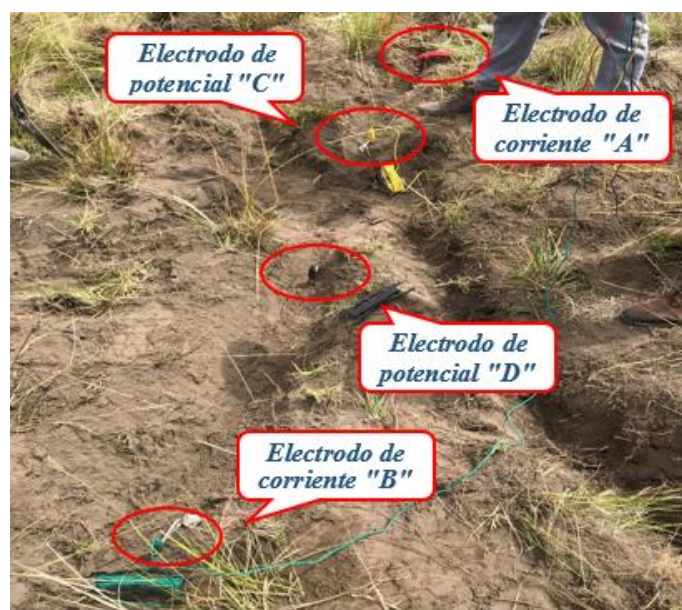
**Figura 9:** Limpieza de la capa vegetal



**Fuente:** Autor

2. Ubicar los cuatro electrodos alineados, a una misma profundidad y a una separación constante (1 metro).

**Figura 10:** Ubicación de los electrodos en el terreno



**Fuente:** Autor

3. Conectar los electrodos al telurómetro y medir la resistividad del suelo

**Figura 11:** Telurómetro



**Fuente:** Autor

## 2.2.1.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

### Ensayo de granulometría

**Figura 12:** Peso del material retenido en el tamiz



**Fuente:** Autor

## Ensayo de Límite líquido

**Figura 13:** Copa de Casagrande



**Fuente:** Autor

## Ensayo de Límite plástico

**Figura 14:** Placa de vidrio y rollitos de suelo



**Fuente:** Autor

## Ensayo de Gravedad específica

**Figura 15:** Picnómetro con agua y suelo



**Fuente:** Autor

## Ensayo de Compactación

**Figura 16:** Peso del molde y suelo compactado



**Fuente:** Autor

## Ensayo CBR

**Figura 17:** Máquina de ensayos CBR



**Fuente:** Autor

### **2.2.2 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN**

Se procederá a revisar los resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio y de campo, los cuales serán tabulados y presentados en distintos formatos establecidos por el laboratorio. Finalmente las correlaciones presentadas serán aquellas cuyo coeficiente de determinación ( $R^2$ ) sea igual o mayor al 60%, cada una vendrá acompañada de su respectiva gráfica e interpretación, lo cual facilitará el entendimiento del lector. Las correlaciones serán de dos variables y de variables múltiples, las cuales se obtendrán utilizando el software Excel. Para las de dos variables habrá que elaborar las gráficas y así obtener el coeficiente de determinación, sin embargo para las correlaciones de variables múltiples se utilizará el criterio de mínimos cuadrados. Se debe elaborar una tabla con distintos parámetros, a partir de los cuales se establece un sistema de tres ecuaciones, el cual será resuelto mediante el método de la matriz inversa, obteniendo así los tres coeficientes necesarios para elaborar la ecuación de correlación.

## Correlación Lineal Múltiple

Las ecuaciones mostradas a continuación son usadas obtener las correlaciones empleando el criterio de mínimos cuadrados:

$$a + b_1 \sum X_1 + b_2 \sum X_2 = \sum Y$$

$$a \sum X_1 + b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_1 * X_2 = \sum (X_1 * Y)$$

$$a \sum X_2 + b_1 \sum X_1 * X_2 + b_2 \sum (X_2)^2 = \sum (X_2 * Y)$$

El sistema de ecuaciones es resuelto por el método de matriz inversa.

**Tabla.** Hoja de cálculo lineal múltiple

Variable Dependiente 1	Variable Dependiente 2	Variable Independiente	Ecuación Variable Múltiple		$Y = a + b_1 * X_1 + b_2 * X_2$			
$X_1$	$X_2$	$Y$	$X_1 * Y$	$X_2 * Y$	$X_1 * X_2$	$X_1^2$	$X_2^2$	$Y^2$
$\sum X_1$	$\sum X_2$	$\sum Y$	$\sum (X_1 * Y)$	$\sum (X_2 * Y)$	$\sum (X_1 * X_2)$	$\sum (X_1^2)$	$\sum (X_2^2)$	$\sum (Y^2)$

**Fuente:** Christian Pérez, 2019

**Tabla.** Sistema de ecuaciones lineal múltiple

a	$b_1$	$b_2$	=
n	$\sum X_1$	$\sum X_2$	$\sum Y$
$\sum X_1$	$\sum (X_1^2)$	$\sum (X_1 * X_2)$	$\sum (X_1 * Y)$
$\sum X_2$	$\sum (X_1 * X_2)$	$\sum (X_2^2)$	$\sum (X_2 * Y)$

**Fuente:** Christian Pérez, 2019

$$Y = a + b_1 * X_1 + b_2 * X_2$$

De esta forma se determina la ecuación de correlación lineal múltiple y a continuación se calcula el coeficiente de determinación aplicando la siguiente fórmula:

$$R^2 = \frac{a \sum Y + b_1 \sum (X_1 * Y) + b_2 \sum (X_2 * Y) - n * (Y_{med})^2}{\sum (Y)^2 - n * (Y_{med})^2}$$

## Correlación Logarítmica Múltiple

Las ecuaciones mostradas a continuación son usadas para obtener las correlaciones



empleando el criterio de mínimos cuadrados:

$$a n + b_1 \sum X_1' + b_2 \sum X_2 = \sum Y$$

$$a \sum X_1' + b_1 \sum X_1'^2 + b_2 \sum X_1' * X_2 = \sum (X_1' * Y)$$

$$a \sum X_2 + b_1 \sum X_1' * X_2 + b_2 \sum (X_2)^2 = \sum (X_2 * Y)$$

El sistema de ecuaciones es resuelto por el método de matriz inversa.

**Tabla.** Hoja de cálculo logarítmica múltiple

Variable Dependiente 1	Variable Dependiente 2	Variable Independiente	Ecuación Logarítmica Múltiple		$Y = a + b_1 * \log(X_1) + b_2 * X_2$				
X1	X2	Y	X1'=LOG(X1)	X1'*Y	X2*Y	X1'*X2	X1'^2	X2^2	Y^2
$\sum X_1$	$\sum X_2$	$\sum Y$	$\sum X_1'$	$\sum (X_1' * Y)$	$\sum (X_2 * Y)$	$\sum (X_1' * X_2)$	$\sum (X_1'^2)$	$\sum (X_2^2)$	$\sum (Y^2)$

**Fuente:** Christian Pérez, 2019

**Tabla.** Sistema de ecuaciones logarítmicas múltiple

a	b1	b2	=
n	$\sum X_1'$	$\sum X_2$	$\sum Y$
$\sum X_1'$	$\sum (X_1'^2)$	$\sum (X_1' * X_2)$	$\sum (X_1' * Y)$
$\sum X_2$	$\sum (X_1' * X_2)$	$\sum (X_2^2)$	$\sum (X_2 * Y)$

**Fuente:** Christian Pérez, 2019

$$Y = a + b_1 * \log(X_1) + b_2 * X_2$$

De esta forma se determina la ecuación de correlación lineal múltiple y a continuación se calcula el coeficiente de determinación aplicando la siguiente fórmula:

$$R^2 = \frac{a \sum Y + b_1 \sum (X_1' * Y) + b_2 \sum (X_2 * Y) - n * (Y_{med})^2}{\sum (Y)^2 - n * (Y_{med})^2}$$

### Correlación Potencial Múltiple

Las ecuaciones mostradas a continuación son usadas obtener las correlaciones empleando el criterio de mínimos cuadrados:

$$a n + b_1 \sum X_1' + b_2 \sum X_2' = \sum Y'$$

$$a \sum X1' + b_1 \sum X1'^2 + b_2 \sum X1' * X2' = \sum (X1'*Y')$$

$$a \sum X2' + b_1 \sum X1'*X2' + b_2 \sum (X2')^2 = \sum (X2'*Y')$$

El sistema de ecuaciones es resuelto por el método de la matriz inversa.

**Tabla.** Hoja de cálculo potencial múltiple

Variable Dependiente 1	Variable Dependiente 2	Variable Independiente	Ecuación Potencial Múltiple			LOG(Y) = log(a1) + b1Log(X1) + b2Log(X2)					
X1	X2	Y	X1'=Log(X1)	X2'=Log(X2)	Y'=Log(Y)	X1'*Y'	X2'*Y'	X1'*X2'	X1'^2	X2'^2	Y'^2
$\sum X1$	$\sum X2$	$\sum Y$	$\sum X1'$	$\sum X2'$	$\sum Y'$	$\sum (X1'*Y')$	$\sum (X2'*Y')$	$\sum (X1'*X2')$	$\sum (X1'^2)$	$\sum (X2'^2)$	$\sum (Y'^2)$

**Fuente:** Christian Pérez, 2019

**Tabla.** Sistema de ecuaciones potencial múltiple

a	b1	b2	=
n	$\sum X1'$	$\sum X2'$	$\sum Y'$
$\sum X1'$	$\sum (X1'^2)$	$\sum (X1'*X2')$	$\sum (X1'*Y')$
$\sum X2'$	$\sum (X1'*X2')$	$\sum (X2'^2)$	$\sum (X2'*Y')$

**Fuente:** Christian Pérez, 2019

$$\text{Log}(Y) = \text{Log}(a_1) + b_1 * \text{log}(X_1) + b_2 * \text{log}(X_2)$$

De esta forma se determina la ecuación de correlación lineal múltiple y a continuación se calcula el coeficiente de determinación aplicando la siguiente fórmula:

$$R^2 = \frac{a \sum Y' + b_1 \sum (X_1' * Y') + b_2 \sum (X_2' * Y') - n * (Y'_{med})^2}{\sum (Y')^2 - n * (Y'_{med})^2}$$

### Correlación Exponencial Múltiple

Las ecuaciones mostradas a continuación son usadas obtener las correlaciones empleando el criterio de mínimos cuadrados:

$$an + b_1 \sum X1 + b_2 \sum X2 = \sum Y'$$

$$a \sum X1 + b_1 \sum X1^2 + b_2 \sum X1 * X2 = \sum (X1'*Y')$$

$$a \sum X2 + b_1 \sum X1*X2 + b_2 \sum (X2)^2 = \sum (X2*Y')$$

El sistema de ecuaciones es resuelto por el método de la matriz inversa.

**Tabla.** Hoja de cálculo exponencial múltiple

Variable Dependiente 1	Variable Dependiente 2	Variable Independiente	Ecuación Exponencial Múltiple			$LN(Y) = LN(a1) + b1 * (X1) + b2 * (X2)$			
X1	X2	Y	$Y'=LN(Y)$	$X1*Y'$	$X2*Y'$	$X1*X2$	$X1^2$	$X2^2$	$Y'^2$
$\Sigma X1$	$\Sigma X2$	$\Sigma Y$	$\Sigma Y'$	$\Sigma(X1*Y')$	$\Sigma(X2*Y')$	$\Sigma(X1*X2)$	$\Sigma(X1^2)$	$\Sigma(X2^2)$	$\Sigma(Y'^2)$

**Fuente:** Christian Pérez, 2019

**Tabla.** Sistema de ecuaciones exponencial múltiple

a	b1	b2	=
n	$\Sigma X1$	$\Sigma X2$	$\Sigma Y'$
$\Sigma X1$	$\Sigma(X1^2)$	$\Sigma(X1*X2)$	$\Sigma(X1*Y')$
$\Sigma X2$	$\Sigma(X1*X2)$	$\Sigma(X2^2)$	$\Sigma(X2*Y')$

**Fuente:** Christian Pérez, 2019

$$Ln(Y) = Ln(a_1) + b_1 * X_1 + b_2 * X_2$$

De esta forma se determina la ecuación de correlación lineal múltiple y a continuación se calcula el coeficiente de determinación aplicando la siguiente fórmula:

$$R^2 = \frac{a\Sigma Y' + b_1\Sigma(X_1 * Y') + b_2\Sigma(X_2 * Y') - n * (Y'_{med})^2}{\Sigma(Y')^2 - n * (Y'_{med})^2}$$

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las muestras de suelo obtenidas de los puntos pertenecientes a las parroquias de La Matriz, Celiano Monje y Huachi Loreto, en la zona 3 (Anexo 1) de la ciudad de Ambato, se utilizaron para realizar ensayos de campo y laboratorio, a partir de los cuales se determinaron correlaciones simples y múltiples, dependiendo del número de variables que tenga gran influencia en los suelos encontrados. Las correlaciones presentadas son aquellas que poseen un coeficiente de determinación mayor al 60%.

En el presente capítulo serán presentados los resultados obtenidos de los ensayos de campo y laboratorio, además de las correlaciones simples y múltiples.

##### 3.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

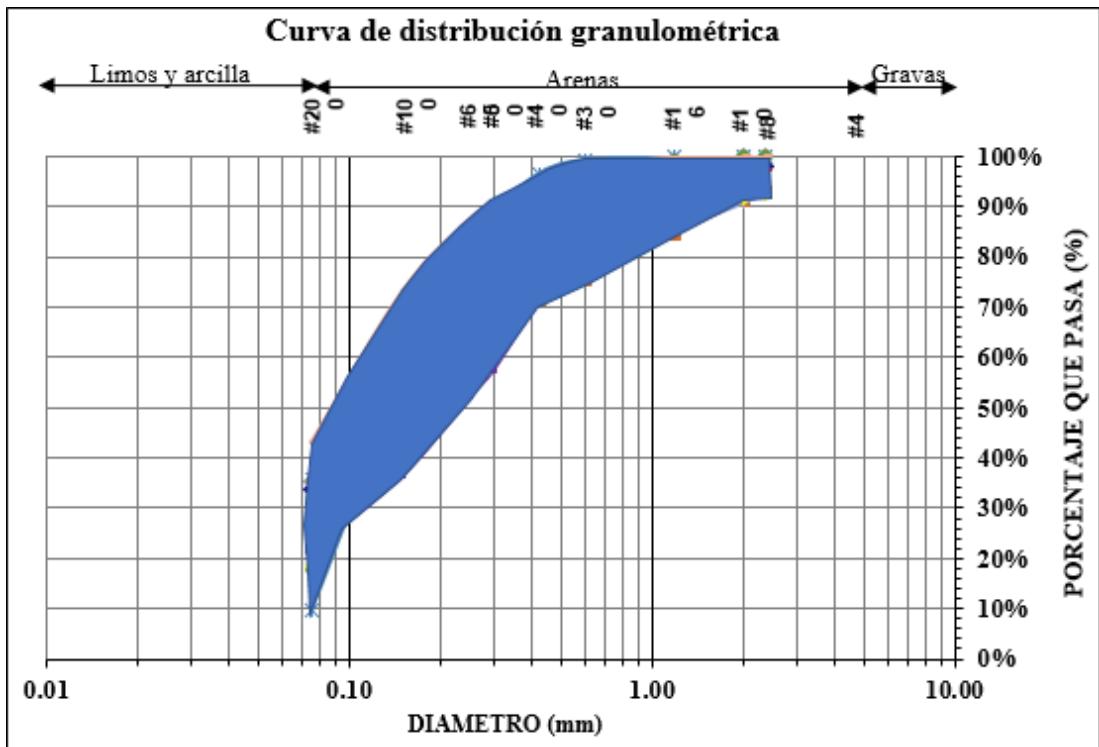
Los resultados obtenidos del análisis granulométrico de todas las muestras presentan gran similitud, por lo que se considera que el suelo en estas zonas es una arena limosa. A continuación se presenta la clasificación de los suelos:

**Tabla 10:** Granulometría y clasificación de los suelos

Punto	Coord. (17M)	Parroquia	Grava G(%)	Arena S(%)	Limos y Arcillas M-C (%)	SUCS	AASHTO
G1	9860578 762266 2721	La Matriz	0.00	65.00	35.00	SM	A-2-4 (0)
G2	9859813 762645 2756	La Matriz	0.00	74.00	26.00	SM	A-2-4 (0)
G3	9859919 764656 2720	Celiano Monje	0.00	66.00	34.00	SM	A-2-4 (0)
G4	9859717 764680 2710	Celiano Monje	0.00	90.00	10.00	SP-SM	A-2-4 (0)

G5	9858744 765653 2698	Celiano Monje	0.00	82.00	18.00	SM	A-2-4 (0)
G6	9859035 765311 2716	Celiano Monje	0.00	63.00	37.00	SM	A-4 (0)
G7	9860324 764825 2715	Celiano Monje	0.00	57.00	43.00	SM	A-4 (1)
G8	9859035 765311 2716	Celiano Monje	0.00	71.00	29.00	SM	A-2-4 (0)
G9	9860328 764978 2700	Huachi Loreto	0.00	82.00	18.00	SM	A-2-4 (0)
G10	9860324 764825 2715	Huachi Loreto	0.00	78.00	22.00	SM	A-2-4(0)

Fuente: Christian Pérez, 2019



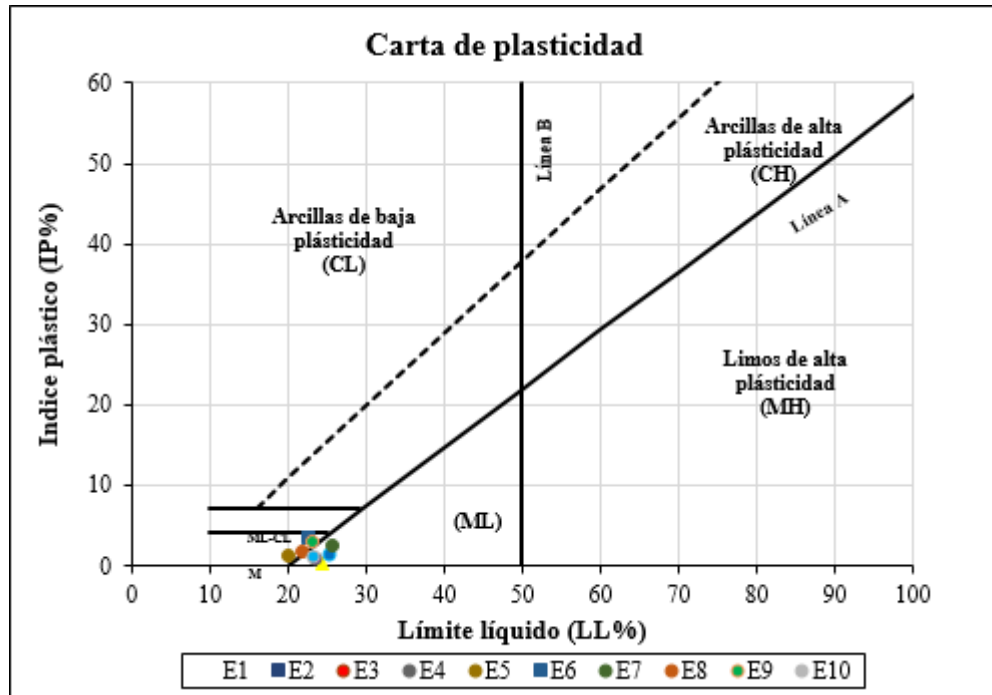
**Figura 18:** Granulometría muestras G1 - G10

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Tabla 11:** Límites de Atterbrg de la zona 3

Punto	Coord. (17M)	Parroquia	Límite Líquido LL (%)	Límite Plástico LP (%)	Índice Líquido IL (%)	Índice Plástico IP (%)
G1	9860578 762266 2721	La Matriz	25.00	20.11	4.89	-2.01 (NP)
G2	9859813 762645 2756	La Matriz	24.45	24.13	0.32	-45.59 (NP)
G3	9859919 764656 2720	Celiano Monje	25.14	23.71	1.43	-5.49 (NP)
G4	9859717 764680 2710	Celiano Monje	23.27	22.16	1.11	-14.89 (NP)
G5	9858744 765653 2698	Celiano Monje	19.96	18.72	1.24	-12.75 (NP)
G6	9859035 765311 2716	Celiano Monje	22.47	19.02	3.45	-3.83 (NP)
G7	9860324 764825 2715	Celiano Monje	25.58	23.05	2.53	-7.15 (NP)
G8	9859035 765311 2716	Celiano Monje	21.73	20.02	1.71	-7.12 (NP)
G9	9860328 764978 2700	Huachi Loreto	23.01	20.00	3.01	-1.57 (NP)
G10	9860324 764825 2715	Huachi Loreto	22.98	21.65	1.33	-8.53 (NP)

Fuente: Christian Pérez, 2019



**Figura 19:** Carta de plasticidad de muestras G1 - G10

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

### 3.1.2 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

Los resultados de los ensayos realizados con todas las muestras recolectadas en campo se presentan a continuación, mencionando principalmente los valores máximos y mínimos de cada uno de ellos.

El contenido de humedad natural del suelo varía entre 2.91% a 15.86%. La humedad natural tiene gran incidencia en la capacidad portante del suelo, por lo que lo ideal es que un suelo presente un bajo porcentaje de humedad para que sea capaz de soportar mayor carga.

El porcentaje de arena presente en los suelos ensayados varía entre 57% a 90%, mientras que el porcentaje de limo-arcilla entre 10% a 43%. No existe presencia de grava en las muestras de suelo obtenidas.

Los resultados de los límites de Atterberg varían entre 19.96% a 25.58% para el límite líquido y entre 18.72% a 24.13% para el límite plástico. Los resultados obtenidos a partir del ensayo de gravedad específica varían entre 2.54% a 2.70%.

El grado de saturación del agua de las muestras presenta porcentajes entre 10.40% a

72.10%, mientras que el grado de saturación del aire porcentajes entre 27.90% a 89.60%. La densidad húmeda y seca, ensayos realizados en el sitio de extracción de las muestras, comprenden valores que varían entre 1438 kg/m<sup>3</sup> a 1942 kg/m<sup>3</sup> y 1370 kg/m<sup>3</sup> a 1737 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Los valores de densidad seca máxima varían entre 1517 kg/m<sup>3</sup> a 1778 kg/m<sup>3</sup>, mientras que los porcentajes de humedad óptima entre 15.40% a 20.35%. Ambos ensayos mencionados se relacionan directamente ya que sus resultados son obtenidos a partir de la gráfica procedente del ensayo de compactación realizado en el laboratorio. De igual manera el grado de compactación de las diez muestras varían entre 82% a 101%.

El ensayo CBR considera el valor de la densidad seca máxima al 95% para gráficamente encontrar el valor de CBR. Los resultados obtenidos varían entre 9.93% a 49.25%.

Los valores de N-SPT y velocidad de onda son considerados a una velocidad de un metro.

**Tabla 12:** Resultados ensayo SPT

Zona	Ensayo de Penetración Estándar	
	N SPT	Vs (m/s)
G1	41	349.60
G2	32	358.29
G3	39	277.36
G4	23	277.82
G5	36	361.28
G6	52	326.26
G7	33	283.23
G8	43	319.68
G9	64	324.57
G10	43	280.44

**Fuente:** Christian Pérez, 2019

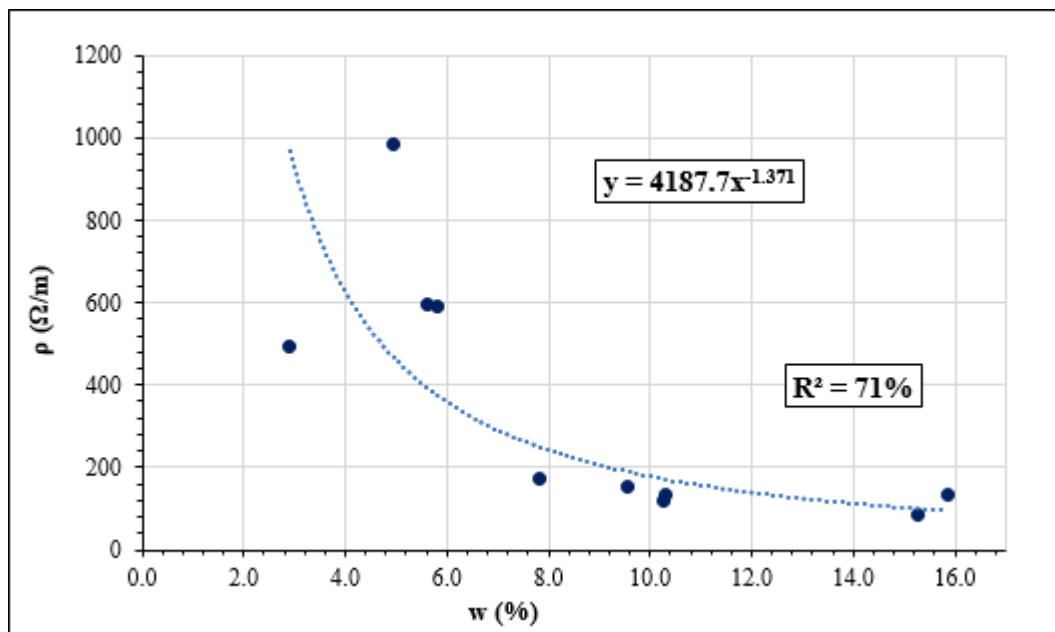
### 3.1.3 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA EN CAMPO

Los ensayos realizados, tanto en campo como en el laboratorio, posterior a la



extracción de las muestras de suelo en los puntos pertenecientes a la zona 3, permiten obtener resultados de resistividad eléctrica ( $\rho$ ), contenido de humedad (W) y peso específico ( $\gamma$ ) del suelo.

La resistividad eléctrica se relaciona directamente con la humedad del suelo, motivo por el cual a continuación se expone una representación gráfica de dicha relación. Entre los datos obtenidos de resistividad y contenido de humedad del suelo, existe una relación curvilínea, a partir de la cual se puede argumentar que cuando el suelo presenta gran humedad, la resistividad eléctrica es baja.



**Figura 20:** Contenido de humedad vs. Resistividad eléctrica

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

Con el fin de obtener una representación gráfica bien definida, se requiere una gran variedad de datos de resistividad eléctrica obtenidos a partir de mediciones realizadas en campo.

Los valores de SPT mostrados en la presente investigación fueron obtenidos de tesis anteriores realizadas en base a los mismos puntos en estudio.

### 3.1.3.1 Resumen de los ensayos en campo y laboratorio

**Tabla 13:** Resumen de ensayos

N°	Zona	W <sub>nat</sub> (%)	Granulometría								Limite Líquido LL (%)	Limite Plástico LP (%)	Índice Plástico IP (%)	Índice Líquido IL (%)	Gravedad Específica G <sub>s</sub> (%)	Relación de vacíos e	Porosidad n(%)	Grado de saturación del aire G <sub>a</sub> (%)
			Diámetro efectivo D10 (mm)	Diámetro equiparable D30 (mm)	Diámetro dimensional D60 (mm)	Coefficiente de curvatura C <sub>c</sub>	Coefficiente de uniformidad C <sub>u</sub>	G (%) Grava	S (%) Arena	M-C (%) Limos y Arcillas								
1	G1	10.27	0.063	0.091	0.170	2.70	0.77	0.00	65.00	35.00	25.00	20.11	4.89	-2.01	2.579	0.86	46.12	67.22
2	G2	9.54	0.041	0.069	0.140	3.41	0.83	0.00	74.00	26.00	24.45	24.13	0.32	-45.59	2.596	0.70	41.05	63.99
3	G3	15.86	0.055	0.091	0.160	2.91	0.94	0.00	66.00	34.00	25.14	23.71	1.43	-5.49	2.616	0.74	42.63	27.90
4	G4	5.63	0.031	0.060	0.170	5.48	0.68	0.00	90.00	10.00	23.27	22.16	1.11	-14.89	2.605	0.74	42.43	77.95
5	G5	2.91	0.074	0.105	0.180	2.43	0.83	0.00	82.00	18.00	19.96	18.72	1.24	-12.75	2.704	0.77	43.44	89.60
6	G6	5.82	0.038	0.067	0.150	3.95	0.79	0.00	63.00	37.00	22.47	19.02	3.45	-3.83	2.570	0.81	44.87	77.36
7	G7	4.96	0.044	0.110	0.310	7.05	0.89	0.00	57.00	43.00	25.58	23.05	2.53	-7.15	2.540	1.00	50.10	86.83
8	G8	7.84	0.021	0.040	0.100	4.76	0.76	0.00	71.00	29.00	21.73	20.02	1.71	-7.12	2.653	0.84	45.78	75.50
9	G9	15.26	0.050	0.082	0.210	4.20	0.64	0.00	82.00	18.00	23.01	20.00	3.01	-1.57	2.573	0.63	38.72	33.58
10	G10	10.31	0.051	0.078	0.150	2.94	0.80	0.00	78.00	22.00	22.98	21.65	1.33	-8.53	2.652	0.50	33.27	55.75

N°	Zona	Grado de saturación del agua G <sub>w</sub> (%)	Clasificación		Densidad de Campo				Compactación				CBR (%)			Resistividad ρ (Ω/m)	SPT	
			SUCS	AASHTO	γ <sub>h</sub> in situ (gr/m <sup>3</sup> )	γ <sub>h</sub> in situ (kg/m <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub> in situ (gr/m <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub> in situ (kg/m <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub> máx (gr/m <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub> máx (kg/m <sup>3</sup> )	W <sub>opt</sub> (%)	Grado de Comp. G <sub>c</sub> (%)	95% γ <sub>d</sub> máx		Mayor		Velocidad de Onda V <sub>s</sub> (m/s)	NSPT
													0.1''	0.2''				
1	G1	32.78	SM	A-2-4 (0)	1.633	1633	1.481	1481	1.517	1517	16.90	98	10.68	12.50	12.50	119.77	349.60	41
2	G2	36.01	SM	A-2-4 (0)	1.769	1769	1.615	1615	1.650	1650	20.35	98	24.65	28.40	28.40	154.73	358.29	32
3	G3	72.10	SM	A-2-4 (0)	1.885	1885	1.627	1627	1.727	1727	16.80	94	8.44	9.93	9.93	134.20	277.36	39
4	G4	22.05	SP-SM	A-2-4 (0)	1.677	1677	1.587	1587	1.574	1574	20.10	101	36.00	40.00	40.00	597.47	277.82	23
5	G5	10.40	SM	A-2-4 (0)	1.600	1600	1.555	1555	1.624	1624	16.25	96	30.00	34.00	34.00	495.27	361.28	36
6	G6	22.64	SM	A-4 (0)	1.618	1618	1.529	1529	1.703	1703	16.10	90	34.00	37.25	37.25	589.50	326.26	52
7	G7	13.17	SM	A-4 (1)	1.438	1438	1.370	1370	1.677	1677	17.90	82	49.25	43.75	49.25	986.90	283.23	33
8	G8	24.50	SM	A-2-4 (0)	1.549	1549	1.436	1436	1.739	1739	15.40	83	26.25	30.65	30.65	171.47	319.68	43
9	G9	66.42	SM	A-2-4 (0)	1.942	1942	1.685	1685	1.732	1732	17.00	97	10.52	14.38	14.38	87.30	324.57	64
10	G10	44.25	SM	A-2-4(0)	1.916	1916	1.737	1737	1.778	1778	16.10	98	15.30	24.80	24.80	134.83	280.44	43

Elaborado por: Christian Danilo Pérez Galarza

### 3.1.4 CORRELACIONES

Las correlaciones son categorizadas acuerdo al coeficiente de determinación. Para alcanzar un coeficiente igual o mayor al 60% se decidió excluir de una a dos muestras en ciertas correlaciones.

**Tabla 14:** Bondad de ajuste

R2	Criterio
$\geq 0.9$	Excelente
0.70 - 0.89	Buena
0.40 - 0.69	Aceptable
0.20 - 0.39	Pobre
$\geq 0.19$	Muy Pobre

**Fuente:** Investigation of the use of dynamic modulus as an indicator of hot-mix asphalt performance.

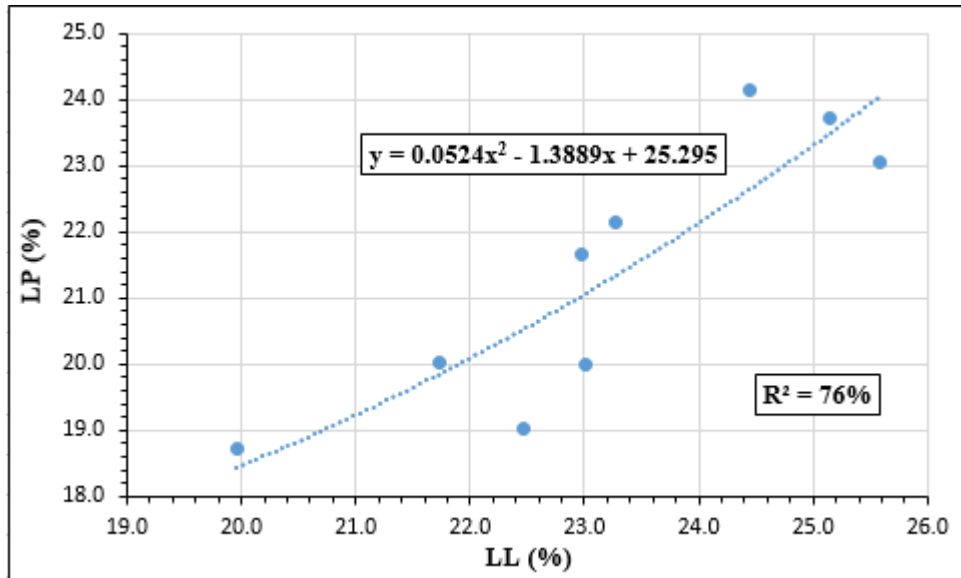
**Tabla 15:** Resumen de las correlaciones

Nº	Ecuación	Coefficiente de determinación R(%)	Nº muestras	TIPO DE CORRELACIÓN
<b>CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE</b>				
1	$LP = 0.0524(LL)^2 - 1.3889(LL) + 25.295$	76	9	Polinomial
2	$\gamma_{d \text{ máx}} = -1.956(W_{opt})^2 + 41.136(W_{opt}) + 1581.7$	75	8	Polinomial
3	$\gamma_{d \text{ máx}} = -15.368(LP)^2 + 659.31(LP) - 5305.4$	68	8	Polinomial
4	$\gamma_{d \text{ in-situ}} = 531.9071(\exp)^{0,0005(\gamma_{d \text{ máx}})} (\exp)^{0,0109(W_{opt})}$	74	8	Exponencial
5	$G_s = 4.5087(LL)^{-0.2822} (LP)^{0.1117}$	69	10	Potencial
6	$G_s = 2.802 - 0.016 * \text{Log}(W_{nat}) - 0.006(G_s)$	81	8	Logarítmica
7	$\gamma_{d \text{ máx}} = 1723.068 - 28.25(W_{opt}) + 179.93(G_s)$	75	8	Líneal múltiple
<b>CORRELACIONES RESISTIVIDAD ELÉCTRICA vs. PROPIEDADES ÍNDICE</b>				
8	$W_{nat} = 138.21(\rho)^{-0.52}$	71	10	Potencial
9	$\text{Pasa N}^\circ 200 = -0,0001(\rho)^2 - 0.1245(\rho) + 44.56$	81	8	Polinomial
10	$LL = 6.744 + 0,001(\rho) + 0,752(LP)$	78	9	Líneal múltiple
11	$\gamma_{d \text{ in-situ}} = 1804.094(\exp)^{-0.0002(\rho)} * (\exp)^{-0.0036(W_{nat})}$	87	8	Exponencial
12	$\gamma_{d \text{ in-situ}} = 1797.7505(\exp)^{-0.0001(\rho)} * (\exp)^{-0.0031(\text{Pasa } 200)}$	76	9	Exponencial
13	$G_w = 1017.4(\rho)^{-0.637}$	74	9	Potencial
14	$\gamma_{d \text{ máx}} = 2275.18 - 86.56 \text{Log}(\rho) - 21.67(W_{opt})$	72	9	Logarítmica
15	$G_w = -34.624 + 3.828 \text{Ln}(\rho) + 5.425(W_{nat})$	96	10	Logarítmica
16	$\gamma_{d \text{ máx}} = 1698.77(\rho)^{-0.0287} (\text{Pasa N}^\circ 200)^{0.0485}$	69	9	Potencial
17	$SPT = 0,0001(\rho)^2 - 0.1315(\rho) + 59.681$	61	8	Polinomial
18	$G_c = 0.0149(\rho)^{0.0375} (\gamma_{d \text{ in situ}})^{1,1593}$	86	9	Potencial

19	$CBR = -89.015 + 32.263 \cdot \text{Log}(\rho) + 0.024(\gamma_{d \text{ máx}})$	83	10	Logaritmica
20	$IL = -1.134 - 4.79 \text{Log}(\rho) + 2.465(IP)$	76	9	Logaritmica
21	$W_{opt} = 15.862 + 0.001(\rho) - 0.088(IL)$	67	9	Lineal múltiple
22	$CBR = -48.396 + 31.071 \text{Log}(\rho) - 0.196(IL)$	85	10	Logaritmica
23	$SPT = 59.2664(\exp)^{-0.0002(\rho)} (\exp)^{0.0453(IL)}$	68	9	Exponencial
24	$CBR = 13.479 \text{LN}(\rho) - 46.1746$	81	10	Logaritmica
25	$\gamma_{d \text{ máx}} = 0.0006(\rho)^2 - 0.6858(\rho) + 1807.9$	72	8	Polinomial
26	$W_{opt} = 68.411(\rho)^{-0.0105} \cdot (SPT)^{-0.3649}$	69	9	Potencial
27	$CBR = -18.490 + 29.383 \cdot \text{Log}(\rho) - 0.253(Gc)$	83	10	Logaritmica
<b>CORRELACIONES CBR vs. PROPIEDADES ÍNDICE</b>				
28	$CBR = 6.7761(W_{opt})^2 - 245.7527(W_{opt}) + 2232.033$	65	8	Polinomial
29	$CBR = 803.7188(\exp)^{-0.2718(LL)} (\exp)^{0.1589(W_{opt})}$	67	9	Exponencial
30	$CBR = 35.9788(\exp)^{0.0004(\gamma_d \text{ in situ})} (\exp)^{-0.1165(W_{nat})}$	77	10	Exponencial

**Fuente:** Christian Pérez, 2019

### 3.1.4.1 Correlación N° 1



**Figura 21:** Límite líquido vs. Límite plástico

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$LP = 0.0524(LL)^2 - 1.3889(LL) + 25.295$$

**Coefficiente de determinación:**

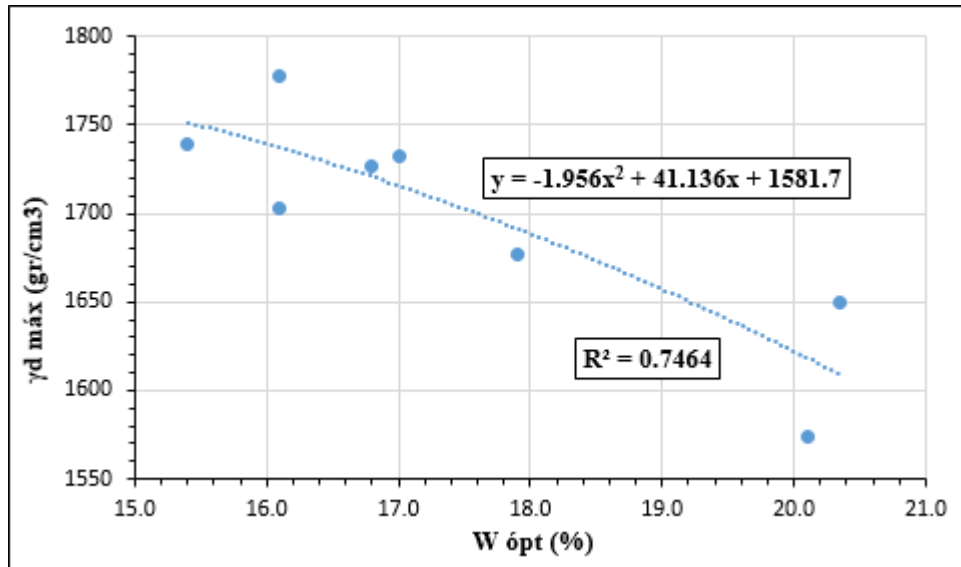
$$R^2 = 76\%$$

**Análisis e interpretación:**

En la correlación límite líquido y límite plástico la relación que mejor se ajusta a los resultados obtenidos en los ensayos es la polinómica utilizando 9 muestras (excluyendo G1), obteniendo así un coeficiente de determinación  $R^2 = 76\%$ , con lo cual se dice que es una correlación “buena” de acuerdo a la lista de calificaciones.

Gráficamente puede observarse en esta relación que un suelo el cual necesita mayor contenido de humedad para pasar de un estado plástico a un estado semi líquido, también va a necesitar mayor contenido de humedad para pasar de su estado semi sólido a su estado plástico.

### 3.1.4.2 Correlación N° 2



**Figura 22:** Humedad óptima vs. Densidad seca máxima

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$\gamma_{d \text{ máx}} = -1.956(W_{opt})^2 + 41.136(W_{opt}) + 1581.7$$

**Coefficiente de determinación:**

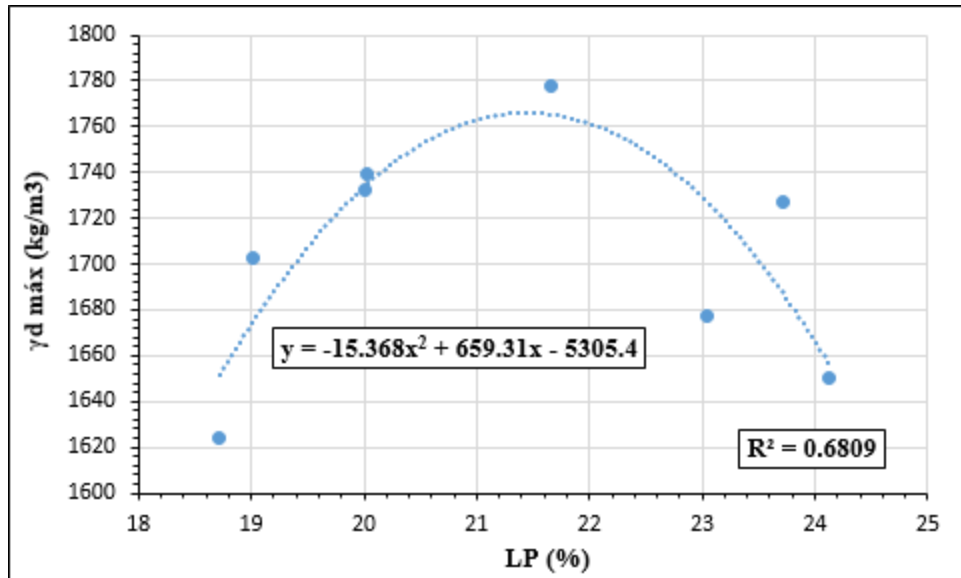
$$R^2 = 75\%$$

**Análisis e interpretación:**

En base a los resultados obtenidos, en la correlación humedad óptima y densidad seca máxima la relación que mejor se ajusta es polinómica. Con la utilización de 8 muestras (excluyendo G1 y G5) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 75\%$ . De acuerdo con la lista de calificaciones se categoriza a dicha correlación como “buena”.

Se observa que mientras más contenido de humedad necesite un suelo para llegar a su estado óptimo de compactación, el valor de la densidad seca máxima va a disminuir de forma casi proporcional. El uso de la gráfica presentada para futuras investigaciones es únicamente aplicable para un estudio empleando varias muestras de suelo.

### 3.1.4.3 Correlación N° 3



**Figura 23:** Límite plástico vs. Densidad seca máxima

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$\gamma_{d\ máx} = -15.368(LP)^2 + 659.31(LP) - 5305.4$$

**Coefficiente de determinación:**

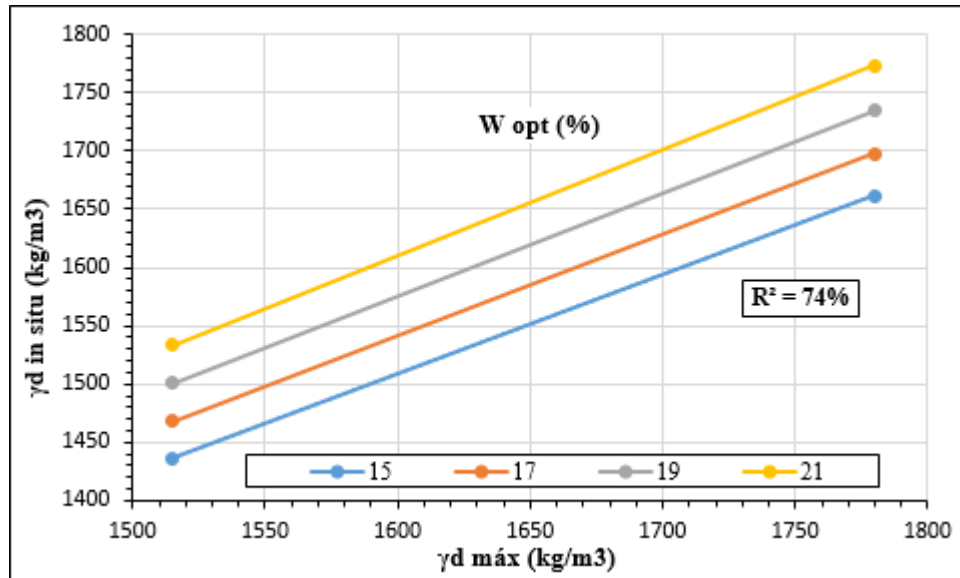
$$R^2 = 68\%$$

**Análisis e interpretación:**

En la correlación límite plástico y densidad seca máxima, la relación que mejor se ajusta es la polinómica, utilizando 8 muestras (excluyendo G1 y G4). Posteriormente se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 68\%$ , en base a lo cual se la categoriza como correlación “aceptable”.

Gráficamente se observa una parábola, lo cual muestra que para un mismo resultado de densidad seca máxima existen dos valores de límite plástico. Cuando el límite plástico alcanza el 21.5% existe un punto de inflexión en la gráfica, en el cual la densidad seca máxima alcanza su valor más alto. A partir de ahí el valor de la densidad seca máxima decrece conforme aumenta el contenido de humedad necesario para pasar de su condición sólida a líquida.

### 3.1.4.4 Correlación N° 4



**Figura 24:** Densidad seca máxima vs. Humedad óptima vs. Densidad de campo

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$\gamma_{d \text{ in situ}} = 534.907(\exp)^{0.0005(\gamma d \text{ máx})} * (\exp)^{0.0109(W \text{ opt})}$$

**Coefficiente de determinación:**

$$R^2 = 74\%$$

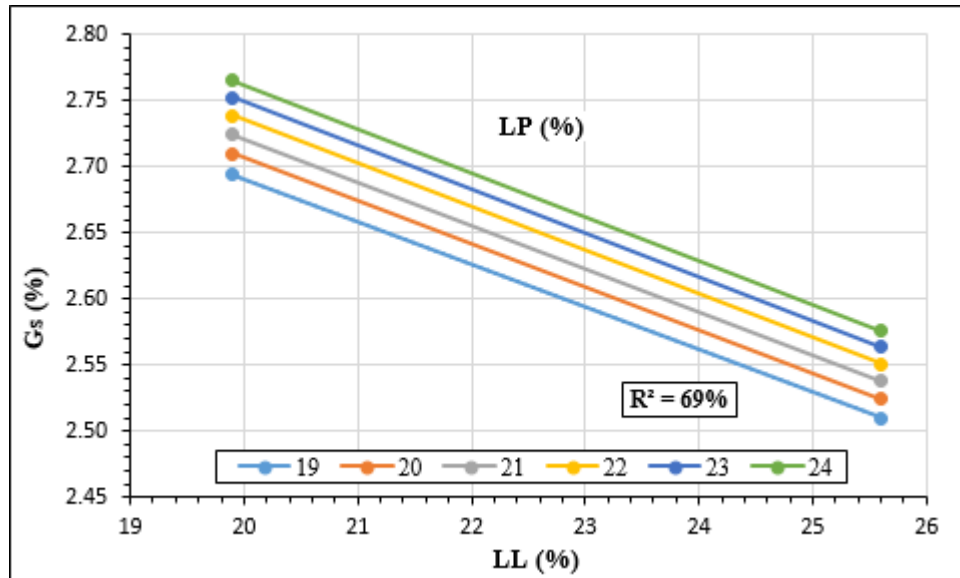
**Análisis e interpretación:**

En la correlación entre la densidad seca máxima, humedad óptima y densidad en campo, la relación que mejor se ajusta de acuerdo a los resultados obtenidos es la exponencial. Con la utilización de 8 muestras (excluyendo G7 y G8) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 74\%$ , en base a lo cual se la categoriza como correlación “buena” de acuerdo con la lista de calificaciones.

Existe una relación directamente proporcional entre las tres variables expuestas, a medida que el valor de la densidad de campo aumente, el suelo necesitará un mayor contenido de humedad para alcanzar su estado óptimo de compactación, dando como resultado un alto valor de densidad seca máxima.



### 3.1.4.5 Correlación N° 5



**Figura 25:** Límite líquido vs. Límite plástico vs. Gravedad específica

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$G_s = 4.5087(LL)^{-0.2822} * (LP)^{0.1117}$$

**Coefficiente de determinación:**

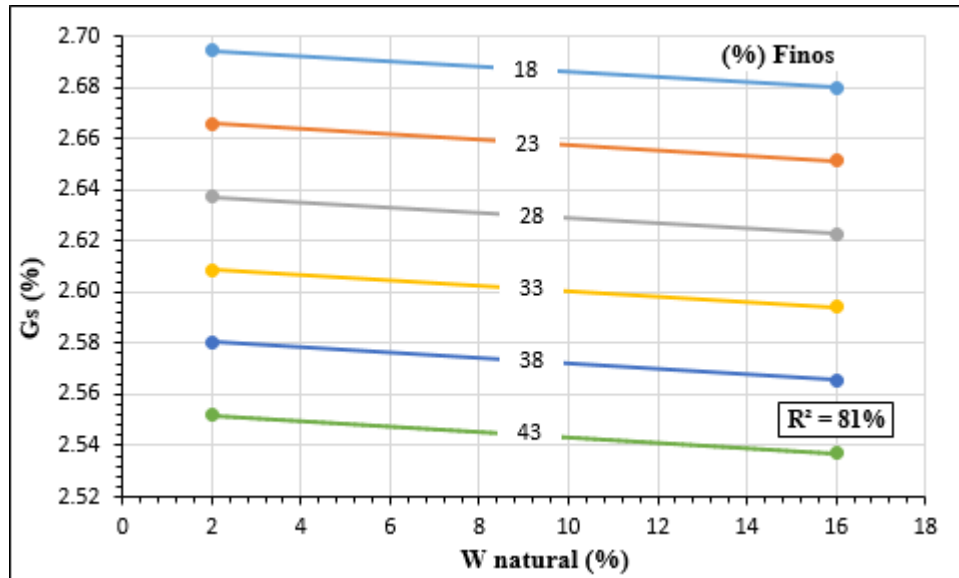
$$R^2 = 69\%$$

**Análisis e interpretación:**

En base a los resultados obtenidos, en la correlación límite líquido, límite plástico y gravedad específica, la relación que se ajusta de mejor manera es potencial. Con la utilización de las 10 muestras ensayadas se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 69\%$  con lo cual se categoriza como “aceptable”.

Se observa una relación inversamente proporcional entre la gravedad específica y el límite líquido, y directamente proporcional entre la gravedad específica y el límite plástico. Un suelo que necesite un bajo contenido de humedad para llegar a su condición líquida, y a su vez necesite alto contenido de humedad para llegar a su condición plástica, tendrá un alto valor de gravedad específica, y viceversa.

### 3.1.4.6 Correlación N° 6



**Figura 26:** Humedad natural vs. Pasa N°200 vs. Gravedad específica

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$G_s = 2.802 - 0.016 \text{Log}(W_{nat}) - 0.006(\text{Pasa } N^{\circ}200)$$

**Coefficiente de determinación:**

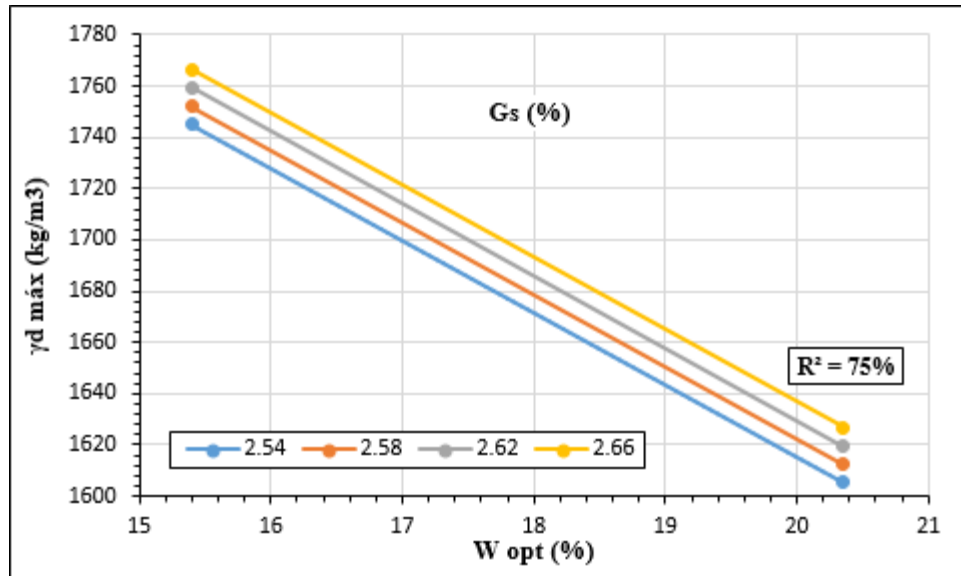
$$R^2 = 81\%$$

**Análisis e interpretación:**

En la correlación humedad natural, porcentaje de finos y gravedad específica, la relación que mejor se ajusta es logarítmica, usando 8 muestras (excluyendo G4 y G9) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 81\%$ , categorizándola como “buena”.

Gráficamente se puede observar que la humedad natural en sus valores máximo y mínimo no generan mayor variación en los valores de gravedad específica, sin embargo analizando las demás propiedades, si un suelo posee un alto porcentaje de finos, el resultado es presentar un valor bajo de gravedad específica. Teóricamente se dice que los suelos arcillosos tienen menor gravedad específica y los arenosos mayor gravedad específica, lo cual se comprueba en esta correlación.

### 3.1.4.7 Correlación N° 7



**Figura 27:** Humedad óptima vs. Gravedad específica vs. Densidad seca máxima

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$\gamma_{d \text{ máx}} = 1723.068 - 28.25(W_{opt}) + 179.93(Gs)$$

**Coefficiente de determinación:**

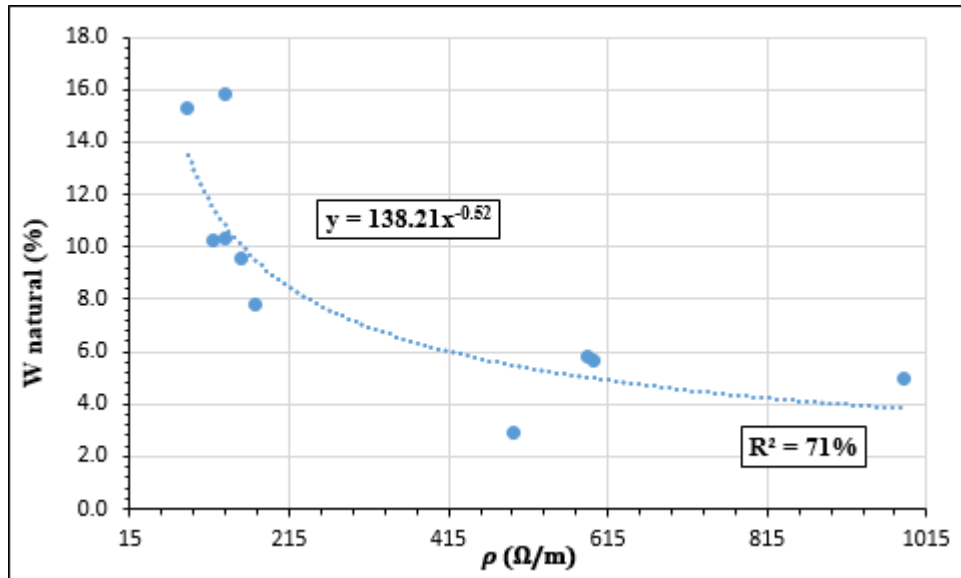
$$R^2 = 75\%$$

**Análisis e interpretación:**

En la correlación entre la humedad óptima, gravedad específica y densidad seca máxima, la relación que mejor se ajusta de acuerdo a los resultados obtenidos es lineal. Con la utilización de 8 muestras (excluyendo G1 y G5) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 75\%$ , en base a lo cual se la categoriza como correlación “buena”.

Un suelo con alto valor de gravedad específica (arenosos) posee un alto valor de densidad seca máxima, por otro lado un suelo que necesite un bajo contenido de humedad para llegar a su estado óptimo de compactación y presente un valor alto de gravedad específica tendrá una densidad seca más alta. La humedad tiene gran incidencia en el valor de la densidad seca máxima, puesto que las muestras analizadas poseen gran cantidad de partículas finas.

### 3.1.4.8 Correlación N° 8



**Figura 28:** Resistividad eléctrica vs. Humedad natural

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$W_{nat} = 138.21(\rho)^{-0.52}$$

**Coefficiente de determinación:**

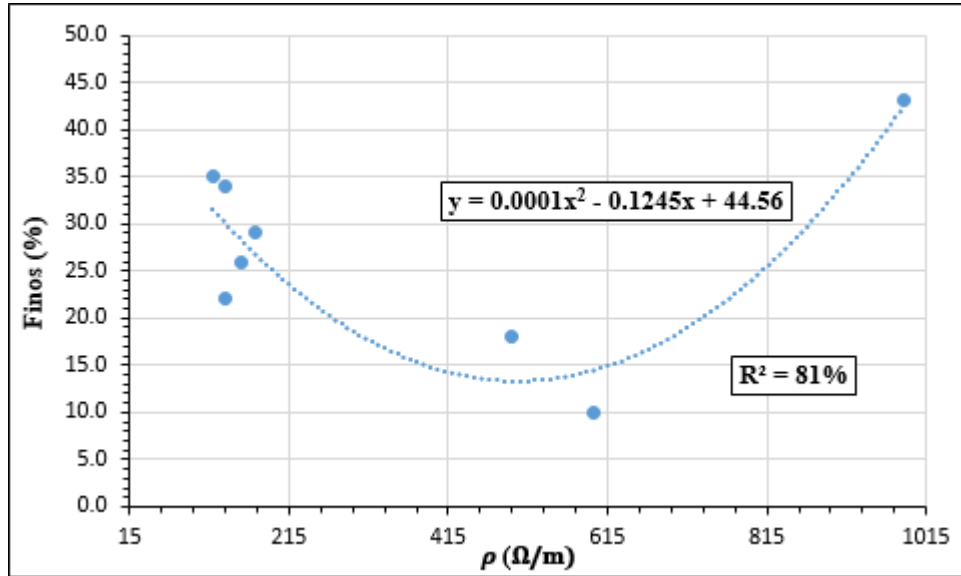
$$R^2 = 71\%$$

**Análisis e interpretación:**

En base a los resultados obtenidos, en la correlación resistividad eléctrica y humedad natural, la relación que se ajusta de la mejor manera es potencial. Con la utilización de 10 muestras se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 71\%$ . De acuerdo con la lista de calificaciones se categoriza a dicha correlación como “buena”.

Gráficamente se observa que un suelo que posee un alto contenido de humedad natural, es decir que se encuentra parcialmente o completamente saturado, presenta un bajo valor de resistividad eléctrica, puesto que el agua al ser un buen conductor de electricidad facilita la circulación del flujo eléctrico por el suelo.

### 3.1.4.9 Correlación N° 9



**Figura 29:** Resistividad eléctrica vs. Pasa N°200

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$\text{Pasa N}^\circ 200 = 0.0001(\rho)^2 - 0.1245(\rho) + 44.56$$

**Coefficiente de determinación:**

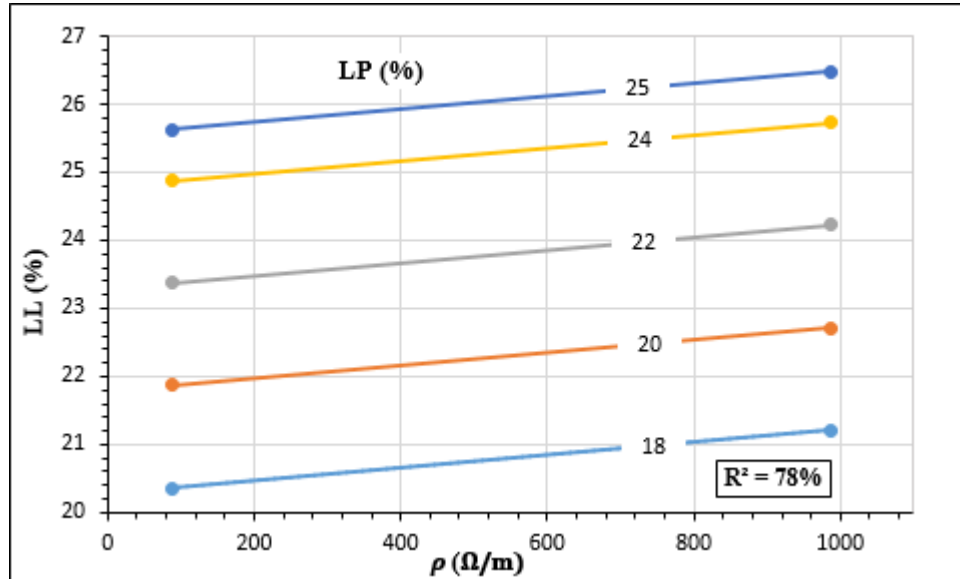
$$R^2 = 81\%$$

**Análisis e interpretación:**

En la correlación entre la resistividad eléctrica y el porcentaje de finos, la relación que mejor se ajusta de acuerdo a los resultados obtenidos es polinómica. Con la utilización de 8 muestras (excluyendo G6 y G9) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 81\%$ , en base a lo cual se la categoriza como correlación “buena”.

Se observa una parábola invertida, lo cual muestra que para un mismo porcentaje de finos existen dos valores de resistividad. Cuando la resistividad llega a 515 Ω/m existe un punto de inflexión en la gráfica, es decir que la relación pasa de ser inversamente a directamente proporcional. Un suelo que posee un alto porcentaje de finos (arcilloso) presenta una baja resistividad hasta el punto de inflexión, de ahí en adelante decrece. La teoría expone una relación inversamente proporcional.

### 3.1.4.10 Correlación N° 10



**Figura 30:** Resistividad eléctrica vs. Límite plástico vs. Límite líquido

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$LL = 6.744 + 0.001(\rho) + 0.752(LP)$$

**Coefficiente de determinación:**

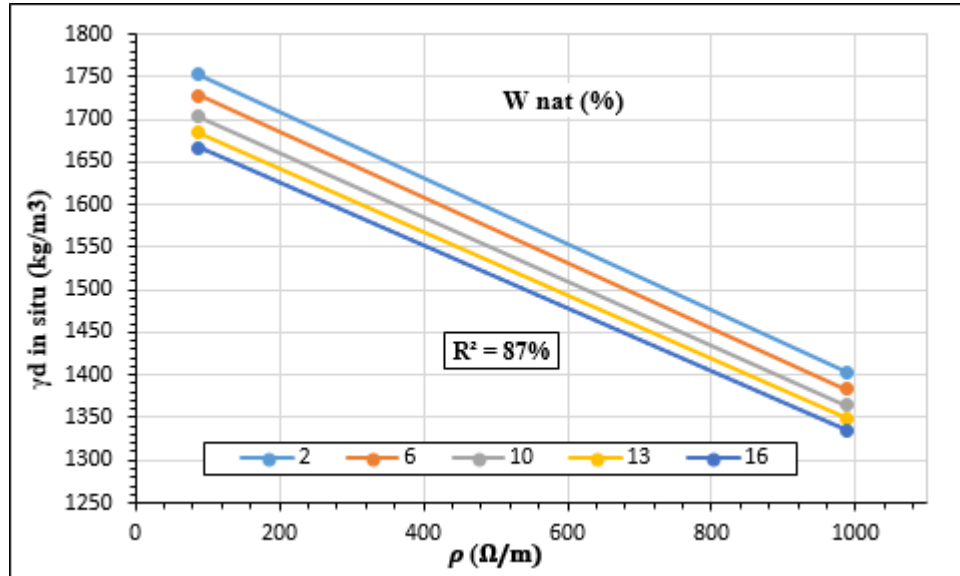
$$R^2 = 78\%$$

**Análisis e interpretación:**

En base a los resultados obtenidos, en la correlación resistividad eléctrica, límite plástico y límite líquido, la relación que se ajusta de la mejor manera es lineal. Con la utilización de 9 muestras (excluyendo G1) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 78\%$ . De acuerdo con la lista de calificaciones se categoriza a dicha correlación como “buena”.

Se argumenta que un suelo que presenta un valor bajo de resistividad eléctrica, posee de igual forma un bajo límite líquido y baja plasticidad, es decir un suelo necesita menor cantidad de agua para pasar de su condición plástica a semi líquida, y de su condición semi sólida a plástica. La resistividad no tiene gran incidencia en la variación del resultado del límite líquido.

### 3.1.4.11 Correlación N° 11



**Figura 31:** Resistividad eléctrica vs. Humedad natural vs. Densidad de campo

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$\gamma_{d \text{ in situ}} = 1804.094 (\exp)^{-0.0002(\rho)} * (\exp)^{-0.0036(W \text{ nat})}$$

**Coefficiente de determinación:**

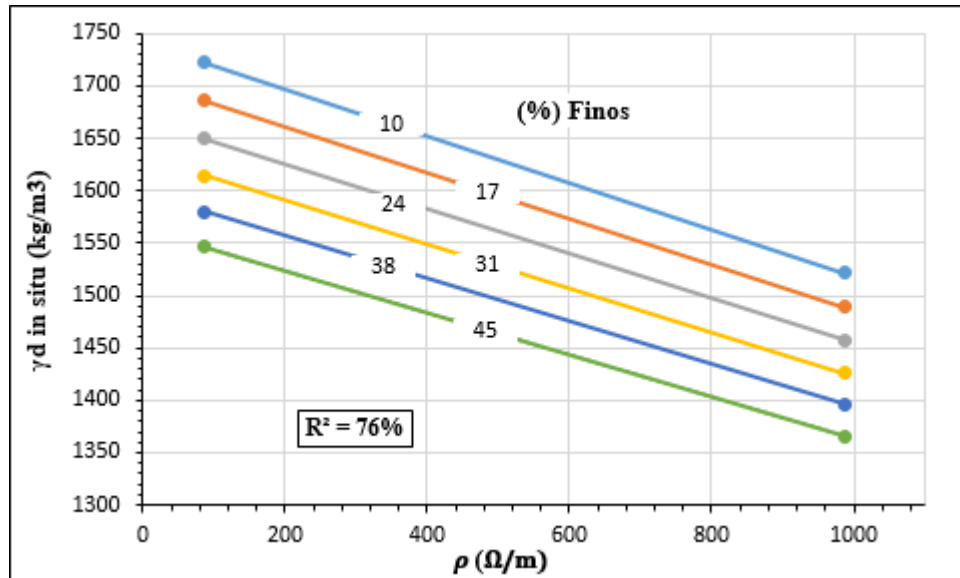
$$R^2 = 87\%$$

**Análisis e interpretación:**

En base a los resultados obtenidos, en la correlación resistividad eléctrica, humedad natural y densidad en campo, la relación que mejor se ajusta es exponencial, usando 8 muestras (excluyendo G1 y G8) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 87\%$ , categorizándola como “buena”.

Un suelo que presente un valor alto de densidad en campo y que a su vez se encuentre con poco contenido de humedad, tendrá un bajo valor de resistividad, en comparación a un suelo con un valor bajo de densidad en campo y un alto porcentaje de humedad natural, la resistividad será alta, esto es característico de los suelos arenosos. Independientemente de la resistividad, un suelo con alta densidad va a presentar mayor contenido de humedad natural que uno menos denso.

### 3.1.4.12 Correlación N° 12



**Figura 32:** Resistividad eléctrica vs. Pasa N°200 vs. Densidad de campo

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$\gamma_{d \text{ in situ}} = 1797.75 (\exp)^{-0.0001(\rho)} * (\exp)^{-0.0031(\text{Pasa N}^\circ 200)}$$

**Coefficiente de determinación:**

$$R^2 = 76\%$$

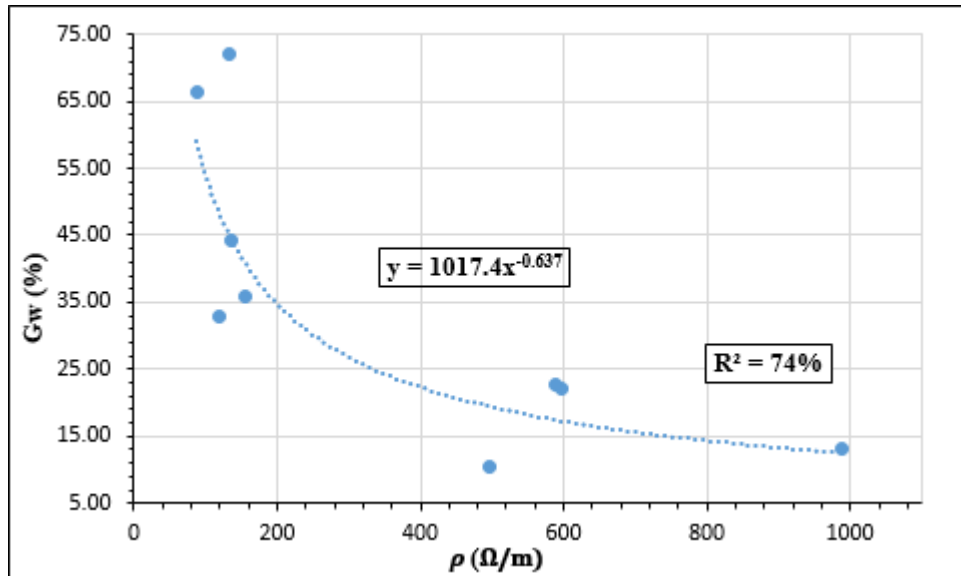
**Análisis e interpretación:**

En la correlación entre la resistividad eléctrica, porcentaje de finos y densidad en campo, la relación que mejor se ajusta es exponencial. Con la utilización de 9 muestras (excluyendo G8) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 76\%$ , en base a lo cual se la categoriza como correlación “buena”.

Gráficamente se muestra que un suelo tendrá alta densidad en campo si presenta un bajo porcentaje de partículas finas y baja resistividad, en comparación a un suelo que posea menor porcentaje de finos y alta resistividad. El aumento del porcentaje de partículas finas en el suelo disminuye considerablemente su densidad para cualquier valor de resistividad, debido a que los finos poseen gran plasticidad, lo cual ayuda a la circulación del flujo eléctrico



### 3.1.4.13 Correlación N° 13



**Figura 33:** Resistividad eléctrica vs. Grado de saturación del agua

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$G_w = 1017.4(\rho)^{-0.637}$$

**Coefficiente de determinación:**

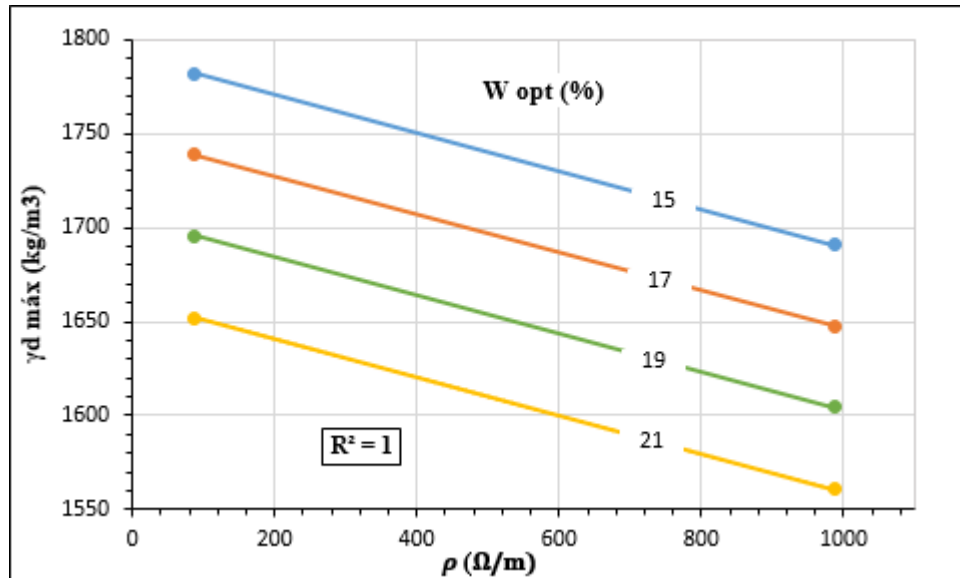
$$R^2 = 74\%$$

**Análisis e interpretación:**

En la correlación entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del agua, la relación que mejor se ajusta de acuerdo a los resultados obtenidos es potencial. Con la utilización de 8 muestras (excluyendo G8) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 74\%$ , en base a lo cual se la categoriza como correlación “buena”.

Gráficamente se observa una relación inversamente proporcional entre las dos propiedades, lo cual manifiesta que un suelo con alta resistividad tendrá bajo grado de saturación del agua y viceversa. Teóricamente el flujo eléctrico se conduce de mejor manera cuando existe mayor presencia de humedad, es por eso que en suelos cuyo grado de saturación del agua es alto, el valor de la resistividad eléctrica que presenta el suelo es bajo.

### 3.1.4.14 Correlación N° 14



**Figura 34:** Resistividad eléctrica vs. Humedad óptima vs. Densidad seca máxima

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$\gamma_d \text{ máx} = 2275.18 - 86.56 \text{Log}(\rho) - 21.67(W_{opt})$$

**Coefficiente de determinación:**

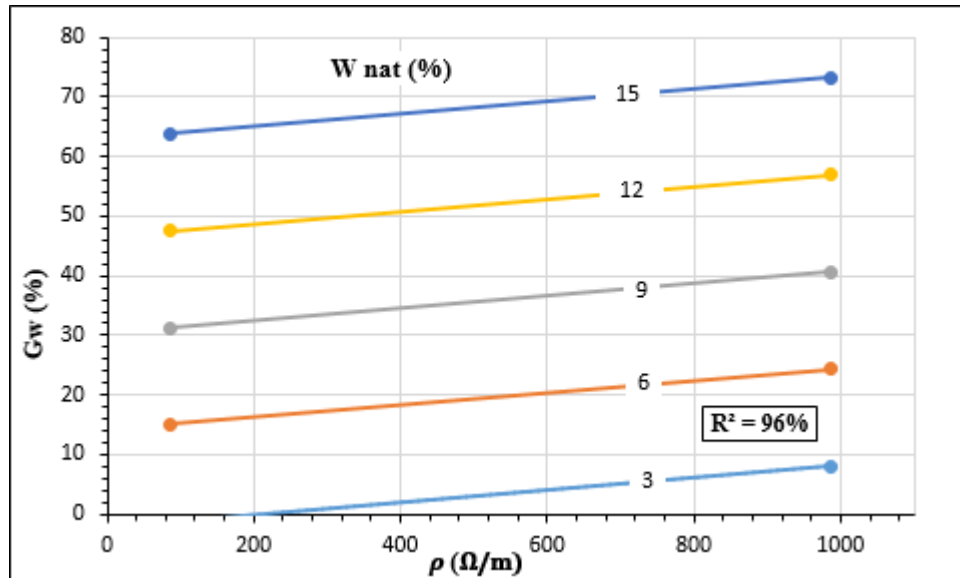
$$R^2 = 72\%$$

**Análisis e interpretación:**

En base a los resultados obtenidos, en la correlación resistividad eléctrica, humedad óptima y densidad seca máxima, la relación que se ajusta de la mejor manera es logarítmica. Utilizando 9 muestras (excluyendo G1) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 72\%$ , en base a lo cual se la categoriza como correlación “buena”.

Se argumenta que a medida que la densidad seca máxima aumente el suelo necesitará menor contenido de humedad para llegar a su estado óptimo de compactación. De la misma forma, mientras más bajo sea el valor de resistividad eléctrica que presente un suelo, el valor de la densidad seca máxima irá en aumento, sobre todo cuando el suelo necesite poca humedad para llegar a su estado óptimo.

### 3.1.4.15 Correlación N° 15



**Figura 35:** Resistividad eléctrica vs. Humedad natural vs. Grado de saturación del agua

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$Gw = -34.624 + 3.828 \ln(\rho) + 5.425(W_{nat})$$

**Coefficiente de determinación:**

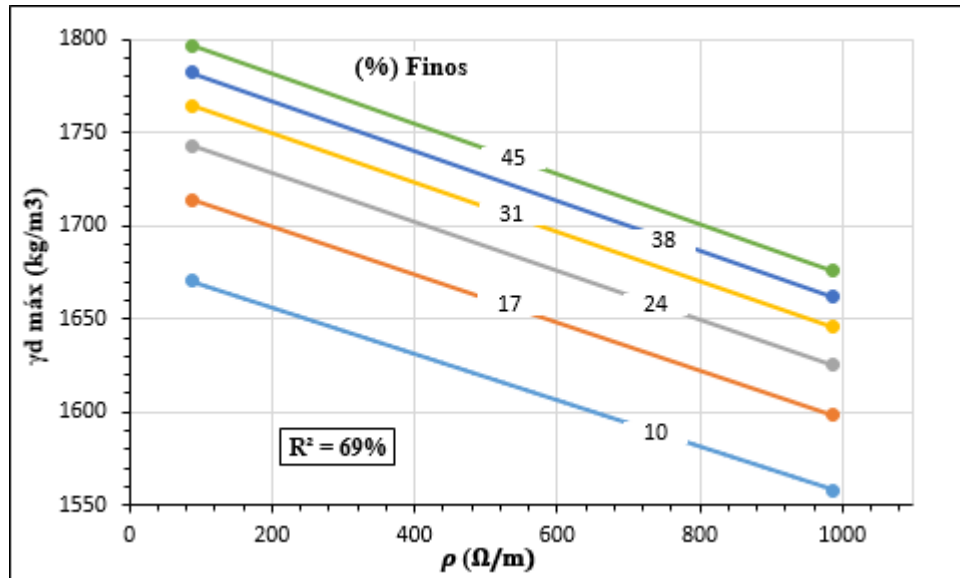
$$R^2 = 96\%$$

**Análisis e interpretación:**

En la correlación resistividad eléctrica, humedad natural y grado de saturación del agua, la relación que mejor se ajusta a los resultados obtenidos es logarítmica, usando 10 muestras se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 96\%$ , categorizándola como una correlación “excelente”.

Existe una relación directamente proporcional entre la humedad natural y el grado de saturación del agua, y de igual forma entre la resistividad eléctrica y grado de saturación del agua. Es decir que un suelo presenta un valor alto del grado de saturación del agua cuando se obtiene un valor alto de resistividad eléctrica a medida que aumenta el porcentaje de humedad natural del suelo.

### 3.1.4.16 Correlación N° 16



**Figura 36:** Resistividad eléctrica vs. Pasa N°200 vs. Densidad seca máxima

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$\gamma_{d \text{ máx}} = 1698.77(\rho)^{-0.0287} * (\text{Pasa N}^\circ 200)^{0.0485}$$

**Coefficiente de determinación:**

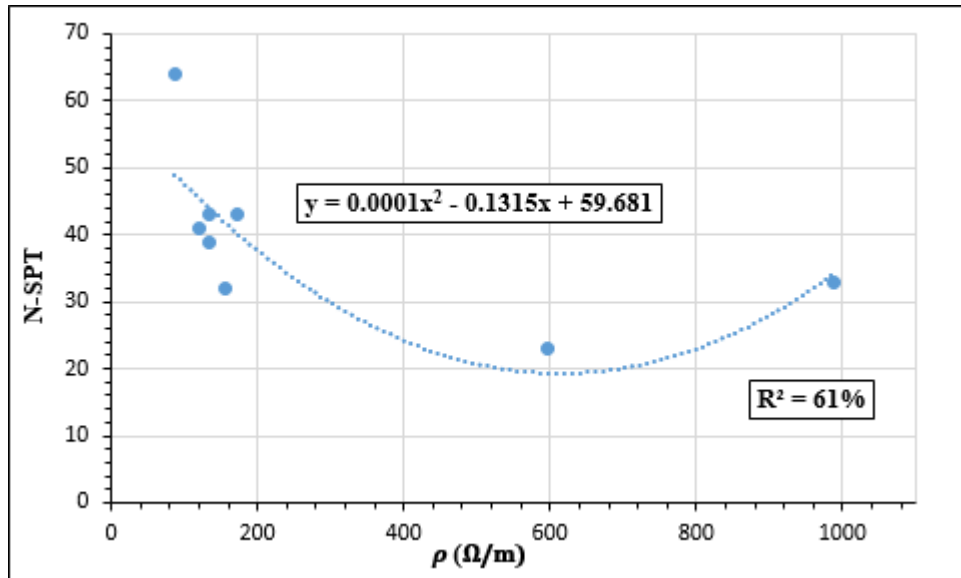
$$R^2 = 69\%$$

**Análisis e interpretación:**

En la correlación resistividad eléctrica, porcentaje de finos y densidad seca máxima, la relación que mejor se ajusta es potencial, usando 9 muestras (excluyendo G1) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 69\%$ , categorizándola como “aceptable”.

Existe una relación directamente proporcional entre la densidad seca máxima y el porcentaje de finos, e inversamente proporcional entre la densidad seca máxima y la resistividad eléctrica. Se argumenta que un suelo posee mayor gravedad específica mientras más partículas finas lo compongan. Adicionalmente el valor de la densidad seca máxima irá disminuyendo mientras aumente el valor de resistividad eléctrica, conforme disminuya el porcentaje de partículas finas en un suelo.

### 3.1.4.17 Correlación N° 17



**Figura 37:** Resistividad eléctrica vs. N-SPT

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$NSPT = 0.0001(\rho)^2 - 0.1315(\rho) + 59.681$$

**Coefficiente de determinación:**

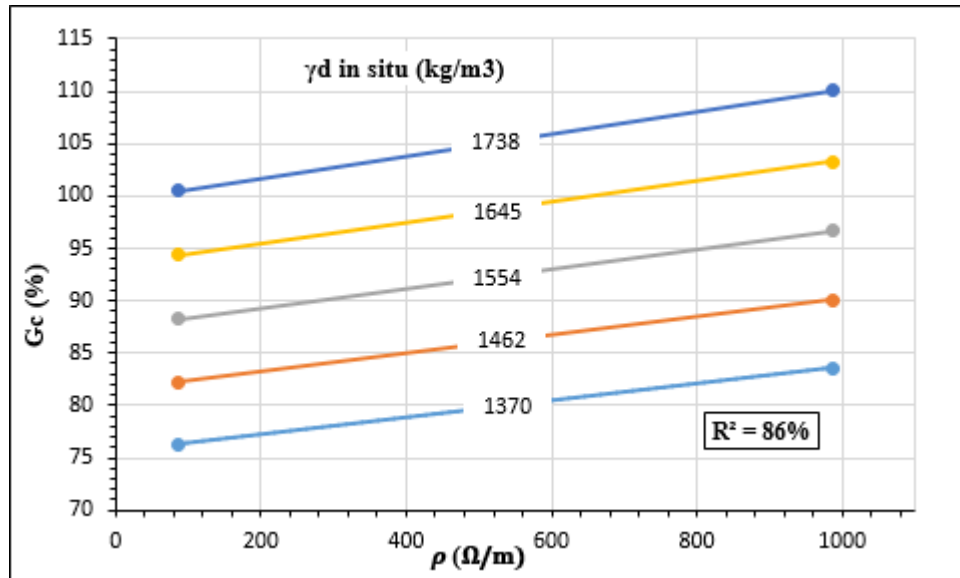
$$R^2 = 61\%$$

**Análisis e interpretación:**

En la correlación la resistividad eléctrica y número de golpes de SPT, la relación que mejor se ajusta es polinómica, usando 8 muestras (excluyendo G5 y G6) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 61\%$ , categorizándola como “aceptable”.

Gráficamente se observa una parábola invertida, lo cual muestra que para un mismo número de golpes existen dos valores de resistividad. Teóricamente se comprueba que en un suelo que tiene un valor bajo de resistividad, posee alta resistencia a la penetración, debido a que se van a requerir un mayor número de golpes para penetrarlo a relación de un suelo que presente alta resistividad. Debido a que el coeficiente de determinación es bajo, los resultados deben utilizarse a criterio del investigador.

### 3.1.4.18 Correlación N° 18



**Figura 38:** Resistividad eléctrica vs. Densidad de campo vs. Grado de compactación

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$Gc = 0.0149(\rho)^{0.0375} * (\gamma_{d \text{ in situ}})^{1.1593}$$

**Coefficiente de determinación:**

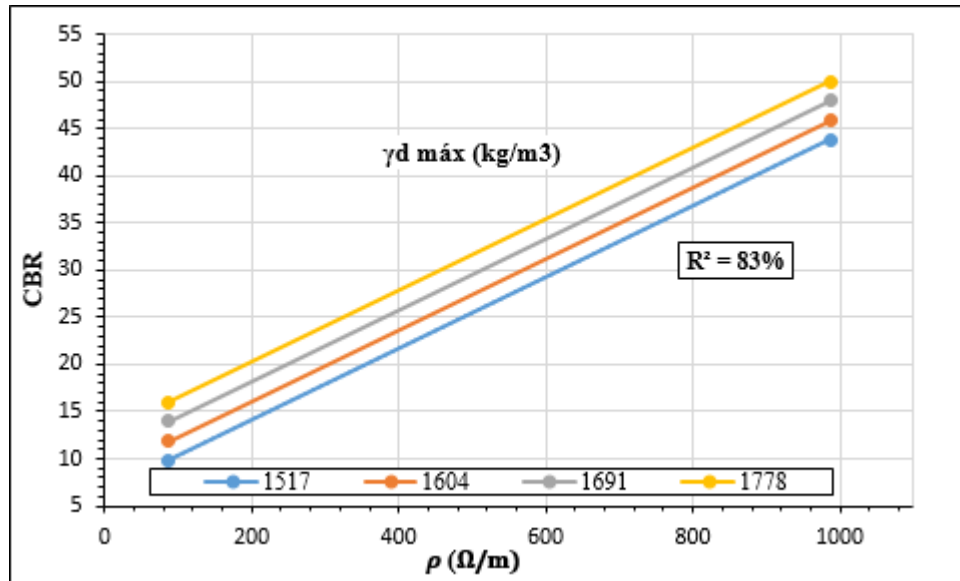
$$R^2 = 86\%$$

**Análisis e interpretación:**

En la correlación entre la resistividad eléctrica, densidad de campo y grado de compactación, la relación que mejor se ajusta de acuerdo a los resultados obtenidos es potencial. Utilizando 9 muestras (excluyendo G1) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 86\%$ , categorizándola como correlación “buena”.

Un suelo que posee un alto grado de compactación tendrá un valor alto de resistividad, debido que el valor de relación de vacíos es pequeña, lo cual imposibilita una buena circulación del flujo eléctrico. A su vez un suelo con alta densidad en campo de la misma forma tendrá un alto grado de compactación. Los suelos arenosos presentan altos grados de compactación, en relación a los suelos arcillosos.

### 3.1.4.19 Correlación N° 19



**Figura 39:** Resistividad eléctrica vs. Densidad seca máxima vs. CBR

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$CBR = -89.015 + 32.263 \text{Log}(\rho) + 0.024(\gamma_d \text{ máx})$$

**Coefficiente de determinación:**

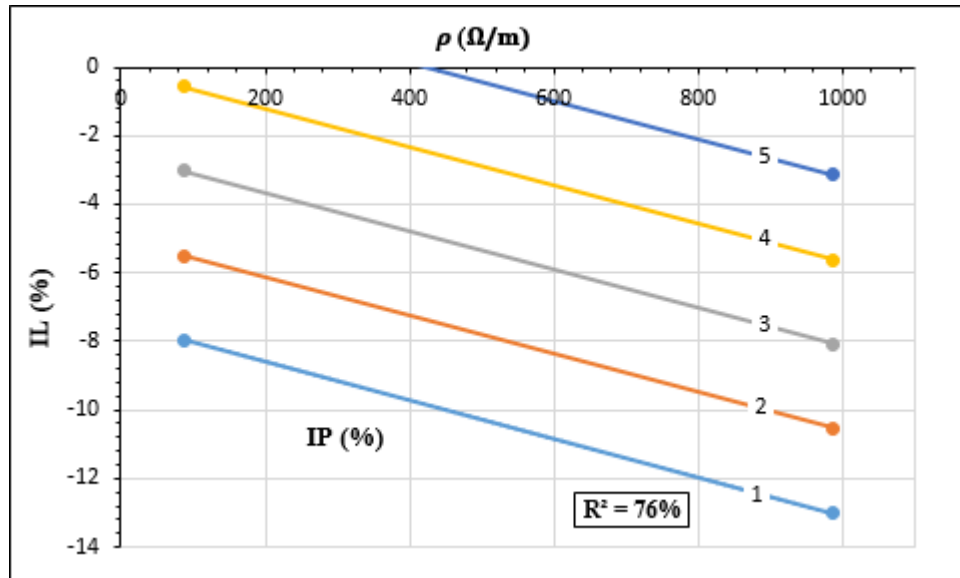
$$R^2 = 83\%$$

**Análisis e interpretación:**

En base a los resultados obtenidos, en la correlación resistividad eléctrica, densidad seca máxima y CBR, la relación que se ajusta mejor es logarítmica. Utilizando 10 muestras se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 83\%$ , en base a lo cual se la categoriza como correlación “buena”.

Gráficamente puede observarse una relación directamente proporcional entre las tres variables. Se argumenta que el valor de la resistencia a la penetración de un suelo aumentará progresivamente mientras más resistividad eléctrica presente, y el valor de la densidad seca máxima también sea alto. Esto se debe a que en un suelo bien compactado existen pequeñas cavidades entre las partículas, lo cual dificulta el paso del flujo eléctrico.

### 3.1.4.20 Correlación N° 20



**Figura 40:** Resistividad eléctrica vs. Índice plástico vs. Índice líquido

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$IL = -1.134 - 4.79 \log(\rho) + 2.465(IP)$$

**Coefficiente de determinación:**

$$R^2 = 76\%$$

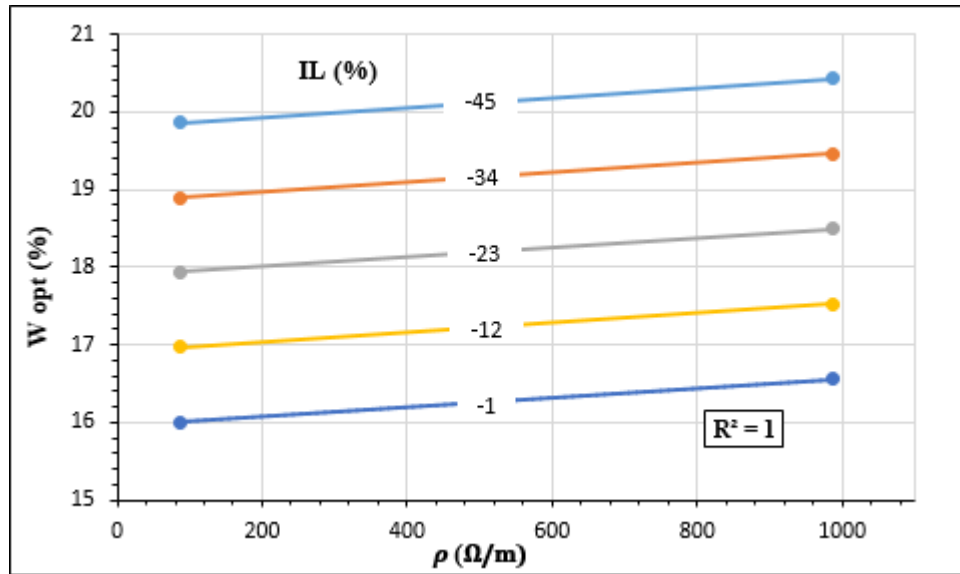
**Análisis e interpretación:**

En la correlación entre la resistividad eléctrica, índice plástico e índice líquido, la relación que mejor se ajusta de acuerdo a los resultados es logarítmica. Utilizando 9 muestras (excluyendo G2) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 76\%$ , categorizándola como “buena”.

Existe una relación inversamente proporcional entre el índice líquido y la resistividad eléctrica y directamente proporcional entre el índice líquido e índice plástico. Un suelo que presenta mayor resistividad tendrá menor valor de índice de liquidez, es decir que el suelo se encuentra bien compactado in situ. Por otro lado un suelo que necesite bastante humedad para pasar de su estado sólido a líquido, presenta un bajo índice de liquidez, en comparación a un suelo que necesite menor humedad.



### 3.1.4.21 Correlación N° 21



**Figura 41:** Resistividad eléctrica vs. Índice líquido vs. Humedad óptima

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$W_{opt} = 15.862 + 0.001(\rho) - 0.088(IL)$$

**Coefficiente de determinación:**

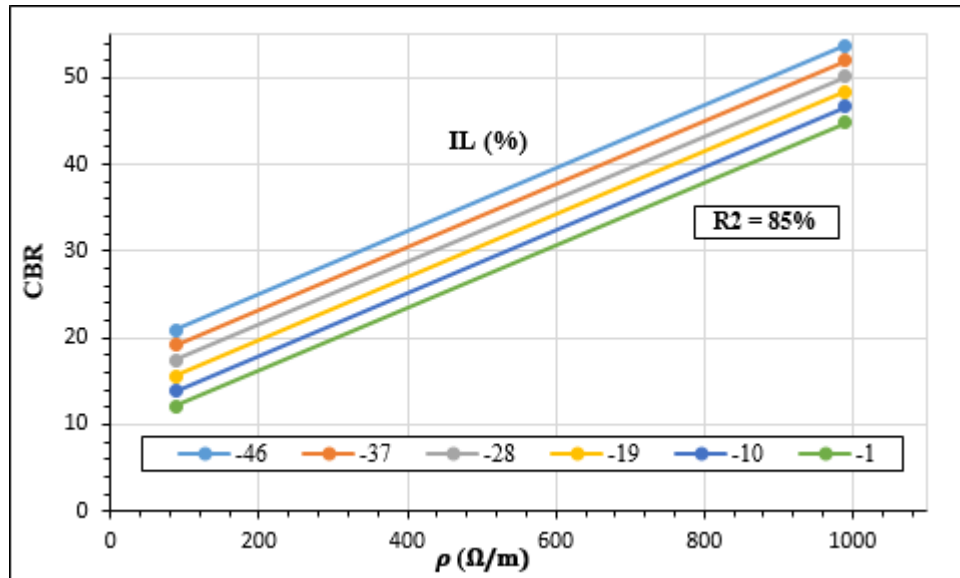
$$R^2 = 67\%$$

**Análisis e interpretación:**

Entre la resistividad eléctrica, índice líquido y humedad óptima, la relación que mejor se ajusta mejor a los resultados es lineal. Utilizando 9 muestras (excluyendo G4) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 67\%$ , categorizándola como “aceptable”.

Se observa una relación directamente proporcional entre la humedad óptima y la resistividad eléctrica, e inversamente proporcional entre el índice líquido y la humedad óptima. La resistividad eléctrica no influye en gran forma en la variación del resultado de humedad óptima, puesto que aplicando su valor máximo y mínimo, la humedad varía en un 0.5% en base al índice líquido. Se argumenta que un suelo con alta resistividad eléctrica y que se encuentre bien compactado in situ tendrá una necesitará mayor humedad para llegar a su estado óptima en relación a uno con baja resistividad.

### 3.1.4.22 Correlación N° 22



**Figura 42:** Resistividad eléctrica vs. Índice líquido vs. CBR

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$CBR = -48.396 + 31.071 \text{Log}(\rho) - 0.196(IL)$$

**Coefficiente de determinación:**

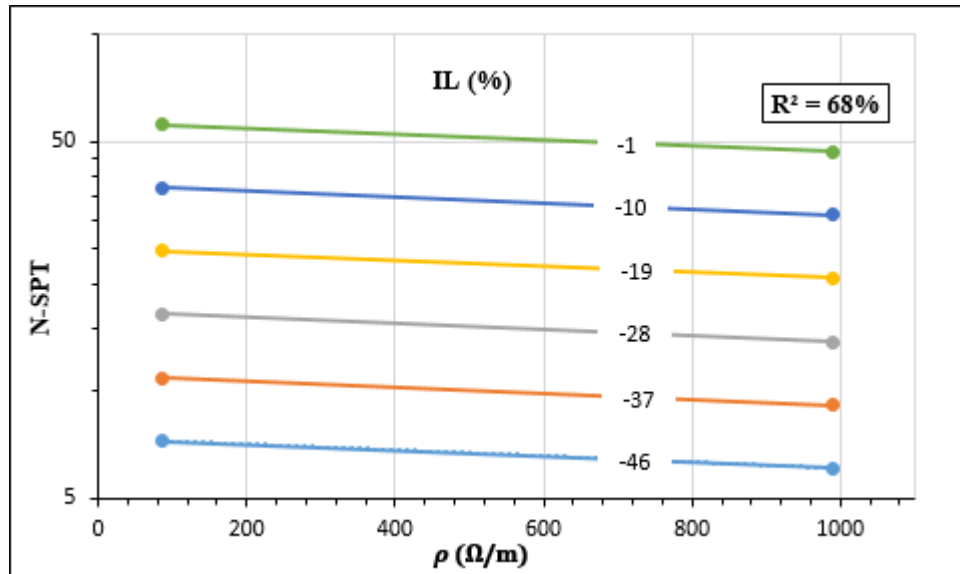
$$R^2 = 85\%$$

**Análisis e interpretación:**

En base a los resultados, en la correlación resistividad eléctrica, índice líquido y CBR, la relación que mejor se ajusta es logarítmica, utilizando 10 muestras se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 85\%$ , categorizándola como una correlación “buena”.

Se observa que existe una relación directamente proporcional entre la resistividad y el CBR, y de igual forma entre el CBR y el índice líquido. Mientras más alto sea el valor de resistividad eléctrica que un suelo presente, más alta será su resistencia a ser penetrado cuando éste se encuentre bien compactado in situ; a comparación con un suelo que esté bien compactado pero el valor de la resistividad eléctrica sea bajo.

### 3.1.4.23 Correlación N° 23



**Figura 43:** Resistividad eléctrica vs. Índice líquido vs N-SPT

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$SPT = 59.2664(\exp)^{-0.0002(\rho)} * (\exp)^{0.0453(IL)}$$

**Coefficiente de determinación:**

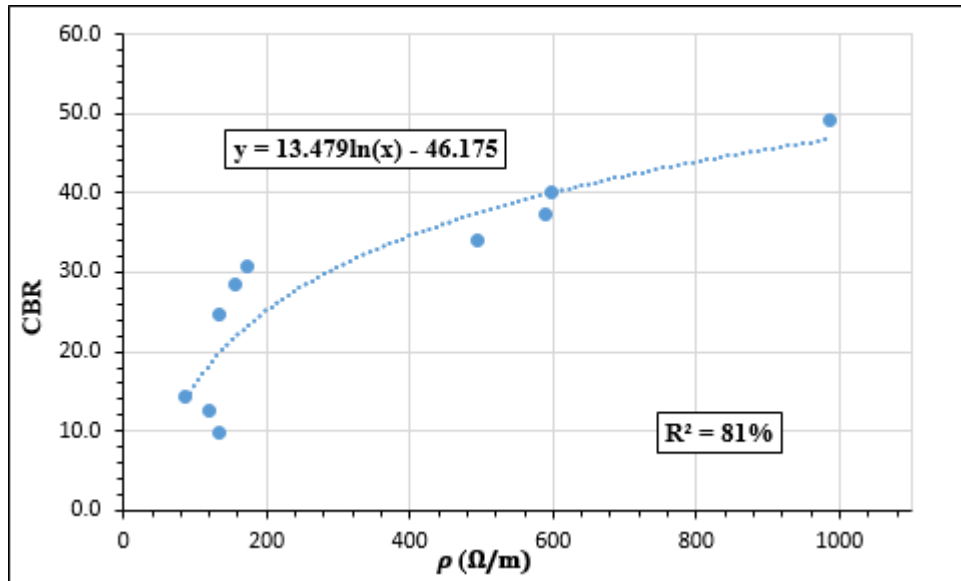
$$R^2 = 68\%$$

**Análisis e interpretación:**

En la correlación entre la resistividad eléctrica, índice líquido y número de golpes en el SPT, la relación que mejor se ajusta de acuerdo a los resultados es exponencial. Utilizando 9 muestras (excluyendo G2) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 68\%$ , categorizándola como “aceptable”.

La gráfica presentada concuerda con la teoría, puesto que un suelo que se encuentra bien compactado necesitará mayor número de golpes para ser penetrado, en relación a un suelo mal compactado. También existe una relación inversamente proporcional entre el número de golpes del SPT y la resistividad, ya que en un suelo con buena compactación se opone al paso de corriente que un menos compactado, debido a que la relación de vacíos es mayor.

### 3.1.4.24 Correlación N° 24



**Figura 44:** Resistividad eléctrica vs. CBR

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$CBR = 13.479\ln(\rho) - 46.175$$

**Coefficiente de determinación:**

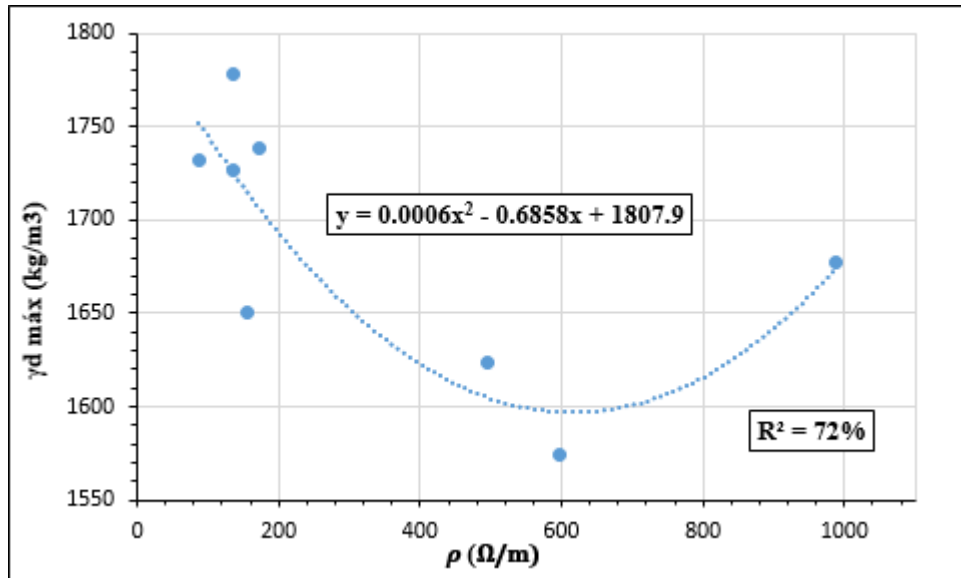
$$R^2 = 81\%$$

**Análisis e interpretación:**

En base a los resultados obtenidos, en la correlación resistividad eléctrica y CBR, la relación que se ajusta de mejor manera es logarítmica. Utilizando 10 muestras se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 81\%$ , en base a lo cual se la categoriza como correlación “buena”.

Existe una relación directamente proporcional entre las dos variables expuestas. Gráficamente se observa que mientras más alto sea el valor de resistividad eléctrica que presenta un suelo, éste podrá soportar mayor carga; es decir tendrá una mayor resistencia a la penetración.

### 3.1.4.25 Correlación N° 25



**Figura 45:** Resistividad eléctrica vs. Densidad seca máxima

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$\gamma_{d \text{ máx}} = 0.0006(\rho)^2 - 0.6858(\rho) + 1807.9$$

**Coefficiente de determinación:**

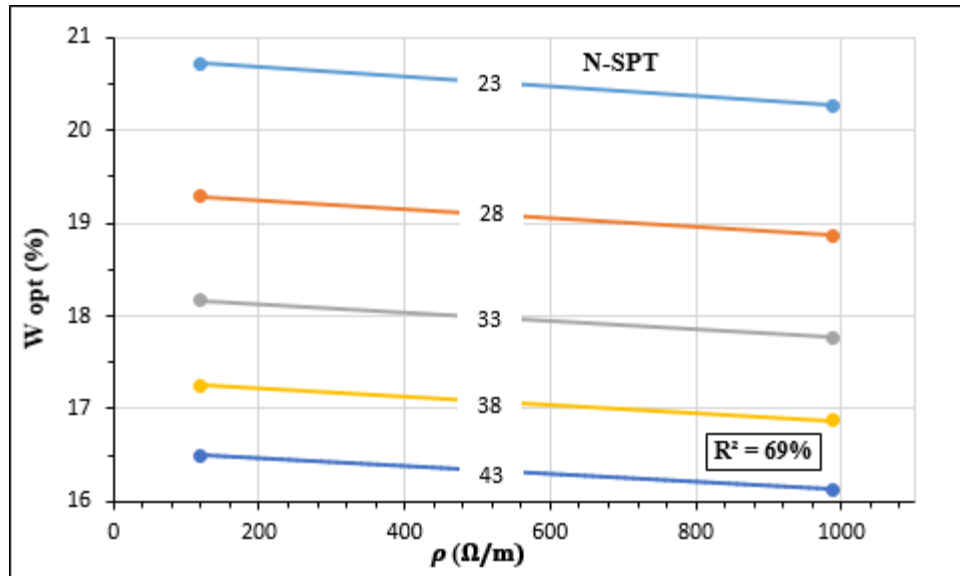
$$R^2 = 72\%$$

**Análisis e interpretación:**

En la correlación resistividad eléctrica y densidad seca máxima, la relación que se ajusta mejor es polinómica. Utilizando 8 muestras (excluyendo G1 y G6) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 72\%$ , categorizándola como “buena”.

Se observa una parábola invertida, lo cual muestra que para un mismo valor de densidad seca máxima existen dos valores de resistividad eléctrica. Teóricamente hay una relación inversamente proporcional entre estas dos variables, lo cual se comprueba gráficamente hasta llegar a un valor de resistividad de 600 Ω/m, de ahí en adelante se convierte en una relación directamente proporcional debido a que el suelo que propicia este cambio tiene el mayor porcentaje de finos en relación a los demás.

### 3.1.4.26 Correlación N° 26



**Figura 46:** Resistividad eléctrica vs. N-SPT vs. Humedad óptima

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$W_{opt} = 68.411(\rho)^{-0.0105} * (\rho)^{-0.3649}$$

**Coefficiente de determinación:**

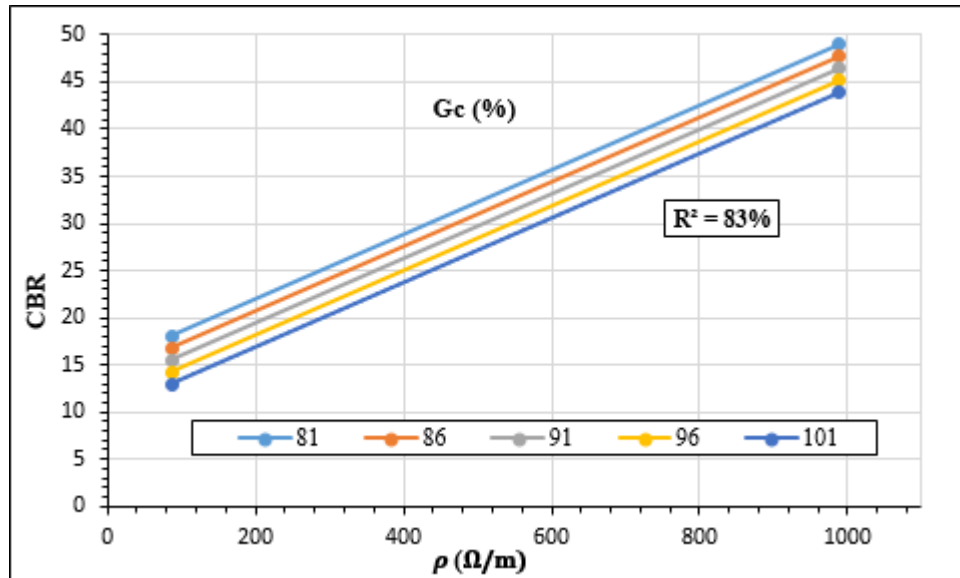
$$R^2 = 69\%$$

**Análisis e interpretación:**

En base a los resultados obtenidos, en la correlación resistividad eléctrica, número de golpes del SPT y humedad óptima, la relación que mejor se ajusta es potencial. Se utilizaron 9 muestras (excluyendo G9), obteniendo así un coeficiente de determinación  $R^2 = 69\%$ , categorizando a la correlación como “aceptable”.

Existe una relación inversamente proporcional entre la humedad óptima y el número de golpes del SPT, ya que en un suelo que posee un alto contenido de humedad se necesitarán pocos golpes para penetrarlo. También existe una relación inversamente proporcional entre la resistividad eléctrica y humedad óptima, debido a que en un suelo que necesita mayor porcentaje de humedad para llegar a su condición óptima, existirá un mejor flujo de corriente, sin incidencia del número de golpes del SPT.

### 3.1.4.27 Correlación N° 27



**Figura 47:** Resistividad eléctrica vs. Grado de compactación vs. CBR

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$CBR = -18.49 + 29.383 \text{Log}(\rho) - 0.253(Gc)$$

**Coefficiente de determinación:**

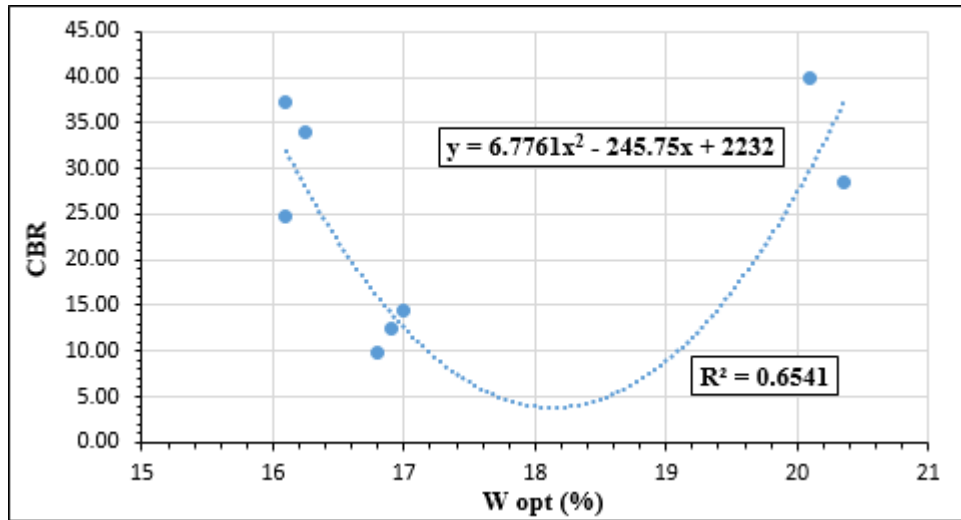
$$R^2 = 83\%$$

**Análisis e interpretación:**

En base a los resultados obtenidos, en la correlación resistividad eléctrica, grado de compactación y CBR, la relación que mejor se ajusta es logarítmica. Se utilizaron 10 muestras, obteniendo así un coeficiente de determinación  $R^2 = 83\%$ , categorizando a la correlación como “buena”.

Existe una relación inversamente proporcional entre el CBR y el grado de compactación, y directamente proporcional entre el CBR y la resistividad eléctrica. Un suelo alcanzará un valor alto de CBR cuando presente un grado de compactación alto y se obtenga de igual manera un alto valor de resistividad eléctrica, en comparación con un suelo cuya resistividad sea baja.

### 3.1.4.28 Correlación N° 28



**Figura 48:** Humedad óptima vs. CBR

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$CBR = 6.7761(W_{opt})^2 - 245.75(W_{opt}) + 2232$$

**Coefficiente de determinación:**

$$R^2 = 65\%$$

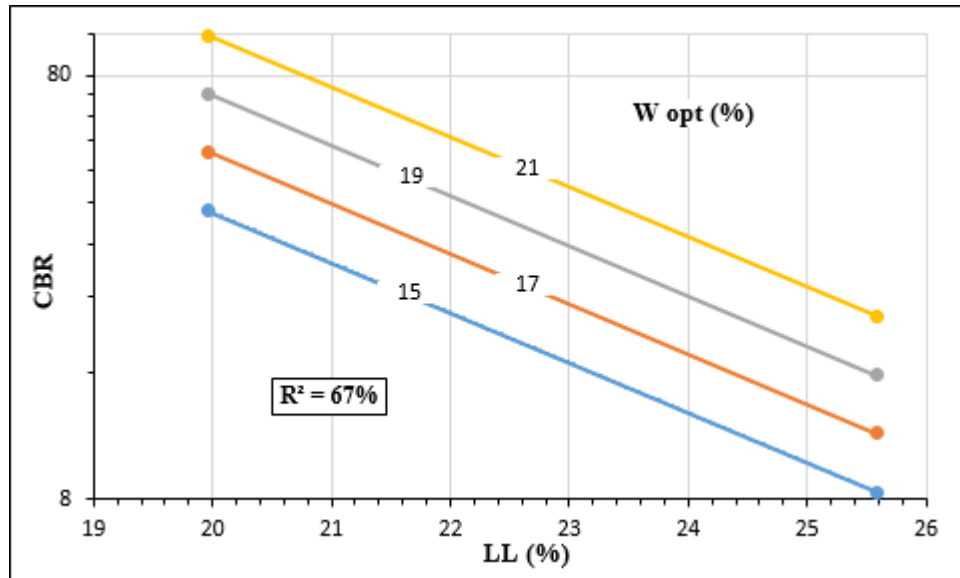
**Análisis e interpretación:**

En la correlación humedad óptima y CBR, la relación que se ajusta mejor es logarítmica. Utilizando 10 muestras se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 83\%$ , categorizándola como “buena”.

Se observa una parábola invertida, lo cual muestra que para un mismo valor de CBR existen dos valores de humedad óptima. Cuando la humedad óptima llega a 18.2% existe un punto de inflexión, es decir que la relación pasa de ser inversamente a directamente proporcional. Un suelo que necesita un alto contenido de humedad, hasta llegar a 18.2%, para alcanzar su estado óptimo de compactación tendrá un bajo valor de CBR, de ahí en adelante la relación se invierte, debido a que las muestras de suelo que producen este cambio presentan poca cantidad de finos y necesitan mayor cantidad de humedad para llegar a su estado óptimo y alcanzar un alto valor de CBR.



### 3.1.4.29 Correlación N° 29



**Figura 49:** Límite líquido vs. Humedad óptima vs. CBR

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$CBR = 803.7188(\exp)^{-0.2718(LL)} * (\exp)^{0.1589(W\ opt)}$$

**Coefficiente de determinación:**

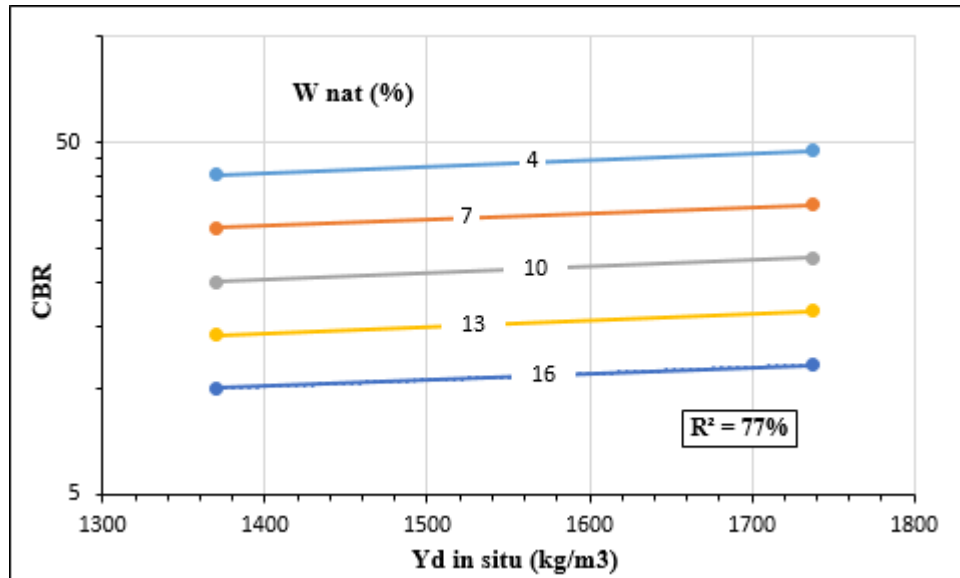
$$R^2 = 67\%$$

**Análisis e interpretación:**

En la correlación límite líquido, humedad óptima y CBR, la relación que se ajusta mejor es exponencial. Usando 9 muestras (excluyendo G7) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 67\%$ , categorizándola como correlación “aceptable”.

Existe una relación inversamente proporcional entre el CBR y el límite líquido. Un suelo que necesita un alto contenido de humedad para llegar a su estado líquido tendrá un bajo CBR, esto es característico de los suelos arcillosos y limosos, ya que por su alto contenido de finos presentan baja resistencia a la penetración. También existe una relación directamente proporcional entre el CBR y la humedad óptima, característica de los suelos arenosos ya que necesitan mayor humedad para alcanzar su estado óptimo de compactación.

### 3.1.4.30 Correlación N° 30



**Figura 50:** Densidad en campo vs. Humedad natural vs. CBR

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

**Ecuación:**

$$CBR = 35.9788(\exp)^{0.0004(\gamma d \text{ in situ})} * (\exp)^{-0.1165(W \text{ nat})}$$

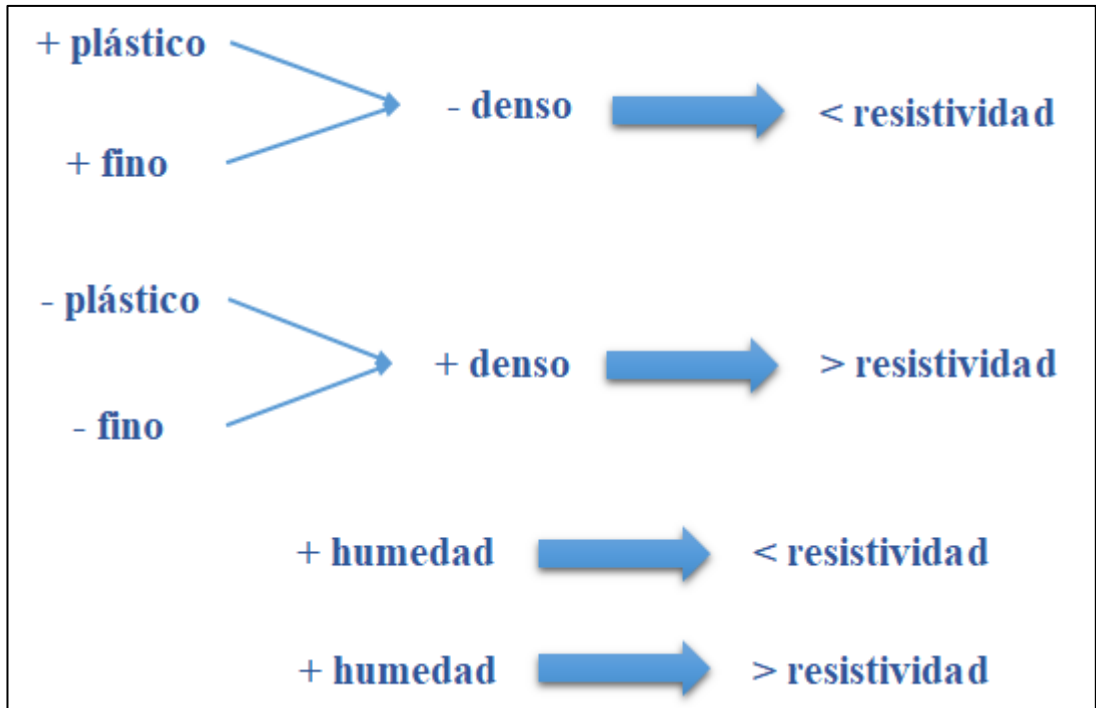
**Coefficiente de determinación:**

$$R^2 = 77\%$$

**Análisis e interpretación:**

En la correlación límite líquido, humedad óptima y CBR, la relación que se ajusta mejor es exponencial. Usando 9 muestras (excluyendo G5) se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 77\%$ , categorizándola como “buena”.

Gráficamente se observa una relación directamente proporcional entre el CBR y la densidad de campo, es decir que un suelo que presenta más densidad en campo tendrá la tendencia de generar un valor alto de CBR. A su vez existe una relación inversamente proporcional entre el CBR y la humedad óptima, expresando que un suelo con bajo contenido de humedad óptima tendrá un alto valor de CBR, característica de los suelos con alto porcentaje de finos.



**Figura 51:** Relación entre las propiedades del suelo

**Elaborado por:** Christian Danilo Pérez Galarza

## **VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS**

Se determinaron en total 30 correlaciones, 10 correlaciones simples, es decir de dos variables, y 20 correlaciones múltiples, de tres variables; obteniendo un coeficiente de determinación promedio  $R^2 = 72\%$  y  $R^2 = 77\%$  respectivamente.

### **H: Hipótesis alternativa**

H: La resistividad eléctrica de los suelos se puede estimar en base a los valores obtenidos de las propiedades índice o el ensayo de Relación de Soporte de California (CBR).

### **HO: Hipótesis nula**

HO: La resistividad eléctrica de los suelos no se puede estimar en base a los valores obtenidos de las propiedades índice o el ensayo de Relación de Soporte de California (CBR).

De acuerdo a los resultados obtenidos de las correlaciones simples y múltiples, alcanzando coeficientes de determinación  $R^2 = 72\%$  y  $R^2 = 77\%$  respectivamente, se las categoriza como correlaciones “buenas” ya que se encuentran en un rango de 70% a 89%, es por ello que en base a las hipótesis planteadas, se acepta la hipótesis alternativa.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 CONCLUSIONES**

- Las propiedades físico mecánicas de los suelos granulares de la zona 3 de la ciudad de Ambato se determinaron con el fin de establecer correlaciones entre ellas utilizando dos y tres variables, para en un futuro poder estimar valores de dichas propiedades a partir de datos conocidos para suelos similares.
- Cuando el suelo presenta un alto valor de resistividad eléctrica, el suelo posee un bajo contenido de humedad natural. Cuando sucede lo contrario, es decir el suelo se encuentra húmedo o muy saturado, el valor de la resistividad eléctrica disminuirá, debido a que la presencia de agua permite la libre circulación del flujo eléctrico.
- Los suelos que poseen en su estructura un alto porcentaje de finos (Pasa tamiz N° 200) presentan baja resistividad eléctrica, debido a que éstos pueden tener mayor absorción de agua, facilitando el flujo eléctrico, característico en suelos arcillosos. Lo contrario ocurre con los suelos arenosos, en los cuales el drenaje del agua intersticial es mayor, dificultando el flujo eléctrico, dando como resultado valores altos de resistividad.
- Se concluye que en aquellos suelos en los que la resistividad eléctrica es baja, los valores de los límites de Atterberg también serán bajos. Sin embargo un suelo que necesita mayor cantidad de agua para pasar de su condición plástica a semi líquida, y de su condición semi sólida a plástica, presentará un alto valor de resistividad, puesto que el agua al ser un buen conductor de electricidad, facilita la circulación del flujo eléctrico.
- A partir del ensayo del proctor modificado se obtienen resultados de densidad seca máxima y humedad óptima. Si se habla de la correlación entre el ensayo

de compactación y la resistividad eléctrica, se concluye que mientras menor cantidad de agua necesite un suelo para alcanzar su estado óptimo, el valor de la densidad seca aumentará y por consiguiente la resistividad será alta.

- Se determinó que un suelo que tiene un valor bajo de resistividad eléctrica, posee alta resistencia a la penetración, debido a que se requiere un mayor número de golpes para penetrarlo en relación a un suelo que presente alta resistividad. Lo cual quiere decir que su grado de compactación posee un porcentaje alto de humedad natural, lo que ocurre con los suelos arcillosos y limosos.
- De acuerdo a los ensayos realizados se llega a la conclusión de que mientras más alto sea el valor de resistividad eléctrica que presenta un suelo, éste podrá soportar mayor carga; es decir tendrá una mayor resistencia a la penetración debido a que se encuentra bien compactado. Lo contrario ocurre con un suelo que presenta menor densidad, pues existen cavidades llenas de agua en su interior, lo cual permite que el flujo eléctrico circule con facilidad y no pueda resistir mucha carga.

#### **4.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar el ensayo de resistividad eléctrica en días en condiciones ambientales óptimas, sin presencia de lluvia ni días soleados.
- Se recomienda ubicar los electrodos en forma de un cuadrado o triángulo al momento de hacer el ensayo de resistividad con el fin de realizar una comparación entre los métodos y determinar la efectividad de cada uno.
- Se recomienda realizar una correlación entre la resistividad eléctrica y el ensayo Proctor estándar, y compararlo con correlaciones obtenidas con el ensayo Proctor modificado. Con el fin de definir el método más adecuado que permita estimar otras propiedades con mayor precisión.
- Se recomienda realizar todos los ensayos y correlaciones expuestas en la

presente investigación utilizando suelos cohesivos (arcillas y limos).

- Se recomienda realizar correlaciones entre la resistividad eléctrica y el ensayo de permeabilidad, ya que este ensayo no fue tomado en cuenta en el presente proyecto y tiene gran importancia en el análisis de suelos granulares.
- Se recomienda ampliar el campo de acción hacia la provincia de Tungurahua y posteriormente a todo el país.
- Se recomienda ampliar la base de datos recolectando la información de las demás zonas estudiadas en el proyecto macro.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. H. Khairul y A. Syed Baharom, «Correlation of Electrical Resistivity and SPT-N value from Standard,» *Applied Mechanics and Materials*, p. 7, 2015.
- [2] P. Chang-Seon, J. Jin-Hoon, P. Hae-Won y K. Kyoungchul, «Experimental Study on Electrode Method for Electrical Resistivity Survey to Detect Cavities under Road Pavements,» *Sustainability*, p. 22, 2017.
- [3] B. Syed, O. Syed , S. Fahad Irfan y B. Mohammad Yaakob , «Relationship of Plasticity Index of Soil with Laboratory and Field Electrical Resistivity Values,» *Applied Mechanics and Materials*, p. 8, 2014.
- [4] S. Fahad Irfan , A. Syed Baharom y O. Bin Syed , «Simple and multiple regression models for relationship between electrical resistivity and various soil properties for soil characterization,» *Environ Earth Sci*, p. 10, 2014.
- [5] D. Aulestia Valencia, L. F. Guevara Urquizo, J. A. Toral Valdiviezo y J. A. Martin Erquicia, «Geotecnia y cimentaciones,» *Norma ecuatoriana de la construcción*, p. 61, 2015.
- [6] D. Aulestia Valencia, L. F. Guevara Urquizo, J. A. Toral Valdiviezo y J. A. Martin Erquicia, «Pelígro sísmico,» *Norma ecuatoriana de la constucción*, p. 135, 2015.
- [7] M. H. Zainal Abidin, F. Ahmad, D. C. Wijeyesekera, R. Saad y M. F. Tajul Baharuddin, «Soil Resistivity Measurements to Predict Moisture Content and Density in Loose and Dense Soil,» *Applied Mechanics and Materials*, pp. 911-917, 2014.
- [8] J. Vega, Estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras del cantón Ambato, Ambato: Universidad Nacional de La Plata, 2013.
- [9] ASTM D 2216, Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass.



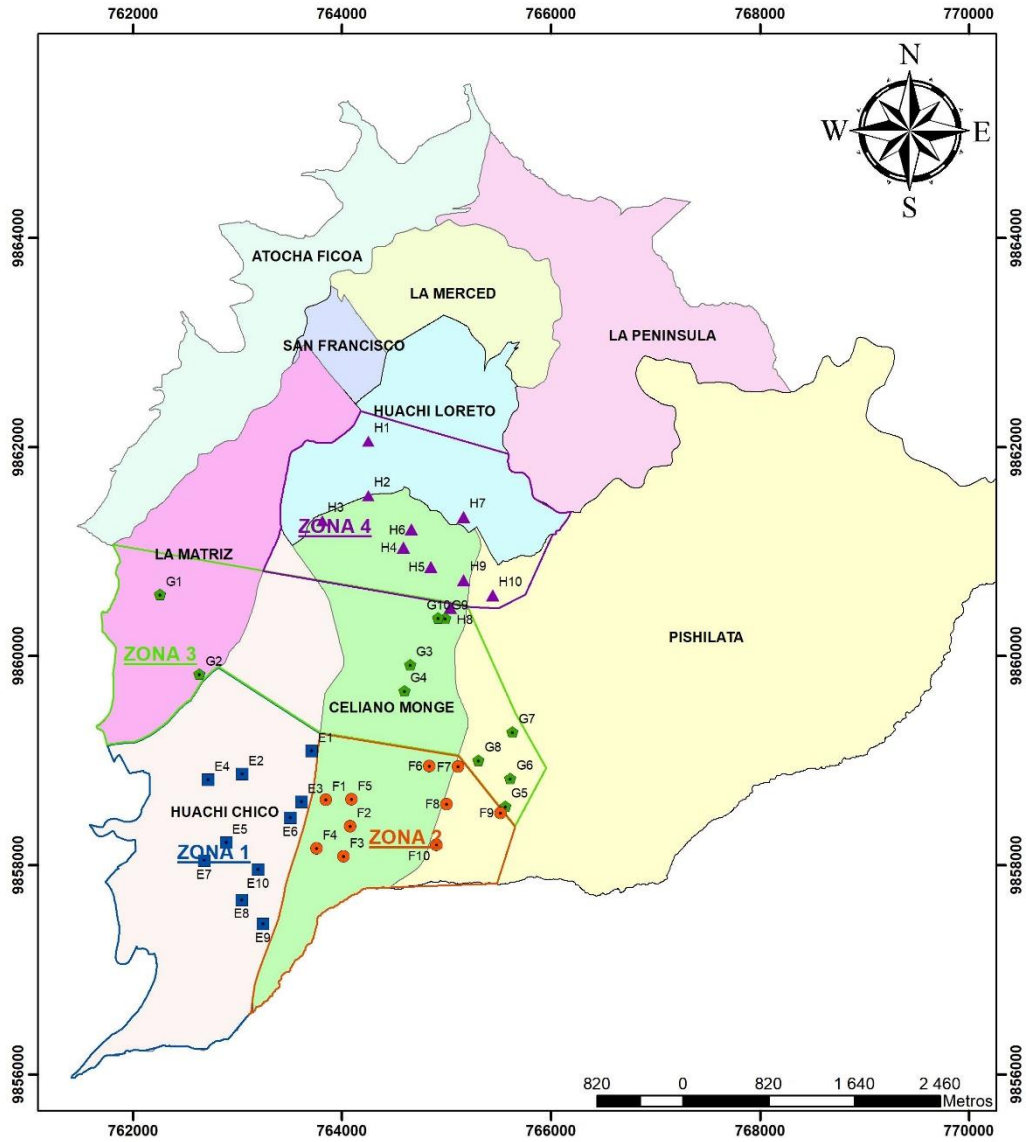
- [10] ASTM D 422, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.
- [11] E. Juárez Badillo y A. Rico Rodríguez, Mecánica de suelos, México: Limusa.
- [12] ASTM D 4318, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- [13] M. Del Santo y R. Sandoval, Propiedades Índices de los Suelos, La Plata, 2014.
- [14] F. P. Portilla Yandún y A. D. C. Pillajo De la Cruz, Determinación del CBR de laboratorio en suelos granulares y su correlación con el DCP para la aplicación en el diseño de pavimentos de caminos vecinales, Quito: Pontifica Universidad Católica del Ecuador, 2001.
- [15] ASTM D 854, Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.
- [16] Crespo Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, México: Limusa.
- [17] ASTM D-1557, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>)).
- [18] I.N.V.E - 161 - 07, DENSIDAD O MASA UNITARIA DEL SUELO EN EL TERRENO MÉTODO DEL CONO DE ARENA.
- [19] ASTM D1556-82, Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by Sand-Cone Method.
- [20] AASHTO T-193, Standard Method of Test for The California Bearing Ratio.
- [21] ASTM D-1883, Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils.
- [22] S. Castro Chunga, «Prospección geofísica,» *Universidad Nacional de*

*Ingeniería.*

- [23] M. E. Sigismondi, «Métodos de Prospección Geofísica,» *ResearchGate*, 2018.
- [24] J. Reyes, *Introducción a la prospección geofísica*, Chile, 2016.
- [25] L. C. Gomez Trujillo, «Métodos de prostección física,» 2014.
- [26] P. Budris, «Conceptos básicos,» *Técnico en Electrónica*, p. 28, 2014.
- [27] M. Rodríguez, «Resistividad eléctrica,» *Curso Centroamericano y del Caribe de Física*, p. 42, 2015.
- [28] A. Rela, *Electricidad y Electrónica*, Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación, 2015.
- [29] N. Vitulli, *Geofísica*, Salta: Universidad Nacional de Salta, 2017.
- [30] C. Martínez Bencardio, *Estadística y Muestreo*, Colombia: ECOE, 2012.
- [31] M. Spiegel y L. Stephens, *Estadística Schaum*, Santa Fe: McGraw Hill, 2009.

# ANEXOS

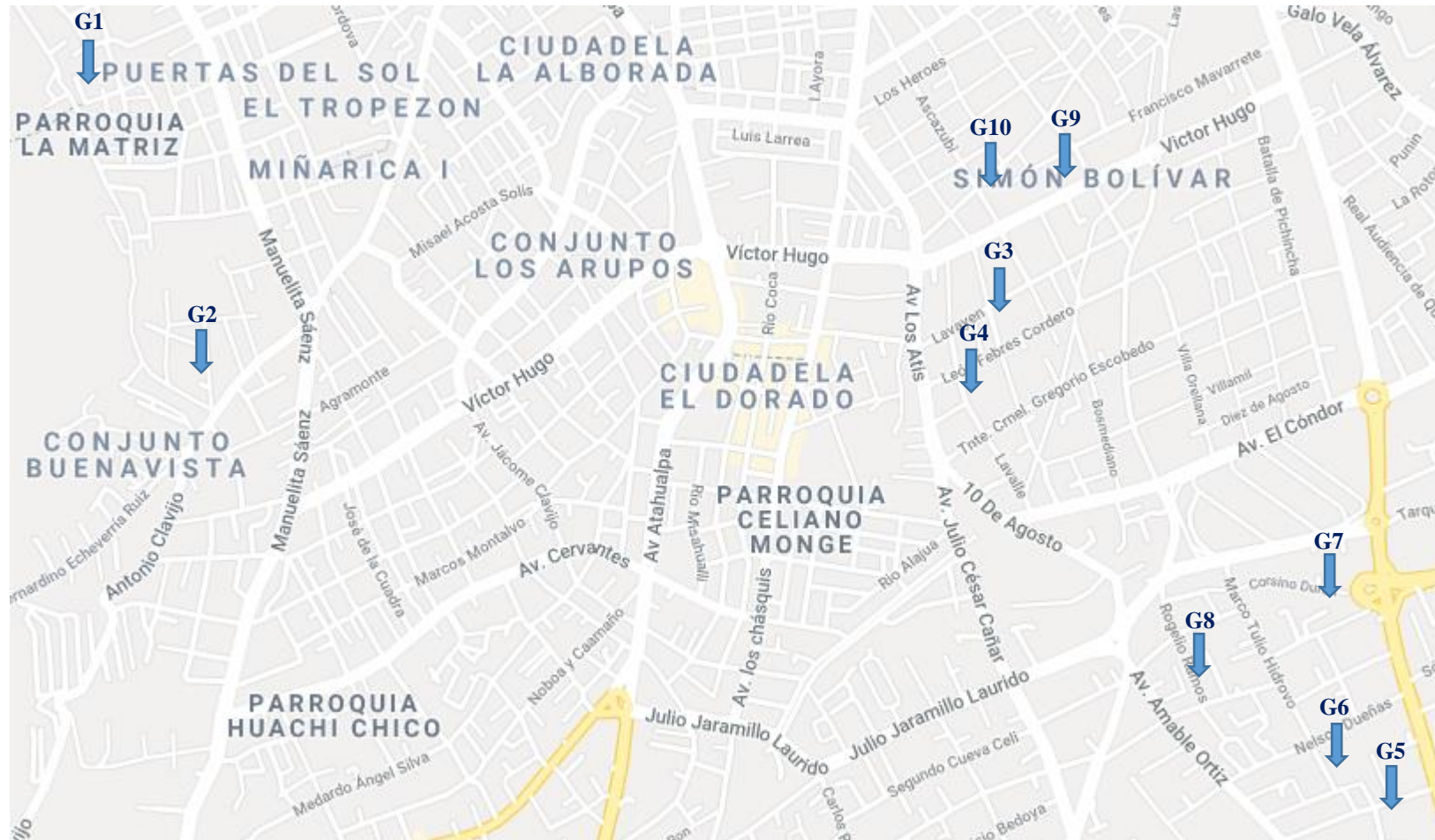
## Anexo 1. Zonas de trabajo para las parroquias urbanas del Cantón Ambato



Zona	Parroquia	Investigador	Nº Puntos	Id. Puntos
1	"Huachi Chico	Jimmy Macas	10	E1-E2-E3-E4-E5 F6-F7-F8-F9-F10
2	"Celiano Monge "Pishilata	Esteban Tenecota	10	F1-F2-F3-F4-F5 F6-F7-F8-F9-F10
3	"La Matriz "Huachi Chico "Celiano Monge "Pishilata	Christian Pérez	10	G1-G2-G3-G4-G5 G6-G7-G8-G9-G10
4	"Huachi Chico "Celiano Monge	Patricio Mera	10	H1-H2-H3-H4-H5 H6-H7-H8-H9-H10

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil		
<b>ZONAS DE TRABAJO EN LAS ZONAS URBANAS DEL CANTÓN AMBATO</b>		
Investigadores: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jimmy Macas</li> <li>• Christian Pérez</li> <li>• Esteban Tenecota</li> <li>• Patricio Mera</li> </ul>		
Escala: 1:50000	Fecha: Noviembre/2019	Lamina: L1

**Anexo 2.** Puntos de recolección de muestras de la Zona 3





## Nomenclatura

$W_{\text{nat}}$ = Humedad natural	(%)
$D_{10}$ = Diámetro efectivo	(mm)
$D_{30}$ = Diámetro equiparable	(mm)
$D_{60}$ = Diámetro dimensional	(mm)
$C_u$ = Coeficiente de uniformidad	
$C_c$ = Coeficiente de curvatura	
$G$ = Grava	(%)
$S$ = Arena	(%)
$M$ = Limo	(%)
$C$ = Arcilla	(%)
$SP$ = Arena pobremente graduada	
$LL$ = Límite líquido	(%)
$LP$ = Límite plástico	(%)
$IL$ = Índice líquido	(%)
$IP$ = Índice plástico	(%)
$N^{\circ} 200$ = Cantidad que pasa el tamiz $N^{\circ}200$	(%)
$G_s$ = Gravedad específica	(%)
$e$ = Relación de vacíos	
$n$ = Porosidad	(%)
$G_a$ = Grado de saturación del aire	(%)

$G_w$ = Grado de saturación del agua	(%)
$\gamma_{h \text{ in situ}}$ = Densidad húmeda en el sitio	(kg/m <sup>3</sup> )
$\gamma_{d \text{ in situ}}$ = Densidad seca en el sitio	(kg/m <sup>3</sup> )
$W_{opt}$ = Humedad óptima	(%)
$G_c$ = Grado de compactación	(%)
$CBR_{0.1''}$ = CBR para 0.1 pulgadas de penetración	(%)
$CBR_{0.2''}$ = CBR para 0.2 pulgadas de penetración	(%)
$N_{SPT}$ = Número de golpes en el SPT	
$V_s$ = Velocidad de propagación de onda	(m/s)
$\rho$ = Resistividad eléctrica	( $\Omega/m$ )
$R^2$ = Coeficiente de determinación	(%)

**Anexo 3.** Ensayos de las 10 muestras de la Zona 3

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
<b>TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO</b>						
<b>ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA</b>						
Fecha:	24-jun-19	Zona N°:	G1	Norma:	IEEE STD 81-1983	
<b>COORDENADAS UTM</b>		<b>Zona</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Elevación (m)</b>	
		17 M	9860578	762266	2721	
N° ensayo	1		2		3	
Resistividad $\rho$ ( $\Omega/m$ )	113.7		123.1		122.5	
Resistividad Promedio $\rho$ ( $\Omega/m$ )			119.77			
Resistencia R ( $\Omega$ )			19.10			



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**DENSIDAD DE CAMPO**

Fecha:	24-jun-19	Zona:	G1	Norma:	AASHTO T 191 2014
<b>1. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
Nº RECIPIENTE		78		76	
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)		79.4		89.5	
PESO SECO + RECIPIENTE (gr)		74.9		84.0	
PESO DEL RECIPIENTE (gr)		30.8		30.8	
PESO AGUA (Ww) (gr)		4.5		5.5	
PESO DE LA MUESTRA SECA (Ws)		44.1		53.2	
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)		10.20%		10.34%	
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO				10.27%	
<b>2. DETERMINACIÓN DE LA MASA DEL SUELO EXTRAÍDO</b>					
PESO DEL SUELO + RECIPIENTE (gr)				2015.8	
PESO DEL RECIPIENTE (gr)				9.1	
PESO DEL SUELO Wm (gr)				2006.7	
<b>3. CALIBRACIÓN DEL CONO DE ARENA DE OTTAWA</b>					
PESO INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				6217.4	
PESO FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				4725.4	
PESO ARENA DEL CONO Wsand (gr)				1492	
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )				926.58	
$\gamma_{sand} = W_{sand} / V_{sand}$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.610	
<b>4. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL HUECO EN EL SUELO</b>					
LECTURA INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				5863.1	
LECTURA FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				2392.1	
PESO ARENA EN EL HUECO Wsand (gr)				1979	
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )				1229.02	
<b>5. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO DEL SUELO</b>					
$\gamma_m = W_m / V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.633	
<b>6. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO</b>					
$\gamma_d = \gamma_m / (1+w)$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.481	
<b>7. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS</b>					
PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS S <sub>s</sub>				2.65	
VOLUMEN DE SÓLIDOS V <sub>s</sub> (cm <sup>3</sup> )				16.64	
VOLUMEN DE AGUA V <sub>w</sub> (cm <sup>3</sup> )				4.50	
VOLUMEN DE LA MUESTRA V <sub>m</sub> (cm <sup>3</sup> )				29.77	
VOLUMEN DE VACÍOS V <sub>v</sub> (cm <sup>3</sup> )				13.12	
$e = V_v / V_s$				0.79	
<b>8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$n\% = V_v / V_m * 100$				44.09%	
<b>9. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$G_w\% = V_w / V_v * 100$				34.29%	
$G_a\% = (V_v - V_w) / V_v * 100$				65.71%	





TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA**

Fecha:	23-jul-19	Zona:	G1	Norma:	ASTM D-421-58
Peso de la muestra:	250	gr			AASHTO T-87-70
# TAMIZ	TAMAÑO DE PARTÍCULAS (mm)	P. RETENIDO PARCIAL	P. RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
8	2.36	0	0	0.00%	100.00%
10	2	0	0	0.00%	100.00%
16	1.18	1.5	1.5	0.60%	99.40%
30	0.6	13.7	15.2	6.11%	93.89%
40	0.425	18.2	33.4	13.44%	86.56%
50	0.3	22.9	56.3	22.65%	77.35%
60	0.25	9.1	65.4	26.31%	73.69%
100	0.15	33.3	98.7	39.70%	60.30%
200	0.075	62	160.7	64.64%	35.36%
Pasa #200		87.9	87.9	35.36%	
TOTAL		248.6	248.6		

**RESULTADOS**

TNM	1.180	Cc:	3.95	Error permitido:	1.00%
D10	0.038			Error calculado:	0.56%
D30	0.067	Cu:	0.79	<b>ERROR PERMITIDO</b>	
D60	0.150				

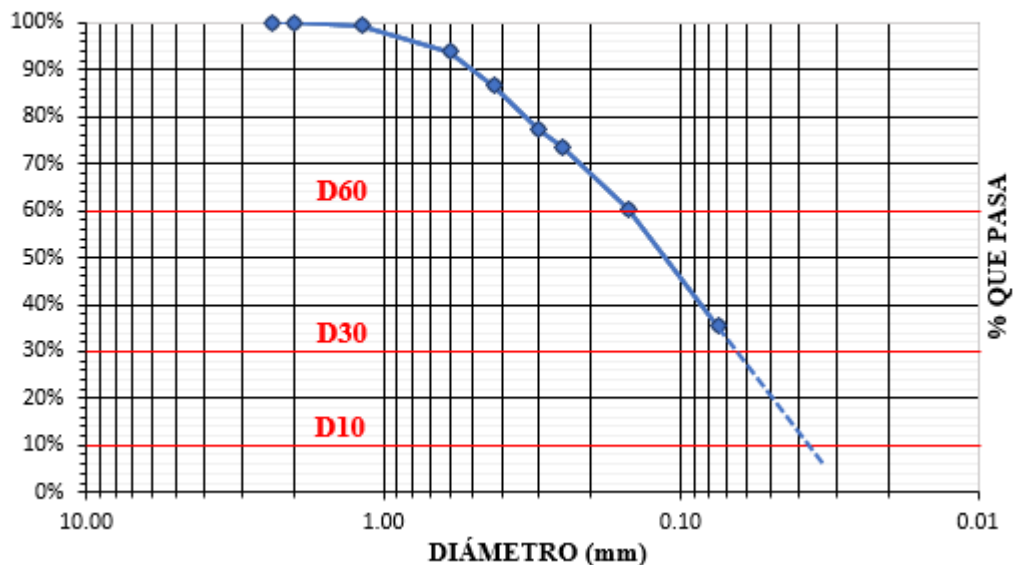
**PORCENTAJES DE MATERIAL**

	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (finos%)
SUCS	0	65%	35%
AASHTO	2%	63%	35%

**CLASIFICACIÓN DEL SUELO**

SUCS	SM	Arena limosa
AASHTO	A-4 (0)	Arena limosa de media calidad

**CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA**



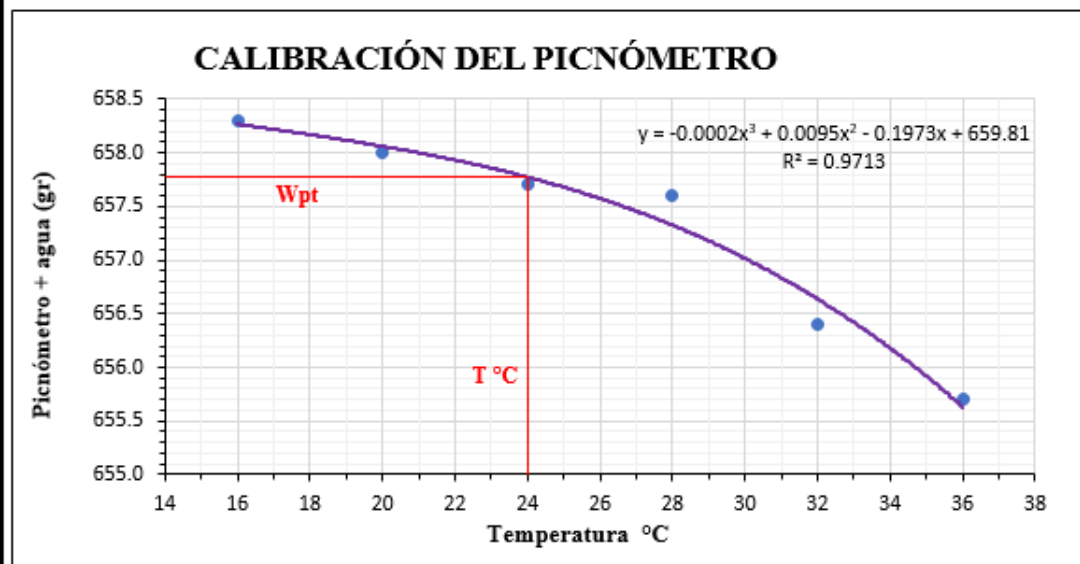


TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA PARA SUELOS FINOS**

Fecha: 30-jul-19    Zona: G1    Norma: AASHTO T 100 2015

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**



PESO DEL PICNÓMETRO	162.8	gr	<b>Temperatura °C</b>	<b>P. Picnómetro + Agua</b>
TEMPERATURA DEL AGUA	24.0	°C		
PESO PICNÓMETRO + AGUA (W <sub>pt</sub> )	657.78	gr	36	655.7
PESO PICNÓMETRO + AGUA+SUELO (W <sub>pw±</sub> )	687.6	gr	32	656.4
PESO RECIPIENTE	86.6	gr	28	657.6
PESO RECIPIENTE +MUESTRA SECA	135.3	gr	24	657.7
PESO MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	48.7	gr	20	658.0
GRAVEDAD ESPECÍFICA (G <sub>s</sub> )	2.579		16	658.3



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"**

Fecha:	26-jul-19	Norma:	AASHTO T-180
Zona:	G1		ASTM D-1557

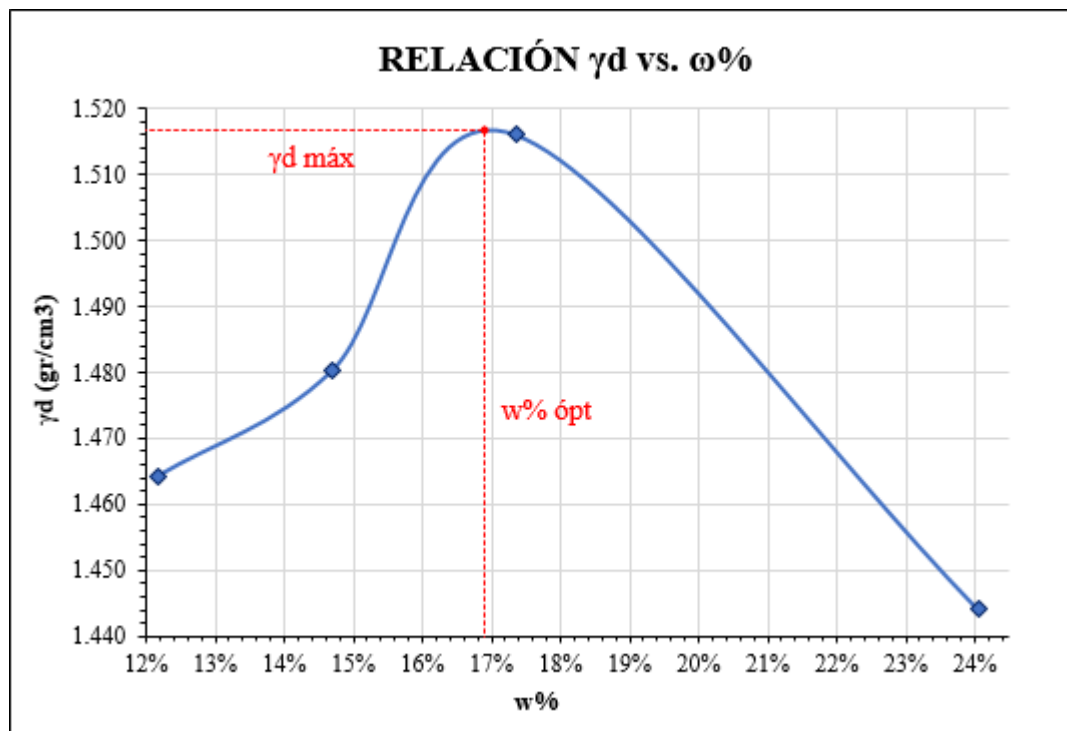
**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Nº de Golpes:	56	Nº de capas:	5	Peso martillo:	10 lb
Altura de caída:	18' o 1.5ft	Volumen molde:	2208.94	cm <sup>3</sup>	
Peso molde:	14079 gr	Diámetro:	15	cm	
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft <sup>3</sup>	Altura:	12.5	cm	

ENSAYO NÚMERO	1	2	3	4
PESO INICIAL DESEADO (gr)	6000	6000	6000	6000
HUMEDAD INICIAL AÑADIDA (%)	6	9	12	15
P. MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)	17707	17829	18009	18036
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	3628	3750	3930	3957
PESO UNITARIO HÚMEDO $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.642	1.698	1.779	1.791

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

# RECIPIENTE	C	D	G	H	E	F	A	B
R. + SUELO HÚMEDO	57.4	58.0	46.5	58.1	45.9	51.9	65.2	65.1
R. + SUELO SECO	52.4	52.6	41.9	51.8	40.6	45.6	54.7	54.2
PESO AGUA	5.0	5.4	4.6	6.3	5.3	6.3	10.5	10.9
PESO RECIPIENTE	9.7	9.8	9.9	9.8	9.7	9.7	9.9	10.0
PESO SUELO SECO	42.7	42.8	32	42	30.9	35.9	44.8	44.2
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega\%$	11.71%	12.62%	14.38%	15.00%	17.15%	17.55%	23.44%	24.66%
CONT. HUMEDAD PROM. $\omega\%$	12.16%		14.69%		17.35%		24.05%	
DENSIDAD SECA $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.464		1.480		1.516		1.444	
$\gamma_d$ MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.517							
$\omega\%$ ÓPTIMO	16.90%							
GRADO DE COMPACTACIÓN (Gc%)	98%							





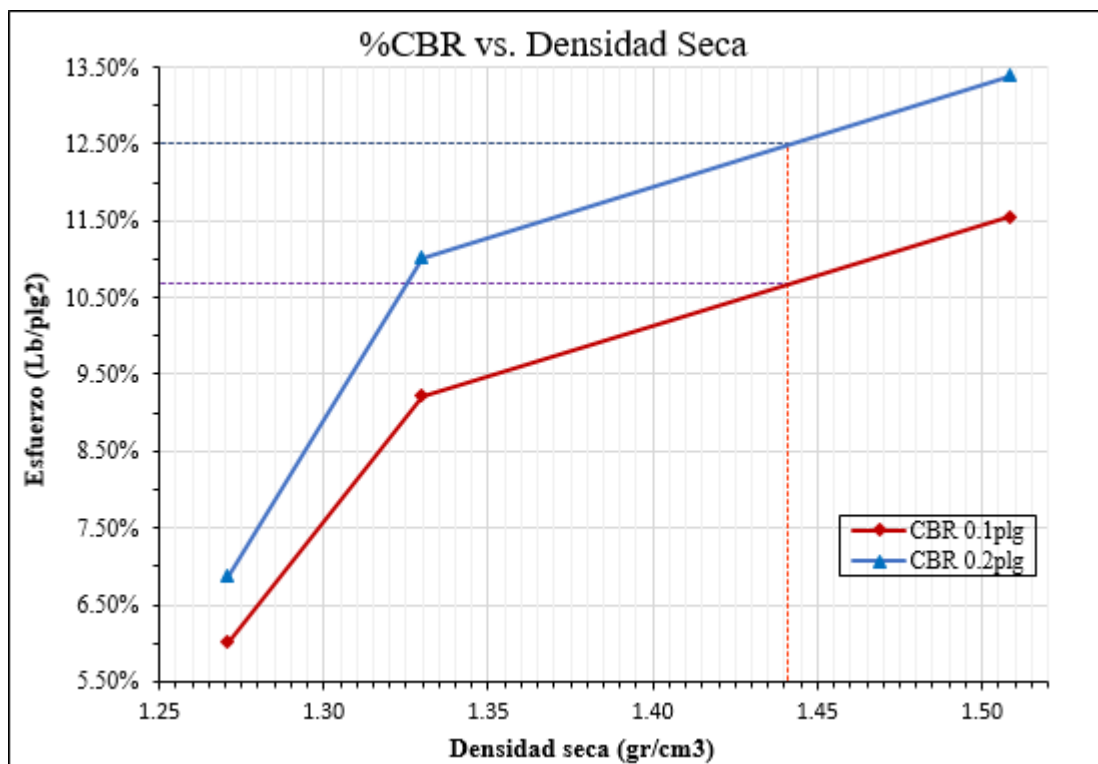
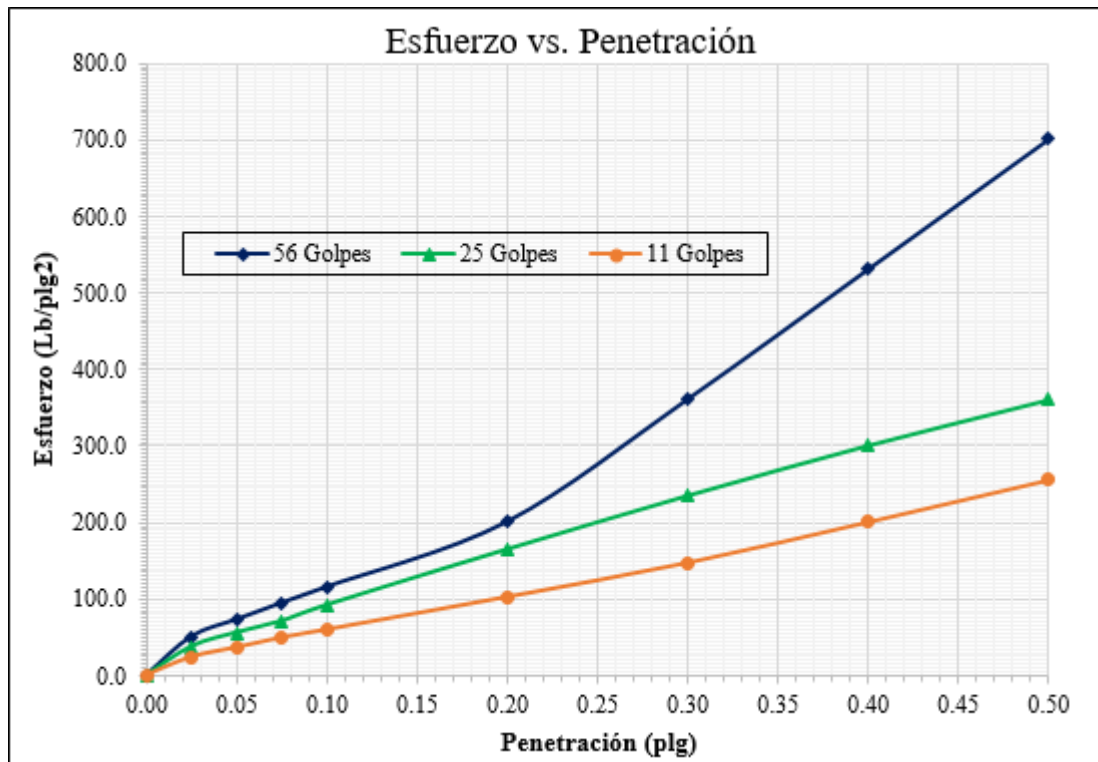
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO CBR DE LABORATORIO**

Fecha:	12-ago-19	Norma:	ASTM D-1883-73			
Zona:	G1		AASHTO T-193-63			
<b>DATOS DE MOLDEO</b>						
Nº MOLDE	1	2	3			
DIÁMETRO DEL MOLDE (cm)	15.2	15.1	15.1			
ALTURA DEL MOLDE (cm)	12.7	12.6	11.5			
Nº CAPAS	5	5	5			
Nº GOLPES POR CAPA	56	25	10			
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	10450	10628	11771			
MASA DEL MOLDE (gr)	6405	7004	8299			
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4045	3624	3472			
VOLUMEN DE MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	2304.53	2304.53	2304.53			
PESO UNITARIO HÚMEDO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.755	1.573	1.507			
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	92	66.3	139.3	110.3	89.4	85.4
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	83.8	62.3	124.5	100.3	81.0	77.7
MASA DEL AGUA (gr)	8.2	4	14.8	10	8.4	7.7
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	36.6	36.2	44.8	44.6	35.9	36.1
MASA DEL SUELO SECO (gr)	47.2	26.1	79.7	55.7	45.1	41.6
CONTENIDO DE HUMEDAD ω%	17.37%	15.33%	18.57%	17.95%	18.63%	18.51%
ω% PROMEDIO	16.35%		18.26%		18.57%	
PESO UNITARIO SECO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.509		1.330		1.271	
<b>DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN</b>						
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	10583		10779		11968	
MASA MOLDE (gr)	6405		7004		8299	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4178		3775		3669	
MASA AGUA ABSORBIDA (gr)	133		151		197	
% AGUA ABSORBIDA	3.29%		4.17%		5.67%	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	185.3	178.5	118.3	156.4	145.5	131.1
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	152	148.6	98.8	129	119.4	109.1
MASA DEL AGUA (gr)	33.3	29.9	19.5	27.4	26.1	22.0
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	44.5	45	36.1	35.9	36.6	36.2
MASA DEL SUELO SECO (gr)	107.5	103.6	62.7	93.1	82.8	72.9
CONTENIDO DE HUMEDAD ω%	30.98%	28.86%	31.10%	29.43%	31.52%	30.18%
ω% PROMEDIO	29.92%		30.27%		30.85%	
<b>ENSAYO</b>						
Nº MOLDE	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	151.7	50.57	113.3	37.77	71.9	23.97
0.050	218.3	72.77	168.0	56.00	109.2	36.40
0.075	283.4	94.47	213.4	71.13	148.3	49.43
0.100	346.5	115.50	276.5	92.17	180.2	60.07
0.200	602.3	200.77	495.9	165.30	309.0	103.00
0.300	1083.3	361.10	706.3	235.43	443.8	147.93
0.400	1593.3	531.10	903.8	301.27	604.5	201.50
0.500	2103.8	701.27	1083.7	361.23	770.2	256.73
<b>PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)</b>						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	115.50	11.550%	1.509	200.77	13.384%	1.509
2	92.17	9.217%	1.330	165.30	11.020%	1.330
3	60.07	6.007%	1.271	103.00	6.867%	1.271



**DENSIDAD SECA MÁXIMA**      1.517 gr/cm<sup>3</sup>

DSM	%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR
95%	1.441	10.68%	12.50%



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO**

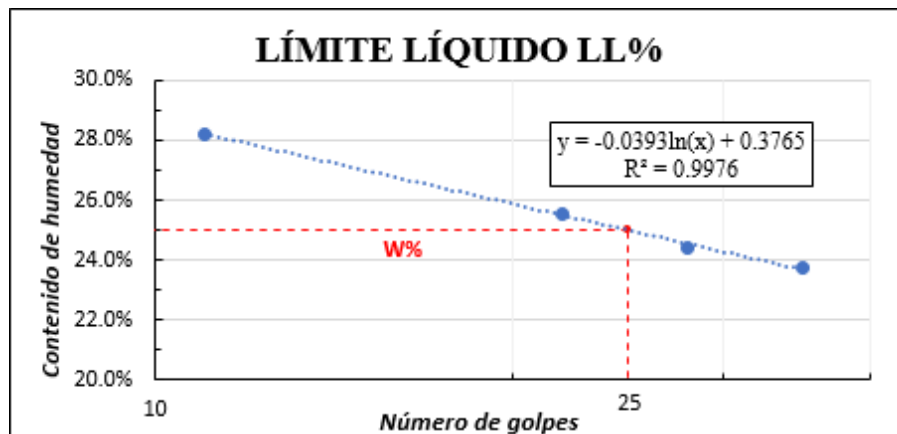
Fecha: 14/ago/2019	Zona:	G1	Norma:	AASHTO T-90-70	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº MUESTRA	1	2	3	4	5
Nº RECIPIENTE	15	3	12	31	80
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W <sub>m</sub> +W <sub>r</sub> )(gr)	11.2	11.9	11.6	12.3	11.5
PESO SECO + RECIPIENTE (W <sub>s</sub> +W <sub>r</sub> ) (gr)	11.1	11.7	11.4	12.0	11.4
PESO DEL RECIPIENTE W <sub>r</sub> (gr)	10.6	10.6	10.6	10.7	10.7
PESO AGUA (W <sub>w</sub> ) (gr)	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1
PESO DE LA MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	0.5	1.1	0.8	1.3	0.7
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	20.0%	18.2%	25.0%	23.1%	14.3%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	20.11%				
LÍMITE PLÁSTICO %	20.11%				



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE**

Fecha: 24/ago/2019	Zona:	G1	Norma:	AASHTO T-90-70				
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD								
Nº MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
Nº RECIPIENTE	34	35	36	44	12	16	37	38
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W <sub>m</sub> +W <sub>r</sub> )(gr)	16.4	15.9	14.8	14.6	17.5	17.2	16.8	17.2
PESO SECO + RECIPIENTE (W <sub>s</sub> +W <sub>r</sub> ) (gr)	14.2	13.7	13.0	12.9	15.6	15.2	15.0	15.2
PESO DEL RECIPIENTE W <sub>r</sub> (gr)	6.2	6.1	6.0	6.2	7.4	7.4	7.4	6.8
PESO AGUA (W <sub>w</sub> ) (gr)	2.2	2.2	1.8	1.7	1.9	2.0	1.8	2.0
PESO DE LA MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	8.0	7.6	7.0	6.7	8.2	7.8	7.6	8.4
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	27.5%	28.9%	25.7%	25.4%	23.2%	25.6%	23.7%	23.8%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	28.22%		25.54%		24.41%		23.75%	
NÚMERO DE GOLPES	11		22		28		35	





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA**

Fecha:	26-jun-19	Zona N°:	G2	Norma:	IEEE STD 81-1983
<b>COORDENADAS UTM</b>	<b>Zona</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Elevación (m)</b>	
	17 M	9859813	762645	2756	
N° ensayo	1	2	3		
Resistividad $\rho$ ( $\Omega/m$ )	156.4	151.4	156.4		
Resistividad Promedio $\rho$ ( $\Omega/m$ )	154.73				
Resistencia R ( $\Omega$ )	24.60				



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**DENSIDAD DE CAMPO**

Fecha:	26-jun-19	Zona:	G2	Norma:	AASHTO T 191 2014
<b>1. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
Nº RECIPIENTE		68		63	
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)		97.8		97.4	
PESO SECO + RECIPIENTE (gr)		92.2		91.4	
PESO DEL RECIPIENTE (gr)		30.8		31.2	
PESO AGUA (Ww) (gr)		5.6		6	
PESO DE LA MUESTRA SECA (Ws)		61.4		60.2	
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)		9.12%		9.97%	
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO				9.54%	
<b>2. DETERMINACIÓN DE LA MASA DEL SUELO EXTRAÍDO</b>					
PESO DEL SUELO + RECIPIENTE (gr)				865.8	
PESO DEL RECIPIENTE (gr)				9.6	
PESO DEL SUELO Wm (gr)				856.2	
<b>3. CALIBRACIÓN DEL CONO DE ARENA DE OTTAWA</b>					
PESO INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				6348	
PESO FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				6005	
PESO ARENA DEL CONO Wsand (gr)				343	
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )				209.44	
$\gamma_{sand} = W_{sand} / V_{sand}$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.638	
<b>4. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL HUECO EN EL SUELO</b>					
LECTURA INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				6348	
LECTURA FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				5212.3	
PESO ARENA EN EL HUECO W <sub>sand</sub> (gr)				792.7	
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )				484.03	
<b>5. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO DEL SUELO</b>					
$\gamma_m = W_m / V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.769	
<b>6. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO</b>					
$\gamma_d = \gamma_m / (1+w)$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.615	
<b>7. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS</b>					
PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS S <sub>s</sub>				2.65	
VOLUMEN DE SÓLIDOS V <sub>s</sub> (cm <sup>3</sup> )				23.17	
VOLUMEN DE AGUA V <sub>w</sub> (cm <sup>3</sup> )				5.60	
VOLUMEN DE LA MUESTRA V <sub>m</sub> (cm <sup>3</sup> )				37.88	
VOLUMEN DE VACÍOS V <sub>v</sub> (cm <sup>3</sup> )				14.71	
$e = V_v / V_s$				0.63	
<b>8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$n\% = V_v / V_m * 100$				38.83%	
<b>9. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$G_w\% = V_w / V_v * 100$				38.08%	
$G_a\% = (V_v - V_w) / V_v * 100$				61.92%	





TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA**

Fecha:	23-jul-19	Zona:	G2	Norma:	ASTM D-421-58 AASHTO T-87-70
Peso de la muestra:		250 gr			
# TAMIZ	TAMAÑO DE PARTICULAS (mm)	P. RETENIDO PARCIAL	P. RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
8	2.36	17.9	17.9	7.20%	92.80%
10	2	4	21.9	8.81%	91.19%
16	1.18	16.2	38.1	15.32%	84.68%
30	0.6	22.6	60.7	24.41%	75.59%
40	0.425	10.3	71	28.55%	71.45%
50	0.3	11.8	82.8	33.29%	66.71%
60	0.25	7.3	90.1	36.23%	63.77%
100	0.15	26.6	116.7	46.92%	53.08%
200	0.075	67.1	183.8	73.90%	26.10%
Pasa #200		64.9	64.9	26.10%	
TOTAL		248.7	248.7		

**RESULTADOS**

TNM	1.180	Cc:	4.20	Error permitido:	1.00%
D10	0.050			Error calculado:	0.52%
D30	0.082	Cu:	0.64	<b>ERROR PERMITIDO</b>	
D60	0.210				

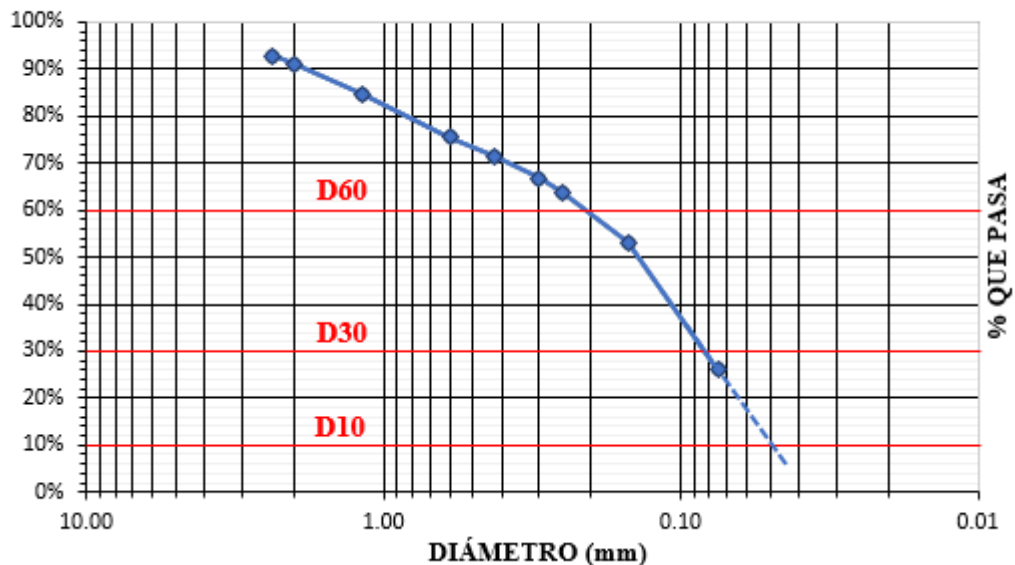
**PORCENTAJES DE MATERIAL**

	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (finos%)
SUCS	0	74%	26%
AASHTO	2%	72%	26%

**CLASIFICACIÓN DEL SUELO**

SUCS	SM	Arena limosa
AASHTO	A-2-4 (0)	Arena limosa de buena calidad

**CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA**





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA PARA SUELOS FINOS**

Fecha:	7-ago-19	Zona:	G2	Norma:	AASHTO T 100 2015		
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO							
PESO DEL PICNÓMETRO	162.8	gr	Temperatura °C	P. Picnómetro + Agua			
TEMPERATURA DEL AGUA	25.0	°C					
PESO PICNÓMETRO + AGUA (W <sub>pt</sub> )	657.69	gr				36	655.7
PESO PICNÓMETRO + AGUA+SUELO (W <sub>pws</sub> )	686.4	gr				32	656.4
PESO RECIPIENTE	107.1	gr				28	657.6
PESO RECIPIENTE +MUESTRA SECA	153.8	gr				24	657.7
PESO MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	46.7	gr				20	658.0
GRAVEDAD ESPECÍFICA (G <sub>s</sub> )	2.596		16	658.3			



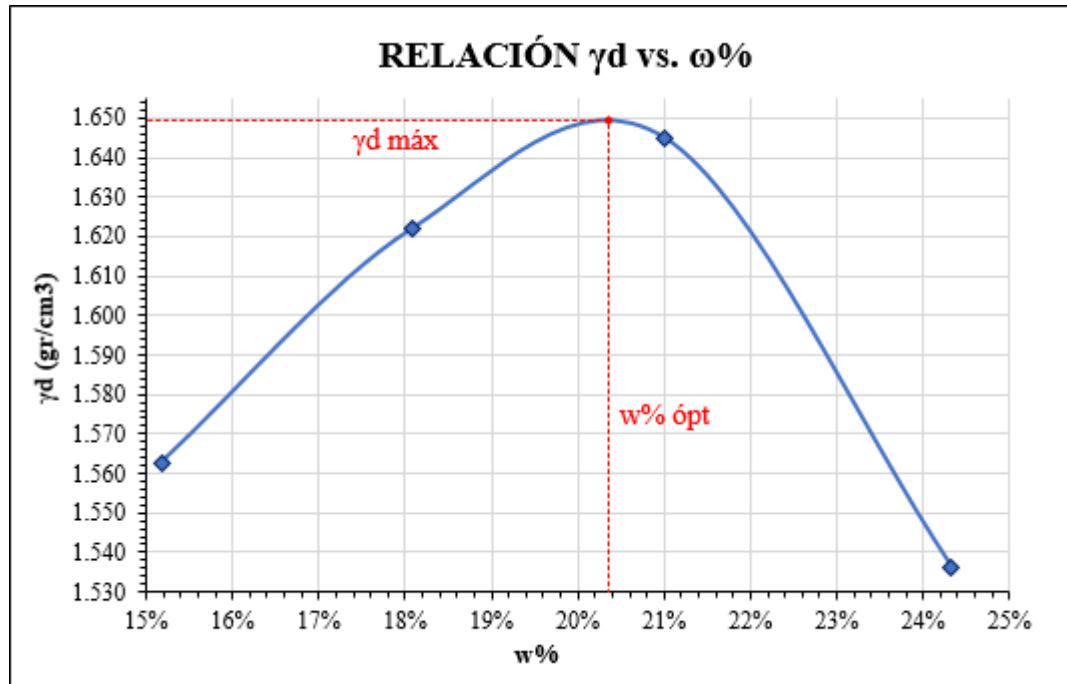
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL




TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO


**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"**

Fecha:	5-ago-19		Norma:	AASHTO T-180				
Zona:	G2			ASTM D-1557				
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
Nº de Golpes:	56		Nº de capas:	5	Peso martillo: 10 lb			
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Volumen molde:	2208.94	cm <sup>3</sup>			
Peso molde:	14079	gr	Diámetro:	15	cm			
Energía de compactación:	55986	lb/ft <sup>3</sup>	Altura:	12.5	cm			
ENSAYO NÚMERO	1		2	3	4			
PESO INICIAL DESEADO (gr)	6000		6000	6000	6000			
HUMEDAD INICIAL AÑADIDA (%)	9		12	15	18			
P. MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)	18055		18309	18476	18298			
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	3976		4230	4397	4219			
PESO UNITARIO HÚMEDO $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.800		1.915	1.991	1.910			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
# RECIPIENTE	24	23	27	28	25	26	15	16
R. + SUELO HÚMEDO	164.4	152.7	153.1	178.3	138.2	147.5	154.5	177.8
R. + SUELO SECO	148.8	138.4	136.3	158.1	122.0	129.6	131.1	150.3
PESO AGUA	15.6	14.3	16.8	20.2	16.2	17.9	23.4	27.5
PESO RECIPIENTE	45.4	44.8	44.6	44.8	44.6	44.7	36.0	36.0
PESO SUELO SECO	103.4	93.6	91.7	113.3	77.4	84.9	95.1	114.3
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega$ %	15.09%	15.28%	18.32%	17.83%	20.93%	21.08%	24.61%	24.06%
CONT. HUMEDAD PROM. $\omega$ %	15.18%		18.07%		21.01%		24.33%	
DENSIDAD SECA $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.563		1.622		1.645		1.536	
$\gamma_d$ MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.650							
$\omega$ % ÓPTIMO	20.35%							
GRADO DE COMPACTACIÓN (G <sub>c</sub> %)	98%							





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



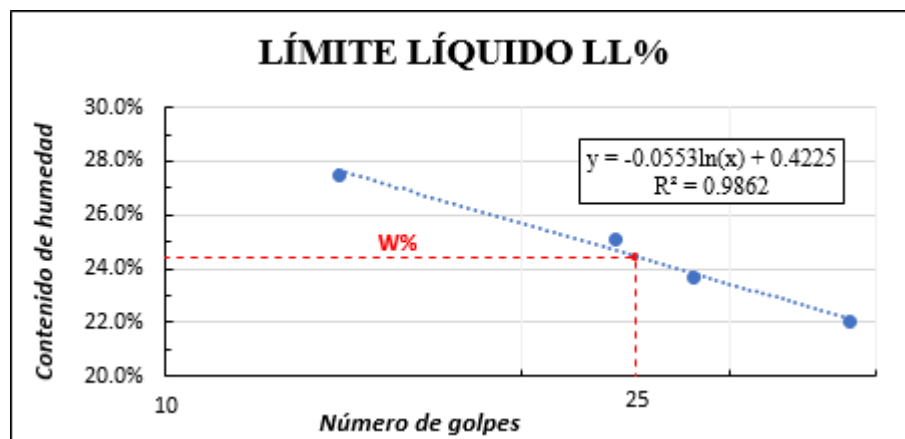
**TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO**

**ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE**

Fecha: 24/ago/2019	Zona: G2	Norma: AASHTO T-90-70
--------------------	----------	-----------------------

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Nº MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
Nº RECIPIENTE	12	16	34	35	36	37	38	44
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE ( $W_m+W_r$ )(gr)	17.5	17.7	15.4	16.9	14.8	14.7	16.5	14.2
PESO SECO + RECIPIENTE ( $W_s+W_r$ ) (gr)	15.3	15.5	13.5	14.8	13.0	13.4	14.7	12.8
PESO DEL RECIPIENTE $W_r$ (gr)	7.4	7.4	6.2	6.1	6.0	7.4	6.8	6.2
PESO AGUA ( $W_w$ ) (gr)	2.2	2.2	1.9	2.1	1.8	1.3	1.8	1.4
PESO DE LA MUESTRA SECA ( $W_s$ )	7.9	8.1	7.3	8.7	7.0	6.0	7.9	6.6
CONTENIDO DE HUMEDAD $W\%$	27.8%	27.2%	26.0%	24.1%	25.7%	21.7%	22.8%	21.2%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	27.50%		25.08%		23.69%		22.00%	
NÚMERO DE GOLPES	14		24		28		38	





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO**

Fecha: 14/ago/2019	Zona:	G2	Norma:	AASHTO T-90-70	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº MUESTRA	1	2	3	4	5
Nº RECIPIENTE	15	31	3	80	19
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W <sub>m</sub> +W <sub>r</sub> )(gr)	11.7	11.8	11.5	11.1	6.8
PESO SECO + RECIPIENTE (W <sub>s</sub> +W <sub>r</sub> ) (gr)	11.5	11.6	11.3	11.0	6.7
PESO DEL RECIPIENTE W <sub>r</sub> (gr)	10.6	10.7	10.6	10.7	6.0
PESO AGUA (W <sub>w</sub> ) (gr)	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
PESO DE LA MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	0.9	0.9	0.7	0.3	0.7
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	22.2%	22.2%	28.6%	33.3%	14.3%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	24.13%				
LÍMITE PLÁSTICO %	<b>24.13%</b>				



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

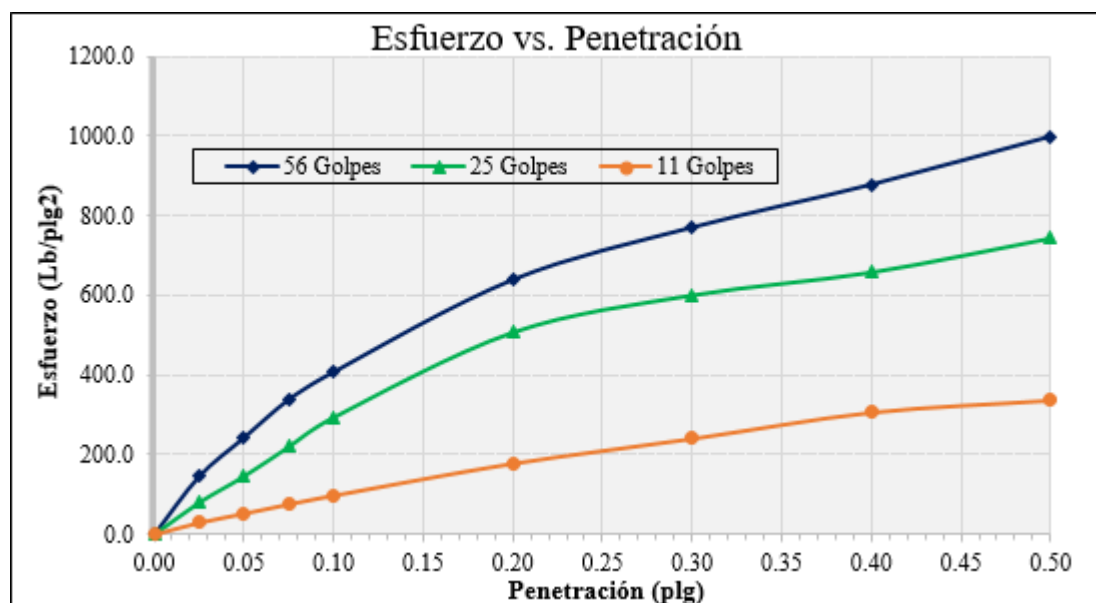


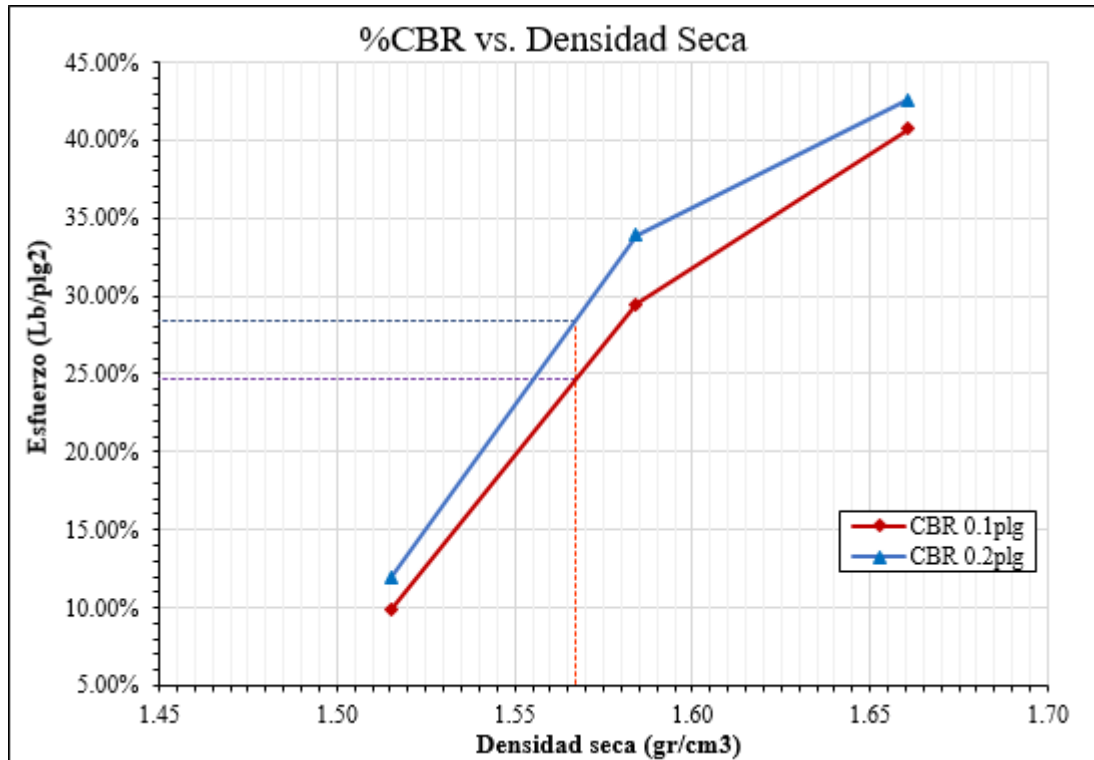
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO CBR DE LABORATORIO**

Fecha:	14-oct-19		Norma:		ASTM D-1883-73	
Zona:	G2				AASHTO T-193-63	
DATOS DE MOLDEO						
Nº MOLDE	1		2		3	
DIÁMETRO DEL MOLDE (cm)	15.2		15.1		15.1	
ALTURA DEL MOLDE (cm)	12.7		12.6		11.5	
Nº CAPAS	5		5		5	
Nº GOLPES POR CAPA	56		25		10	
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	10963		11357		12484	
MASA DEL MOLDE (gr)	6405		7004		8299	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4558		4353		4185	
VOLUMEN DE MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	2304.53		2304.53		2304.53	
PESO UNITARIO HÚMEDO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.978		1.889		1.816	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	108.6	97.4	82.8	85.1	102.8	88.4
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	96.7	87.9	76.1	79.2	91.5	79.9
MASA DEL AGUA (gr)	11.9	9.5	6.7	5.9	11.3	8.5
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	36.6	36.2	44.8	44.6	35.9	36.1
MASA DEL SUELO SECO (gr)	60.1	51.7	31.3	34.6	55.6	43.8
CONTENIDO DE HUMEDAD ω%	19.80%	18.38%	21.41%	17.05%	20.32%	19.41%
ω% PROMEDIO	19.09%		19.23%		19.87%	
PESO UNITARIO SECO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.661		1.584		1.515	

DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	11082		11494		12507	
MASA MOLDE (gr)	6405		7004		8299	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4677		4490		4208	
MASA AGUA ABSORBIDA (gr)	119		137		23	
% AGUA ABSORBIDA	2.61%		3.15%		0.55%	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	138.9	155.2	149.3	161.7	158.4	144.2
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	124.8	135.5	130.8	139.6	134.8	124.8
MASA DEL AGUA (gr)	14.1	19.7	18.5	22.1	23.6	19.4
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	44.5	45	36.1	35.9	36.6	36.2
MASA DEL SUELO SECO (gr)	80.3	90.5	94.7	103.7	98.2	88.6
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega$ %	17.56%	21.77%	19.54%	21.31%	24.03%	21.90%
$\omega$ % PROMEDIO	19.66%		20.42%		22.96%	
ENSAYO						
Nº MOLDE	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	436.6	145.53	241.6	80.53	89.3	29.77
0.050	727.5	242.50	439.6	146.53	158.6	52.87
0.075	1014.8	338.27	662.3	220.77	228.9	76.30
0.100	1221.9	407.30	883.8	294.60	294.6	98.20
0.200	1915.6	638.53	1525.6	508.53	535.7	178.57
0.300	2308.1	769.37	1805.8	601.93	722.8	240.93
0.400	2630.0	876.67	1978.6	659.53	920.6	306.87
0.500	2991.8	997.27	2235.6	745.20	1011.6	337.20
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	407.30	40.730%	1.661	638.53	42.569%	1.661
2	294.60	29.460%	1.584	508.53	33.902%	1.584
3	98.20	9.820%	1.515	178.57	11.904%	1.515





<b>DENSIDAD SECA MÁXIMA</b>	1.650 gr/cm <sup>3</sup>
-----------------------------	--------------------------

DSM		%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR
95%	1.567	24.65%	28.40%	28.40%



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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA**

Fecha:	27-jun-19	Zona N°:	G3	Norma:	IEEE STD 81-1983
<b>COORDENADAS UTM</b>	<b>Zona</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Elevación (m)</b>	
	17 M	9859919	764656	2720	
N° ensayo	1	2	3		
Resistividad $\rho$ ( $\Omega/m$ )	133.8	129.4	139.4		
Resistividad Promedio $\rho$ ( $\Omega/m$ )	134.20				
Resistencia R ( $\Omega$ )	21.40				



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**DENSIDAD DE CAMPO**

Fecha:	27-jun-19	Zona:	G3	Norma:	AASHTO T 191 2014
<b>1. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
Nº RECIPIENTE	74			73	
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	105.4			103.2	
PESO SECO + RECIPIENTE (gr)	93.3			95.3	
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	31.2			30.7	
PESO AGUA (Ww) (gr)	12.1			7.9	
PESO DE LA MUESTRA SECA (Ws) (gr)	62.1			64.6	
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	19.48%			12.23%	
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	15.86%				
<b>2. DETERMINACIÓN DE LA MASA DEL SUELO EXTRAÍDO</b>					
PESO DEL SUELO + RECIPIENTE (gr)				730.3	
PESO DEL RECIPIENTE (gr)				7.5	
PESO DEL SUELO Wm (gr)				722.8	
<b>3. CALIBRACIÓN DEL CONO DE ARENA DE OTTAWA</b>					
PESO INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				6348	
PESO FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				6005	
PESO ARENA DEL CONO Wsand (gr)				343	
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )				209.44	
$\gamma_{sand} = W_{sand} / V_{sand}$ (cm <sup>3</sup> )				1.638	
<b>4. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL HUECO EN EL SUELO</b>					
LECTURA INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				7180	
LECTURA FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				6209	
PESO ARENA EN EL HUECO W <sub>sand</sub> (gr)				628	
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )				383.46	
<b>5. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO DEL SUELO</b>					
$\gamma_m = W_m / V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.885	
<b>6. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO</b>					
$\gamma_d = \gamma_m / (1+w)$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.627	
<b>7. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS</b>					
PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS S <sub>s</sub>				2.65	
VOLUMEN DE SÓLIDOS V <sub>s</sub> (cm <sup>3</sup> )				23.43	
VOLUMEN DE AGUA V <sub>w</sub> (cm <sup>3</sup> )				12.10	
VOLUMEN DE LA MUESTRA V <sub>m</sub> (cm <sup>3</sup> )				39.37	
VOLUMEN DE VACÍOS V <sub>v</sub> (cm <sup>3</sup> )				15.93	
$e = V_v / V_s$				0.68	
<b>8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$n\% = V_v / V_m * 100$				40.47%	
<b>8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$G_w\% = V_w / V_v * 100$				75.95%	
$G_a\% = (V_v - V_w) / V_v * 100$				24.05%	





TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA**

Fecha:	16-jul-19	Zona:	G3	Norma:	ASTM D-421-58 AASHTO T-87-70
Peso de la muestra:	250 gr				
# TAMIZ	TAMAÑO DE PARTÍCULAS (mm)	P. RETENIDO PARCIAL	P. RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
8	2.36	4.8	4.8	1.94%	98.06%
10	2	1.3	6.1	2.46%	97.54%
16	1.18	7.1	13.2	5.32%	94.68%
30	0.6	14.9	28.1	11.33%	88.67%
40	0.425	14.7	42.8	17.26%	82.74%
50	0.3	15.7	58.5	23.59%	76.41%
60	0.25	7.2	65.7	26.49%	73.51%
100	0.15	29.1	94.8	38.23%	61.77%
200	0.075	69.2	164	66.13%	33.87%
Pasa #200		84	84	33.87%	
TOTAL		248	248		

**RESULTADOS**

TNM	1.180	Cc:	3.41	Error permitido:	1.00%
D10	0.041			Error calculado:	0.80%
D30	0.069	Cu:	0.83	<b>ERROR PERMITIDO</b>	
D60	0.140				

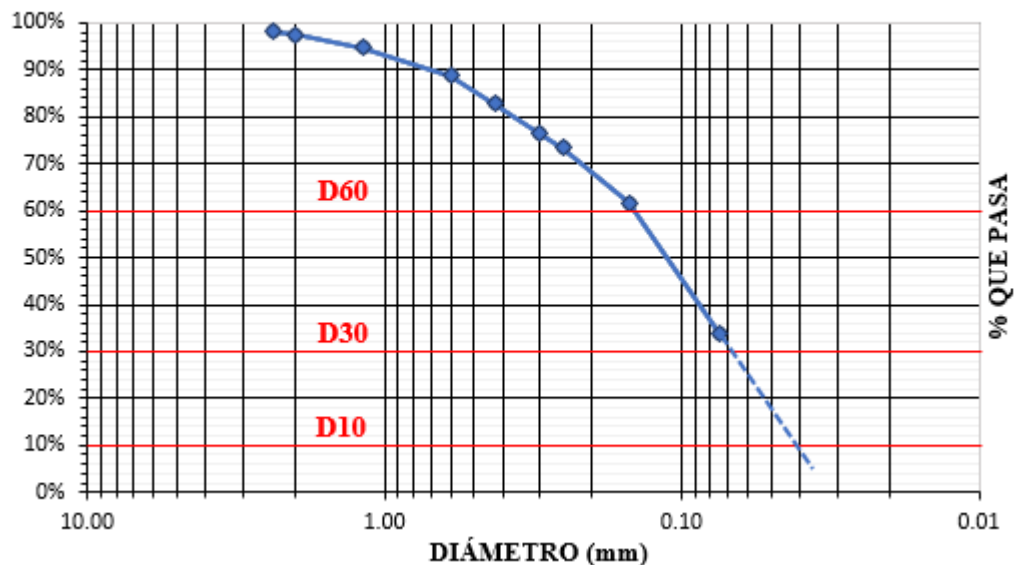
**PORCENTAJES DE MATERIAL**

	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (finos%)
SUCS	0	66%	34%
AASHTO	2%	64%	34%

**CLASIFICACIÓN DEL SUELO**

SUCS	SM	Arena limosa
AASHTO	A-2-4 (0)	Arena limosa de buena calidad

**CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA**





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA PARA SUELOS FINOS**

Fecha:	8-ago-19	Zona:	G3	Norma:	AASHTO T 100 2015
--------	----------	-------	----	--------	-------------------

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

			Temperatura	P. Picnómetro +
			°C	Agua
PESO DEL PICNÓMETRO	162.8	gr		
TEMPERATURA DEL AGUA	24.0	°C		
PESO PICNÓMETRO + AGUA (W <sub>pt</sub> )	657.78	gr	36	655.7
PESO PICNÓMETRO + AGUA+SUELO (W <sub>pws</sub> )	686.2	gr	32	656.4
PESO RECIPIENTE	113.0	gr	28	657.6
PESO RECIPIENTE +MUESTRA SECA	159.0	gr	24	657.7
PESO MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	46.0	gr	20	658.0
GRAVEDAD ESPECÍFICA (G <sub>s</sub> )	2.616		16	658.3



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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"**

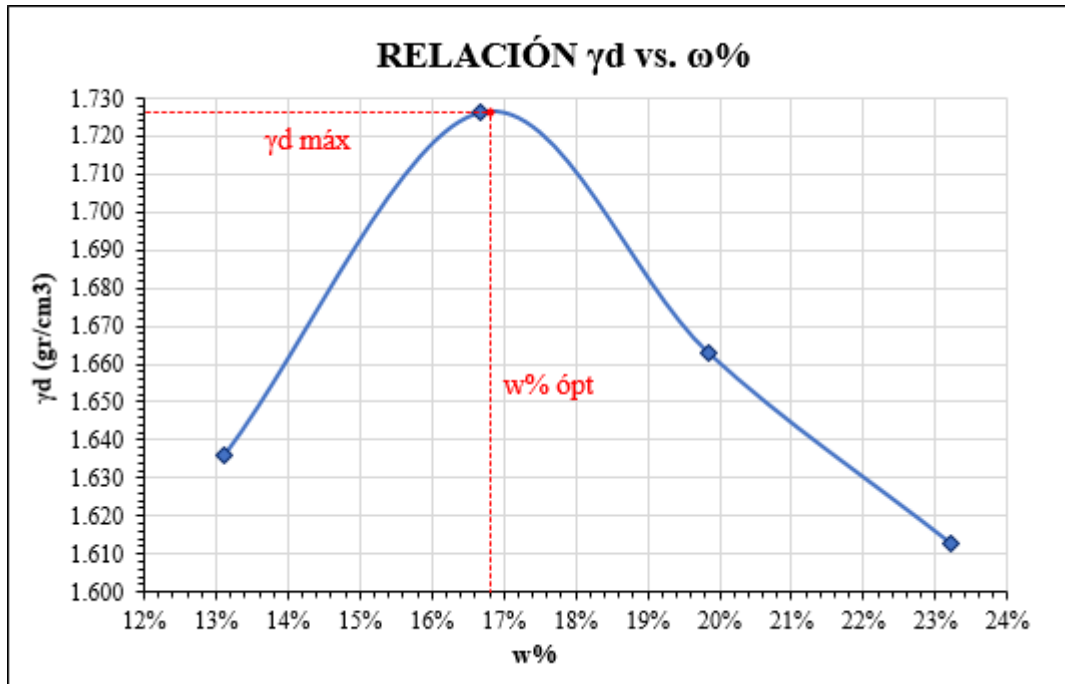
Fecha:	31-jul-19	Norma:	AASHTO T-180
Zona:	G3		ASTM D-1557

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

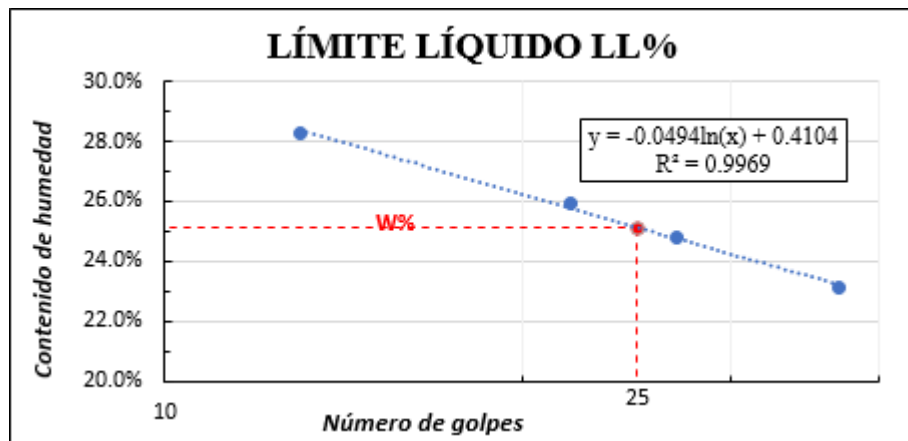
Nº de Golpes:	56	Nº de capas:	5	Peso martillo:	10 lb
Altura de caída:	18' o 1.5ft	Volumen molde:	2208.94		cm <sup>3</sup>
Peso molde:	14079 gr	Diámetro:	15		cm
Energía de compactación:	55986 lb/ft <sup>3</sup>	Altura:	12.5		cm
ENSAYO NÚMERO	1	2	3	4	
PESO INICIAL DESEADO (gr)	6000	6000	6000	6000	
HUMEDAD INICIAL AÑADIDA (%)	6	9	12	15	
P. MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)	18167	18529	18481	18468	
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	4088	4450	4402	4389	
PESO UNITARIO HÚMEDO $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.851	2.015	1.993	1.987	

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

# RECIPIENTE	15	16	24	25	23	26	27	28
R. + SUELO HÚMEDO	110.0	107.0	155.7	140.5	144.9	179.5	225.5	263.7
R. + SUELO SECO	101.6	98.6	139.8	126.9	128.4	157.1	191.5	222.4
PESO AGUA	8.4	8.4	15.9	13.6	16.5	22.4	34.0	41.3
PESO RECIPIENTE	36.0	36.0	45.4	44.6	44.8	44.7	44.6	44.8
PESO SUELO SECO	65.6	62.6	94.4	82.3	83.6	112.4	146.9	177.6
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega$ %	12.80%	13.42%	16.84%	16.52%	19.74%	19.93%	23.14%	23.25%
CONT. HUMEDAD PROM. $\omega$ %	13.11%		16.68%		19.83%		23.20%	
DENSIDAD SECA $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.636		1.726		1.663		1.613	
$\gamma_d$ MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.727							
$\omega$ % ÓPTIMO	16.80%							
GRADO DE COMPACTACIÓN (G <sub>c</sub> %)	94%							



		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
		<b>TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO</b>						
<b>ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE</b>								
Fecha: 26/ago/2019	Zona:	G3	Norma:	AASHTO T-90-70				
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
<b>Nº MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Nº RECIPIENTE	34	35	36	44	12	16	37	38
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE ( $W_m+W_r$ )(gr)	15.3	16.5	14.0	14.7	14.5	15.4	17.7	17.8
PESO SECO + RECIPIENTE ( $W_s+W_r$ ) (gr)	13.3	14.2	12.4	12.9	13.1	13.8	15.8	15.7
PESO DEL RECIPIENTE $W_r$ (gr)	6.2	6.1	6.0	6.2	7.4	7.4	7.4	6.8
PESO AGUA ( $W_w$ ) (gr)	2.0	2.3	1.6	1.8	1.4	1.6	1.9	2.1
PESO DE LA MUESTRA SECA ( $W_s$ )	7.1	8.1	6.4	6.7	5.7	6.4	8.4	8.9
CONTENIDO DE HUMEDAD $W\%$	28.2%	28.4%	25.0%	26.9%	24.6%	25.0%	22.6%	23.6%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	28.28%		25.93%		24.78%		23.11%	
NÚMERO DE GOLPES	13		22		27		37	





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO**

Fecha: 15/ago/2019	Zona:	G3	Norma:	AASHTO T-90-70	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº MUESTRA	1	2	3	4	5
Nº RECIPIENTE	26	39	50	12	2
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W <sub>m</sub> +W <sub>r</sub> )(gr)	6.7	6.7	6.5	11.7	11.8
PESO SECO + RECIPIENTE (W <sub>s</sub> +W <sub>r</sub> ) (gr)	6.6	6.5	6.4	11.4	11.7
PESO DEL RECIPIENTE W <sub>r</sub> (gr)	6.1	5.9	5.9	10.6	10.4
PESO AGUA (W <sub>w</sub> ) (gr)	0.1	0.2	0.1	0.3	0.1
PESO DE LA MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	0.5	0.6	0.5	0.8	1.3
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	20.0%	33.3%	20.0%	37.5%	7.7%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	23.71%				
LÍMITE PLÁSTICO %	23.71%				



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

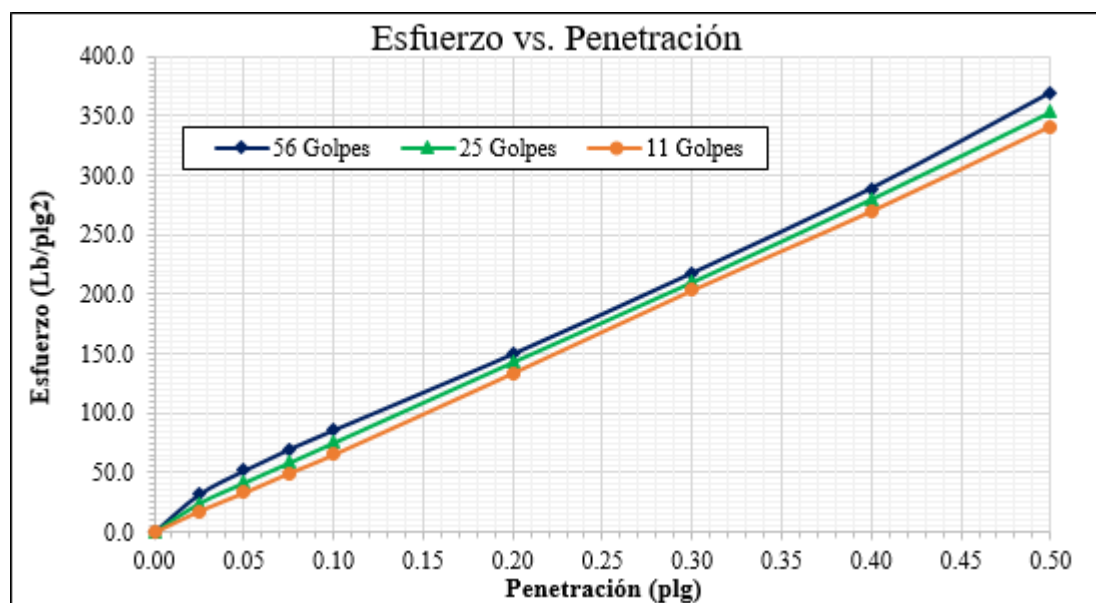


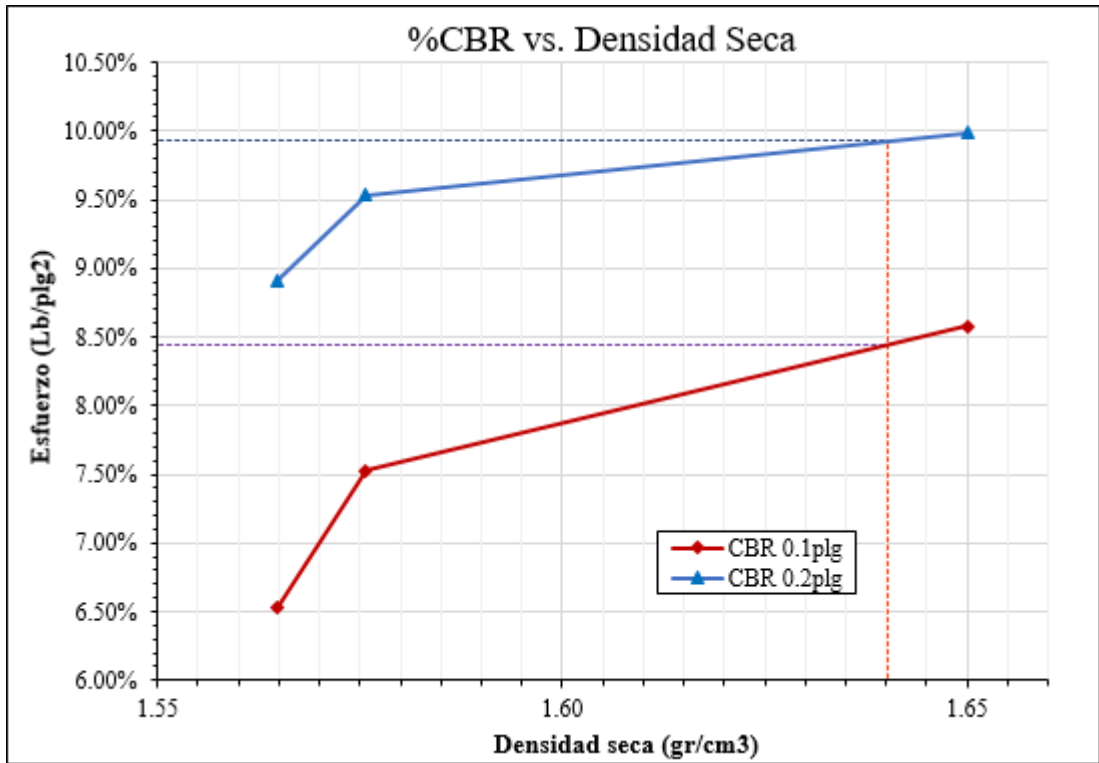
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO CBR DE LABORATORIO**

Fecha:	19-sep-19		Norma:		ASTM D-1883-73	
Zona:	G3				AASHTO T-193-63	
DATOS DE MOLDEO						
Nº MOLDE	1		2		3	
DIÁMETRO DEL MOLDE (cm)	15.1		15.1		15.1	
ALTURA DEL MOLDE (cm)	12.6		12.6		12.6	
Nº CAPAS	5		5		5	
Nº GOLPES POR CAPA	56		25		10	
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	12796		11025		11243	
MASA DEL MOLDE (gr)	8294		6714		6966	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4502		4311		4277	
VOLUMEN DE MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	2256.40		2256.40		2256.40	
PESO UNITARIO HÚMEDO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.995		1.911		1.896	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	70.7	72.6	68.9	69.0	68.6	59.7
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	60.1	61.8	58.5	58.6	58.2	50.7
MASA DEL AGUA (gr)	10.6	10.8	10.4	10.4	10.4	9.0
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	9.9	9.7	9.9	9.3	9.9	7.3
MASA DEL SUELO SECO (gr)	50.2	52.1	48.6	49.3	48.3	43.4
CONTENIDO DE HUMEDAD ω%	21.12%	20.73%	21.40%	21.10%	21.53%	20.74%
ω% PROMEDIO	20.92%		21.25%		21.13%	
PESO UNITARIO SECO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.650		1.576		1.565	

DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	12678		11049		11300	
MASA MOLDE (gr)	8294		6714		6966	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4384		4335		4334	
MASA AGUA ABSORBIDA (gr)	-118		24		57	
% AGUA ABSORBIDA	-2.62%		0.56%		1.33%	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	54.1	57.8	62.7	51.8	59.3	47.3
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	46.1	49.5	53	44.1	50.1	39.1
MASA DEL AGUA (gr)	8.0	8.3	9.7	7.7	9.2	8.2
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	9.9	9.7	9.9	9.3	9.9	7.3
MASA DEL SUELO SECO (gr)	36.2	39.8	43.1	34.8	40.2	31.8
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega$ %	22.10%	20.85%	22.51%	22.13%	22.89%	25.79%
$\omega$ % PROMEDIO	21.48%		22.32%		24.34%	
ENSAYO						
Nº MOLDE	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	95.2	31.73	73.0	24.33	53.6	17.87
0.050	155.0	51.67	125.0	41.67	99.8	33.27
0.075	208.6	69.53	175.0	58.33	148.8	49.60
0.100	257.3	85.77	225.7	75.23	196.0	65.33
0.200	449.3	149.77	429.0	143.00	401.0	133.67
0.300	653.5	217.83	631.0	210.33	609.7	203.23
0.400	866.9	288.97	840.0	280.00	809.3	269.77
0.500	1108.0	369.33	1060.0	353.33	1023.4	341.13
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	85.77	8.577%	1.650	149.77	9.984%	1.650
2	75.23	7.523%	1.576	143.00	9.533%	1.576
3	65.33	6.533%	1.565	133.67	8.911%	1.565





<b>DENSIDAD SECA MÁXIMA</b>	1.727 gr/cm <sup>3</sup>
-----------------------------	--------------------------

DSM		%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR
95%	1.640	8.44%	9.93%	9.93%



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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA**

Fecha:	19-jul-19	Zona N°:	G4	Norma:	IEEE STD 81-1983
<b>COORDENADAS UTM</b>	<b>Zona</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Elevación (m)</b>	
	17 M	9859717	764680	2710	
N° ensayo	1	2	3		
Resistividad $\rho$ ( $\Omega/m$ )	591.2	605.6	595.6		
Resistividad Promedio $\rho$ ( $\Omega/m$ )	597.47				
Resistencia R ( $\Omega$ )	95.10				



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**DENSIDAD DE CAMPO**

Fecha:	19-jul-19	Zona:	G4	Norma:	AASHTO T 191 2014
<b>1. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
Nº RECIPIENTE	63	68			
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	102.8	101.7			
PESO SECO + RECIPIENTE (gr)	98.8	98.1			
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	31.1	30.8			
PESO AGUA (W <sub>w</sub> ) (gr)	4	3.6			
PESO DE LA MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	67.7	67.3			
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	5.91%	5.35%			
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	5.63%				
<b>2. DETERMINACIÓN DE LA MASA DEL SUELO EXTRAÍDO</b>					
PESO DEL SUELO + RECIPIENTE (gr)	779.5				
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	3.4				
PESO DEL SUELO W <sub>m</sub> (gr)	776.1				
<b>3. CALIBRACIÓN DEL CONO DE ARENA DE OTTAWA</b>					
PESO INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)	6348				
PESO FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)	6005				
PESO ARENA DEL CONO W <sub>sand</sub> (gr)	343				
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )	209.44				
$\gamma_{sand} = W_{sand} / V_{sand}$ (cm <sup>3</sup> )	1.638				
<b>4. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL HUECO EN EL SUELO</b>					
LECTURA INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)	7092				
LECTURA FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)	5991				
PESO ARENA EN EL HUECO W <sub>sand</sub> (gr)	758				
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )	462.84				
<b>5. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO DEL SUELO</b>					
$\gamma_m = W_m / V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.677				
<b>6. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO</b>					
$\gamma_d = \gamma_m / (1+w)$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.587				
<b>7. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS</b>					
PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS S <sub>s</sub>	2.65				
VOLUMEN DE SÓLIDOS V <sub>s</sub> (cm <sup>3</sup> )	25.55				
VOLUMEN DE AGUA V <sub>w</sub> (cm <sup>3</sup> )	4.00				
VOLUMEN DE LA MUESTRA V <sub>m</sub> (cm <sup>3</sup> )	42.76				
VOLUMEN DE VACÍOS V <sub>v</sub> (cm <sup>3</sup> )	17.21				
$e = V_v / V_s$	0.67				
<b>8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$n\% = V_v / V_m * 100$	40.25%				
<b>8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$G_w\% = V_w / V_v * 100$	23.24%				
$G_a\% = (V_v - V_w) / V_v * 100$	76.76%				





TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA**

Fecha:	23-jul-19	Zona:	G4	Norma:	ASTM D-421-58 AASHTO T-87-70
Peso de la muestra:		250 gr			
# TAMIZ	TAMAÑO DE PARTÍCULAS (mm)	P. RETENIDO PARCIAL	P. RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
8	2.36	0	0	0.00%	100.00%
10	2	0	0	0.00%	100.00%
16	1.18	0	0	0.00%	100.00%
30	0.6	1.8	1.8	0.72%	99.28%
40	0.425	6.7	8.5	3.40%	96.60%
50	0.3	18.9	27.4	10.97%	89.03%
60	0.25	12.2	39.6	15.86%	84.14%
100	0.15	70.6	110.2	44.13%	55.87%
200	0.075	115.5	225.7	90.39%	9.61%
Pasa #200		24	24	9.61%	
TOTAL		249.7	249.7		

**RESULTADOS**

TNM	1.180	Cc:	2.43	Error permitido:	1.00%
D10	0.074			Error calculado:	0.12%
D30	0.105	Cu:	0.83	<b>ERROR PERMITIDO</b>	
D60	0.180				

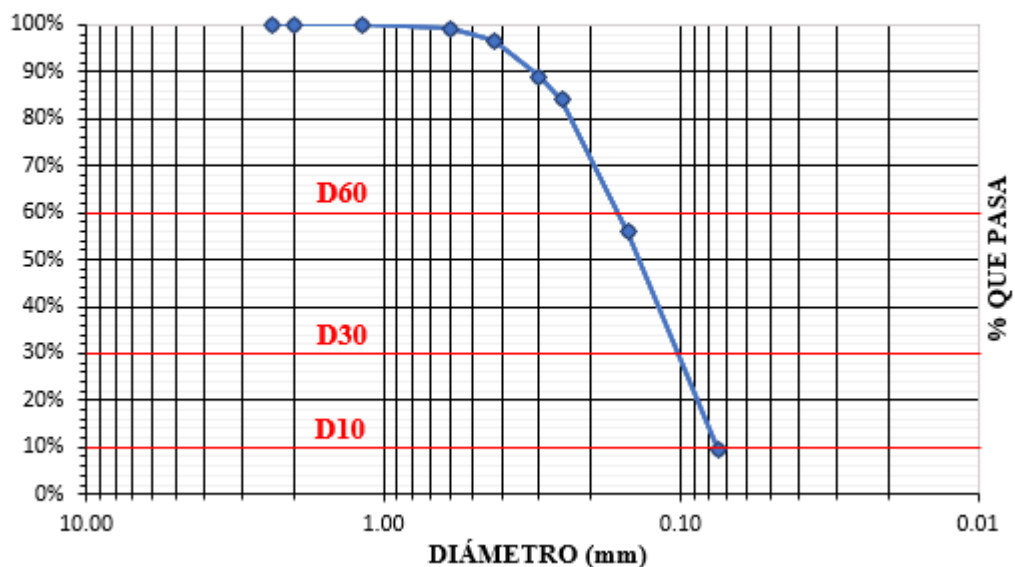
**PORCENTAJES DE MATERIAL**

	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (finos%)
SUCS	0	90%	10%
AASHTO	2%	88%	10%

**CLASIFICACIÓN DEL SUELO**

SUCS	SM	Arena limosa
AASHTO	A-2-4 (0)	Arena limosa de buena calidad

**CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA**





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA PARA SUELOS FINOS**

Fecha:	7-ago-19	Zona:	G4	Norma:	AASHTO T 100 2015		
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO							
PESO DEL PICNÓMETRO	162.8	gr	Temperatura °C	P. Picnómetro + Agua			
TEMPERATURA DEL AGUA	24.0	°C					
PESO PICNÓMETRO + AGUA (W <sub>pt</sub> )	657.78	gr				36	655.7
PESO PICNÓMETRO + AGUA+SUELO (W <sub>pws</sub> )	688.4	gr				32	656.4
PESO RECIPIENTE	107.1	gr				28	657.6
PESO RECIPIENTE +MUESTRA SECA	156.8	gr				24	657.7
PESO MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	49.7	gr				20	658.0
GRAVEDAD ESPECÍFICA (G <sub>s</sub> )	2.605		16	658.3			



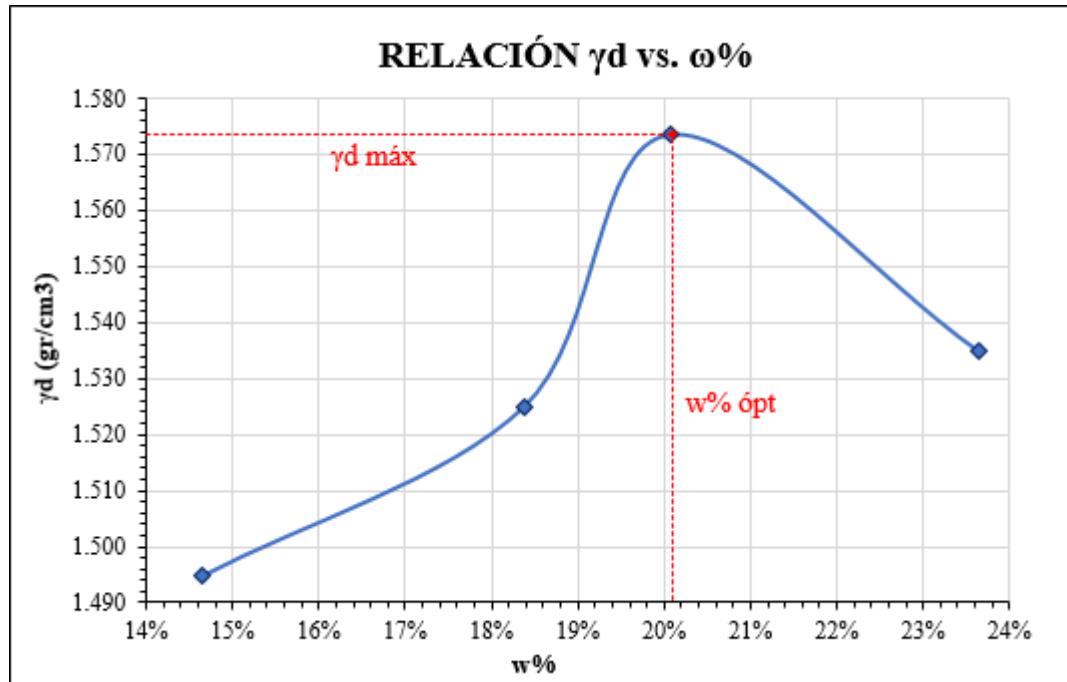
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL




TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO


**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"**

Fecha:	5-ago-19	Norma:	AASHTO T-180					
Zona:	G4		ASTM D-1557					
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
Nº de Golpes:	56	Nº de capas:	5	Peso martillo: 10 lb				
Altura de caída:	18' o 1.5ft	Volumen molde:	2208.94	cm <sup>3</sup>				
Peso molde:	14079 gr	Diámetro:	15	cm				
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft <sup>3</sup>	Altura:	12.5	cm				
ENSAYO NÚMERO	1	2	3	4				
PESO INICIAL DESEADO (gr)	6000	6000	6000	6000				
HUMEDAD INICIAL AÑADIDA (%)	6	9	12	15				
P. MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)	17864	18066	18252	18271				
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	3785	3987	4173	4192				
PESO UNITARIO HÚMEDO $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.713	1.805	1.889	1.898				
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
# RECIPIENTE	25	26	27	28	15	16	23	24
R. + SUELO HÚMEDO	148.5	168.7	171.6	182.7	152.8	106.7	205.8	225.1
R. + SUELO SECO	135.2	152.9	151.7	161.5	132.6	95.3	176.9	188.7
PESO AGUA	13.3	15.8	19.9	21.2	20.2	11.4	28.9	36.4
PESO RECIPIENTE	44.6	44.7	44.6	44.8	36.0	36.0	44.8	45.4
PESO SUELO SECO	90.6	108.2	107.1	116.7	96.6	59.3	132.1	143.3
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega$ %	14.68%	14.60%	18.58%	18.17%	20.91%	19.22%	21.88%	25.40%
CONT. HUMEDAD PROM. $\omega$ %	14.64%		18.37%		20.07%		23.64%	
DENSIDAD SECA $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.495		1.525		1.573		1.535	
$\gamma_d$ MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.574							
$\omega$ % ÓPTIMO	20.10%							
GRADO DE COMPACTACIÓN (G <sub>c</sub> %)	101%							





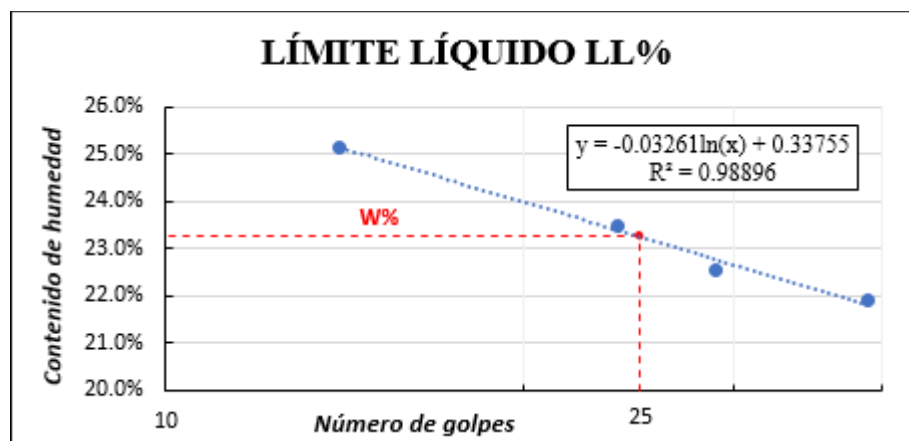
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO**

**ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE**

Fecha: 25/ago/2019	Zona: G4	Norma:	AASHTO T-90-70					
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD								
Nº MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
Nº RECIPIENTE	12	16	34	35	36	37	38	44
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE ( $W_m+W_r$ )(gr)	16.8	16.4	15.9	16.4	17.2	17.5	16.9	17.2
PESO SECO + RECIPIENTE ( $W_s+W_r$ ) (gr)	14.9	14.6	14.0	14.5	15.3	15.5	15.3	15.0
PESO DEL RECIPIENTE $W_r$ (gr)	7.4	7.4	6.2	6.1	6.0	7.4	6.8	6.2
PESO AGUA ( $W_w$ ) (gr)	1.9	1.8	1.9	1.9	1.9	2.0	1.6	2.2
PESO DE LA MUESTRA SECA ( $W_s$ )	7.5	7.2	7.8	8.4	9.3	8.1	8.5	8.8
CONTENIDO DE HUMEDAD $W\%$	25.3%	25.0%	24.4%	22.6%	20.4%	24.7%	18.8%	25.0%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	25.17%		23.49%		22.56%		21.91%	
NÚMERO DE GOLPES	14		24		29		39	





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO**

Fecha: 15/ago/2019	Zona:	G4	Norma:	AASHTO T-90-70	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº MUESTRA	1	2	3	4	5
Nº RECIPIENTE	201	12	2	15	80
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE ( $W_m+W_r$ )(gr)	11.8	11.3	11.6	11.4	11.5
PESO SECO + RECIPIENTE ( $W_s+W_r$ ) (gr)	11.6	11.1	11.4	11.3	11.4
PESO DEL RECIPIENTE $W_r$ (gr)	10.7	10.6	10.4	10.6	10.7
PESO AGUA ( $W_w$ ) (gr)	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
PESO DE LA MUESTRA SECA ( $W_s$ )	0.9	0.5	1.0	0.7	0.7
CONTENIDO DE HUMEDAD $W\%$	22.2%	40.0%	20.0%	14.3%	14.3%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	22.16%				
LÍMITE PLÁSTICO %	22.16%				



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

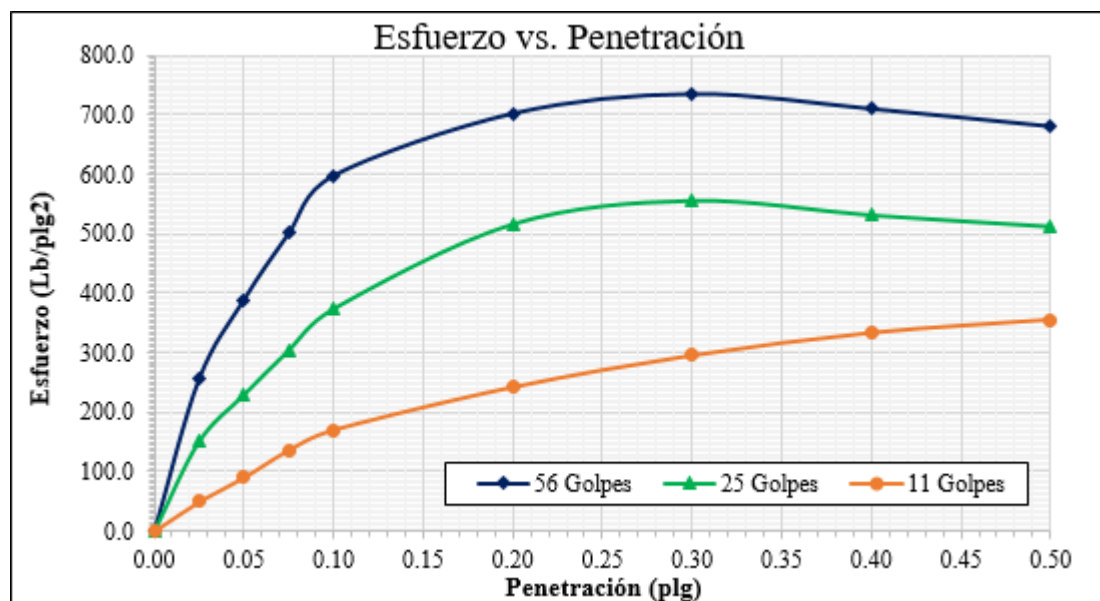


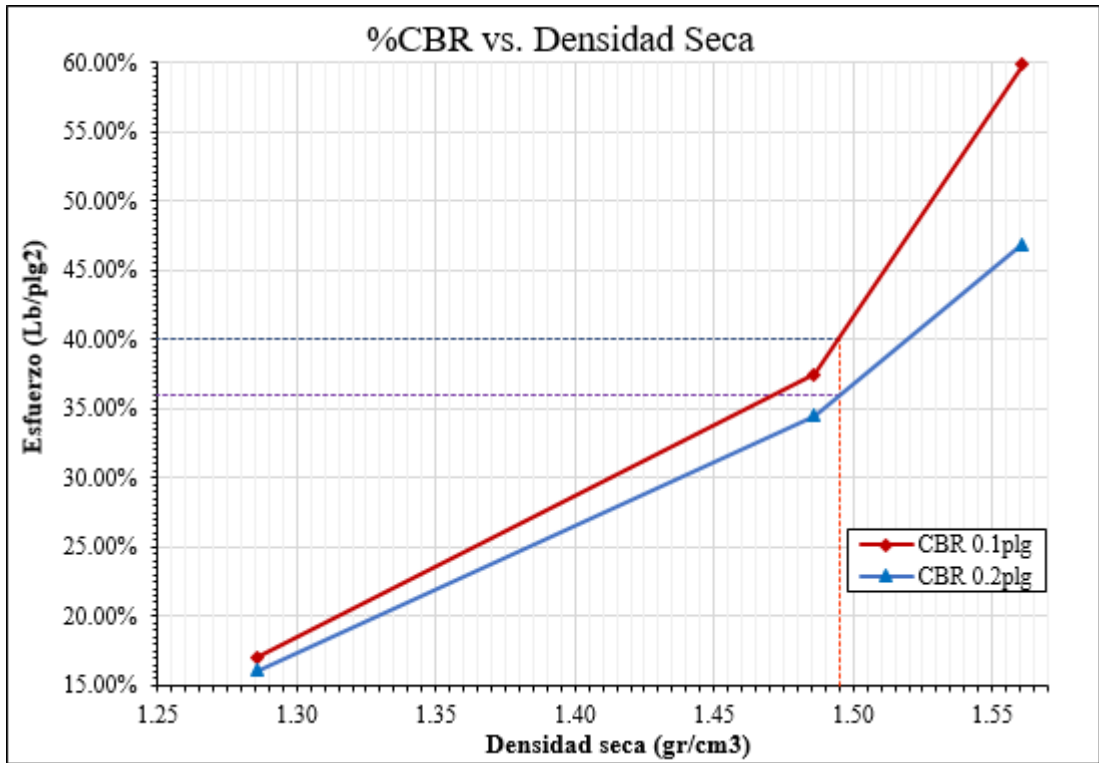
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO CBR DE LABORATORIO**

Fecha:	26-sep-19		Norma:		ASTM D-1883-73	
Zona:	G4				AASHTO T-193-63	
DATOS DE MOLDEO						
Nº MOLDE	1		2		3	
DIÁMETRO DEL MOLDE (cm)	15.4		15.2		15.3	
ALTURA DEL MOLDE (cm)	12.7		12.7		11.4	
Nº CAPAS	5		5		5	
Nº GOLPES POR CAPA	56		25		10	
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	14015		12580		11964	
MASA DEL MOLDE (gr)	9631		8390		8342	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4384		4190		3622	
VOLUMEN DE MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	2365.57		2365.57		2365.57	
PESO UNITARIO HÚMEDO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.853		1.771		1.531	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	52.1	50.8	50.1	50.1	52.9	56.5
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	45.7	44.1	43.8	43.4	46.2	48.8
MASA DEL AGUA (gr)	6.4	6.7	6.3	6.7	6.7	7.7
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	9.9	9.9	9.7	9.8	9.7	9.9
MASA DEL SUELO SECO (gr)	35.8	34.2	34.1	33.6	36.5	38.9
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega\%$	17.88%	19.59%	18.48%	19.94%	18.36%	19.79%
$\omega\%$ PROMEDIO	18.73%		19.21%		19.08%	
PESO UNITARIO SECO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.561		1.486		1.286	

DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	13879		12494		11937	
MASA MOLDE (gr)	9631		8390		8342	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4248		4104		3595	
MASA AGUA ABSORBIDA (gr)	-136		-86		-27	
% AGUA ABSORBIDA	-3.10%		-2.05%		-0.75%	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	57.6	55.0	53.5	65.6	61.3	65.2
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	47.9	46.2	44.4	54.5	49.1	53.2
MASA DEL AGUA (gr)	9.7	8.8	9.1	11.1	12.2	12.0
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	9.9	9.9	9.7	9.8	9.7	9.9
MASA DEL SUELO SECO (gr)	38	36.3	34.7	44.7	39.4	43.3
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega$ %	25.53%	24.24%	26.22%	24.83%	30.96%	27.71%
$\omega$ % PROMEDIO	24.88%		25.53%		29.34%	
ENSAYO						
Nº MOLDE	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	768.3	256.10	453.6	151.20	148.3	49.43
0.050	1168.2	389.40	689.5	229.83	270.1	90.03
0.075	1503.5	501.17	913.5	304.50	408.5	136.17
0.100	1793.9	597.97	1123.0	374.33	510.6	170.20
0.200	2107.6	702.53	1550.9	516.97	726.5	242.17
0.300	2206.2	735.40	1668.7	556.23	886.0	295.33
0.400	2130.9	710.30	1595.3	531.77	999.8	333.27
0.500	2042.8	680.93	1538.5	512.83	1066.2	355.40
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	597.97	59.797%	1.561	702.53	46.836%	1.561
2	374.33	37.433%	1.486	516.97	34.464%	1.486
3	170.20	17.020%	1.286	242.17	16.144%	1.286





<b>DENSIDAD SECA MÁXIMA</b>	1.574 gr/cm <sup>3</sup>
-----------------------------	--------------------------

DSM		%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR
95%	1.495	36.00%	40.00%	40.00%



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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA**

Fecha:	12-jul-19	Zona N°:	G5	Norma:	IEEE STD 81-1983
<b>COORDENADAS UTM</b>	<b>Zona</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Elevación (m)</b>	
	17 M	9858744	765653	2698	
N° ensayo	1	2	3		
Resistividad $\rho$ ( $\Omega/m$ )	484.4	474.3	527.1		
Resistividad Promedio $\rho$ ( $\Omega/m$ )	495.27				
Resistencia R ( $\Omega$ )	78.80				



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**DENSIDAD DE CAMPO**

Fecha:	24-ago-19	Zona:	G5	Norma:	AASHTO T 191 2014
<b>1. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
Nº RECIPIENTE		63		68	
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)		98.4		105.1	
PESO SECO + RECIPIENTE (gr)		96.5		103.0	
PESO DEL RECIPIENTE (gr)		31.1		30.8	
PESO AGUA (Ww) (gr)		1.9		2.1	
PESO DE LA MUESTRA SECA (Ws)		65.4		72.2	
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)		2.91%		2.91%	
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO				2.91%	
<b>2. DETERMINACIÓN DE LA MASA DEL SUELO EXTRAÍDO</b>					
PESO DEL SUELO + RECIPIENTE (gr)				913.0	
PESO DEL RECIPIENTE (gr)				6.1	
PESO DEL SUELO Wm (gr)				906.9	
<b>3. CALIBRACIÓN DEL CONO DE ARENA DE OTTAWA</b>					
PESO INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				6348	
PESO FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				6005	
PESO ARENA DEL CONO Wsand (gr)				343	
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )				209.44	
$\gamma_{sand} = W_{sand} / V_{sand}$ (cm <sup>3</sup> )				1.638	
<b>4. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL HUECO EN EL SUELO</b>					
LECTURA INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				7167	
LECTURA FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				5896	
PESO ARENA EN EL HUECO W <sub>sand</sub> (gr)				928	
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )				566.65	
<b>5. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO DEL SUELO</b>					
$\gamma_m = W_m / V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.600	
<b>6. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO</b>					
$\gamma_d = \gamma_m / (1+w)$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.555	
<b>7. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS</b>					
PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS S <sub>s</sub>				2.65	
VOLUMEN DE SÓLIDOS V <sub>s</sub> (cm <sup>3</sup> )				24.68	
VOLUMEN DE AGUA V <sub>w</sub> (cm <sup>3</sup> )				1.90	
VOLUMEN DE LA MUESTRA V <sub>m</sub> (cm <sup>3</sup> )				42.05	
VOLUMEN DE VACÍOS V <sub>v</sub> (cm <sup>3</sup> )				17.37	
$e = V_v / V_s$				0.70	
<b>8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$n\% = V_v / V_m * 100$				41.31%	
<b>8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$G_w\% = V_w / V_v * 100$				10.94%	
$G_a\% = (V_v - V_w) / V_v * 100$				89.06%	





TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA**

Fecha:	24-jul-19	Zona:	G5	Norma:	ASTM D-421-58 AASHTO T-87-70
Peso de la muestra:		250 gr			
# TAMIZ	TAMAÑO DE PARTÍCULAS (mm)	P. RETENIDO PARCIAL	P. RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
8	2.36	0.4	0.4	0.16%	99.84%
10	2	0	0.4	0.16%	99.84%
16	1.18	1.2	1.6	0.64%	99.36%
30	0.6	4.3	5.9	2.37%	97.63%
40	0.425	8	13.9	5.57%	94.43%
50	0.3	18.2	32.1	12.87%	87.13%
60	0.25	10	42.1	16.88%	83.12%
100	0.15	59.1	101.2	40.58%	59.42%
200	0.075	103.1	204.3	81.92%	18.08%
Pasa #200		45.1	45.1	18.08%	
TOTAL		249.4	249.4		

**RESULTADOS**

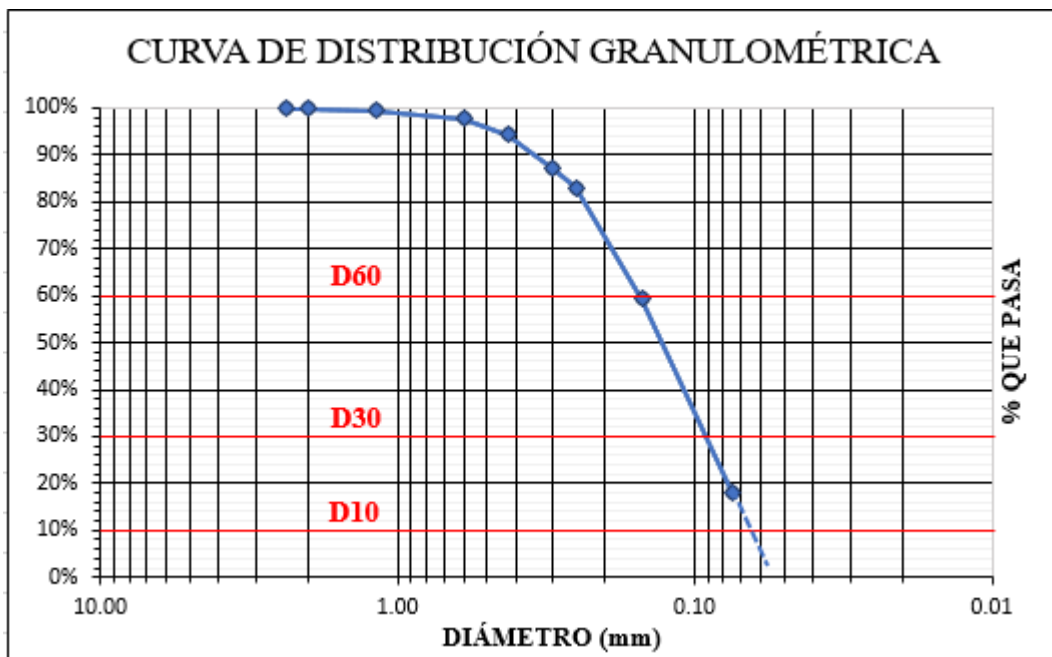
TNM	1.180	Cc:	2.70	Error permitido:	1.00%
D10	0.063			Error calculado:	0.24%
D30	0.091	Cu:	0.77	<b>ERROR PERMITIDO</b>	
D60	0.170				

**PORCENTAJES DE MATERIAL**

	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (finos%)
SUCS	0	82%	18%
AASHTO	2%	80%	18%

**CLASIFICACIÓN DEL SUELO**

SUCS	SM	Arena limosa
AASHTO	A-2-4 (0)	Arena limosa de buena calidad





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA PARA SUELOS FINOS**

Fecha:	7-ago-19	Zona:	G5	Norma:	AASHTO T 100 2015
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO					
PESO DEL PICNÓMETRO	162.8	gr	°C	Temperatura	P. Picnómetro +
TEMPERATURA DEL AGUA	24.0	°C		°C	Agua
PESO PICNÓMETRO + AGUA (W <sub>pt</sub> )	657.78	gr		36	655.7
PESO PICNÓMETRO + AGUA+SUELO (W <sub>pws</sub> )	688.6	gr		32	656.4
PESO RECIPIENTE	113.0	gr		28	657.6
PESO RECIPIENTE +MUESTRA SECA	161.9	gr		24	657.7
PESO MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	48.9	gr		20	658.0
GRAVEDAD ESPECÍFICA (G <sub>s</sub> )	2.704		16	658.3	



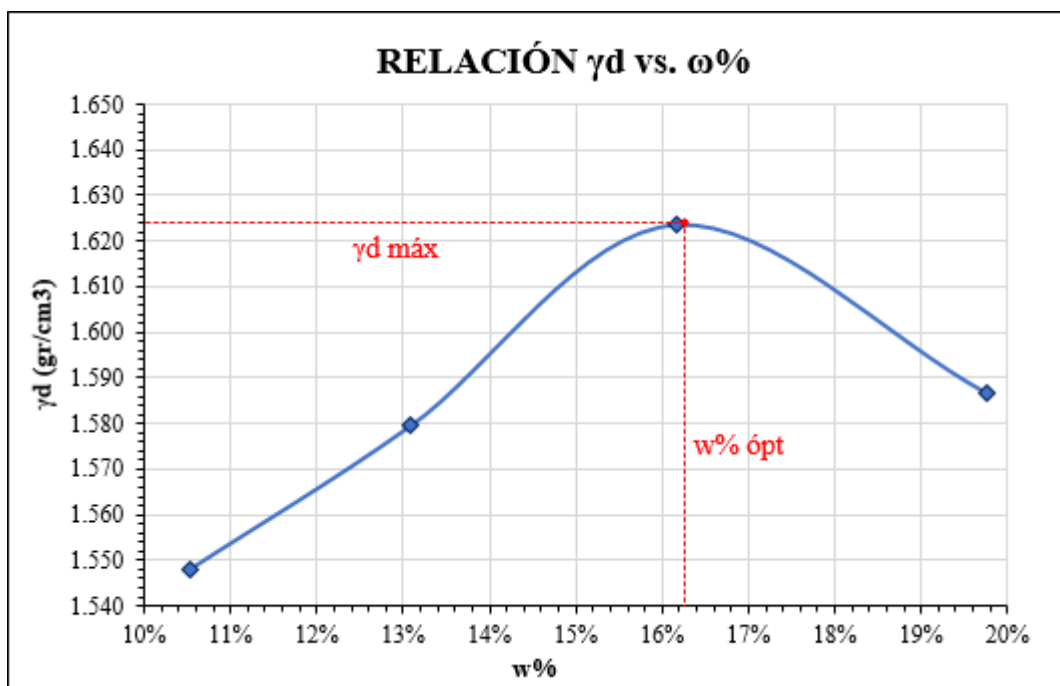
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL




TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO


**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"**

Fecha:	1-ago-19	Norma:	AASHTO T-180					
Zona:	G5		ASTM D-1557					
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
Nº de Golpes:	56	Nº de capas:	5	Peso martillo: 10 lb				
Altura de caída:	18' o 1.5ft	Volumen molde:	2208.94	cm <sup>3</sup>				
Peso molde:	14079 gr	Diámetro:	15	cm				
Energía de compactación:	55986 lb/ft <sup>3</sup>	Altura:	12.5	cm				
ENSAYO NÚMERO	1	2	3	4				
PESO INICIAL DESEADO (gr)	6000	6000	6000	6000				
HUMEDAD INICIAL AÑADIDA (%)	9	12	15	18				
P. MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)	17859	18024	18245	18276				
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	3780	3945	4166	4197				
PESO UNITARIO HÚMEDO $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.711	1.786	1.886	1.900				
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
# RECIPIENTE	15	16	24	25	27	28	27	26
R. + SUELO HÚMEDO	97.5	88.8	145.4	133.1	162.9	171.0	152.7	149.3
R. + SUELO SECO	91.6	83.8	133.8	122.9	146.3	153.6	134.8	132.1
PESO AGUA	5.9	5.0	11.6	10.2	16.6	17.4	17.9	17.2
PESO RECIPIENTE	36.0	36.0	45.4	44.6	44.6	44.8	44.6	44.7
PESO SUELO SECO	55.6	47.8	88.4	78.3	101.7	108.8	90.2	87.4
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega$ %	10.61%	10.46%	13.12%	13.03%	16.32%	15.99%	19.84%	19.68%
CONT. HUMEDAD PROM. $\omega$ %	10.54%		13.07%		16.16%		19.76%	
DENSIDAD SECA $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.548		1.579		1.624		1.586	
$\gamma_d$ MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.624							
$\omega$ % ÓPTIMO	16.25%							
GRADO DE COMPACTACIÓN (G <sub>c</sub> %)	96%							





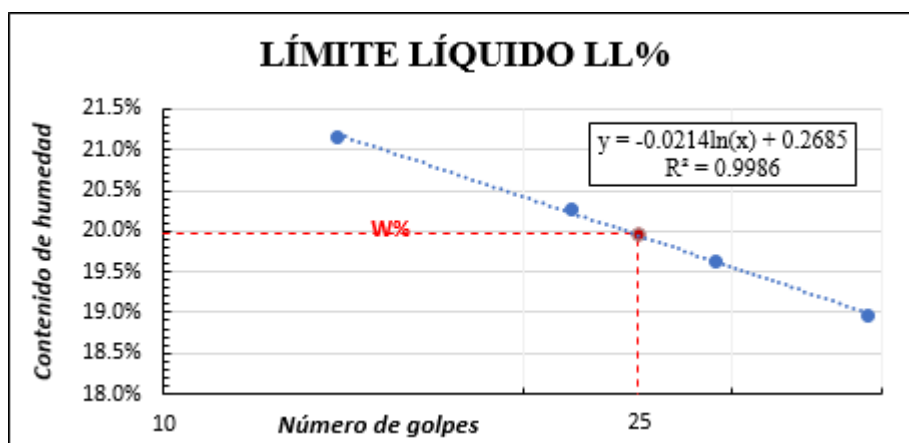
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO**

**ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE**

Fecha: 24/ago/2019	Zona:	G5	Norma:	AASHTO T-90-70				
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD								
Nº MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
Nº RECIPIENTE	34	44	35	36	7A	77	12	16
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE ( $W_m+W_r$ )(gr)	15.3	16.0	14.0	14.7	14.5	15.4	17.7	17.8
PESO SECO + RECIPIENTE ( $W_s+W_r$ ) (gr)	13.7	14.3	12.7	13.2	13.2	14.0	16.1	16.1
PESO DEL RECIPIENTE $W_r$ (gr)	6.2	6.2	6.1	6.0	6.0	7.4	7.4	7.4
PESO AGUA ( $W_w$ ) (gr)	1.6	1.7	1.3	1.5	1.3	1.4	1.6	1.7
PESO DE LA MUESTRA SECA ( $W_s$ )	7.5	8.1	6.6	7.2	7.2	6.6	8.7	8.7
CONTENIDO DE HUMEDAD $W\%$	21.3%	21.0%	19.7%	20.8%	18.1%	21.2%	18.4%	19.5%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	21.16%		20.27%		19.63%		18.97%	
NÚMERO DE GOLPES	14		22		29		39	





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO**

Fecha: 14/ago/2019	Zona:	G5	Norma:	AASHTO T-90-70	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº MUESTRA	1	2	3	4	5
Nº RECIPIENTE	19	50	2	26	39
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W <sub>m</sub> +W <sub>r</sub> )(gr)	7.0	6.4	11.4	7.3	6.8
PESO SECO + RECIPIENTE (W <sub>s</sub> +W <sub>r</sub> ) (gr)	6.8	6.3	11.3	7.1	6.7
PESO DEL RECIPIENTE W <sub>r</sub> (gr)	6.0	5.9	10.4	6.1	5.9
PESO AGUA (W <sub>w</sub> ) (gr)	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
PESO DE LA MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	0.8	0.4	0.9	1.0	0.8
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	25.0%	25.0%	11.1%	20.0%	12.5%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	18.72%				
LÍMITE PLÁSTICO %	18.72%				



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

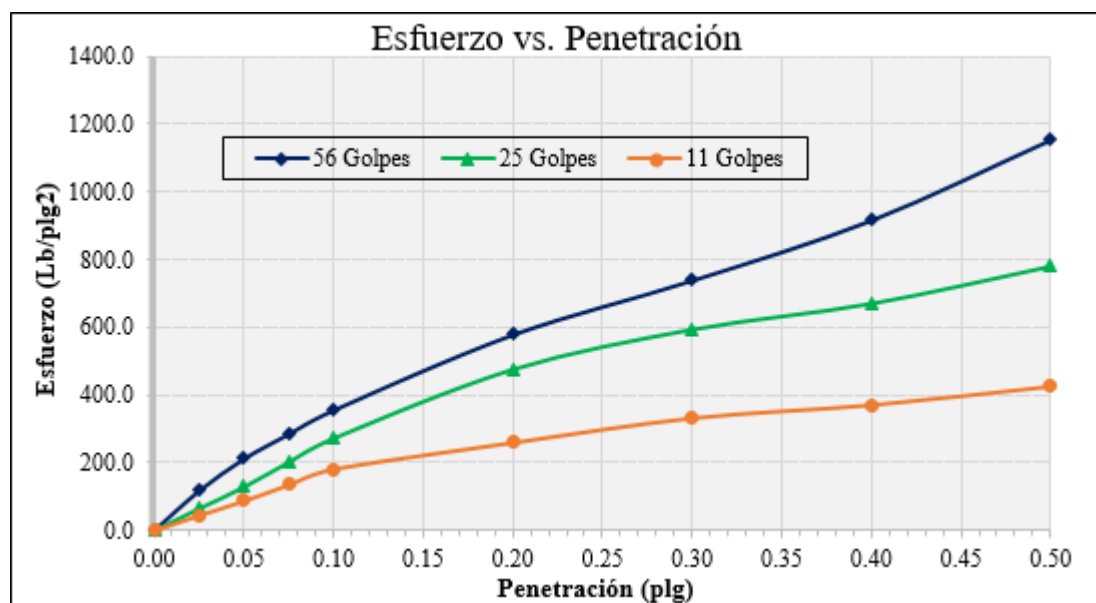


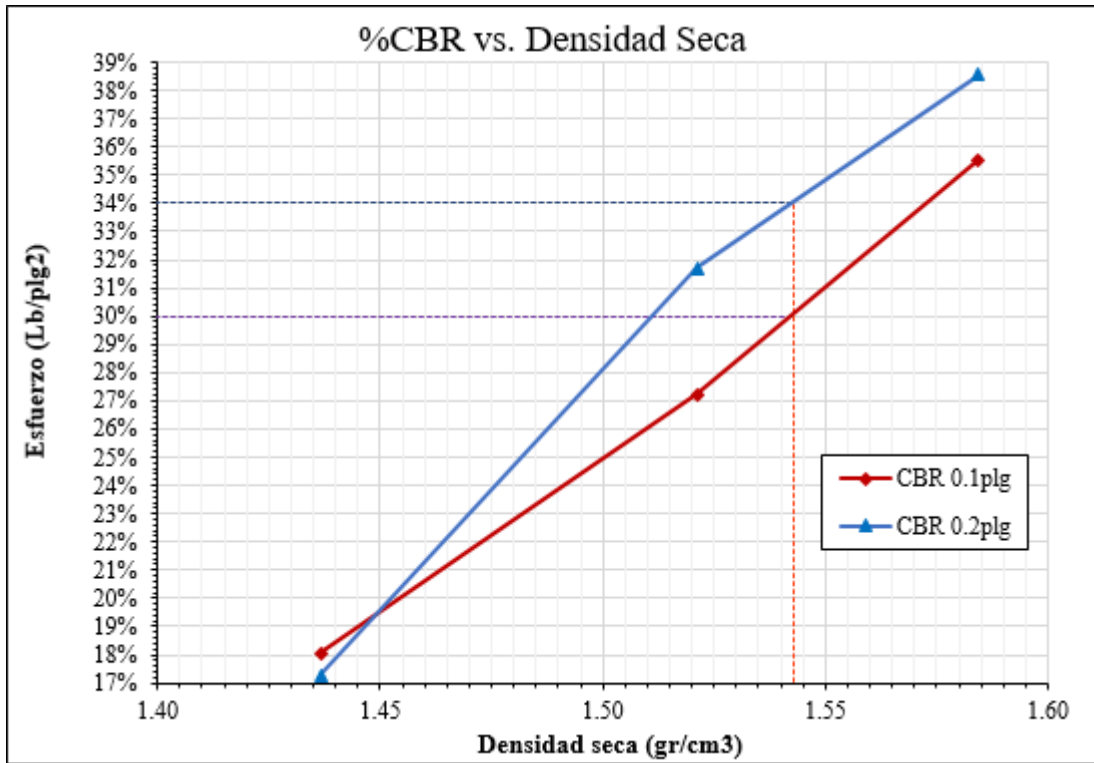
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO CBR DE LABORATORIO**

Fecha:	1-oct-19		Norma:		ASTM D-1883-73	
Zona:	G5				AASHTO T-193-63	
DATOS DE MOLDEO						
Nº MOLDE	1		2		3	
DIÁMETRO DEL MOLDE (cm)	15.1		15.1		15.1	
ALTURA DEL MOLDE (cm)	12.6		12.6		12.6	
Nº CAPAS	5		5		5	
Nº GOLPES POR CAPA	56		25		10	
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	12854		13239		11034	
MASA DEL MOLDE (gr)	8729		9284		7276	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4125		3955		3758	
VOLUMEN DE MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	2256.40		2256.40		2256.40	
PESO UNITARIO HÚMEDO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.828		1.753		1.665	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	60.1	60.2	63.7	54.9	66.7	60.6
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	53.4	53.5	56.5	49.0	58.9	53.6
MASA DEL AGUA (gr)	6.7	6.7	7.2	5.9	7.8	7.0
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	9.9	9.9	9.7	9.8	9.7	9.9
MASA DEL SUELO SECO (gr)	43.5	43.6	46.8	39.2	49.2	43.7
CONTENIDO DE HUMEDAD ω%	15.40%	15.37%	15.38%	15.05%	15.85%	16.02%
ω% PROMEDIO	15.38%		15.22%		15.94%	
PESO UNITARIO SECO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.584		1.521		1.437	

DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	12991		13416		11293	
MASA MOLDE (gr)	8729		9284		7276	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4262		4132		4017	
MASA AGUA ABSORBIDA (gr)	137		177		259	
% AGUA ABSORBIDA	3.32%		4.48%		6.89%	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	52.7	50.8	57.9	52.1	53.4	49.2
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	45.6	43.2	48.5	43.9	43.9	41.4
MASA DEL AGUA (gr)	7.1	7.6	9.4	8.2	9.5	7.8
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	9.9	9.9	9.7	9.8	9.7	9.9
MASA DEL SUELO SECO (gr)	35.7	33.3	38.8	34.1	34.2	31.5
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega$ %	19.89%	22.82%	24.23%	24.05%	27.78%	24.76%
$\omega$ % PROMEDIO	21.36%		24.14%		26.27%	
ENSAYO						
Nº MOLDE	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	351.3	117.10	194.8	64.93	133.0	44.33
0.050	634.3	211.43	385.3	128.43	260.8	86.93
0.075	854.3	284.77	605.8	201.93	402.6	134.20
0.100	1065.8	355.27	816.3	272.10	541.8	180.60
0.200	1734.6	578.20	1426.4	475.47	776.9	258.97
0.300	2215.3	738.43	1780.2	593.40	993.8	331.27
0.400	2749.6	916.53	2009.3	669.77	1109.3	369.77
0.500	3462.3	1154.10	2339.3	779.77	1273.6	424.53
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	355.27	35.527%	1.584	578.20	38.547%	1.584
2	272.10	27.210%	1.521	475.47	31.698%	1.521
3	180.60	18.060%	1.437	258.97	17.264%	1.437





<b>DENSIDAD SECA MÁXIMA</b>	1.624 gr/cm <sup>3</sup>
-----------------------------	--------------------------

DSM	%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR
95%	1.543	30.00%	34.00%



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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA**

Fecha:	13-jun-19	Zona N°:	G6	Norma:	IEEE STD 81-1983
<b>COORDENADAS UTM</b>	<b>Zona</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Elevación (m)</b>	
	17 M	9859035	765311	2716	
N° ensayo	1	2	3		
Resistividad $\rho$ ( $\Omega/m$ )	579.2	598.7	590.6		
Resistividad Promedio $\rho$ ( $\Omega/m$ )	589.50				
Resistencia R ( $\Omega$ )	93.80				



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**DENSIDAD DE CAMPO**

Fecha:	13-jun-19	Zona:	G6	Norma:	AASHTO T 191 2014
<b>1. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
Nº RECIPIENTE		63		68	
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)		96.4		103.1	
PESO SECO + RECIPIENTE (gr)		92.3		99.7	
PESO DEL RECIPIENTE (gr)		31.1		30.8	
PESO AGUA (Ww) (gr)		4.1		3.4	
PESO DE LA MUESTRA SECA (Ws)		61.2		68.9	
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)		6.70%		4.93%	
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO				5.82%	
<b>2. DETERMINACIÓN DE LA MASA DEL SUELO EXTRAÍDO</b>					
PESO DEL SUELO + RECIPIENTE (gr)				842.6	
PESO DEL RECIPIENTE (gr)				5.0	
PESO DEL SUELO Wm (gr)				837.6	
<b>3. CALIBRACIÓN DEL CONO DE ARENA DE OTTAWA</b>					
PESO INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				6348	
PESO FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				6005	
PESO ARENA DEL CONO Wsand (gr)				343	
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )				209.44	
$\gamma_{sand} = W_{sand} / V_{sand}$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.638	
<b>4. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL HUECO EN EL SUELO</b>					
LECTURA INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				6259	
LECTURA FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				5068	
PESO ARENA EN EL HUECO Wsand (gr)				848	
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )				517.80	
<b>5. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO DEL SUELO</b>					
$\gamma_m = W_m / V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.618	
<b>6. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO</b>					
$\gamma_d = \gamma_m / (1+w)$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.529	
<b>7. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS</b>					
PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS S <sub>s</sub>				2.65	
VOLUMEN DE SÓLIDOS V <sub>s</sub> (cm <sup>3</sup> )				23.09	
VOLUMEN DE AGUA V <sub>w</sub> (cm <sup>3</sup> )				4.10	
VOLUMEN DE LA MUESTRA V <sub>m</sub> (cm <sup>3</sup> )				40.37	
VOLUMEN DE VACÍOS V <sub>v</sub> (cm <sup>3</sup> )				17.27	
$e = V_v / V_s$				0.75	
<b>8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$n\% = V_v / V_m * 100$				42.79%	
<b>8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$G_w\% = V_w / V_v * 100$				23.74%	
$G_a\% = (V_v - V_w) / V_v * 100$				76.26%	





TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA**

Fecha:	23-jul-19	Zona:	G6	Norma:	ASTM D-421-58 AASHTO T-87-70
Peso de la muestra:		250 gr			
# TAMIZ	TAMAÑO DE PARTÍCULAS (mm)	P. RETENIDO PARCIAL	P. RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
8	2.36	17.8	17.8	7.14%	92.86%
10	2	4.9	22.7	9.11%	90.89%
16	1.18	13.7	36.4	14.60%	85.40%
30	0.6	15.8	52.2	20.94%	79.06%
40	0.425	9.3	61.5	24.67%	75.33%
50	0.3	10.2	71.7	28.76%	71.24%
60	0.25	6.2	77.9	31.25%	68.75%
100	0.15	25.3	103.2	41.40%	58.60%
200	0.075	54	157.2	63.06%	36.94%
Pasa #200		92.1	92.1	36.94%	
TOTAL		249.3	249.3		

**RESULTADOS**

TNM	1.180	Cc:	5.48	Error permitido:	1.00%
D10	0.031			Error calculado:	0.28%
D30	0.060	Cu:	0.68	<b>ERROR PERMITIDO</b>	
D60	0.170				

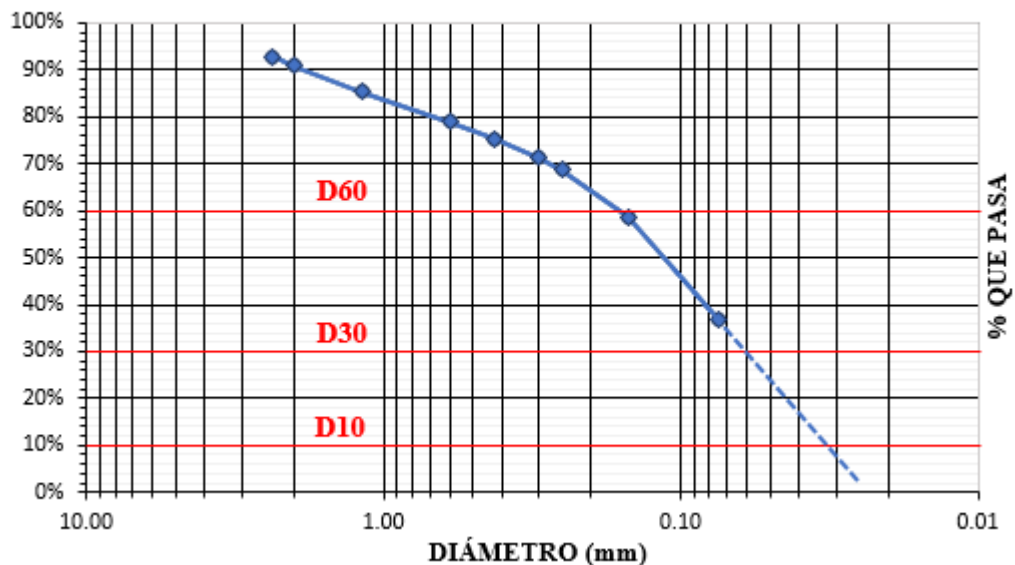
**PORCENTAJES DE MATERIAL**

	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (finos%)
SUCS	0	63%	37%
AASHTO	2%	61%	37%

**CLASIFICACIÓN DEL SUELO**

SUCS	SP - SM	Arena limosa pobremente graduada
AASHTO	A-2-4 (0)	Arena limosa de buena calidad

**CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA**





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA PARA SUELOS FINOS**

Fecha:	7-ago-19	Zona:	G6	Norma:	AASHTO T 100 2015
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO					
PESO DEL PICNÓMETRO	162.8	gr		Temperatura	P. Picnómetro +
TEMPERATURA DEL AGUA	24.0	°C		°C	Agua
PESO PICNÓMETRO + AGUA (W <sub>pt</sub> )	657.78	gr		36	655.7
PESO PICNÓMETRO + AGUA+SUELO (W <sub>pws</sub> )	687.9	gr		32	656.4
PESO RECIPIENTE	105.8	gr		28	657.6
PESO RECIPIENTE +MUESTRA SECA	155.1	gr		24	657.7
PESO MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	49.3	gr		20	658.0
GRAVEDAD ESPECÍFICA (G <sub>s</sub> )	2.570		16	658.3	



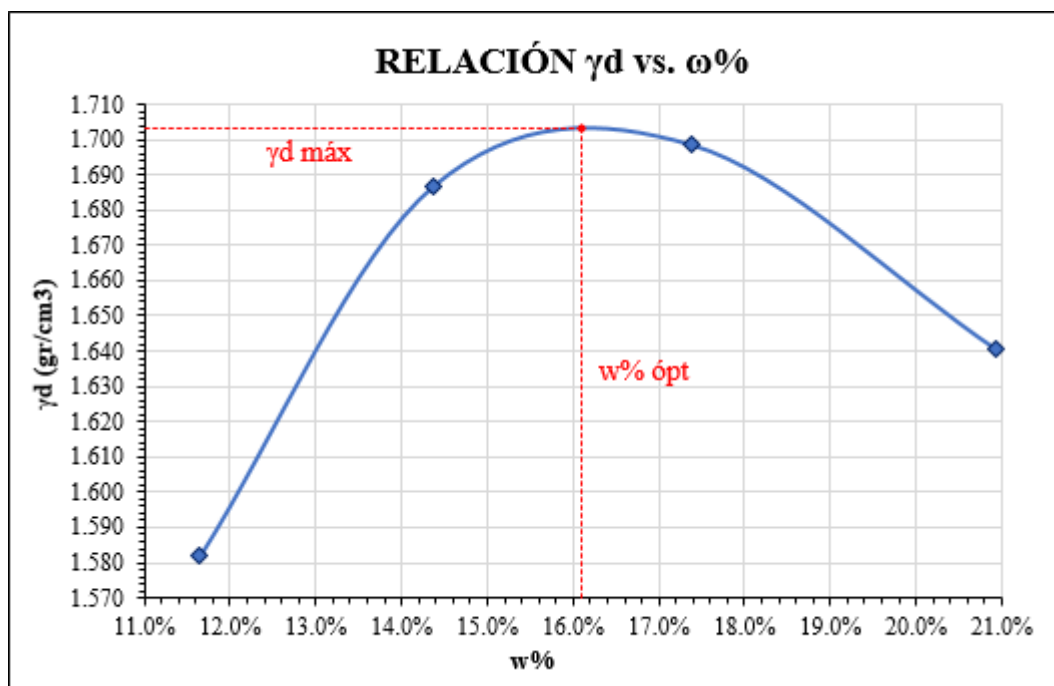
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



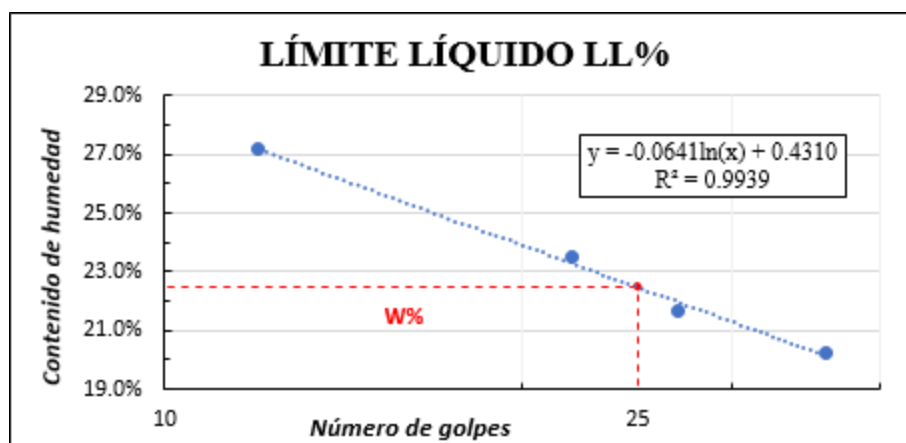
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"**

Fecha:	31-jul-19	Norma:	AASHTO T-180					
Zona:	G6		ASTM D-1557					
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
Nº de Golpes:	56	Nº de capas:	5	Peso martillo: 10 lb				
Altura de caída:	18' o 1.5ft	Volumen molde:	2208.94	cm <sup>3</sup>				
Peso molde:	14079 gr	Diámetro:	15	cm				
Energía de compactación:	55986 lb/ft <sup>3</sup>	Altura:	12.5	cm				
ENSAYO NÚMERO	1	2	3	4				
PESO INICIAL DESEADO (gr)	6000	6000	6000	6000				
HUMEDAD INICIAL AÑADIDA (%)	6	9	12	15				
P. MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)	17980	18341	18483	18461				
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	3901	4262	4404	4382				
PESO UNITARIO HÚMEDO $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.766	1.929	1.994	1.984				
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
# RECIPIENTE	7	8	9	10	I	J	K	L
R. + SUELO HÚMEDO	109.5	101.8	96.8	115.6	64.8	71.2	85.1	79.6
R. + SUELO SECO	101.9	94.9	89.1	105.7	56.5	62.3	71.8	67.7
PESO AGUA	7.6	6.9	7.7	9.9	8.3	8.9	13.3	11.9
PESO RECIPIENTE	36.3	36.0	36.1	36.1	9.9	9.8	9.3	9.9
PESO SUELO SECO	65.6	58.9	53	69.6	46.6	52.5	62.5	57.8
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega$ %	11.59%	11.71%	14.53%	14.22%	17.81%	16.95%	21.28%	20.59%
CONT. HUMEDAD PROM. $\omega$ %	11.65%		14.38%		17.38%		20.93%	
DENSIDAD SECA $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.582		1.687		1.698		1.640	
$\gamma_d$ MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.703							
$\omega$ % ÓPTIMO	16.10%							
GRADO DE COMPACTACIÓN (G <sub>c</sub> %)	90%							



		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
		<b>TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO</b>						
<b>ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE</b>								
Fecha: 25/ago/2019	Zona:	G6	Norma:	AASHTO T-90-70				
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
<b>Nº MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Nº RECIPIENTE	34	44	35	36	7A	77	12	16
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE ( $W_m+W_r$ )(gr)	14.9	15.3	16.8	16.9	16.8	17.4	17.5	17.5
PESO SECO + RECIPIENTE ( $W_s+W_r$ ) (gr)	13.0	13.4	14.6	15.0	14.9	15.6	15.9	15.7
PESO DEL RECIPIENTE $W_r$ (gr)	6.2	6.2	6.1	6.0	6.0	7.4	7.4	7.4
PESO AGUA ( $W_w$ ) (gr)	1.9	1.9	2.2	1.9	1.9	1.8	1.6	1.8
PESO DE LA MUESTRA SECA ( $W_s$ )	6.8	7.2	8.5	9.0	8.9	8.2	8.5	8.3
CONTENIDO DE HUMEDAD $W\%$	27.9%	26.4%	25.9%	21.1%	21.3%	22.0%	18.8%	21.7%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	27.17%		23.50%		21.65%		20.26%	
NÚMERO DE GOLPES	12		22		27		36	





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO**

Fecha: 14/ago/2019	Zona:	G6	Norma:	AASHTO T-90-70	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº MUESTRA	1	2	3	4	5
Nº RECIPIENTE	3	26	50	31	39
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE ( $W_m+W_r$ )(gr)	11.7	7.0	6.4	11.5	6.7
PESO SECO + RECIPIENTE ( $W_s+W_r$ ) (gr)	11.6	6.9	6.3	11.4	6.5
PESO DEL RECIPIENTE $W_r$ (gr)	10.6	6.1	5.9	10.7	5.9
PESO AGUA ( $W_w$ ) (gr)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
PESO DE LA MUESTRA SECA ( $W_s$ )	1.0	0.8	0.4	0.7	0.6
CONTENIDO DE HUMEDAD $W\%$	10.0%	12.5%	25.0%	14.3%	33.3%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	19.02%				
LÍMITE PLÁSTICO %	19.02%				



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

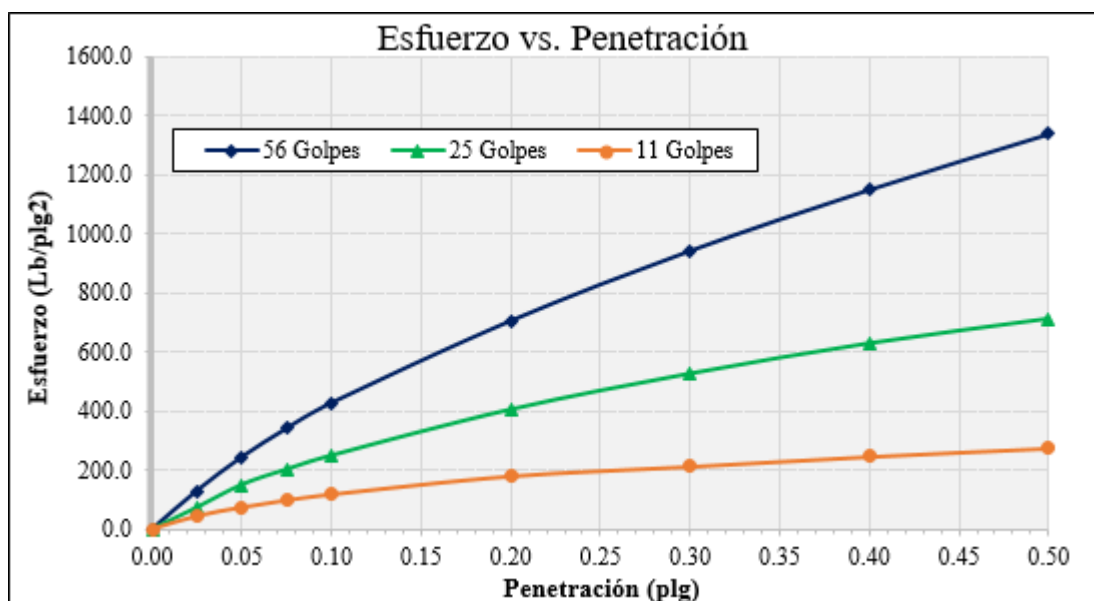


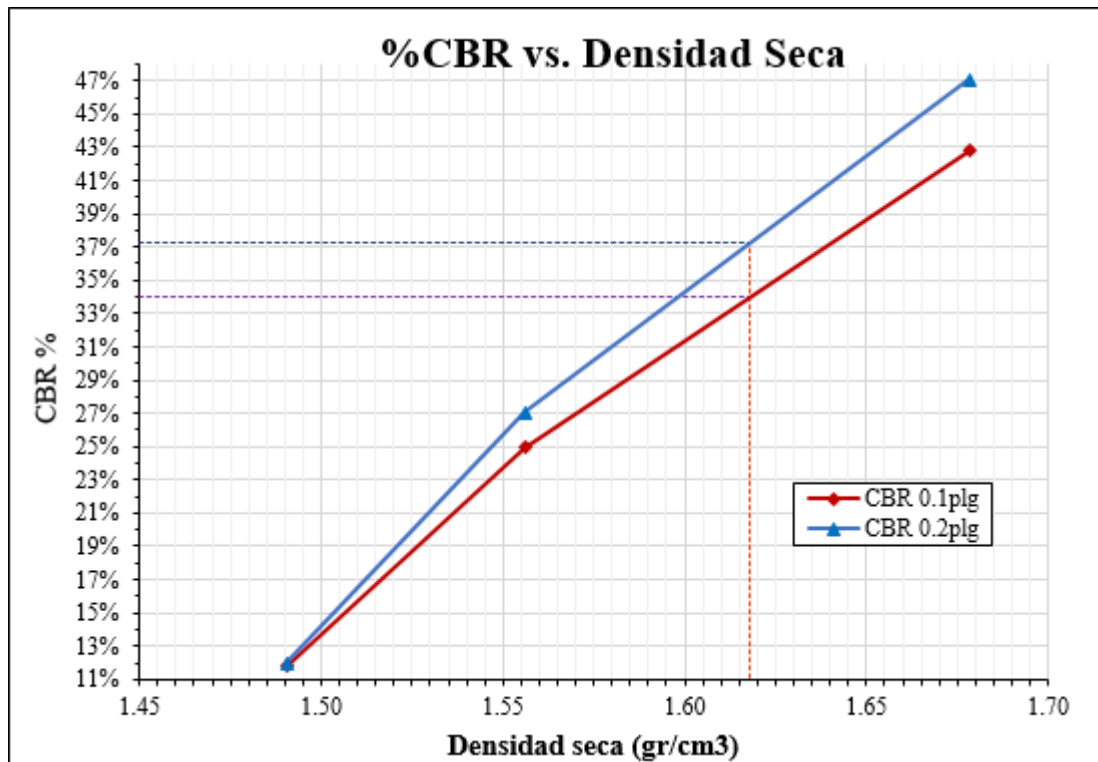
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO CBR DE LABORATORIO**

Fecha:	26-sep-19		Norma:		ASTM D-1883-73	
Zona:	G6				AASHTO T-193-63	
DATOS DE MOLDEO						
Nº MOLDE	1		2		3	
DIÁMETRO DEL MOLDE (cm)	15.1		15.1		15.1	
ALTURA DEL MOLDE (cm)	12.6		12.6		12.6	
Nº CAPAS	5		5		5	
Nº GOLPES POR CAPA	56		25		10	
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	14007		12535		11235	
MASA DEL MOLDE (gr)	9631		8389		7278	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4376		4146		3957	
VOLUMEN DE MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	2256.40		2256.40		2256.40	
PESO UNITARIO HÚMEDO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.939		1.837		1.754	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	58.7	59.9	68.0	56.9	55.9	68.7
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	52.0	53.3	59.3	49.5	49.1	59.7
MASA DEL AGUA (gr)	6.7	6.6	8.7	7.4	6.8	9.0
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	9.9	9.9	9.7	9.8	9.7	9.9
MASA DEL SUELO SECO (gr)	42.1	43.4	49.6	39.7	39.4	49.8
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega\%$	15.91%	15.21%	17.54%	18.64%	17.26%	18.07%
$\omega\%$ PROMEDIO	15.56%		18.09%		17.67%	
PESO UNITARIO SECO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.678		1.556		1.490	

DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	14187		12760		11519	
MASA MOLDE (gr)	9631		8389		7278	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4556		4371		4241	
MASA AGUA ABSORBIDA (gr)	180		225		284	
% AGUA ABSORBIDA	4.11%		5.43%		7.18%	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	49.4	46.9	59.4	54.8	52.3	57.2
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	41.6	41.5	49.7	46.4	43.4	47.8
MASA DEL AGUA (gr)	7.8	5.4	9.7	8.4	8.9	9.4
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	9.9	9.9	9.7	9.8	9.7	9.9
MASA DEL SUELO SECO (gr)	31.7	31.6	40	36.6	33.7	37.9
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega$ %	24.61%	17.09%	24.25%	22.95%	26.41%	24.80%
$\omega$ % PROMEDIO	20.85%		23.60%		25.61%	
ENSAYO						
Nº MOLDE	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	391.3	130.43	220.6	73.53	133.0	44.33
0.050	733.3	244.43	451.9	150.63	220.8	73.60
0.075	1023.8	341.27	607.3	202.43	293.6	97.87
0.100	1283.0	427.67	748.8	249.60	353.3	117.77
0.200	2118.8	706.27	1216.4	405.47	538.8	179.60
0.300	2829.4	943.13	1580.8	526.93	636.5	212.17
0.400	3450.0	1150.00	1889.3	629.77	738.3	246.10
0.500	4016.6	1338.87	2139.3	713.10	823.6	274.53
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	427.67	42.767%	1.678	706.27	47.084%	1.678
2	249.60	24.960%	1.556	405.47	27.031%	1.556
3	117.77	11.777%	1.490	179.60	11.973%	1.490





<b>DENSIDAD SECA MÁXIMA</b>	1.703 gr/cm <sup>3</sup>
-----------------------------	--------------------------

DSM		%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR
95%	1.618	34.00%	37.25%	37.25%



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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA**

Fecha:	9-jul-19	Zona N°:	G7	Norma:	IEEE STD 81-1983
<b>COORDENADAS UTM</b>	<b>Zona</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Elevación (m)</b>	
	17 M	9860324	764825	2715	
N° ensayo	1	2	3		
Resistividad $\rho$ ( $\Omega/m$ )	991.4	924.3	1045.0		
Resistividad Promedio $\rho$ ( $\Omega/m$ )	986.90				
Resistencia R ( $\Omega$ )	157.10				



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**DENSIDAD DE CAMPO**

Fecha:	9-jul-19	Zona:	G7	Norma:	AASHTO T 191 2014
<b>1. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
Nº RECIPIENTE	63	68			
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	85.7	98.6			
PESO SECO + RECIPIENTE (gr)	83.2	95.3			
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	31.2	30.8			
PESO AGUA (W <sub>w</sub> ) (gr)	2.5	3.3			
PESO DE LA MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	52	64.5			
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	4.81%	5.12%			
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	4.96%				
<b>2. DETERMINACIÓN DE LA MASA DEL SUELO EXTRAÍDO</b>					
PESO DEL SUELO + RECIPIENTE (gr)	646.4				
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	6.3				
PESO DEL SUELO W <sub>m</sub> (gr)	640.1				
<b>3. CALIBRACIÓN DEL CONO DE ARENA DE OTTAWA</b>					
PESO INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)	6348				
PESO FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)	6005				
PESO ARENA DEL CONO W <sub>sand</sub> (gr)	343				
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )	209.44				
$\gamma_{sand} = W_{sand} / V_{sand}$ (cm <sup>3</sup> )	1.638				
<b>4. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL HUECO EN EL SUELO</b>					
LECTURA INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)	6125.7				
LECTURA FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)	5053.8				
PESO ARENA EN EL HUECO W <sub>sand</sub> (gr)	728.9				
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )	445.08				
<b>5. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO DEL SUELO</b>					
$\gamma_m = W_m / V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.438				
<b>6. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO</b>					
$\gamma_d = \gamma_m / (1+w)$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.370				
<b>7. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS</b>					
PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS S <sub>s</sub>	2.65				
VOLUMEN DE SÓLIDOS V <sub>s</sub> (cm <sup>3</sup> )	19.62				
VOLUMEN DE AGUA V <sub>w</sub> (cm <sup>3</sup> )	2.50				
VOLUMEN DE LA MUESTRA V <sub>m</sub> (cm <sup>3</sup> )	37.90				
VOLUMEN DE VACÍOS V <sub>v</sub> (cm <sup>3</sup> )	18.27				
$e = V_v / V_s$	0.93				
<b>8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$n\% = V_v / V_m * 100$	48.22%				
<b>9. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$G_w\% = V_w / V_v * 100$	13.68%				
$G_a\% = (V_v - V_w) / V_v * 100$	86.32%				





TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA**

Fecha:	23-jul-19	Zona:	G7	Norma:	ASTM D-421-58 AASHTO T-87-70
Peso de la muestra:	250	gr			
# TAMIZ	TAMAÑO DE PARTÍCULAS (mm)	P. RETENIDO PARCIAL	P. RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
8	2.36	0	0	0.00%	100.00%
10	2	0	0	0.00%	100.00%
16	1.18	0.7	0.7	0.28%	99.72%
30	0.6	4.5	5.2	2.10%	97.90%
40	0.425	6.6	11.8	4.76%	95.24%
50	0.3	11.1	22.9	9.25%	90.75%
60	0.25	8.4	31.3	12.64%	87.36%
100	0.15	35.3	66.6	26.89%	73.11%
200	0.075	74.3	140.9	56.88%	43.12%
Pasa #200		106.8	106.8	43.12%	
TOTAL		247.7	247.7		

**RESULTADOS**

TNM	1.180	Cc:	4.76	Error permitido:	1.00%
D10	0.021			Error calculado:	0.92%
D30	0.040	Cu:	0.76	<b>ERROR PERMITIDO</b>	
D60	0.100				

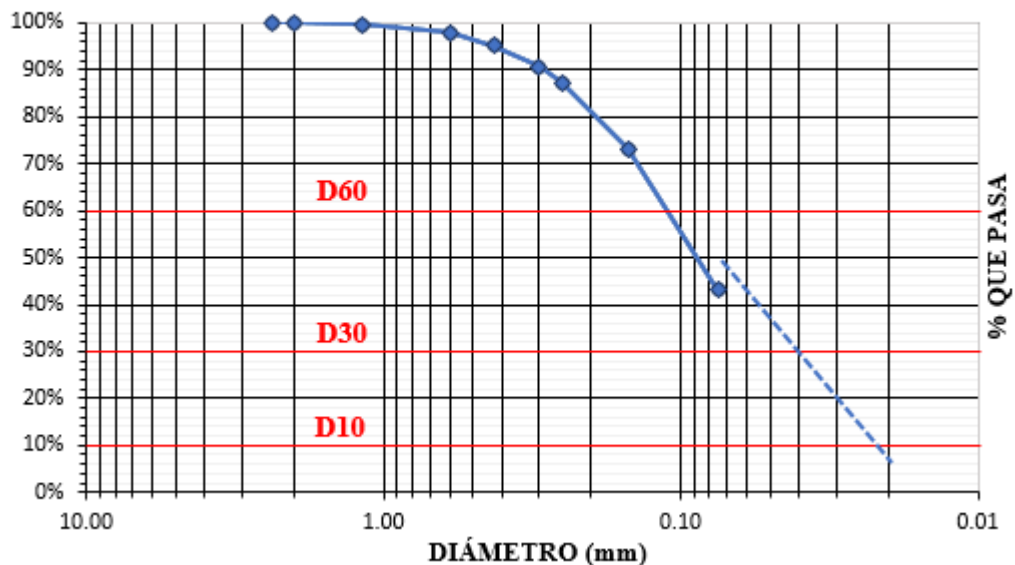
**PORCENTAJES DE MATERIAL**

	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (finos%)
SUCS	0	57%	43%
AASHTO	2%	55%	43%

**CLASIFICACIÓN DEL SUELO**

SUCS	SM	Arena limosa
AASHTO	A-2-4 (0)	Arena limosa de buena calidad

**CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA**





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA PARA SUELOS FINOS**

Fecha:	7-ago-19	Zona:	G7	Norma:	AASHTO T 100 2015
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO					
PESO DEL PICNÓMETRO	162.8	gr	°C	Temperatura	P. Picnómetro + Agua
TEMPERATURA DEL AGUA	23.5	°C		°C	
PESO PICNÓMETRO + AGUA (W <sub>pt</sub> )	657.82	gr		36	655.7
PESO PICNÓMETRO + AGUA+SUELO (W <sub>pws</sub> )	687.9	gr		32	656.4
PESO RECIPIENTE	83.5	gr		28	657.6
PESO RECIPIENTE +MUESTRA SECA	133.1	gr		24	657.7
PESO MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	49.6	gr		20	658.0
GRAVEDAD ESPECÍFICA (G <sub>s</sub> )	2.540		16	658.3	



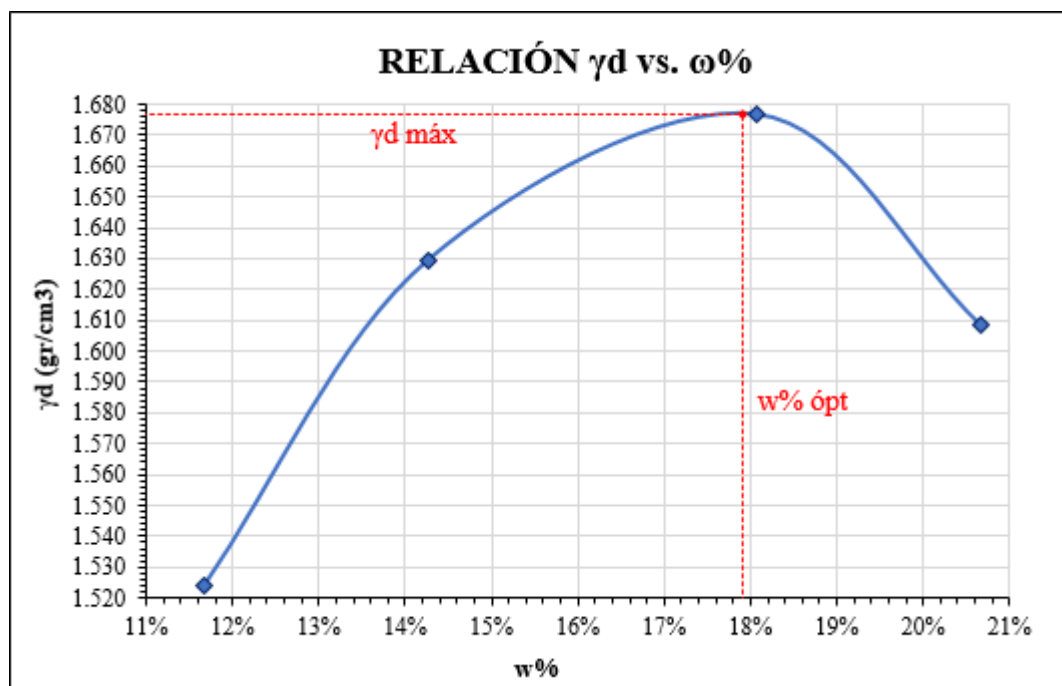
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



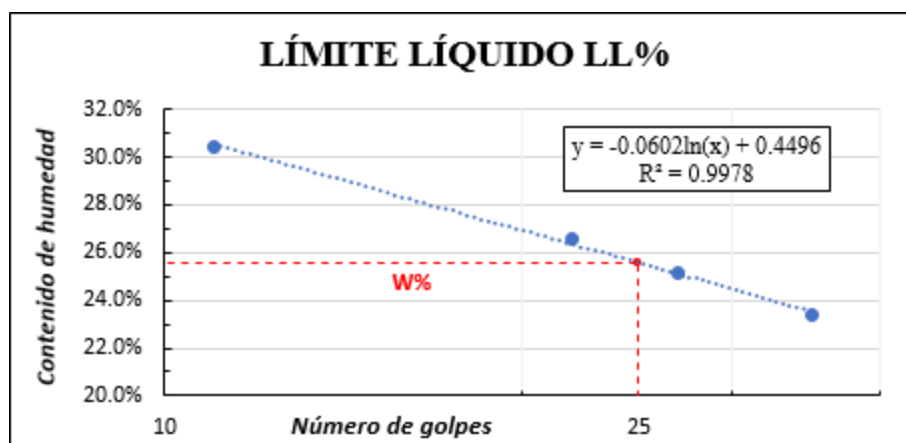
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO



**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"**



Fecha:	30-jul-19		Norma:	AASHTO T-180				
Zona:	G7			ASTM D-1557				
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
Nº de Golpes:	56		Nº de capas:	5	Peso martillo:	10 lb		
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Volumen molde:	2208.94	cm <sup>3</sup>			
Peso molde:	14079	gr	Diámetro:	15	cm			
Energía de compactación:	55986	lb/ft <sup>3</sup>	Altura:	12.5	cm			
ENSAYO NÚMERO	1		2	3	4			
PESO INICIAL DESEADO (gr)	6000		6000	6000	6000			
HUMEDAD INICIAL AÑADIDA (%)	6		9	12	15			
P. MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)	17838		18192	18452	18367			
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	3759		4113	4373	4288			
PESO UNITARIO HÚMEDO $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.702		1.862	1.980	1.941			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
# RECIPIENTE	23	24	25	26	27	28	15	16
R. + SUELO HÚMEDO	163.2	134.9	133.1	126.7	161.9	184.1	145.8	155.2
R. + SUELO SECO	150.5	125.8	121.9	116.6	144.1	162.6	126.8	135.0
PESO AGUA	12.7	9.1	11.2	10.1	17.8	21.5	19.0	20.2
PESO RECIPIENTE	44.8	45.4	44.6	44.7	44.6	44.8	36.0	36.0
PESO SUELO SECO	105.7	80.4	77.3	71.9	99.5	117.8	90.8	99
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega$ %	12.02%	11.32%	14.49%	14.05%	17.89%	18.25%	20.93%	20.40%
CONT. HUMEDAD PROM. $\omega$ %	11.67%		14.27%		18.07%		20.66%	
DENSIDAD SECA $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.524		1.629		1.677		1.609	
$\gamma_d$ MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )								1.677
$\omega$ % ÓPTIMO								17.90%
GRADO DE COMPACTACIÓN (G <sub>c</sub> %)								82%



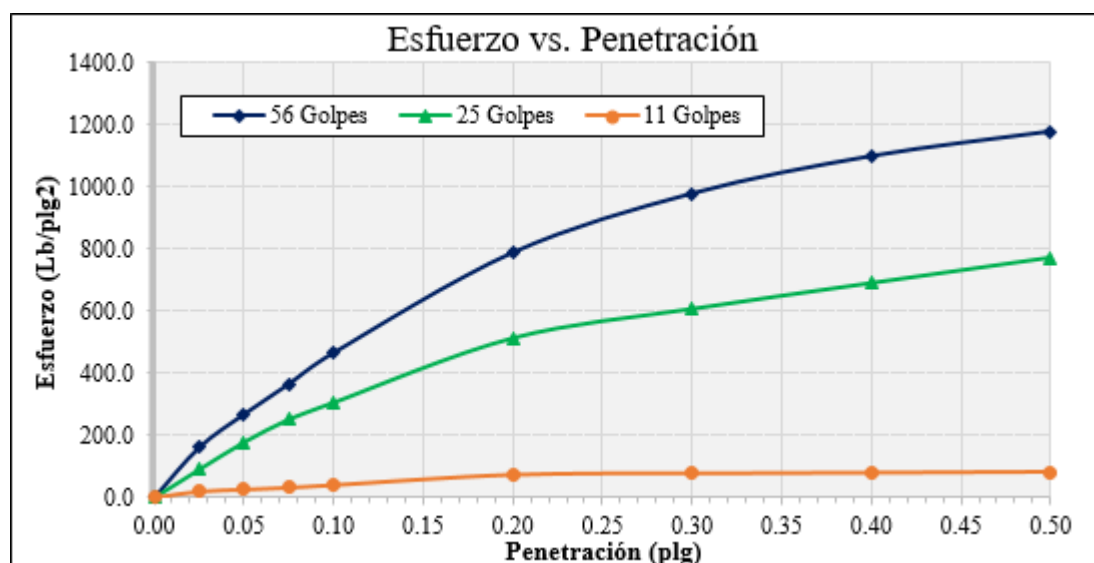
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
		<b>TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO</b>						
<b>ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE</b>								
Fecha: 26/ago/2019		Zona: G7		Norma:		AASHTO T-90-70		
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
<b>Nº MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Nº RECIPIENTE</b>	34	35	36	44	12	16	37	38
<b>PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W<sub>m</sub>+W<sub>r</sub>)(gr)</b>	15.3	15.0	16.4	15.8	17.8	17.4	18.3	15.9
<b>PESO SECO + RECIPIENTE (W<sub>s</sub>+W<sub>r</sub>) (gr)</b>	13.2	12.9	14.1	13.9	15.6	15.5	16.2	14.2
<b>PESO DEL RECIPIENTE W<sub>r</sub> (gr)</b>	6.2	6.1	6.0	6.2	7.4	7.4	7.4	6.8
<b>PESO AGUA (W<sub>w</sub>) (gr)</b>	2.1	2.1	2.3	1.9	2.2	1.9	2.1	1.7
<b>PESO DE LA MUESTRA SECA (W<sub>s</sub>)</b>	7.0	6.8	8.1	7.7	8.2	8.1	8.8	7.4
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD W%</b>	30.0%	30.9%	28.4%	24.7%	26.8%	23.5%	23.9%	23.0%
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %</b>	30.44%		26.54%		25.14%		23.42%	
<b>NÚMERO DE GOLPES</b>	11		22		27		35	

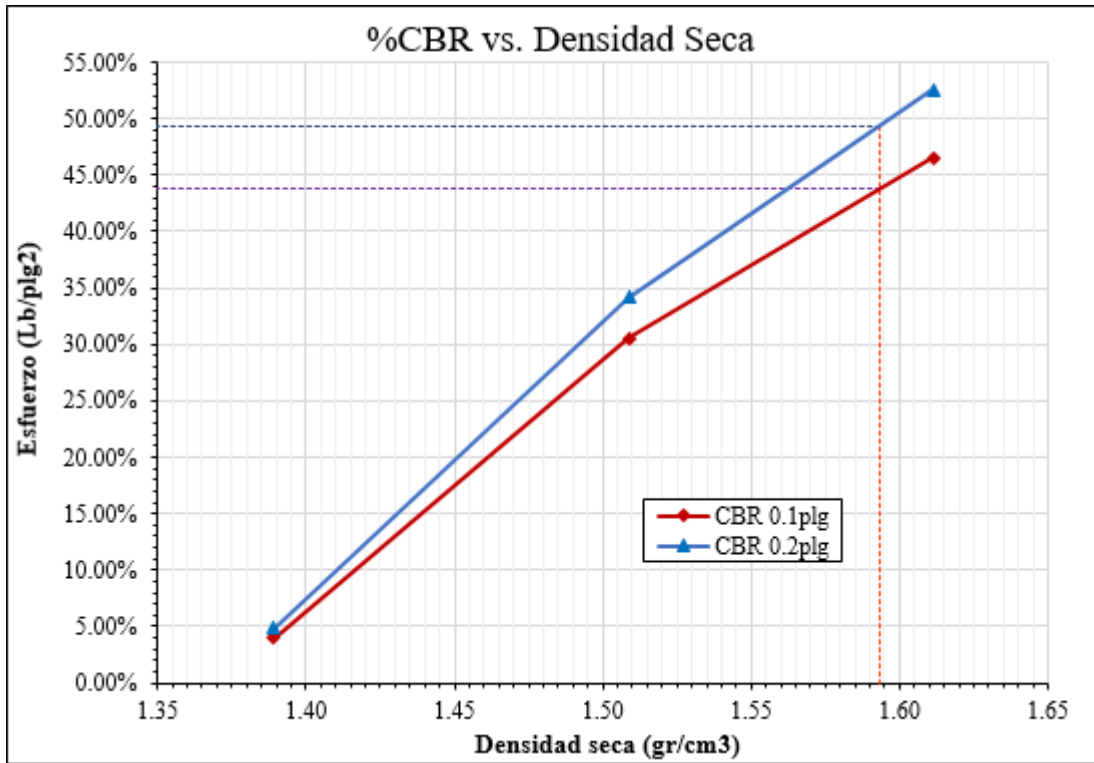


		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO						
<b>ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO</b>						
Fecha: 15/ago/2019		Zona:	G7	Norma:	AASHTO T-90-70	
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
Nº MUESTRA		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Nº RECIPIENTE		60	44	71	200	201
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W <sub>m</sub> +W <sub>r</sub> )(gr)		6.8	6.7	7.1	11.5	11.3
PESO SECO + RECIPIENTE (W <sub>s</sub> +W <sub>r</sub> ) (gr)		6.7	6.6	6.9	11.3	11.2
PESO DEL RECIPIENTE W <sub>r</sub> (gr)		6.1	6.0	6.2	10.7	10.7
PESO AGUA (W <sub>w</sub> ) (gr)		0.1	0.1	0.2	0.2	0.1
PESO DE LA MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )		0.6	0.6	0.7	0.6	0.5
CONTENIDO DE HUMEDAD W%		16.7%	16.7%	28.6%	33.3%	20.0%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %		23.05%				
LÍMITE PLÁSTICO %		<b>23.05%</b>				

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO							
<b>ENSAYO CBR DE LABORATORIO</b>							
Fecha:	18-sep-19	Norma:		ASTM D-1883-73			
Zona:	G7			AASHTO T-193-63			
<b>DATOS DE MOLDEO</b>							
Nº MOLDE		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>			
DIÁMETRO DEL MOLDE (cm)		15.1	15.1	15.1			
ALTURA DEL MOLDE (cm)		12.6	12.6	12.6			
Nº CAPAS		5	5	5			
Nº GOLPES POR CAPA		56	25	10			
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)		12563	10715	10640			
MASA DEL MOLDE (gr)		8294	6714	6966			
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)		4269	4001	3674			
VOLUMEN DE MUESTRA (cm <sup>3</sup> )		2256.40	2256.40	2256.40			
PESO UNITARIO HÚMEDO (gr/cm <sup>3</sup> )		1.892	1.773	1.628			
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE		A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)		57.2	59.0	51.6	55.8	49.8	52.2
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)		50.2	51.7	45.4	48.9	44.0	45.9
MASA DEL AGUA (gr)		7	7.3	6.2	6.9	5.8	6.3
MASA DEL RECIPIENTE (gr)		9.9	9.9	9.7	9.8	9.7	9.9
MASA DEL SUELO SECO (gr)		40.3	41.8	35.7	39.1	34.3	36
CONTENIDO DE HUMEDAD ω%		17.37%	17.46%	17.37%	17.65%	16.91%	17.50%
ω% PROMEDIO		17.42%		17.51%		17.20%	
PESO UNITARIO SECO (gr/cm <sup>3</sup> )		1.611		1.509		1.389	

DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	12679		10956		11003	
MASA MOLDE (gr)	8294		6714		6966	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4385		4242		4037	
MASA AGUA ABSORBIDA (gr)	116		241		363	
% AGUA ABSORBIDA	2.72%		6.02%		9.88%	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	51.3	52.8	58.1	47.4	60.9	55.6
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	43.3	44.4	48.3	40.1	49.1	45.9
MASA DEL AGUA (gr)	8.0	8.4	9.8	7.3	11.8	9.7
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	9.9	9.9	9.7	9.8	9.7	9.9
MASA DEL SUELO SECO (gr)	33.4	34.5	38.6	30.3	39.4	36
CONTENIDO DE HUMEDAD ω%	23.95%	24.35%	25.39%	24.09%	29.95%	26.94%
ω% PROMEDIO	24.15%		24.74%		28.45%	
ENSAYO						
Nº MOLDE	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	482.8	160.93	269.6	89.87	59.0	19.67
0.050	803.2	267.73	533.3	177.78	77.3	25.77
0.075	1095.3	365.10	753.9	251.30	95.4	31.80
0.100	1396.2	465.40	916.8	305.60	119.7	39.90
0.200	2363.3	787.77	1538.3	512.76	217.6	72.54
0.300	2932.5	977.50	1819.8	606.60	230.9	76.97
0.400	3293.0	1097.67	2068.6	689.53	237.5	79.17
0.500	3530.3	1176.77	2314.3	771.43	245.2	81.73
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.2 plg	Densidad seca
56 A	465.40	46.540%	1.611	787.77	52.518%	1.611
25 A	305.60	30.560%	1.509	512.76	34.184%	1.509
11 A	39.90	3.990%	1.389	72.54	4.836%	1.389





<b>DENSIDAD SECA MÁXIMA</b>	1.677 gr/cm <sup>3</sup>
-----------------------------	--------------------------

DSM		%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR
95%	1.593	49.25%	43.75%	49.25%



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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA**

Fecha:	13-jun-19	Zona N°:	G8	Norma:	IEEE STD 81-1983
<b>COORDENADAS UTM</b>	<b>Zona</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Elevación (m)</b>	
	17 M	9859035	765311	2716	
N° ensayo	1	2	3		
Resistividad $\rho$ ( $\Omega/m$ )	163.9	164.6	185.9		
Resistividad Promedio $\rho$ ( $\Omega/m$ )	171.47				
Resistencia R ( $\Omega$ )	27.30				



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**DENSIDAD DE CAMPO**

Fecha:	13-jun-19	Zona:	G8	Norma:	AASHTO T 191 2014
<b>1. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
Nº RECIPIENTE		65		50	
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)		133.3		124.3	
PESO SECO + RECIPIENTE (gr)		125.9		117.5	
PESO DEL RECIPIENTE (gr)		31.1		31.2	
PESO AGUA (W <sub>w</sub> ) (gr)		7.4		6.8	
PESO DE LA MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )		94.8		86.3	
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)		7.81%		7.88%	
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO				7.84%	
<b>2. DETERMINACIÓN DE LA MASA DEL SUELO EXTRAÍDO</b>					
PESO DEL SUELO + RECIPIENTE (gr)				1469.5	
PESO DEL RECIPIENTE (gr)				10.6	
PESO DEL SUELO W <sub>m</sub> (gr)				1458.9	
<b>3. CALIBRACIÓN DEL CONO DE ARENA DE OTTAWA</b>					
PESO INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				6217.4	
PESO FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				4725.4	
PESO ARENA DEL CONO W <sub>sand</sub> (gr)				1492	
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )				926.58	
$\gamma_{sand} = W_{sand} / V_{sand}$ (cm <sup>3</sup> )				1.610	
<b>4. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL HUECO EN EL SUELO</b>					
LECTURA INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				5682.6	
LECTURA FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				2674	
PESO ARENA EN EL HUECO W <sub>sand</sub> (gr)				1516.6	
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )				941.86	
<b>5. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO DEL SUELO</b>					
$\gamma_m = W_m / V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.549	
<b>6. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO</b>					
$\gamma_d = \gamma_m / (1+w)$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.436	
<b>7. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS</b>					
PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS S <sub>s</sub>				2.65	
VOLUMEN DE SÓLIDOS V <sub>s</sub> (cm <sup>3</sup> )				35.77	
VOLUMEN DE AGUA V <sub>w</sub> (cm <sup>3</sup> )				7.40	
VOLUMEN DE LA MUESTRA V <sub>m</sub> (cm <sup>3</sup> )				65.98	
VOLUMEN DE VACÍOS V <sub>v</sub> (cm <sup>3</sup> )				30.21	
$e = V_v / V_s$				0.84	
<b>8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$n\% = V_v / V_m * 100$				45.78%	
<b>9. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$G_w\% = V_w / V_v * 100$				24.50%	
$G_a\% = (V_v - V_w) / V_v * 100$				75.50%	





TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA**

Fecha:	23-jul-19	Zona:	G8	Norma:	ASTM D-421-58 AASHTO T-87-70
Peso de la muestra:	250	gr			
# TAMIZ	TAMAÑO DE PARTÍCULAS (mm)	P. RETENIDO PARCIAL	P. RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
8	2.36	7.2	7.2	2.90%	97.10%
10	2	2.1	9.3	3.75%	96.25%
16	1.18	8.6	17.9	7.22%	92.78%
30	0.6	9.8	27.7	11.17%	88.83%
40	0.425	7.8	35.5	14.32%	85.68%
50	0.3	12.2	47.7	19.24%	80.76%
60	0.25	7.3	55	22.19%	77.81%
100	0.15	39	94	37.92%	62.08%
200	0.075	82.9	176.9	71.36%	28.64%
Pasa #200		71	71	28.64%	
TOTAL		247.9	247.9		

**RESULTADOS**

TNM	1.180	Cc:	2.94	Error permitido:	1.00%
D10	0.051			Error calculado:	0.84%
D30	0.078	Cu:	0.80	<b>ERROR PERMITIDO</b>	
D60	0.150				

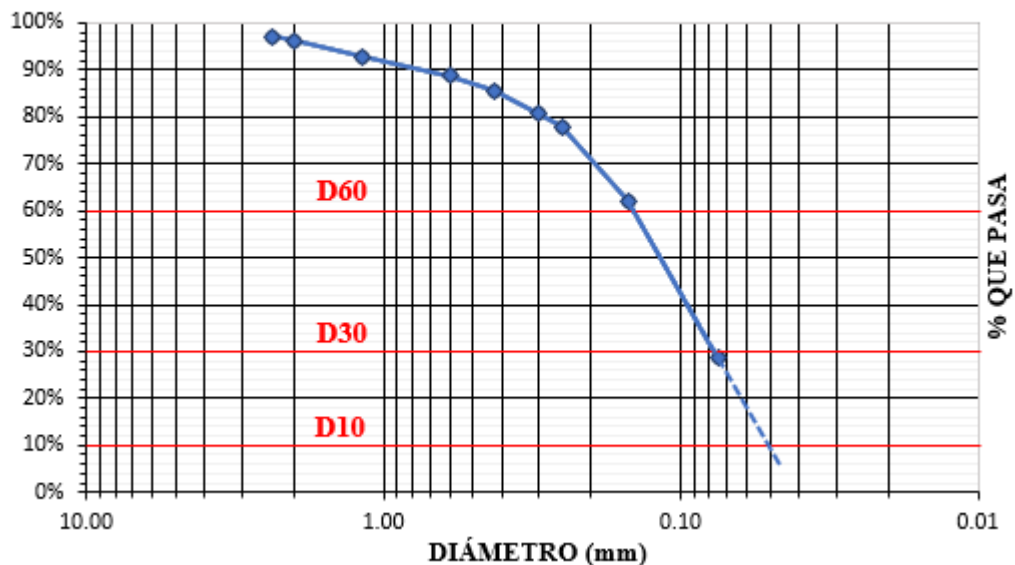
**PORCENTAJES DE MATERIAL**

	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (finos%)
SUCS	0	71%	29%
AASHTO	2%	69%	29%

**CLASIFICACIÓN DEL SUELO**

SUCS	SM	Arena limosa
AASHTO	A-2-4 (0)	Arena limosa de buena calidad

**CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA**





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA PARA SUELOS FINOS**

Fecha:	7-ago-19	Zona:	G8	Norma:	AASHTO T 100 2015
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO					
PESO DEL PICNÓMETRO	162.8	gr	°C	Temperatura	P. Picnómetro +
TEMPERATURA DEL AGUA	24.0			°C	Agua
PESO PICNÓMETRO + AGUA (W <sub>pt</sub> )	657.78	gr		36	655.7
PESO PICNÓMETRO + AGUA+SUELO (W <sub>pws</sub> )	688.0	gr		32	656.4
PESO RECIPIENTE	140.1	gr		28	657.6
PESO RECIPIENTE +MUESTRA SECA	188.6	gr		24	657.7
PESO MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	48.5	gr		20	658.0
GRAVEDAD ESPECÍFICA (G <sub>s</sub> )	2.653		16	658.3	



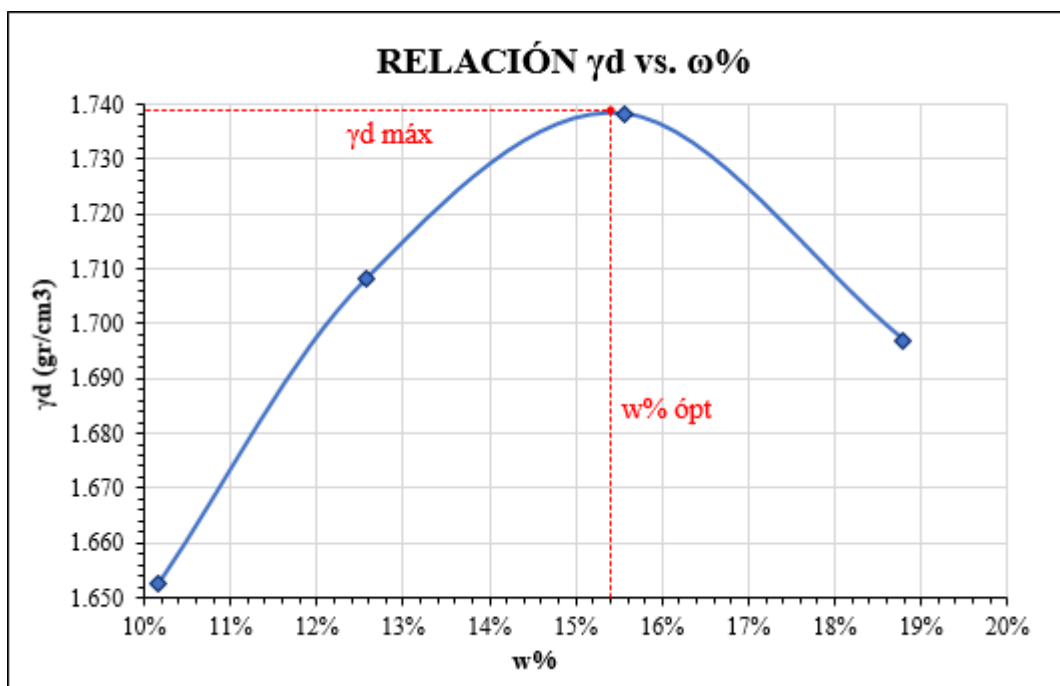
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL




TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO


**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"**

Fecha:	25-jul-19	Norma:	AASHTO T-180					
Zona:	G8		ASTM D-1557					
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
Nº de Golpes:	56	Nº de capas:	5	Peso martillo: 10 lb				
Altura de caída:	18' o 1.5ft	Volumen molde:	2208.94	cm <sup>3</sup>				
Peso molde:	14079 gr	Diámetro:	15	cm				
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft <sup>3</sup>	Altura:	12.5	cm				
ENSAYO NÚMERO	1	2	3	4				
PESO INICIAL DESEADO (gr)	6000	6000	6000	6000				
HUMEDAD INICIAL AÑADIDA (%)	9	12	15	18				
P. MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)	18101	18326	18516	18532				
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	4022	4247	4437	4453				
PESO UNITARIO HÚMEDO $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.821	1.923	2.009	2.016				
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
# RECIPIENTE	15	16	24	27	25	26	23	28
R. + SUELO HÚMEDO	125.5	101.0	126.5	150.0	179.9	158.9	221.3	217.2
R. + SUELO SECO	117.1	95.1	117.4	138.3	161.5	143.7	193.7	189.6
PESO AGUA	8.4	5.9	9.1	11.7	18.4	15.2	27.6	27.6
PESO RECIPIENTE	36.0	36.0	45.4	44.6	44.6	44.8	44.8	44.7
PESO SUELO SECO	81.1	59.1	72	93.7	116.9	98.9	148.9	144.9
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega$ %	10.36%	9.98%	12.64%	12.49%	15.74%	15.37%	18.54%	19.05%
CONT. HUMEDAD PROM. $\omega$ %	10.17%		12.56%		15.55%		18.79%	
DENSIDAD SECA $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.653		1.708		1.738		1.697	
$\gamma_d$ MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.739							
$\omega$ % ÓPTIMO	15.40%							
GRADO DE COMPACTACIÓN (G <sub>c</sub> %)	83%							





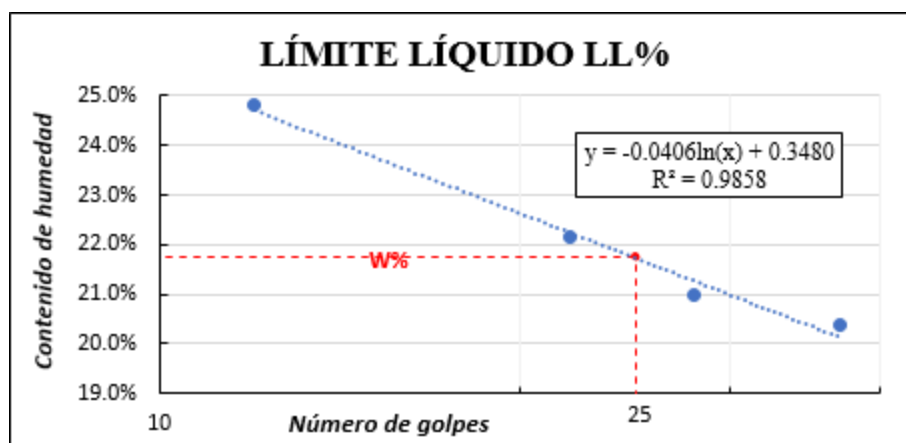
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO**

#### ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE

Fecha: 25/ago/2019	Zona: G8	Norma:	AASHTO T-90-70					
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD								
Nº MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
Nº RECIPIENTE	34	44	35	36	7A	77	12	16
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE ( $W_m+W_r$ )(gr)	14.1	14.4	15.4	14.9	15.7	17.3	17.5	17.4
PESO SECO + RECIPIENTE ( $W_s+W_r$ ) (gr)	12.5	12.8	13.6	13.4	14.0	15.6	15.9	15.6
PESO DEL RECIPIENTE $W_r$ (gr)	6.2	6.2	6.1	6.0	6.0	7.4	7.4	7.4
PESO AGUA ( $W_w$ ) (gr)	1.6	1.6	1.8	1.5	1.7	1.7	1.6	1.8
PESO DE LA MUESTRA SECA ( $W_s$ )	6.3	6.6	7.5	7.4	8.0	8.2	8.5	8.2
CONTENIDO DE HUMEDAD $W\%$	25.4%	24.2%	24.0%	20.3%	21.3%	20.7%	18.8%	22.0%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	24.82%		22.14%		20.99%		20.39%	
NÚMERO DE GOLPES	12		22		28		37	





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO**

Fecha: 14/ago/2019	Zona:	G8	Norma:	AASHTO T-90-70	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº MUESTRA	1	2	3	4	5
Nº RECIPIENTE	19	63	44	49	62
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W <sub>m</sub> +W <sub>r</sub> )(gr)	7.1	6.9	6.7	7.1	6.9
PESO SECO + RECIPIENTE (W <sub>s</sub> +W <sub>r</sub> ) (gr)	6.9	6.8	6.5	7.0	6.8
PESO DEL RECIPIENTE W <sub>r</sub> (gr)	6.0	6.1	6.0	6.1	6.0
PESO AGUA (W <sub>w</sub> ) (gr)	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
PESO DE LA MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	0.9	0.7	0.5	0.9	0.8
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	22.2%	14.3%	40.0%	11.1%	12.5%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	20.02%				
LÍMITE PLÁSTICO %	20.02%				



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

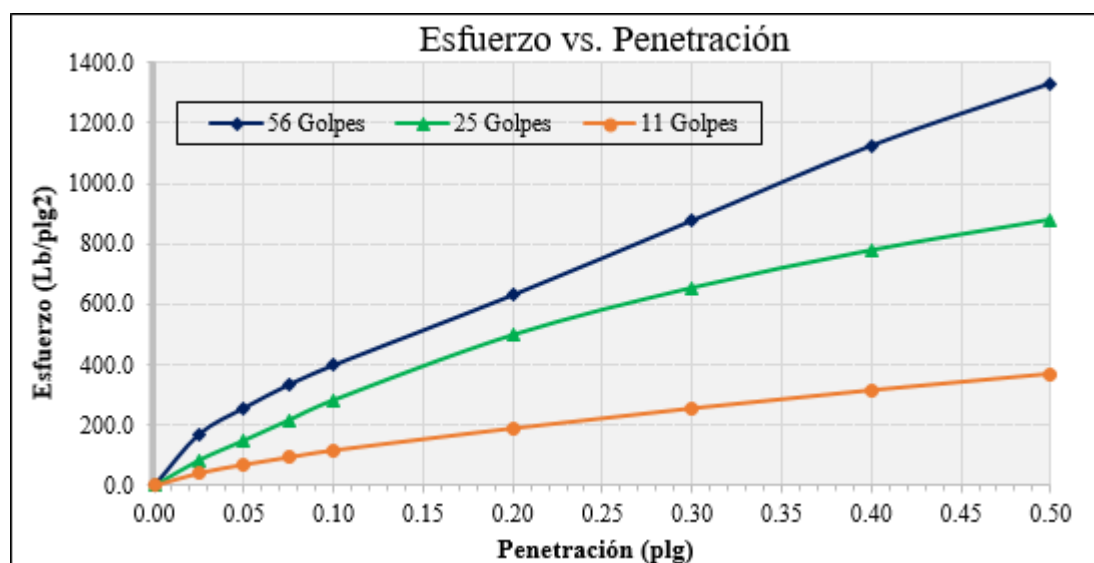


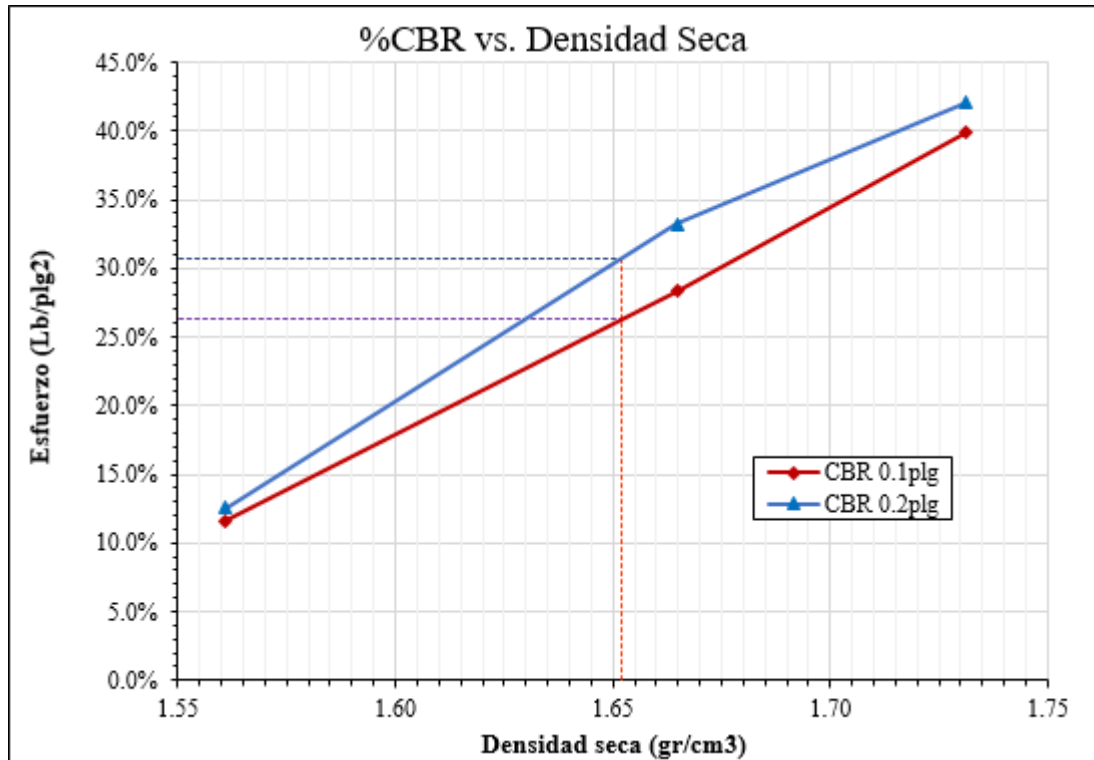
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO CBR DE LABORATORIO**

Fecha:	27-sep-19		Norma:		ASTM D-1883-73	
Zona:	G8				AASHTO T-193-63	
DATOS DE MOLDEO						
Nº MOLDE	1		2		3	
DIÁMETRO DEL MOLDE (cm)	15.1		15.1		15.1	
ALTURA DEL MOLDE (cm)	12.6		12.6		12.6	
Nº CAPAS	5		5		5	
Nº GOLPES POR CAPA	56		25		10	
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	14226		12788		11415	
MASA DEL MOLDE (gr)	9631		8389		7278	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4595		4399		4137	
VOLUMEN DE MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	2256.40		2256.40		2256.40	
PESO UNITARIO HÚMEDO (gr/cm <sup>3</sup> )	2.036		1.950		1.833	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	60.1	61.5	62.4	57.4	56.4	47.6
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	52.6	53.7	54.7	50.4	49.5	41.6
MASA DEL AGUA (gr)	7.5	7.8	7.7	7	6.9	6.0
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	9.7	9.9	9.9	9.3	9.9	7.3
MASA DEL SUELO SECO (gr)	42.9	43.8	44.8	41.1	39.6	34.3
CONTENIDO DE HUMEDAD ω%	17.48%	17.81%	17.19%	17.03%	17.42%	17.49%
ω% PROMEDIO	17.65%		17.11%		17.46%	
PESO UNITARIO SECO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.731		1.665		1.561	

DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	14239		12858		11587	
MASA MOLDE (gr)	9631		8389		7278	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4608		4469		4309	
MASA AGUA ABSORBIDA (gr)	13		70		172	
% AGUA ABSORBIDA	0.28%		1.59%		4.16%	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	71.2	80.0	77.4	73.7	95.4	98.5
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	63.8	72.2	67.8	66.2	81.9	85.3
MASA DEL AGUA (gr)	7.4	7.8	9.6	7.5	13.5	13.2
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	26.6	26.6	25.8	24.2	25.1	25.3
MASA DEL SUELO SECO (gr)	37.2	45.6	42	42	56.8	60
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega$ %	19.89%	17.11%	22.86%	17.86%	23.77%	22.00%
$\omega$ % PROMEDIO	18.50%		20.36%		22.88%	
ENSAYO						
Nº MOLDE	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	509.2	169.73	253.6	84.53	123.9	41.30
0.050	770.0	256.67	449.2	149.73	208.3	69.43
0.075	1000.0	333.33	650.0	216.67	279.9	93.30
0.100	1194.9	398.30	849.6	283.20	348.7	116.23
0.200	1890.9	630.30	1495.9	498.63	565.0	188.33
0.300	2630.0	876.67	1963.5	654.50	762.8	254.27
0.400	3373.0	1124.33	2336.6	778.87	940.6	313.53
0.500	3991.0	1330.33	2639.8	879.93	1103.0	367.67
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	398.30	39.830%	1.731	630.30	42.020%	1.731
2	283.20	28.320%	1.665	498.63	33.242%	1.665
3	116.23	11.623%	1.561	188.33	12.556%	1.561





<b>DENSIDAD SECA MÁXIMA</b>	1.739 gr/cm <sup>3</sup>
-----------------------------	--------------------------

DSM		%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR
95%	1.652	26.25%	30.65%	30.65%



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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA**

Fecha:	2-jul-19	Zona N°:	G9	Norma:	IEEE STD 81-1983
<b>COORDENADAS UTM</b>	<b>Zona</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Elevación (m)</b>	
	17 M	9860328	764978	2700	
N° ensayo	1	2	3		
Resistividad $\rho$ ( $\Omega/m$ )	82.9	89.8	89.2		
Resistividad Promedio $\rho$ ( $\Omega/m$ )	87.30				
Resistencia R ( $\Omega$ )	13.90				



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**DENSIDAD DE CAMPO**

Fecha:	2-jul-19	Zona:	G9	Norma:	AASHTO T 191 2014
<b>1. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
Nº RECIPIENTE	14		42		
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	90.8		87.5		
PESO SECO + RECIPIENTE (gr)	82.3		79.2		
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	26.6		24.8		
PESO AGUA (Ww) (gr)	8.5		8.3		
PESO DE LA MUESTRA SECA (Ws)	55.7		54.4		
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	15.26%		15.26%		
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	15.26%				
<b>2. DETERMINACIÓN DE LA MASA DEL SUELO EXTRAÍDO</b>					
PESO DEL SUELO + RECIPIENTE (gr)				824.6	
PESO DEL RECIPIENTE (gr)				8.6	
PESO DEL SUELO Wm (gr)				816	
<b>3. CALIBRACIÓN DEL CONO DE ARENA DE OTTAWA</b>					
PESO INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				6348	
PESO FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				6005	
PESO ARENA DEL CONO Wsand (gr)				343	
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )				209.44	
$\gamma_{sand} = W_{sand} / V_{sand}$ (cm <sup>3</sup> )				1.638	
<b>4. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL HUECO EN EL SUELO</b>					
LECTURA INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				7177	
LECTURA FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				6146	
PESO ARENA EN EL HUECO W <sub>sand</sub> (gr)				688	
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )				420.10	
<b>5. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO DEL SUELO</b>					
$\gamma_m = W_m / V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.942	
<b>6. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO</b>					
$\gamma_d = \gamma_m / (1+w)$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.685	
<b>7. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS</b>					
PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS S <sub>s</sub>				2.65	
VOLUMEN DE SÓLIDOS V <sub>s</sub> (cm <sup>3</sup> )				21.02	
VOLUMEN DE AGUA V <sub>w</sub> (cm <sup>3</sup> )				8.50	
VOLUMEN DE LA MUESTRA V <sub>m</sub> (cm <sup>3</sup> )				33.05	
VOLUMEN DE VACÍOS V <sub>v</sub> (cm <sup>3</sup> )				12.03	
$e = V_v / V_s$				0.57	
<b>8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$n\% = V_v / V_m * 100$				36.41%	
<b>8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$G_w\% = V_w / V_v * 100$				70.64%	
$G_a\% = (V_v - V_w) / V_v * 100$				29.36%	





TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA**

Fecha:	24-jul-19	Zona:	G9	Norma:	ASTM D-421-58 AASHTO T-87-70
Peso de la muestra:	250	gr			
# TAMIZ	TAMAÑO DE PARTÍCULAS (mm)	P. RETENIDO PARCIAL	P. RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
8	2.36	18.3	18.3	7.38%	92.62%
10	2	2.7	21	8.46%	91.54%
16	1.18	8.9	29.9	12.05%	87.95%
30	0.6	9.5	39.4	15.88%	84.12%
40	0.425	6.6	46	18.54%	81.46%
50	0.3	10.2	56.2	22.65%	77.35%
60	0.25	6	62.2	25.07%	74.93%
100	0.15	39.2	101.4	40.87%	59.13%
200	0.075	101.2	202.6	81.66%	18.34%
Pasa #200		45.5	45.5	18.34%	
TOTAL		248.1	248.1		

**RESULTADOS**

TNM	1.180	Cc:	2.91	Error permitido:	1.00%
D10	0.055			Error calculado:	0.76%
D30	0.091	Cu:	0.94	<b>ERROR PERMITIDO</b>	
D60	0.160				

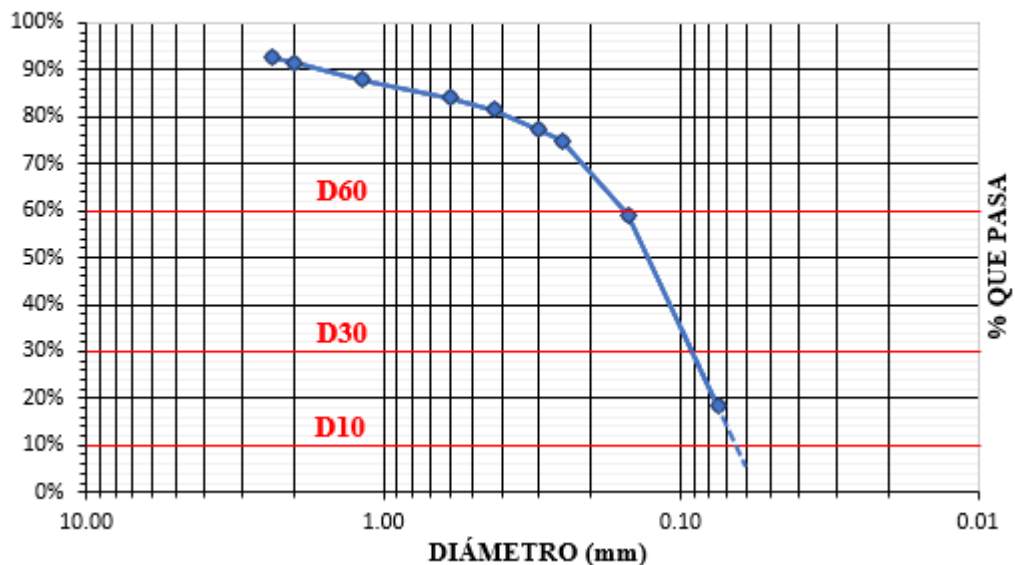
**PORCENTAJES DE MATERIAL**

	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (finos%)
SUCS	0	82%	18%
AASHTO	2%	80%	18%

**CLASIFICACIÓN DEL SUELO**

SUCS	SM	Arena limosa
AASHTO	A-2-4 (0)	Arena limosa de buena calidad

**CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA**





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA PARA SUELOS FINOS**

Fecha:	8-ago-19	Zona:	G9	Norma:	AASHTO T 100 2015
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO					
PESO DEL PICNÓMETRO	162.8	gr		Temperatura	P. Picnómetro +
TEMPERATURA DEL AGUA	23.0	°C		°C	Agua
PESO PICNÓMETRO + AGUA (W <sub>pt</sub> )	657.86	gr		36	655.7
PESO PICNÓMETRO + AGUA+SUELO (W <sub>pws</sub> )	688.0	gr		32	656.4
PESO RECIPIENTE	105.7	gr		28	657.6
PESO RECIPIENTE +MUESTRA SECA	155.0	gr		24	657.7
PESO MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	49.3	gr		20	658.0
GRAVEDAD ESPECÍFICA (G <sub>s</sub> )	2.573		16	658.3	



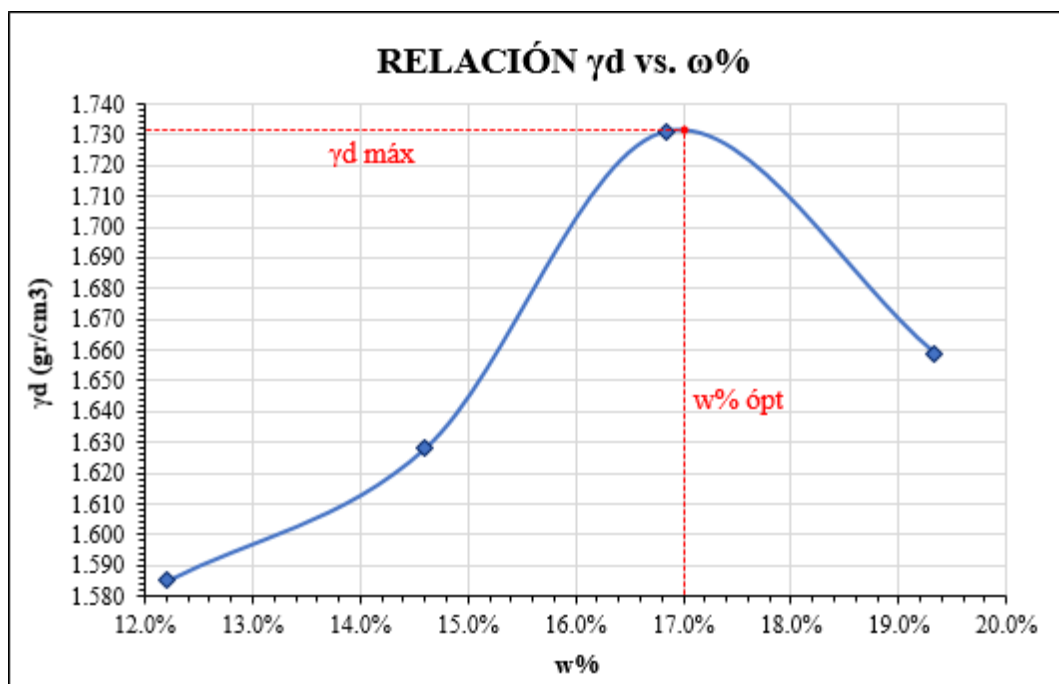
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL




TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO


**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"**

Fecha:	29-jul-19		Norma:	AASHTO T-180				
Zona:	G10			ASTM D-1557				
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
Nº de Golpes:	56		Nº de capas:	5	Peso martillo: 10 lb			
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Volumen molde:	2208.94	cm <sup>3</sup>			
Peso molde:	14079	gr	Diámetro:	15	cm			
Energía de compactación:	55986	lb/ft/ft <sup>3</sup>	Altura:	12.5	cm			
ENSAYO NÚMERO	1		2	3	4			
PESO INICIAL DESEADO (gr)	6000		6000	6000	6000			
HUMEDAD INICIAL AÑADIDA (%)	6		9	12	15			
P. MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)	18008		18200	18547	18452			
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	3929		4121	4468	4373			
PESO UNITARIO HÚMEDO $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.779		1.866	2.023	1.980			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
# RECIPIENTE	15	16	23	24	25	26	27	28
R. + SUELO HÚMEDO	122.5	112.3	151.6	174.3	168.6	164.1	183.2	165.9
R. + SUELO SECO	113.2	103.9	137.9	158.0	150.7	146.9	160.5	146.5
PESO AGUA	9.3	8.4	13.7	16.3	17.9	17.2	22.7	19.4
PESO RECIPIENTE	36.0	36.0	44.8	45.4	44.6	44.7	44.6	44.8
PESO SUELO SECO	77.2	67.9	93.1	112.6	106.1	102.2	115.9	101.7
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega$ %	12.05%	12.37%	14.72%	14.48%	16.87%	16.83%	19.59%	19.08%
CONT. HUMEDAD PROM. $\omega$ %	12.21%		14.60%		16.85%		19.33%	
DENSIDAD SECA $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.585		1.628		1.731		1.659	
$\gamma_d$ MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.732							
$\omega$ % ÓPTIMO	17.00%							
GRADO DE COMPACTACIÓN (G <sub>c</sub> %)	97%							





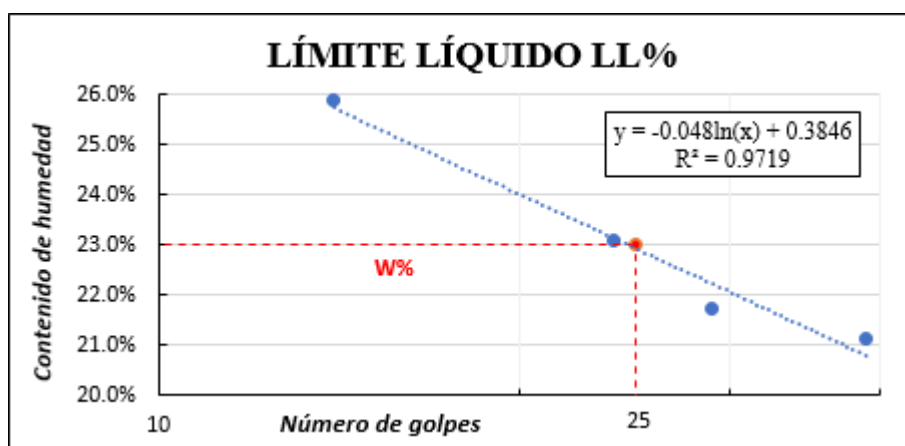
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO**

**ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE**

Fecha: 26/ago/2019	Zona:	G9	Norma:	AASHTO T-90-70				
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD								
Nº MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
Nº RECIPIENTE	12	16	36	44	34	35	37	38
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE ( $W_m+W_r$ )(gr)	15.8	16.5	14.6	14.1	14.8	14.3	18.2	17.8
PESO SECO + RECIPIENTE ( $W_s+W_r$ ) (gr)	14.1	14.6	12.9	12.7	13.1	13.0	16.5	15.7
PESO DEL RECIPIENTE $W_r$ (gr)	7.4	7.4	6.0	6.2	6.2	6.1	7.4	6.8
PESO AGUA ( $W_w$ ) (gr)	1.7	1.9	1.7	1.4	1.7	1.3	1.7	2.1
PESO DE LA MUESTRA SECA ( $W_s$ )	6.7	7.2	6.9	6.5	6.9	6.9	9.1	8.9
CONTENIDO DE HUMEDAD $W\%$	25.4%	26.4%	24.6%	21.5%	24.6%	18.8%	18.7%	23.6%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	25.88%		23.09%		21.74%		21.14%	
NÚMERO DE GOLPES	14		24		29		39	





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO**

Fecha: 15/ago/2019	Zona:	G9	Norma:	AASHTO T-90-70	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº MUESTRA	1	2	3	4	5
Nº RECIPIENTE	203	53	62	49	63
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE ( $W_m+W_r$ )(gr)	6.9	7.2	7.1	7.0	7.2
PESO SECO + RECIPIENTE ( $W_s+W_r$ ) (gr)	6.8	7.1	6.9	6.9	6.9
PESO DEL RECIPIENTE $W_r$ (gr)	6.2	6.2	6.0	6.1	6.1
PESO AGUA ( $W_w$ ) (gr)	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3
PESO DE LA MUESTRA SECA ( $W_s$ )	0.6	0.9	0.9	0.8	0.8
CONTENIDO DE HUMEDAD $W\%$	16.7%	11.1%	22.2%	12.5%	37.5%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	20.00%				
LÍMITE PLÁSTICO %	20.00%				



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

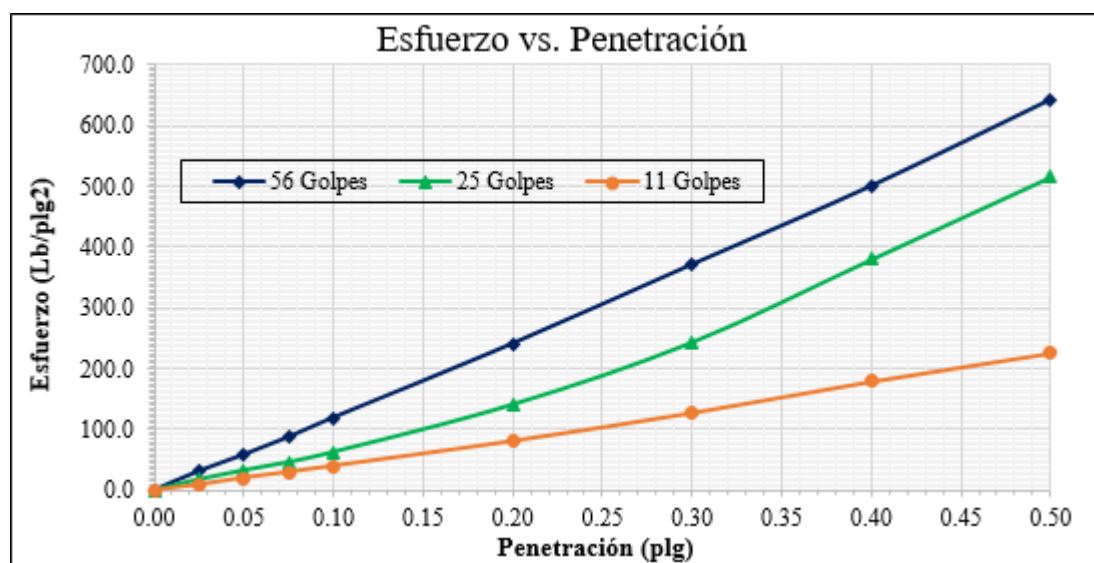


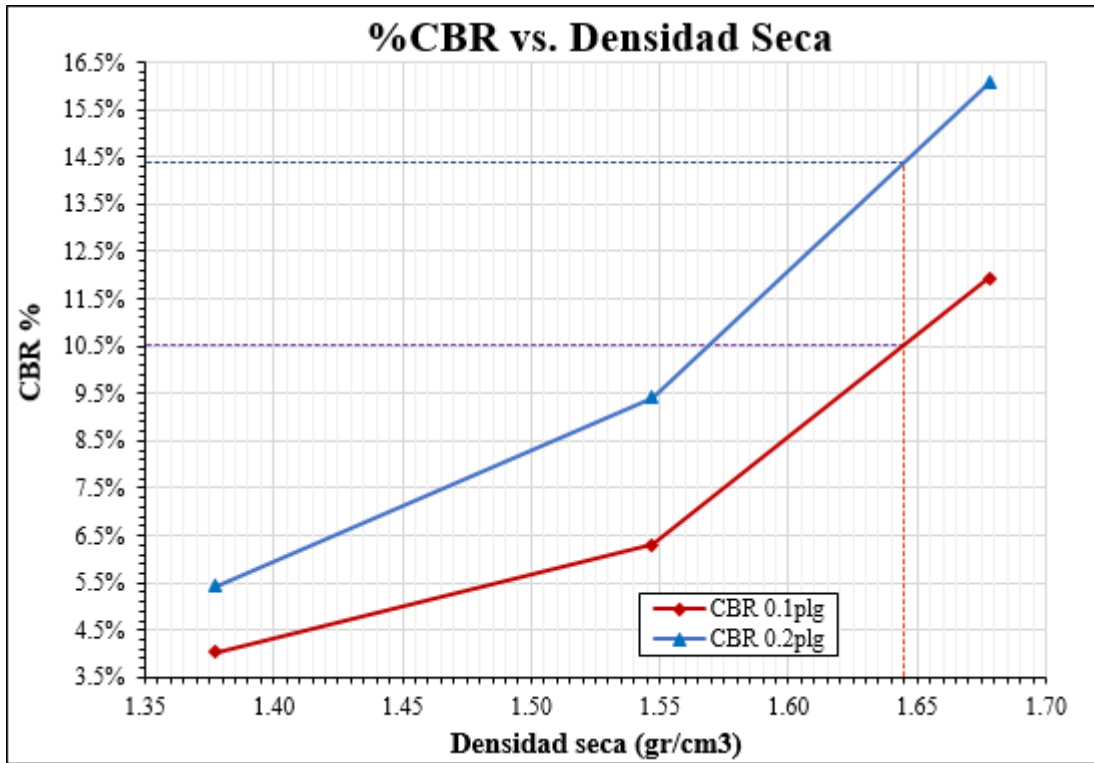
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO CBR DE LABORATORIO**

Fecha:	2-sep-19		Norma:		ASTM D-1883-73	
Zona:	G9				AASHTO T-193-63	
DATOS DE MOLDEO						
Nº MOLDE	1		2		3	
DIÁMETRO DEL MOLDE (cm)	15.1		15.1		15.1	
ALTURA DEL MOLDE (cm)	12.6		12.7		12.5	
Nº CAPAS	5		5		5	
Nº GOLPES POR CAPA	56		25		10	
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	12656		11808		11034	
MASA DEL MOLDE (gr)	8067		7586		7287	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4589.00		4222.00		3747.00	
VOLUMEN DE MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	2256.40		2256.40		2256.40	
PESO UNITARIO HÚMEDO (gr/cm <sup>3</sup> )	2.034		1.871		1.661	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	56.6	56.1	64.0	55.1	57.6	46.2
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	48.4	48	54.5	47.3	49.5	39.5
MASA DEL AGUA (gr)	8.2	8.1	9.5	7.8	8.1	6.7
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	9.6	9.9	9.3	10	9.7	7.3
MASA DEL SUELO SECO (gr)	38.8	38.1	45.2	37.3	39.8	32.2
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega\%$	21.13%	21.26%	21.02%	20.91%	20.35%	20.81%
$\omega\%$ PROMEDIO	21.20%		20.96%		20.58%	
PESO UNITARIO SECO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.678		1.547		1.377	

DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	12444		12093		11579	
MASA MOLDE (gr)	8067		7586		7287	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4377		4507		4292	
MASA AGUA ABSORBIDA (gr)	-212		285		545	
% AGUA ABSORBIDA	-4.62%		6.75%		14.54%	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	56.9	52.3	61.6	51.3	62.3	57.4
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	47.6	45	50.8	44.1	50.5	48.4
MASA DEL AGUA (gr)	9.3	7.3	10.8	7.2	11.8	9.0
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	9.9	9.9	9.7	9.8	9.7	9.9
MASA DEL SUELO SECO (gr)	37.7	35.1	41.1	34.3	40.8	38.5
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega$ %	24.67%	20.80%	26.28%	20.99%	28.92%	23.38%
$\omega$ % PROMEDIO	22.73%		23.63%		26.15%	
ENSAYO						
Nº MOLDE	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	94.0	31.33	53.2	17.73	28.0	9.33
0.050	175.0	58.33	98.3	32.77	62.0	20.67
0.075	262.3	87.43	138.6	46.20	91.0	30.33
0.100	358.0	119.33	188.8	62.93	121.3	40.43
0.200	723.3	241.10	423.6	141.20	244.8	81.60
0.300	1113.3	371.10	730.3	243.43	383.6	127.87
0.400	1500.3	500.10	1140.3	380.10	539.2	179.73
0.500	1926.6	642.20	1548.2	516.07	680.1	226.70
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	119.33	11.933%	1.678	241.10	16.073%	1.678
2	62.93	6.293%	1.547	141.20	9.413%	1.547
3	40.43	4.043%	1.377	81.60	5.440%	1.377





<b>DENSIDAD SECA MÁXIMA</b>	1.732 gr/cm <sup>3</sup>
-----------------------------	--------------------------

DSM		%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR
95%	1.645	10.52%	14.38%	14.38%



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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA**

Fecha:	9-jun-19	Zona N°:	G10	Norma:	IEEE STD 81-1983
<b>COORDENADAS UTM</b>	<b>Zona</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Elevación (m)</b>	
	17 M	9860324	764825	2715	
N° ensayo	1	2	3		
Resistividad $\rho$ ( $\Omega/m$ )	146.3	126.9	131.3		
Resistividad Promedio $\rho$ ( $\Omega/m$ )	134.83				
Resistencia R ( $\Omega$ )	21.50				



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**DENSIDAD DE CAMPO**

Fecha:	24-jun-19	Zona:	G10	Norma:	AASHTO T 191 2014
<b>1. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
Nº RECIPIENTE		34		12	
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)		127.9		137.5	
PESO SECO + RECIPIENTE (gr)		120		125.0	
PESO DEL RECIPIENTE (gr)		25.1		23.3	
PESO AGUA (W <sub>w</sub> ) (gr)		7.9		12.5	
PESO DE LA MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )		94.9		101.7	
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)		8.32%		12.29%	
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO				10.31%	
<b>2. DETERMINACIÓN DE LA MASA DEL SUELO EXTRAÍDO</b>					
PESO DEL SUELO + RECIPIENTE (gr)				3731.0	
PESO DEL RECIPIENTE (gr)				31.7	
PESO DEL SUELO W <sub>m</sub> (gr)				3699.3	
<b>3. CALIBRACIÓN DEL CONO DE ARENA DE OTTAWA</b>					
PESO INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				6217.4	
PESO FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				4725.4	
PESO ARENA DEL CONO W <sub>sand</sub> (gr)				1492	
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )				926.58	
$\gamma_{sand} = W_{sand} / V_{sand}$ (cm <sup>3</sup> )				1.610	
<b>4. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL HUECO EN EL SUELO</b>					
LECTURA INICIAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				5673.3	
LECTURA FINAL FRASCO + CONO + ARENA (gr)				1071.7	
PESO ARENA EN EL HUECO W <sub>sand</sub> (gr)				3109.6	
VOLUMEN V <sub>sand</sub> (cm <sup>3</sup> )				1931.16	
<b>5. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO DEL SUELO</b>					
$\gamma_m = W_m / V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.916	
<b>6. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO</b>					
$\gamma_d = \gamma_m / (1+w)$ (gr/cm <sup>3</sup> )				1.737	
<b>7. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS</b>					
PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS S <sub>s</sub>				2.65	
VOLUMEN DE SÓLIDOS V <sub>s</sub> (cm <sup>3</sup> )				35.81	
VOLUMEN DE AGUA V <sub>w</sub> (cm <sup>3</sup> )				7.90	
VOLUMEN DE LA MUESTRA V <sub>m</sub> (cm <sup>3</sup> )				53.67	
VOLUMEN DE VACÍOS V <sub>v</sub> (cm <sup>3</sup> )				17.85	
$e = V_v / V_s$				0.50	
<b>8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$n\% = V_v / V_m * 100$				33.27%	
<b>8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD</b>					
$G_w\% = V_w / V_v * 100$				44.25%	
$G_a\% = (V_v - V_w) / V_v * 100$				55.75%	





TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA**

Fecha:	23-jul-19	Zona:	G10	Norma:	ASTM D-421-58 AASHTO T-87-70
Peso de la muestra:	250	gr			
# TAMIZ	TAMAÑO DE PARTICULAS (mm)	P. RETENIDO PARCIAL	P. RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
8	2.36	5.4	5.4	2.17%	97.83%
10	2	1.6	7	2.81%	97.19%
16	1.18	9.2	16.2	6.50%	93.50%
30	0.6	26.6	42.8	17.18%	82.82%
40	0.425	28.2	71	28.50%	71.50%
50	0.3	34.6	105.6	42.39%	57.61%
60	0.25	13.5	119.1	47.81%	52.19%
100	0.15	39	158.1	63.47%	36.53%
200	0.075	37.2	195.3	78.40%	21.60%
Pasa #200		53.8	53.8	21.60%	
TOTAL		249.1	249.1		

**RESULTADOS**

TNM	1.180	Cc:	7.05	Error permitido:	1.00%
D10	0.044			Error calculado:	0.36%
D30	0.110	Cu:	0.89	<b>ERROR PERMITIDO</b>	
D60	0.310				

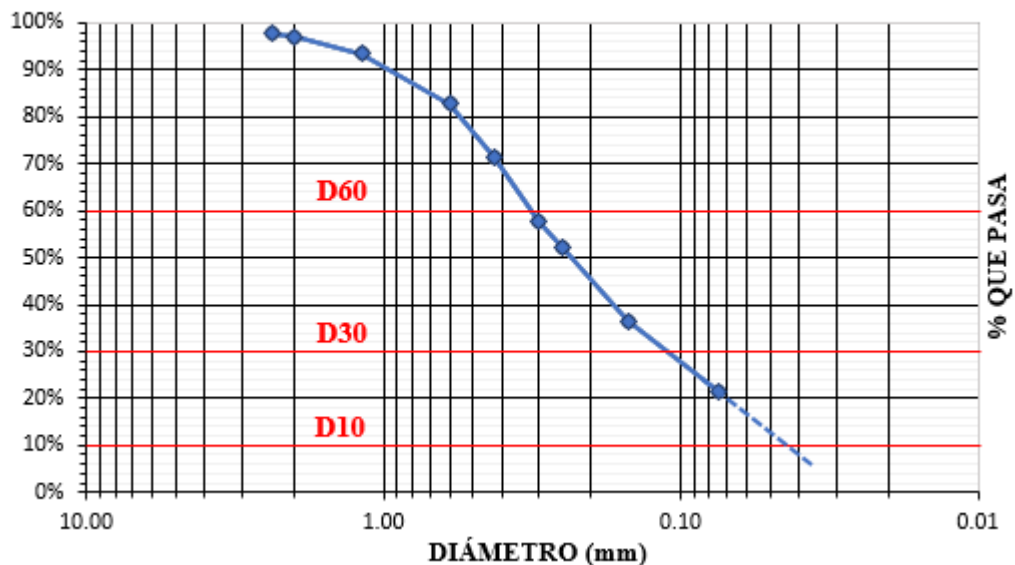
**PORCENTAJES DE MATERIAL**

	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (finos%)
SUCS	0	78%	22%
AASHTO	2%	76%	22%

**CLASIFICACIÓN DEL SUELO**

SUCS	SM	Arena limosa
AASHTO	A-4 (0)	Arena limosa de media calidad

**CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA**





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA PARA SUELOS FINOS**

Fecha:	30-jul-19	Zona:	G10	Norma:	AASHTO T 100 2015
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO					
PESO DEL PICNÓMETRO	162.8	gr		Temperatura	P. Picnómetro +
TEMPERATURA DEL AGUA	23.0	°C		°C	Agua
PESO PICNÓMETRO + AGUA (W <sub>pt</sub> )	657.86	gr		36	655.7
PESO PICNÓMETRO + AGUA+SUELO (W <sub>pws</sub> )	687.7	gr		32	656.4
PESO RECIPIENTE	86.7	gr		28	657.6
PESO RECIPIENTE +MUESTRA SECA	134.6	gr		24	657.7
PESO MUESTRA SECA (W <sub>s</sub> )	47.9	gr		20	658.0
GRAVEDAD ESPECÍFICA (G <sub>s</sub> )	2.652		16	658.3	



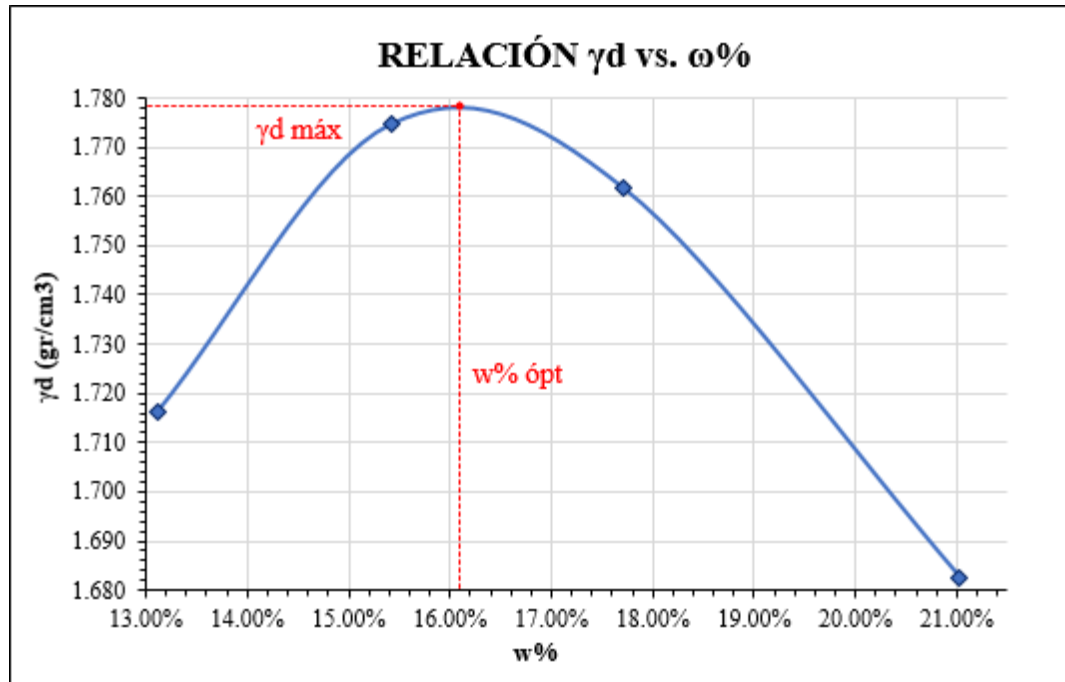
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL




TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO


**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"**

Fecha:	26-jul-19		Norma:	AASHTO T-180				
Zona:	G10			ASTM D-1557				
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
Nº de Golpes:	56		Nº de capas:	5	Peso martillo:	10 lb		
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Volumen molde:	2208.94	cm <sup>3</sup>			
Peso molde:	14079	gr	Diámetro:	15	cm			
Energía de compactación:	55986	lb/ft <sup>3</sup>	Altura:	12.5	cm			
ENSAYO NÚMERO	1		2	3	4			
PESO INICIAL DESEADO (gr)	6000		6000	6000	6000			
HUMEDAD INICIAL AÑADIDA (%)	6		9	12	15			
P. MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)	18367		18604	18660	18577			
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	4288		4525	4581	4498			
PESO UNITARIO HÚMEDO $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.941		2.048	2.074	2.036			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
# RECIPIENTE	15	16	27	28	26	25	23	24
R. + SUELO HÚMEDO	131.1	133.3	175.9	191.2	198.5	219.3	271.5	232.6
R. + SUELO SECO	119.8	122.3	158.4	171.6	175.1	193.3	232.1	200.1
PESO AGUA	11.3	11.0	17.5	19.6	23.4	26.0	39.4	32.5
PESO RECIPIENTE	36.0	36.0	44.6	44.8	44.7	44.6	44.8	45.4
PESO SUELO SECO	83.8	86.3	113.8	126.8	130.4	148.7	187.3	154.7
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega$ %	13.48%	12.75%	15.38%	15.46%	17.94%	17.48%	21.04%	21.01%
CONT. HUMEDAD PROM. $\omega$ %	13.12%		15.42%		17.71%		21.02%	
DENSIDAD SECA $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.716		1.775		1.762		1.683	
$\gamma_d$ MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )								1.778
$\omega$ % ÓPTIMO								16.10%
GRADO DE COMPACTACIÓN (G <sub>c</sub> %)								98%





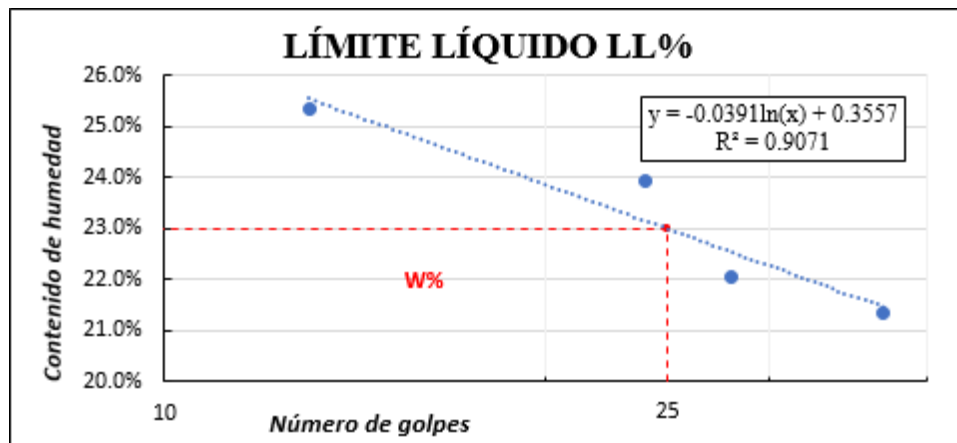
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO**

**ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE**

Fecha: 26/ago/2019	Zona: G10	Norma:	AASHTO T-90-70					
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD								
Nº MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
Nº RECIPIENTE	34	44	35	36	7A	77	12	16
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE ( $W_m+W_r$ )(gr)	15.2	15.0	14.8	14.9	15.5	17.5	17.3	17.4
PESO SECO + RECIPIENTE ( $W_s+W_r$ ) (gr)	13.4	13.2	13.2	13.1	13.5	16.0	15.7	15.5
PESO DEL RECIPIENTE $W_r$ (gr)	6.2	6.2	6.1	6.0	6.0	7.4	7.4	7.4
PESO AGUA ( $W_w$ ) (gr)	1.8	1.8	1.6	1.8	2.0	1.5	1.6	1.9
PESO DE LA MUESTRA SECA ( $W_s$ )	7.2	7.0	7.1	7.1	7.5	8.6	8.3	8.1
CONTENIDO DE HUMEDAD $W\%$	25.0%	25.7%	22.5%	25.4%	26.7%	17.4%	19.3%	23.5%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	25.36%		23.94%		22.05%		21.37%	
NÚMERO DE GOLPES	13		24		28		37	





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



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO**

Fecha: 15/ago/2019	Zona:	G10	Norma:	AASHTO T-90-70	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº MUESTRA	1	2	3	4	5
Nº RECIPIENTE	53	71	203	60	200
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE ( $W_m+W_r$ )(gr)	7.0	7.2	6.9	7.0	11.5
PESO SECO + RECIPIENTE ( $W_s+W_r$ ) (gr)	6.9	7.1	6.7	6.8	11.4
PESO DEL RECIPIENTE $W_r$ (gr)	6.2	6.2	6.2	6.1	10.7
PESO AGUA ( $W_w$ ) (gr)	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1
PESO DE LA MUESTRA SECA ( $W_s$ )	0.7	0.9	0.5	0.7	0.7
CONTENIDO DE HUMEDAD $W\%$	14.3%	11.1%	40.0%	28.6%	14.3%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	21.65%				
LÍMITE PLÁSTICO %	<b>21.65%</b>				



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

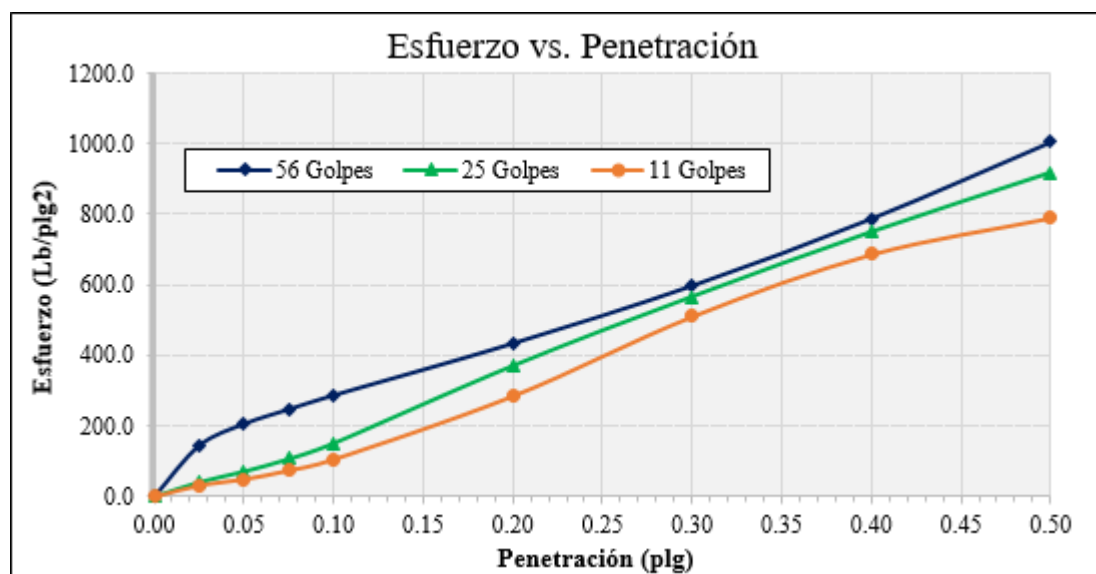


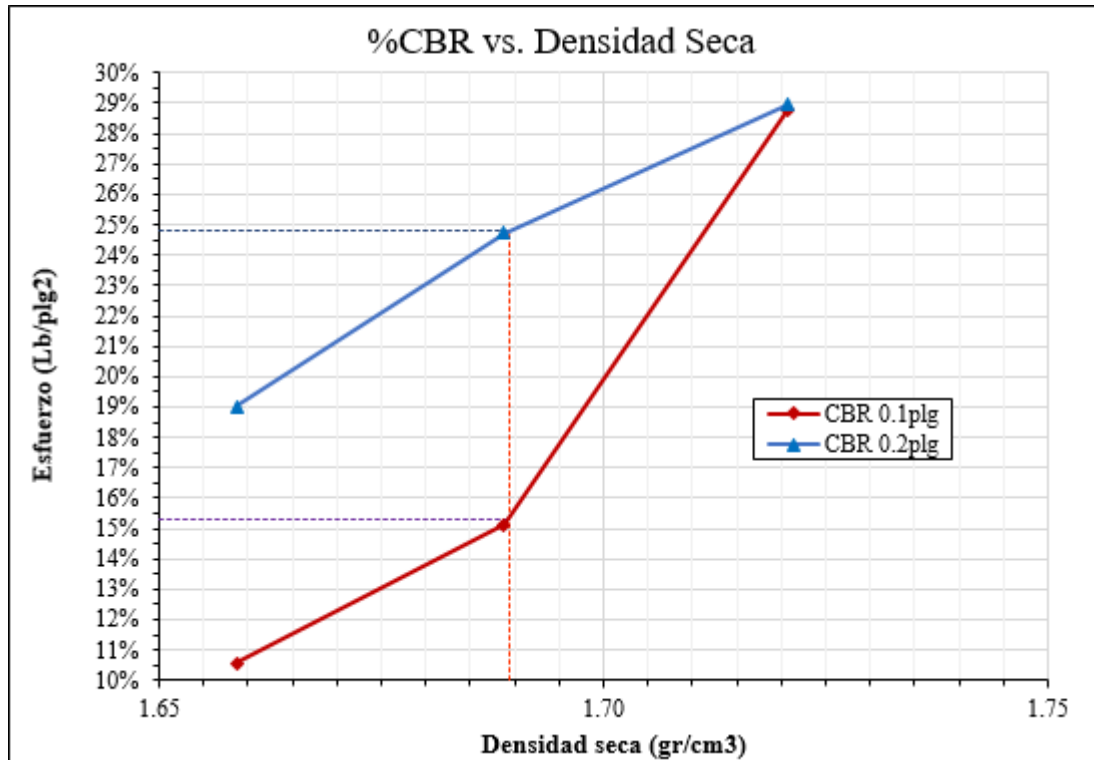
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE AMBATO

**ENSAYO CBR DE LABORATORIO**

Fecha:	26-ago-19		Norma:		ASTM D-1883-73	
Zona:	G10				AASHTO T-193-63	
DATOS DE MOLDEO						
Nº MOLDE	1		2		3	
DIÁMETRO DEL MOLDE (cm)	15.1		15.1		15.1	
ALTURA DEL MOLDE (cm)	12.7		12.6		12.5	
Nº CAPAS	5		5		5	
Nº GOLPES POR CAPA	56		25		10	
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	11306		11161		12728	
MASA DEL MOLDE (gr)	6725		6680		8297	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4581		4481		4431	
VOLUMEN DE MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	2274.30		2274.30		2274.30	
PESO UNITARIO HÚMEDO (gr/cm <sup>3</sup> )	2.014		1.970		1.948	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	49.2	58.6	53.7	52.8	44	44.8
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	43.1	51.1	47.2	46.3	38.8	39
MASA DEL AGUA (gr)	6.1	7.5	6.5	6.5	5.2	5.8
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	7.3	7.2	7.9	7.6	7.4	7.4
MASA DEL SUELO SECO (gr)	35.8	43.9	39.3	38.7	31.4	31.6
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega\%$	17.04%	17.08%	16.54%	16.80%	16.56%	18.35%
$\omega\%$ PROMEDIO	17.06%		16.67%		17.46%	
PESO UNITARIO SECO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.721		1.689		1.659	

DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
MUESTRA HÚMEDA + MOLDE (gr)	11325		11212		12799	
MASA MOLDE (gr)	6725		6680		8297	
MASA MUESTRA HÚMEDA (gr)	4600		4532		4502	
MASA AGUA ABSORBIDA (gr)	19		51		71	
% AGUA ABSORBIDA	0.41%		1.14%		1.60%	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
MASA SUELO HÚMEDO + RECIPIENTE (gr)	31.3	48.0	48.7	39.4	53.6	48.2
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (gr)	27.3	41.6	42	34.5	46.1	41.5
MASA DEL AGUA (gr)	4.0	6.4	6.7	4.9	7.5	6.7
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	7.3	7.2	7.9	7.6	7.4	7.4
MASA DEL SUELO SECO (gr)	20	34.4	34.1	26.9	38.7	34.1
CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega$ %	20.00%	18.60%	19.65%	18.22%	19.38%	19.65%
$\omega$ % PROMEDIO	19.30%		18.93%		19.51%	
ENSAYO						
Nº MOLDE	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	433.0	144.33	123.5	41.17	95.3	31.77
0.050	618.3	206.10	213.6	71.20	148.0	49.33
0.075	743.2	247.73	320.3	106.77	223.3	74.43
0.100	862.3	287.43	453.3	151.10	317.3	105.77
0.200	1303.3	434.43	1112.6	370.87	856.3	285.43
0.300	1793.3	597.77	1700.3	566.77	1533.2	511.07
0.400	2363.3	787.77	2250.2	750.07	2063.3	687.77
0.500	3013.3	1004.43	2753.9	917.97	2373.7	791.23
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	287.43	28.743%	1.721	434.43	28.962%	1.721
2	151.10	15.110%	1.689	370.87	24.724%	1.689
3	105.77	10.577%	1.659	285.43	19.029%	1.659





<b>DENSIDAD SECA MÁXIMA</b>	<b>1.778</b> gr/cm <sup>3</sup>
-----------------------------	---------------------------------

DSM		%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR
95%	1.689	15.30%	24.80%	24.80%