



**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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO”**

AUTOR: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

TUTOR: Ing. Favio Portilla

Ambato – Ecuador

2019

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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO, es de autoría del Sr. Esteban Wladimir Tenecota Paredes, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, diciembre del 2019



Ing. Favio Portilla

AUTORÍA

Yo, Esteban Wladimir Tenecota Paredes con C.I: 180461628-0, 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO, es de mi completa autoría.

Ambato, diciembre del 2019



Esteban Wladimir Tenecota Paredes

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, diciembre del 2019

Autor



Esteban Wladimir Tenecota Paredes


180461628-0

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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO”, del egresado Esteban Wladimir Tenecota Paredes, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, diciembre del 2019

Para constancia firman.



Ing. Andrés Hidalgo



Ing. Alex López

DEDICATORIA

A Dios principalmente, por siempre permanecer a mi lado en los momentos más difíciles y confortarme con su bendición para superar todas las pruebas que puso en mi camino.

A mis padres, Wladimir y Jenny, pilares fundamentales a lo largo de toda mi carrera estudiantil, ya que con el esfuerzo de ambos logré cumplir cada objetivo que me planteaba.

A mi hermana Evelyn, por darme sus palabras de aliento en los momentos adversos de la vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser testigo de mi esfuerzo y dedicación a lo largo de mi vida.

A mis padres, por educarme de la mejor manera para poder afrontar cada circunstancia con la mejor de las actitudes.

A mi familia, por siempre brindarme su apoyo y estar prestos en cualquier momento.

A esa persona que llegó a mi vida para compartir y vivir cada momento al máximo.

A mis amigos, por siempre estar en las buenas y en las malas, por todos los momentos geniales de risas que hemos compartido dentro y fuera de las aulas.

A la FICM, por haber permitido servir y representar a su comunidad mediante la Asociación de Estudiantes. Además de enseñarme el conocimiento necesario de ésta grandiosa profesión.

Al Ing. Mg. Favio Portilla, por brindarnos su asesoría, conocimiento y paciencia para poder desarrollar el presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA.....	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
Antecedentes Investigativos	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Justificación	2
1.1.3 Fundamentación Teórica.....	3
1.1.3.1 Conceptualización	3
1.1.3.2 Suelos Granulares	3
1.1.3.2.1 Importancia de los suelos granulares	5
1.1.3.2.2 Comportamiento de los suelos granulares	6
1.1.3.2.3 Diferencia entre los suelos cohesivos y granulares.....	7
1.1.3.3 Propiedades Índice	8
1.1.3.3.1 Peso específico o gravedad específica	8
1.1.3.3.2 Contenido de humedad.....	8
1.1.3.3.3 Relación de vacíos	9
1.1.3.3.4 Porosidad.....	10
1.1.3.3.5 Grado de saturación.....	10
1.1.3.3.6 Granulometría	10
1.1.3.3.7 Límites de Atterberg.....	11
1.1.3.3.8 Límite Líquido	12
1.1.3.3.9 Límite Plástico	12
1.1.3.3.10 Índice Plástico	12

1.1.3.3.11 Índice de Liquidez.....	13
1.1.3.3.12 Densidad de campo cono y arena.....	13
1.1.3.4 Clasificación de Suelos	14
1.1.3.4.1 Sistema de clasificación AASHTO	15
1.1.3.4.1 Sistema de clasificación SUCS	17
1.1.3.5 Propiedades Mecánicas	19
1.1.3.5.1 Introducción	19
1.1.3.5.2 Proctor modificado.....	19
1.1.3.5.3 Ensayo CBR.....	20
1.1.3.6 Análisis de Correlaciones.....	21
1.1.3.6.1 Introducción	21
1.1.3.6.2 Coeficiente de correlación.....	21
1.1.3.6.3 Correlación de Dos Variables	22
1.1.3.6.4 Criterio de Mínimos Cuadrados Lineal.....	22
1.1.3.6.5 Correlaciones de Variables Múltiples	23
1.1.3.6.6 Criterio de Mínimos Cuadrados con Variables Múltiples.....	23
1.1.3.6.7 Modelos Lineales	24
1.1.3.5.8 Modelos No Lineales	24
1.1.3.7 Exploración Geofísica.....	26
1.1.3.7.1 Introducción	26
1.1.3.7.2 Prospección Geofísica.....	26
1.1.3.7.2.1 Método Sísmico	26
1.1.3.7.2.2 Método Magnético	27
1.1.3.7.2.3 Método Radiométrico.....	28
1.1.3.7.2.4 Método Eléctrico.....	29
1.1.3.8 Fundamentos Eléctricos	30
1.1.3.8.1 Carga Eléctrica	30
1.1.3.8.2 Campo Eléctrico.....	30
1.1.3.8.3 Voltaje.....	31
1.1.3.8.4 Corriente.....	31
1.1.3.8.5 Ley de Ohm.....	31
1.1.3.9 Método de Resistividad Eléctrica.....	32
1.1.3.9.1 Generalidades.....	32

1.1.3.9.2 Método Cuatro Electrodo	33
1.1.3.9.3 Procedimiento de medición	34
1.1.3.9.4 Metodología de medición para casos especiales	35
1.1.3.9.4.1 Medida de resistividad sobre pavimentos o concreto	35
1.1.3.9.4.2 Medida de resistividad mediante muestras de suelo	35
1.1.3.9.5 Factores que influyen en la resistividad de los suelos	36
1.1.4 Hipótesis	38
1.2 Objetivos	38
1.2.1 Objetivo General	38
1.2.2 Objetivos Específicos	38
CAPÍTULO II	39
2.1 Nivel o Tipo de Investigación	39
2.1.1 Investigación Exploratoria	39
2.1.2 Investigación Explicativa	39
2.1.3 Investigación Descriptiva	39
2.1.4 Investigación de Campo	39
2.1.5 Investigación Experimental	39
2.1.6 Población	40
2.1.7 Muestra	41
2.2 Materiales y Equipos	42
2.3 Métodos	44
2.3.1 Plan de Recolección de datos	44
2.3.1.1 Ensayos de campo	45
2.3.1.1.1 Resistividad Eléctrica	45
2.3.1.1.2 Pozos a cielo abierto	48
2.3.1.1.3 Densidad de Campo (Método Cono-Arena de Ottawa)	48
2.3.1.2 Ensayos de Laboratorio	49
2.3.1.2.1 Granulometría	49
2.3.1.2.2 Gravedad Específica	49
2.3.1.2.3 Límite Líquido	50
2.3.1.2.4 Límite Plástico	50
2.3.1.2.5 Compactación (Proctor Modificado)	51
2.3.1.2.6 Resistencia al corte C.B.R.	51

2.3.2 Plan de procesamiento y Análisis de Información.....	52
CAPÍTULO III	57
3.1 Análisis y discusión de los resultados	57
3.1.1 Clasificación de Suelos	57
3.1.2 Determinación de Propiedades Físicas	60
3.1.3 Resistividad Eléctrica en el Campo	62
3.1.3.1 Nomenclatura	63
3.1.3.2 Tabla resumen de los ensayos en campo y en laboratorio	64
3.1.4 Correlaciones	65
3.2 Verificación de hipótesis	97
CAPÍTULO IV	99
4.1 Conclusiones	99
4.2 Recomendaciones	101
MATERIAL DE REFERENCIA	102
Referencias Bibliográficas.....	102
Anexos.....	107
Anexo 1. Zonas de trabajo del sector urbano de la ciudad de Ambato.....	107
Anexo 2. Puntos de la zona 2 ubicados mediante Google Maps	108
Anexo 3. Ensayos de los 10 puntos de la zona 2 de Ambato	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rango tamaño de partículas de suelo.....	4
Tabla 2. Valores de la gravedad específica.....	8
Tabla 3. Clasificación de suelos en el sistema AASHTO.....	15
Tabla 4. Clasificación de suelos SUCS.....	17
Tabla 5. Métodos de Ensayo Proctor	19
Tabla 6. Resistividad en función del terreno.....	32
Tabla 7. Descripción del suelo Mc2.....	40
Tabla 8. Muestreo.....	41
Tabla 9. Equipos y Materiales.....	42
Tabla 10. Plan de recolección de datos	44
Tabla 11. Formato hoja de cálculo lineal múltiple.....	52
Tabla 12. Sistema de ecuaciones lineal múltiple	53
Tabla 13. Formato hoja de cálculo logarítmica múltiple	53
Tabla 14. Sistema de ecuaciones logarítmicas múltiple	54
Tabla 15. Formato hoja de cálculo potencial múltiple.....	54
Tabla 16. Sistema de ecuaciones potencial múltiple.....	55
Tabla 17. Formato hoja de cálculo exponencial múltiple	55
Tabla 18. Sistema de ecuaciones exponencial múltiple	56
Tabla 19. Clasificación de tipos de suelos zona 2.....	57
Tabla 20. Límites de Atterberg de suelos zona 2	59
Tabla 21. Datos ensayos SPT.....	61
Tabla 22. Nomenclatura utilizada en los procedimientos	63
Tabla 23. Resultados ensayos en campo y laboratorio	64
Tabla 24. Correlaciones de los ensayos	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relaciones Volumétricas	9
Figura 2. Carta de Plasticidad	18
Figura 3. Detalle de clasificación en la zona de $LL < 30$ y el $IP < 10$	18
Figura 4. Mecanismo Ensayo CBR	20
Figura 5. Función Lineal	24
Figura 6. Función Cuadrática	24
Figura 7. Función Logarítmica	25
Figura 8. Función Exponencial	25
Figura 9. Función Potencial	25
Figura 10. La Exploración geofísica del subsuelo	26
Figura 11. Método Sísmico	27
Figura 12. Método magnético	28
Figura 13. Perfiles radiométricos y magnéticos	29
Figura 14. Esquema de método eléctrico: Circuito de emisión y recepción	30
Figura 15. Método de Wenner	33
Figura 16. Curva de resistividad típica	34
Figura 17. Medida de resistividad del terreno mediante placas de cobre	35
Figura 18. Medición de resistividad mediante muestras de suelo	36
Figura 19. Profundidad Estratigráfica	37
Figura 20. Mapa geológico de la ciudad de Ambato	40
Figura 21. Limpieza capa vegetal	46
Figura 22. Electrodo en el suelo	46
Figura 23. Electrodo en el suelo	47
Figura 24. Cableado en el telurómetro	47

Figura 25. Excavación calicatas	48
Figura 26. Ensayo con cono y arena de Ottawa	48
Figura 27. Ensayo granulométrico	49
Figura 28. Ensayo de gravedad específica	49
Figura 29. Ensayo de límite líquido	50
Figura 30. Ensayo de límite plástico	50
Figura 31. Ensayo Proctor Modificado	51
Figura 32. Ensayo CBR	51
Figura 33. Granulometría muestras F1-F10	58
Figura 34. Límites Atterberg de muestras F1-F10	60
Figura 35. Contenido de Humedad vs. Resistividad Eléctrica	62
Figura 36. Límite Líquido vs. Límite Plástico	67
Figura 37. Contenido de Humedad Óptimo vs. Densidad Seca Máxima.....	68
Figura 38. Límite Líquido vs. Límite Plástico vs. Densidad Seca Máxima.....	69
Figura 39. Gravedad Específica vs. Porcentaje Pasa Tamiz N°200.....	70
Figura 40. Porosidad vs. Relación de Vacíos vs. Gravedad Específica	71
Figura 41. Contenido de Humedad Natural vs. Porcentaje Pasa Tamiz N°200 vs. Gravedad Específica.....	72
Figura 42. Porcentaje Pasa Tamiz N°200 vs. Gravedad Específica vs. Densidad Seca in situ.....	73
Figura 43. Contenido de Humedad Óptima vs. Densidad Seca Máxima vs. Gravedad Específica	74
Figura 44. Resistividad vs. Contenido de Humedad Natural	75
Figura 45. Resistividad vs. Límite Líquido vs. Límite Plástico.....	76
Figura 46. Resistividad vs. Gravedad Específica vs. Porcentaje Pasa Tamiz N°20077	
Figura 47. Resistividad vs. Densidad Seca in situ vs. Humedad natural	78

Figura 48. Resistividad vs. Grado de Saturación del Aire	79
Figura 49. Resistividad vs. Grado de saturación del agua	80
Figura 50. Resistividad vs. Humedad Óptima vs. Humedad Natural	81
Figura 51. Resistividad vs. Densidad Seca Máxima vs. Humedad Óptima.....	82
Figura 52. Resistividad vs. Humedad Natural vs. Grado de Saturación del Aire.....	83
Figura 53. Resistividad vs. Humedad Natural vs. Grado de Saturación del Agua ...	84
Figura 54. Resistividad vs. SPT	85
Figura 55. Resistividad vs. Velocidad Media de Onda Cortante	86
Figura 56. Resistividad vs. SPT vs. Humedad Óptima.....	87
Figura 57. Resistividad vs. Grado de Compactación vs. Límite Plástico	88
Figura 58. Resistividad vs. SPT vs. Humedad Óptima.....	89
Figura 59. Densidad Seca in situ vs. Humedad Natural vs. CBR.....	90
Figura 60. Densidad Seca in situ vs. Humedad Óptima vs. CBR.....	91
Figura 61. Índice Plástico vs. Humedad Óptima vs. CBR.....	92
Figura 62. Límite Líquido vs. CBR vs. Porcentaje Pasa N° 200	93
Figura 63. Límite Líquido vs. CBR vs. Índice Plástico	94
Figura 64. Índice Plástico vs. CBR vs. Índice Líquido.....	95
Figura 65. CBR vs. Resistividad.....	96
Figura 66. Tabla de Distribución “t de student”	98
Figura 67. Prueba del Coeficiente de Correlación de Pearson.....	98

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA DE INVESTIGACIÓN:

“ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO”

AUTOR: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

TUTOR: Ing. Mg. Favio Portilla

Para dar inicio al proyecto se recopiló información de tesis de grado sobre estudios preliminares de microzonificación, esto con el objetivo de utilizar selectos puntos de éstos trabajos y corroborar de cierta manera la información presentada para tener un punto de partida. Se formó un proyecto macro con el fin de abarcar 4 zonas de la ciudad de Ambato e incrementar el tamaño muestral de la investigación.

Para comenzar la parte técnica, se realizó un recorrido identificando los 40 puntos seleccionados para los ensayos, de los cuales fueron divididos 10 para cada zona establecida. Se procedió a realizar los ensayos en campo y a su vez se tomó muestras de los puntos destinados para realizar ensayos en laboratorio contemplando las propiedades índice y mecánicas.

Con los resultados conseguidos mediante los ensayos, se procesó la información mediante software utilizando el sistema estadístico de mínimos cuadrados para la formación de regresiones y correlaciones, los cuales sirvieron para establecer las correlaciones simples y múltiples. Los temas principales para formar variables fueron las propiedades índice y mecánicas, la resistividad eléctrica y el ensayo California Bearing Ratio (CBR). Se seleccionó y encontró coeficientes de correlación que cumplan con más del 50 por ciento, las que no llegaron a este valor fueron descartadas.

Finalmente, 30 correlaciones fueron seleccionadas teniendo valores de coeficientes de correlación R^2 comprendidos entre 50 a 92 por cientos, indicando que el método de resistividad eléctrica es una opción viable, eficaz y económica para evaluar propiedades de los suelos granulares.

ABSTRACT

At the beginning of the project, information was researched on preliminary microzonation studies, with the objective of use selected points of these works and corroborating the information presented to have a starting point. A macro project was established to cover 4 areas of the city of Ambato and increase the sample size of the research.

To get started the technical part, a route view was made identifying the 40 points selected for the trials, which 10 were divided for each area. The tests were carried out in the field and in turn samples were taken of the points destined to perform laboratory tests contemplating the index and mechanical properties.

With the results obtained through the tests, the information was processed by software using the least squares statistical system for the formation of regressions and correlations, which served to establish simple and multiple correlations. The main subjects to form variables were the index and mechanical properties, the electrical resistivity and the California Bearing Ratio (CBR) test. Correlation coefficients that meet more than 50 percent were selected and found, coefficients did not reach this value were discarded.

Finally, 30 correlations were selected having values of correlation coefficients R^2 ranging from 50 to 92 percent, indicating that the electrical resistivity method is a trustworthy, efficient and economical option to evaluate properties of granular soils.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

Antecedentes Investigativos

1.1.1 Antecedentes

Según Khairul y Syed consideran: “La comparativa realizada entre la resistividad eléctrica y el ensayo de penetración estándar (SPT), muestra que existe una relación lineal, porque los valores bajos de resistividad coinciden con los valores bajos de las muestras obtenidas mediante esta prueba; mientras tanto la comparativa entre contenido de humedad y los valores de resistividad eléctrica muestran una relación curvilínea, por lo que los resultados obtenidos indican la posibilidad de utilizar la resistividad eléctrica como alternativa al ensayo SPT” [1].

Según Seon, Jeong, Park y Kyoungchul manifiestan: “La resistividad eléctrica en muestras de suelo obtenidas por el método de electrodo y método en plano disminuye a medida que el contenido de agua se incrementa. Se aprecia un minúsculo cambio de la resistividad eléctrica cuando el contenido de humedad excede el contenido de agua óptimo” [2]

Según Syed, Fahad y Mohammad sostienen: “El índice de plasticidad tiene correlación significativa con los valores de resistividad eléctrica de laboratorio, de campo y para todas las muestras de suelo. Se encontró que las muestras de suelo de arena limosa se caracterizan por un mayor índice de plasticidad y valores de resistividad más bajas, mientras que las muestras de suelo de arena tienen un menor índice de plasticidad y valores de resistividad más elevados. La resistividad inferior en suelo limoso se atribuyó probablemente a que contiene mayor contenido de mineral de arcilla, mientras que a mayor resistividad en suelo arenoso fue el resultado, donde predominó el cuarzo” [3]

Según el Ing. Favio Portilla en la tesis de grado previo a la obtención del título indica: “Las correlaciones que se propongan deben ser aplicadas a suelos granulares

dependiendo si la distribución granulométrica está dentro del rango establecido, además de la cercanía que presenten las propiedades índices y/o mecánicas” [4]

1.1.2 Justificación

El estudio de suelos se torna necesario previo a la presentación de un proyecto sobre construcción de edificaciones debido a la importancia de determinar las propiedades y naturaleza del terreno a intervenir. Es por ello que la resistividad eléctrica se contempla como una opción para realizar dicho estudio mediante la recolección de datos y determinación de las propiedades del suelo.

El interés de la investigación sobre el método de resistividad eléctrica permitirá establecer correlaciones para la elaboración de ábacos, tablas y gráficas las cuales se pretende utilizar para obtener propiedades índices y mecánicas de suelos granulares, mediante un estudio más a fondo se explore los demás suelos que compren la geotecnia, para crear una base de datos con información real y valedera que toso profesional tenga acceso.

Los beneficiarios directos serán los profesionales de la construcción, porque con las comparaciones en un lado con tablas y gráficas tradicionales, y por el otro con los ábacos generarían los datos obtenidos por el telurómetro para que los constructores sigan cumpliendo la normativa ecuatoriana realizando estudios preliminares de suelos con la implementación de resistividad eléctrica para la recolección de datos y generación del informe respectivo. Indirectamente los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil se beneficiarán con este estudio, porque se convertirá en fuente de información y consulta para sus tareas y trabajos.

En base a los terrenos que presenta Ambato, el impacto que se pretende conseguir con el análisis de los suelos granulares, es permitir una recolección de datos óptimos mediante la resistividad eléctrica, esto con el fin de garantizar resultados precisos y brindar la seguridad necesaria en los proyectos constructivos que se realicen a futuro.

La factibilidad de la investigación es óptima porque las comparaciones que se van a realizar son confiables debido a que se cuenta con un equipo como el telurómetro, el cual permite obtener resultados exactos en cualquier tipo de suelo garantizando el inicio y culminación del ensayo de resistividad eléctrica.

1.1.3 Fundamentación Teórica

1.1.3.1 Conceptualización

Según la Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo, señala que el suelo es un recurso no renovable consistente en un sistema dinámico con diferentes funciones, con servicios para la humanidad y la supervivencia de los ecosistemas [5].

En la Constitución Alemana, se define al suelo como la capa superior de la corteza terrestre, comprende los componentes líquidos y los componentes gaseoso, excluyendo al agua subterránea y el hecho de los cursos de agua de la superficie [6].

En la Legislación Española se conceptualiza como la capa superior de la corteza terrestre, entre el hecho rocoso y la superficie, compuesto por minerales, materia orgánica, agua, aire y otros organismos vivos que constituyen la interfaz entre la tierra, el aire y el agua, lo que le da la capacidad de desempeñar funciones naturales [7].

En la Ley Orgánica de la República del Ecuador se lo define como: ...el soporte físico de las actividades que la población lleva adelante en busca de su desarrollo integral sostenible y en el que la materializan las decisiones y estrategias territoriales, de acuerdo con las dimensiones sociales, económicas, culturales, y ambientales [8].

1.1.3.2 Suelos Granulares

Los suelos granulares son granos redondos individualizados de grano intermedio a grueso que a consideración química son inactivos y con una mínima cohesión; considerados en el diseño de cimientos que son dados mediante un criterio de asentamiento y de alta permeabilidad, por consiguiente se debe tomar en cuenta que estos efectos de deformación plástica pueden ser despreciables a excepto del caso de cimientos que se encuentran muy anchos sobre los suelos variables y en donde existe mezclas de arena o grava con limo [9].

Para lograr una buena comprensibilidad sobre los suelos granulares, es necesario que se realicen las siguientes pruebas, como son:

- Prueba de placa con carga

- Prueba normal de penetración
- Prueba del cono de penetración
- Prueba del medidor de presión

Después de haber mencionado los diferentes tipos de pruebas, es relevante considerar los suelos de alta permeabilidad, ya que van presentando diferentes cambios en el nivel del agua subterránea, que a su vez poseen efectos consecuentes y por lo general se dan mediante la densidad del suelo y las presiones del poro para una mejor comprensibilidad de los suelos granulares [10].

Es relevante apreciar que todo suelo debe ser identificado y clasificado correctamente por laboratoristas antes de ser sometido a un ensayo, tomando en cuenta que los suelos pueden dividirse en dos clases importantes como son los granulares y los de cohesión.

Granulares: Son considerados aquellos suelos que no poseen ningún tipo de cohesión, como pueden ser las rocas, gravas, arenas y los limos.

Cohesivos: Son aquellos suelos que determinan características de cohesión y plasticidad, puesto que éstos pueden ser granulares con parte de arcilla o limo orgánico que les permite tener cohesión plasticidad sin ningún tipo de componente granular [11].

Tabla 1. Rango tamaño de partículas de suelo

Organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
MIT (Massachusetts Institute of Technology)	>2	2-0,06	0,06-0,002	<0,002
USDA (U.S. Department of Agriculture)	>2	2-0,05	0,05-0,002	<0,002
AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)	76,2-2	2-0,075	0,075-0,002	<0,002
Unifiel Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materiales)	76,2-4	4,75-0,075	Finos <0,075	

Fuente: Asphalt Institute. Manual series N°4, 1989.

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

1.1.3.2.1 Importancia de los suelos granulares

Los suelos granulares es a su vez importante porque se lo considera como aquel material que permite cubrir la superficie terrestre que ha sido dada por distintas propiedades y características que son basados mediante los componentes inorgánicos, orgánicos, espacios vivos y vacíos.

Es importante determinar que existen numerosas clasificaciones de suelos, las mismas que son factores importantes que intervienen en la formación de los mismos, como pueden ser:

- Materia de origen, o roca madre, la misma que es originado del suelo.
- El agua
- La topografía del lugar
- El clima de la región
- La temperatura
- Los organismos existentes
- El ser humano

Estas clasificaciones de suelos son relevantes porque permiten alcanzar la buena formación de los suelos, puesto que éstos son materiales complejos que determinan un amplio rango de comportamientos mecánicos que dependen de su composición y estructura.

Por consiguiente, existe una gran variedad de comportamientos sobre el suelo, como es los cohesivos y los no cohesivos, tomando en cuenta que los suelos granulares son definidos como aquellas fuerzas inter granulares o atractivas que poseen un efecto despreciable sobre su comportamiento mecánico que ha sido determinado, ya que por lo general ésta menciona a las rocas, gravas y arenas que son dadas mediante sus tensiones o la estructura del suelo [12].

Los suelos granulares además se clasifican en materiales densos o sueltos, teniendo en cuenta que ésta categoría determina aquellos suelos de tipo arcilloso y limos que son dados mediante sus distintas tensiones, estos materiales granulares como son arenas y

gravas poseen un comportamiento diferente a los materiales cohesivos que es la arcilla, puesto que son retenidos de alguna forma posible.

1.1.3.2.2 Comportamiento de los suelos granulares

Estos materiales son indispensables porque deben utilizarse en los rellenos, con el fin de poder asegurar su distribución lineal de la presión, facilitando de esta manera su drenaje y así eliminar la presión hidrostática [13].

Es necesario reflejar los distintos comportamientos de los suelos granulares, ya que de esta manera se logra conocer las distintas características específicas y funciones de cada uno de ellos con el fin de lograr un mejor resultado, los suelos gruesos además van presentando permeabilidades altas que permiten determinar la utilización del mismo a través del estado que presente, resultando de esta manera ser de mayor interés sobre la resistencia al corte de materiales granulares que son sometidos a una carga drenada.

Por consiguiente, es importante determinar que este mismo material permite movilizar una mejor resistencia sobre los distintos niveles de deformación, con el fin de poder acrecentar una resistencia residual, pero a mayores deformaciones, en cambio el material que es considerado denso responde aquellas deformaciones pequeñas con el fin de crecer una mejor marcada dilatancia [13].

Para lograr una buena limitación sobre la tensión admisible de terreno granular, es necesario establecer los diferentes aspectos:

- Tener en conocimiento que a los terrenos granulares solo es aplicable cuando existan aquellos porcentajes en arenas y gravas a un 65% y un porcentaje en partículas de 20 mm que se da en un diámetro inferior al 30%.
- La superficie debe ser horizontal o con un pendiente inferior al 10%.
- La inclinación que se manifiesta en sus acciones es menor al 10%
- En cuanto a los anchos de la cimentación, éstos deben ser superiores a 5 m para ser comprobados mediante los asientos admisibles.

Una vez de haber considerado cada una de sus limitaciones, es relevante saber que cada cálculo que se determine es importante que se base de la normativa y manual de referencia, con el fin de hacer un buen uso de la misma y así tener grandes resultados.

1.1.3.2.3 Diferencia entre los suelos cohesivos y granulares

Una de las diferencias que se pueden determinar entre los diferentes tipos de suelos es que el suelo cohesivo contiene distintas partículas pequeñas y suficientes de arcilla, a su vez se adhiere así mismo al momento que el suelo es considerado más cohesivo porque contiene el material adecuado y exacto para que exista menos probabilidades de derrumbe, tomando en cuenta que los suelos granulares se encuentran formados por aquellas partículas gruesas que es la arena y la grava [14].

Es necesario reflejar que cuando el suelo es algo cohesivo, se debe tomar las medidas más relevantes con el fin de evitar todo tipo de derrumbes, para lo cual es importante optar por un sistema de medición conocido como la fuerza de compresión que se da para cada tipo de suelo, de esta forma se determina las cantidades exactas para que el suelo colapse.

Mediante este proceso, se debe realizar un análisis específico sobre cada uno de los proyectos que se tenga presente para construir, como pueden ser carreteras, edificios, entre otros que son de gran utilidad para llevar a cabo el suelo adecuado, teniendo en cuenta que los ambientes del suelo van proporcionando una base física de una carretera o edificio que debe permanecer de pie durante mucho tiempo, es por eso que la composición del suelo permite examinar las diferentes diferencias tanto en su textura, como en la fuerza y la consistencia que son relevantes para poder distinguir los diferentes suelos cohesivos de ambientes [14].

1.1.3.3 Propiedades Índice

Se han empelado una serie de metodologías que permiten la utilización de índices e indicadores que permitan evaluar la calidad de suelos, sustentabilidad, riesgo, vulnerabilidad, desarrollo social sostenible, planificación territorial, entre otros [15].

La resiliencia del suelo se basa en seis funciones ecológicas y humanas: 1. Suelo 2. como productor de biomasa; 3. como reactor con filtros, como buffer, transformador de materia para cuidar el medio, el agua subterránea y la cadena alimenticia, 4. como hábitat biológico y reserva genética, 5. como medio físico y 6. como fuente de recursos y de herencia cultural [16].

1.1.3.3.1 Peso específico o gravedad específica

Se lo considera una propiedad necesaria para considerar algunas propiedades físicas de los suelos, se puede decir que es la relación entre el peso específico de los suelos y el peso específico del agua. El valor se relaciona directamente con la composición mineralógica de las partículas que lo forman al suelo [17].

Se presenta algunos valores de los suelos, considerando que en el Ecuador la gravedad o peso específico esta entre 2,5 a 2,8 gr/cm³ [18].

Tabla 2. Valores de la gravedad específica

Tipo de suelo	Gs
Grava, arena y limo	2,65
Arcilla inorgánica	2,70
Arcilla orgánica	2,60
Turba amorfa	2,00
Turba fibrosa	1,50

Fuente: Berry, 1993. Mecánica de suelos
Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019

1.1.3.3.2 Contenido de humedad

Se refiere a la relación entre el peso del agua que se encuentra en el suelo respecto al peso del suelo seco expresado en porcentaje, su valor teórico oscila entre 0 a ∞ , se

conoce que en el valle mexicano las arcillas tienen una humedad de 500 a 600%, existen valores hasta 1000% [19]. En el oriente ecuatoriano puede llegar a 250%; en la costa a 200%; esto significa que un suelo con baja humedad tiene una estabilidad con alta capacidad de carga, resistente e incompresible; en tanto que uno con alta humedad es saturado de agua, inestable, compresible y deformable [20].

Para obtener el contenido de humedad la ASTM recomienda un secado en horno a temperatura de 60°C.

1.1.3.3 Relación de vacíos

El volumen es ocupado por los elementos sólidos de una forma invariable cuando el suelo es comprimido, en tanto que el volumen de los vacíos disminuye, por lo que la permeabilidad del suelo disminuye. Se puede relacionar el coeficiente de permeabilidad con la relación de los vacíos mediante expresiones, adoptando ciertas hipótesis que permita llegar a las conclusiones de una forma cuantitativa. La compacidad se refiere al grado de acomodo alcanzado por las partículas del suelo, que deja vacíos entre ellas.

En suelos compactos, las partículas sólidas que lo constituyen tienen un alto grado de acomodo y la capacidad de deformación bajo cargas será pequeña. Son mayores el volumen de vacíos y la capacidad de deformación en suelo poco compactos. Una base de comparación de la compacidad alcanzada por una estructura simple se tiene estudiando la disposición de un conjunto de esferas iguales. [21].

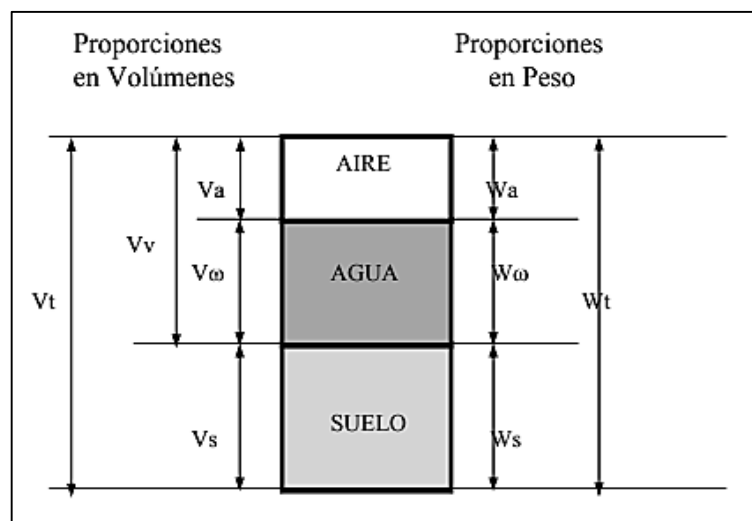


Figura 1. Relaciones Volumétricas
Fuente: A. Leoni. Relaciones Volumétricas, 2015

La relación que existe entre el volumen de vacíos (V_v) y el volumen de sólidos (V_s), se conoce como porosidad (n).

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

1.1.3.3.4 Porosidad

La relación que existe entre el volumen de vacíos (V_v) y el volumen del suelo (V_m), en porcentaje (%), se conoce como porosidad (n).

$$n = \frac{V_v}{V_m} \times 100$$

Varia de 0 en un suelo ideal con base sólida 100 en espacio y vacío. Estos valores oscilan entre 20% y 95%. En suelos perturbados se determina la porosidad total, es decir cómo se encuentran en el campo, sin deformaciones que altere la distribución de las partículas sólidas, y los espacio que quedan entre ellos [22].

1.1.3.3.5 Grado de saturación

El grado de saturación nos indica la determinada proporción de vacíos ocupada por el agua, y se define como la relación entre el volumen de agua (V_w) y el volumen de vacíos (V_v). Varía entre 0 % (suelo seco) y 100 % (suelo totalmente saturado) [23].

$$S(\%) = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

En relación al contenido de aire, se lo llama grado de aireación, presente en todos los suelos y se define como la relación entre el volumen de aire (V_a) y el volumen de vacíos (V_v).

$$A(\%) = \frac{V_a}{V_v} \times 100$$

1.1.3.3.6 Granulometría

Textura y granulometría son considerados como sinónimos; pero el primero es utilizado para describir la sensación que se siente al deslizar entre los dedos una

muestra de suelo, siendo empleado a nivel del campo como un diagnóstico primario de suelo, mientras que el granulométrico se lo hace en el laboratorio [24].

Para determinar algún método es importante conocer la finalidad de la determinación.

Los métodos más usados se pueden mencionar: textura al tacto, tamizado, en seco y en húmedo; sedimentación, método de la pipeta, método del hidrómetro; uso del microscopio electrónico, turbidimetría cada uno de ellos con sus variantes. Cuando se determina la textura al tacto se determina las propiedades de las partículas le dan al suelo, para ello se utiliza el diagrama de flujo [25].

Otro método utilizado es de la pipeta e hidrómetro que son procedimientos estándar para la determinación de la distribución del tamaño de las partículas de la fracción final del suelo, con una equivalencia de > 2 mm [26].

El método de la Pipeta puede ser empleado cuando se inicia la investigación, que consiste en tomar una muestra del agua con sólidos en suspensión, secándole con estufa y pesando el material, uno de los problemas con este método es la selección de los pretratamientos y los agentes dispersantes, considerando su efecto en los agentes cementantes naturales [27].

En la Física de los suelos se tiende a utilizar el método del hidrómetro de Bouyoucos, tomando en cuenta que la distribución de tamaño de partículas resultante del procedimiento de la pipeta, implica la eliminación de agentes cementantes, como carbonato de calcio, en tanto que la materia orgánica y sesquióxidos de hierro y aluminio, supone un comportamiento de las partículas diferente al que ocurre en la naturaleza [27].

1.1.3.3.7 Límites de Atterberg

Tiene como soporte la Norma ASTM D4318, este ensayo de límites de Atterberg es utilizado más en suelos cohesivos, es decir los que presentan variaciones de estados como sólidos, semisólidos, plástico o semilíquido, estos cambios se producen por el contenido de agua o humedad en los suelos, este método establece una separación arbitraria entre cada estado, lo que permite establecer la naturaleza del suelo [28].

1.1.3.3.8 Límite Líquido

Cuando existe el cambio de estado de plástico a fluido viscoso es el contenido de humedad, se obtiene este valor de este límite cuando se realiza el ensayo de copa de Casagrande, cuando se matiza el material con un tamiz número 40 se mezcla el material con una determinada cantidad de agua y se coloca en la copa, utilizando un acanalador, realizando una abertura de 2 mm de ancho, repitiendo el procedimiento aumentando la cantidad de agua, concluyendo cuando con un rango de 25 golpes de la cuchara se logra cerrar la abertura [29].

Para determinar el límite líquido, se traza una curva Penetración vs. Contenido de Humedad en escala aritmética, de los valores obtenidos, siendo el contenido de humedad correspondiente a una penetración de 20 mm, el valor de límite líquido para estos suelos.

1.1.3.3.9 Límite Plástico

El cambio de estado semisólido a plástico es el grado de humedad que define esta variación, para lo cual se mezcla el suelo con poca agua, formando rollitos en la palma de la mano de 3 mm de diámetro y 25 a 30 mm de longitud; cuando estos empiezan a fisurar se obtiene la humedad y ese es el límite plástico del suelo [30].

1.1.3.3.10 Índice Plástico

Cuando se obtiene los límites líquidos y plástico con los ensayos citados se define la plasticidad:

$$IP=LL-LP$$

Donde se establece el rango de humedad para pasar de semisólido a semilíquido.

Se consideran suelos altamente comprensibles cuando el índice de plasticidad arroja un valor alto considerado una medida para obtener un criterio de cohesión; si el índice de plasticidad es alto posee un alto grado de cohesión, mientras al no existir un índice de plasticidad se considera arenas de baja cohesión, es decir suelos no plásticos.

1.1.3.3.11 Índice de Liquidez

Se define como la relación agua- plasticidad utilizada para medir a escala el contenido de humedad natural del suelo tomando en cuenta los limites líquidos y plásticos, se considera que el valor obtenido es una medida aproximada de la resistencia del suelo.

$$IL = \frac{Wn - LP}{IP}$$

Donde:

Wn= Contenido de humedad natural directamente del campo de estudio.

LP= Límite plástico

IP= Índice plástico

Los valores obtenidos nos van a mostrar el comportamiento del suelo que puede ser:

IL < 0, corresponde a que el suelo estará en estado sólido a semi sólido.

0 < IL < 1, corresponde al rango plástico como se identifica a las arcillas en estado natural.

IL > 0, corresponde a que el suelo estará en estado líquido, relativamente fuerte si no se le somete a alteración alguna.

1.1.3.3.12 Densidad de campo cono y arena

Hablar de densidad aparente es referirse a la composición mecánica, contenido de la materia orgánica, de fragmento de rocas y estructura del suelo, se lo representa por la masa que contiene un suelo por unidad de volumen, pero conservando su agregación natural, su espacio poroso. Refleja el contenido total de poros que contiene un suelo, porque refleja la compactación y circulación del aire y dela agua, también permite hacer inferencias sobre posibles emergencias.

El ensayo permite obtener la densidad del terreno para establecer la correlación con el grado de humedad y su compactación. El método consiste en realizar un hoyo de hasta 15 cm de profundidad y 4 pulgadas de diámetro relativa a la apertura de la placa base metálica. El grado de compactación se obtiene mediante:

$$Gc = \frac{\gamma_{SC}}{\gamma_{SL}} \times 100$$

Donde

Gc es el grado de compactación

γ_{SC} es la densidad seca obtenida en el campo

γ_{SL} es la densidad seca máxima obtenida en el laboratorio

1.1.3.4 Clasificación de Suelos

Mediante la geotecnia se logra encontrar las propiedades del suelo, por ejemplo: Para calcular asentamientos de una estructura, se mide la compresibilidad del suelo y ese valor se utiliza en las ecuaciones de Terzaghi. Para calcular la estabilidad de un talud, parte de medir la resistencia a corte del suelo y el valor se expresa en las ecuaciones de equilibrio. Partiendo de estos ejemplos se entiende que se requiere de una taxonomía de los suelos para poderlos clasificar desde el punto de vista geotécnico [31].

Los parámetros de diseño en el campo de la ingeniería civil han sido el objetivo para evaluar y encontrar un sistema de clasificación de suelos para indicar la calidad de materiales que se va a utilizar mediante las propiedades y características del suelo. A nivel general los suelos simplemente se los ha identificado como finos o gruesos, lo cual genera una idea del suelo a tratar, pero va más allá la necesidad de clasificarlos de una manera más precisa.

Establecer una correlación entre las propiedades de los suelos de un sistema de clasificación mediante la similitud de sus comportamientos ante diferentes ensayos. Esta ventaja de poder caracterizar los suelos nos da la granulometría y plasticidad, sin embargo, esta información nos ayuda en cierta parte ya que el ingeniero no puede solucionar problemas de flujo o de asentamientos con tan solo conociendo estos datos.

En la mecánica de suelos, el grado de compacidad de una arena es un indicador guía sobre el comportamiento del suelo. Todos los sistemas de clasificación ponen su atención en la curva granulométrica y los límites de Atterberg que resultan de gran utilidad, pero en si no revelan el comportamiento del suelo in situ [31].

1.1.3.4.1 Sistema de clasificación AASHTO

Tabla 3. Clasificación de suelos en el sistema AASHTO

Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos pasa N° 200)							Limos y arcillas (Más de 35% pasa N° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
<i>Análisis Granulométrico (% que pasa)</i>											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
<i>Característica de la fracción que pasa tamiz N° 40</i>											
Límite Líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice Plástico	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Materiales constituyentes significativos	Fragmentos de piedras, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calidad de subrasante	Excelente a buena							Regular a pobre			

Fuente: AASHTO. Standar specification for soils, 2002.

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

Criterios:

1. Tamaño del grano

- a. Grava: Pasa tamiz de 75 mm y retiene N° 10
- b. Arena: Pasa N° 10 y retiene N° 200
- c. Limos y arcillas: Pasa N° 200

2. Plasticidad

a. Limoso en el caso que el índice de plasticidad sea ≤ 10 .

b. Arcilloso en el caso que el índice de plasticidad sea ≥ 11 .

3. Cantos rodados deben ser descartados al clasificar la muestra de suelo.

El sistema de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) clasifica los suelos por su granulometría, límite líquido y su índice de plasticidad en 7 grupos (A-1 al A-7). Los suelos que pasan el tamiz N° 200 con cantidad menor al 35% están en los grupos A1, A2, A3. Por otra parte, los suelos que pasan el tamiz N° 200 con cantidad mayor al 35% con material fino limo-arcillosos corresponde a los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.

El método tiene ventaja que la calidad del suelo puede ser evaluado mediante el índice de grupo, el cual para suelos granulares comprende entre 0 a 4, para suelos limosos entre 8 a 12 y para suelos arcillosos entre 11 a 20 o más.

Para calcular el índice de grupo se utiliza la siguiente fórmula:

$$IG = (F - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde F es el porcentaje que pasa el tamiz N° 200

LL es el límite líquido

IP es el índice de plasticidad

1.1.3.4.1 Sistema de clasificación SUCS

El sistema está compuesto por suelos gruesos y finos, ambos pasan por el tamiza N° 200, las partículas gruesas son las que el tamiz retiene más del 50%, mientras que las partículas finas son las que pasan más del 50%.

Tabla 4. Clasificación de suelos SUCS

DIVISIÓN MAYOR			SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO	
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad retenido tamiz N° 200	GRAVAS Retenida por el tamiz N°4	VISUALMENTE SE PUEDE CLASIFICAR MIDIENDO 0,5 cm COMO REFERENTE AL TAMIZ N° 4	GRAVAS LIMPIAS	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco de finos	Cu mayor de 4 ; Cc entre 1 y 3
				GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco de finos	No satisfacen todos los requisitos de graduación para GW
			GRAVA CON FINOS	GM	Gravas limosas, mezcla de grava, arena y limo	LÍMITES DE ATTERBERG Abajo línea "A" o I.P.<4
				GC	Gravas limosas, mezcla de grava, arena y arcilla	LÍMITES DE ATTERBERG Abajo línea "A" o I.P.>7
	ARENAS Pasa el tamiz N°4		ARENA LIMPIA	SW	Arenas bien graduadas, arena con grava, poco o nada de finos	Cu mayor de 6 ; Cc entre 1 y 3
				SP	Arenas mal graduadas, arena con grava, poco o nada de finos	No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW
			ARENA CON FINOS	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	LÍMITES DE ATTERBERG Abajo línea "A" o I.P.<4
				SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	LÍMITES DE ATTERBERG Abajo línea "A" o I.P.>7
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad pasa ramiz N° 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido menor de 50		ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos pasticos	CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL SISTEMA S.U.C.S	
			CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas		
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas de baja plasticidad		
	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50		MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos		
			CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas		
			OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad		
	SUELOS ORGÁNICOS		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos		

Fuente: SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), 2018.

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

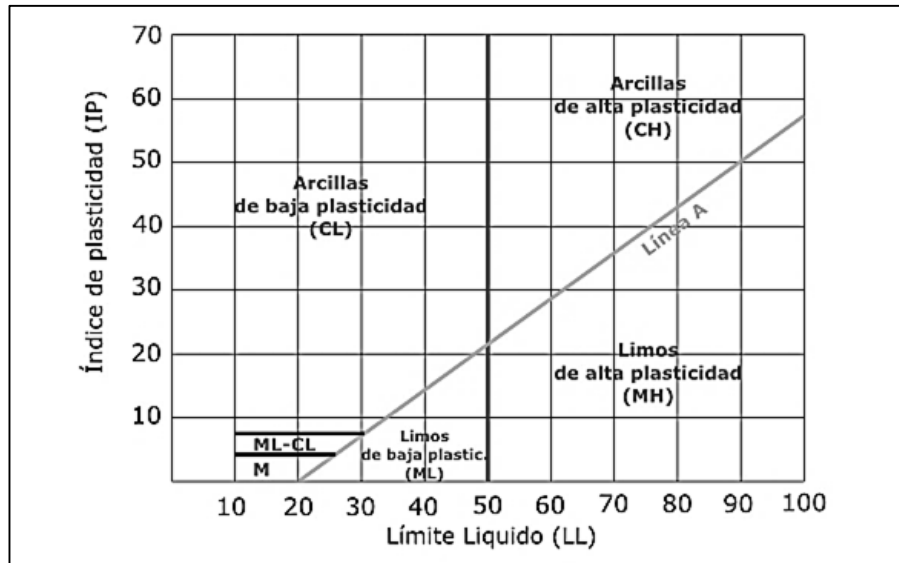


Figura 2. Carta de Plasticidad
Fuente: SUCS, 2019

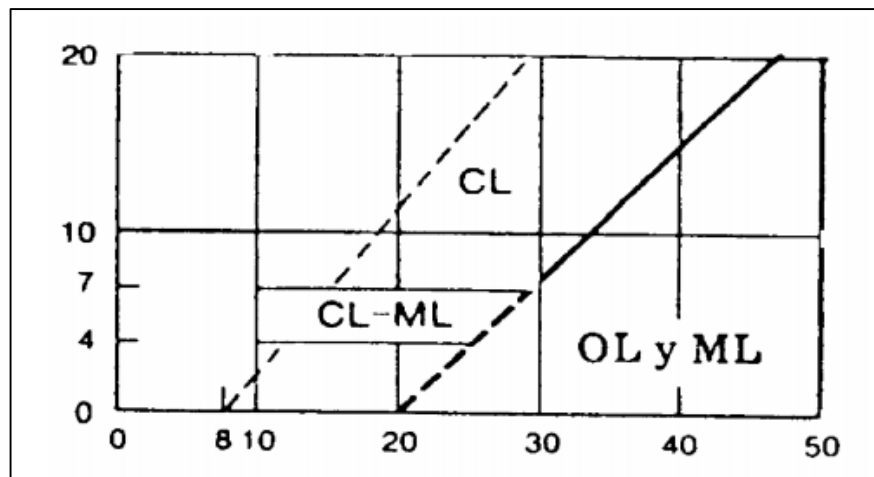


Figura 3. Detalle de clasificación en la zona de LL < 30 y el IP < 10
Fuente: SUCS, 2019

Nomenclatura:

- ✓ CL= Arcilla de baja plasticidad
- ✓ ML= Limo de baja plasticidad
- ✓ OL= Orgánico de baja plasticidad

1.1.3.5 Propiedades Mecánicas

1.1.3.5.1 Introducción

A nivel mundial se han realizado investigaciones que pretenden determinar las propiedades mecánicas de los suelos que se requiere para tener una idea e interacción entre el suelo con las construcciones que se pretenden levantar en esos terrenos, por lo que se han empleado métodos convencionales en los laboratorios de mecánica de los suelos, en los cuales se ha analizado la comprensión tri axial y el cortante directo, pero el primero ha sido el más empleado porque refleja una exactitud en el comportamiento real de los suelos [32].

1.1.3.5.2 Proctor modificado

Es el ensayo donde se compacta una muestra de suelo para determinar la relación existente entre el contenido de agua y el peso unitario seco, se lo realiza en un molde de 4 in o 15,24 cm de diámetro con martillo de pistón de 10 lbf que se lo deja caer a una altura de 18 in con el fin de producir una energía de compactación [33].

La importancia del ensayo en el campo ingenieril se debe a que los suelos son utilizados como relleno, terraplenes, bases de vías, etc. Por lo cual la compactación nos permite encontrar las propiedades tales como son resistencia al corte, permeabilidad o compresibilidad. Además de lo expuesto se compacta para mejorar las propiedades tanto como para controlar el contenido de humedad que se requiere del suelo a ser ensayado.

La norma vigente para este ensayo indica 3 métodos para la ejecución del mismo.

Tabla 5. Métodos de Ensayo Proctor

AASHTO MODIFICADO T-180				
MARTILLO 10 LIBRAS		ALTURA DE CAIDA 18"		
Material	PASA TAMIZ # 4		PASA TAMIZ # 3/4	
METODOS	A	B	C	D
Molde usado	4"	6"	4"	6"
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes/capa	25	56	25	56
Volumen del molde sin collar (pies cúbicos)	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33
Volumen del molde sin collar (centímetros cúbicos)	944	2123	944	2123
Energía de Compactación: lb pié / pié ³	12375	12317	12375	12375
Energía de Compactación: Kg cm / cm ³				

Fuente: Raúl Valle Rodas. Carreteras, calles y aeropuertos, 1963.

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

1.1.3.5.3 Ensayo CBR

Se denomina al ensayo CBR (California Bearing Ratio) como el procedimiento utilizado para determinar el índice de resistencia de los suelos, el cual permite conocer la capacidad de soporte de la sub rasante, base y sub-base en vías. El suelo debe presentar condiciones determinadas de humedad y densidad.

Los materiales utilizados en este ensayo son semejantes a los que se usaron en el Proctor modificado. La diferencia radica en que se realiza una inmersión de la muestra 2 sobrecargas equivalentes a un total de 10 lb. Se mantiene la probeta sumergida durante 96 horas con el nivel de agua cubriendo en su totalidad los moldes [34].

Al ensayar las muestras el mecanismo de penetración debe tener una velocidad uniforme de 1,27 mm por minuto. Los valores que se toman son las lecturas de carga y la penetración hasta 0,5 in.

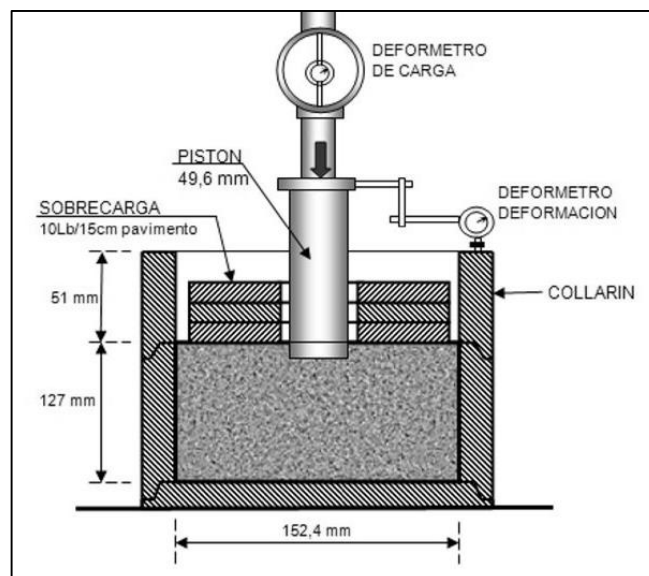


Figura 4. Mecanismo Ensayo CBR

Fuente: J. Valverde. Resistencia de cálculo para la sub rasante, 2019

1.1.3.6 Análisis de Correlaciones

1.1.3.6.1 Introducción

Se define a la correlación como el grado de relación o dependencia que existe entre dos variables cuando una de ellas se relaciona con la otra de alguna manera en un modelo matemático determinado. Es decir, es una medida estadística que cuantifica el valor de dependencia que existe entre las variables mediante un coeficiente de correlación que indicará si existe una fuerte o débil relación [35].

1.1.3.6.2 Coeficiente de correlación

Es la medida precisa para encontrar el patrón que existe en las variables de una muestra donde su valor varía entre 1,0 a -1,0. Este coeficiente de correlación (r) fue desarrollado por Karl Pearson, quien indicó que el valor obtenido nos da información sobre el sentido de la relación, si el valor de “r” es positivo significa que las variables van en el mismo sentido, mientras que si este valor es negativo significa que las variables usadas varían en sentidos opuestos. Dicho coeficiente suele interpretarse de la siguiente manera:

- $r < 0,1$ correlación despreciable
- $0,1 < r \leq 0,3$ correlación baja
- $0,3 < r \leq 0,5$ correlación mediana
- $r > 0,5$ correlación fuerte o alta

Podemos trabajar con dos tipos de correlaciones, la una lineal o de dos variables y la otra múltiple; es por esto necesario tener dos coeficientes distintos para cada caso. El coeficiente de correlación lineal se obtiene mediante la siguiente ecuación [35].

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$

donde, n = Número de pares de datos

$\sum x$ = Sumatoria total de los valores en x

$\sum y$ = Sumatoria total de los valores en y

Para las correlaciones múltiples de tres o más variables se aplica la siguiente ecuación:

$$R = \sqrt{\frac{(r_{xy})^2 + (r_{xz})^2 - 2(r_{xy})(r_{xz})(r_{yz})}{1 - (r_{yz})^2}}$$

1.1.3.6.3 Correlación de Dos Variables

También llamada correlación de Pearson, es una medida de la regresión que indica el valor de variación existente entre dos variables. Se describe esta correlación con el cálculo de la gráfica y de la ecuación de la recta, ambas se identifican como recta y ecuación de regresión. Esto conlleva a que los datos graficados en el diagrama de dispersión usados deben aproximarse a formar una recta ecuación [35].

La ecuación de regresión contiene a “x” llamada variable predictora y “y” denominada variable de respuesta, que intervienen en la ecuación.

$$y = b_0 + b_1x$$

donde, b_0 , intercepto

$$b_0 = \bar{y} - b_1\bar{x}$$

b_1 , pendiente

$$b_1 = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

Luego de encontrar los valores de b_0 y b_1 se forma la ecuación de regresión, la cual se fundamenta en el principio de que la recta de regresión se ajustará mejor a los puntos muestrales. La manera eficaz de determinar de qué criterio se ajusta mejor es por el método de mínimos cuadrados [35].

1.1.3.6.4 Criterio de Mínimos Cuadrados Lineal

Se conoce esta propiedad como aquella que se aplica a la recta para ajustarla de la mejor manera a los datos presentados. Usando el método visual se puede dibujar la recta en el gráfico de dispersión con la intención que el mismo número de puntos sobre la recta se encuentren de igual forma bajo la misma [36].

Para la correlación lineal se tiene en cuenta pares de datos:

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n)$$

Con los valores a_0 y a_1 se pretende minimizar la ecuación:

$$\sum y = a_0 N + a_1 \sum x$$

$$\sum xy = a_0 \sum x + a_1 \sum x^2$$

1.1.3.6.5 Correlaciones de Variables Múltiples

Se define como la ecuación que indica una relación lineal entre la variable dependiente y dos o más variables independientes. La variable Y puede expresarse en función lineal de las variables (x_1, x_2, \dots, x_k) [37].

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + u$$

En forma matricial se expresa de la siguiente manera:

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & \dots & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & \dots & x_{kn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{pmatrix}$$

Dado por x = matriz de diseño:

$$y = x\beta + u$$

Para los cálculos de la regresión múltiple se requiere la utilización de un software que nos ayude en el procesamiento de datos.

1.1.3.6.6 Criterio de Mínimos Cuadrados con Variables Múltiples

El criterio de mínimos cuadrados para regresiones múltiples, se puede hablar de plano de mínimos cuadrados de aproximación de los datos. Si se está estimando Z de valores dados de X e Y, éste sería el plano de regresión de Z sobre X e Y. Las ecuaciones normales correspondientes al plano de mínimos cuadrados son dadas por:

$$\sum z = a_0 N + a_1 \sum x + a_2 \sum y$$

$$\sum xz = a_0 \sum x + a_1 \sum x^2 + a_2 \sum xy$$

$$\sum yz = a_0 \sum y + a_1 \sum xy + a_2 \sum y^2$$

1.1.3.6.7 Modelos Lineales

Es una función polinómica que describe una línea recta cuya ecuación es la siguiente:

$$y = a + bx$$

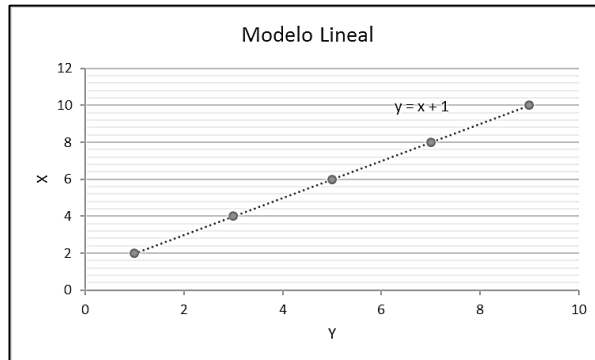


Figura 5. Función Lineal
Fuente: E. Tenecota, 2019

1.1.3.5.8 Modelos No Lineales

- Modelo Cuadrático

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

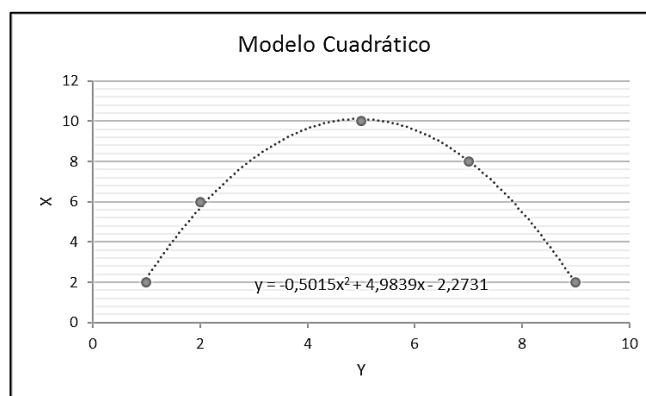


Figura 6. Función Cuadrática
Fuente: E. Tenecota, 2019

- Modelo Logarítmico

$$y = a + b \ln x$$

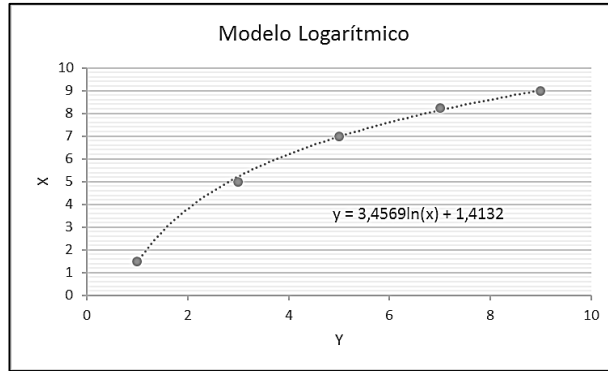


Figura 7. Función Logarítmica
Fuente: E. Tenecota, 2019

- Modelo Exponencial

$$y = ab^x$$

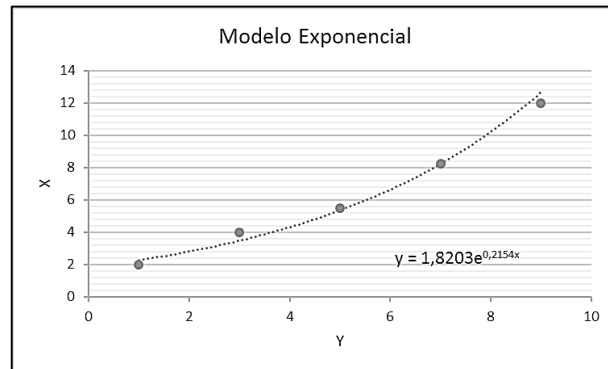


Figura 8. Función Exponencial
Fuente: E. Tenecota, 2019

- Modelo Potencia

$$y = ax^b$$

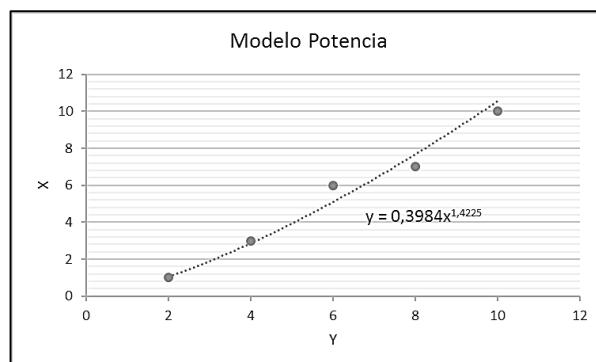


Figura 9. Función Potencial
Fuente: E. Tenecota, 2019

1.1.3.7 Exploración Geofísica

1.1.3.7.1 Introducción

Dentro del estudio de suelos, la geofísica es una rama fundamental que involucra el estudio de todos los fenómenos que se producen en el interior y en el centro de la Tierra como a su vez en las partes externas de la atmosfera. En la ingeniería se ha venido utilizando métodos de exploración invasivos que son costosos y complejos denominados métodos directos, por esta razón se comenzó a utilizar métodos para exploración geofísica o también llamados métodos indirectos cuyo propósito es evaluar el impacto de las obras ingenieriles en el suelo [38].

1.1.3.7.2 Prospección Geofísica

1.1.3.7.2.1 Método Sísmico

Consiste en medir la velocidad de conducción de las ondas elásticas en el terreno a través de los materiales del suelo en función de la compacidad de los mismo. En los años 80 se utilizaba este método con la generación de temblores artificiales debido a la explosión de una carga con dinamita entre 50 gr y 300 gr; mientras más profundidad se deseaba alcanzar, la carga explosiva debía aumentar. La metodología de recolección de datos se la realizaba poniendo tres estaciones sísmicas en línea recta donde se observaba la llegada de las ondas de elasticidad [39].



Figura 10. La Exploración geofísica del subsuelo
Fuente: N. Gella, J. Bruggen., 2002

En la actualidad una de las técnicas más utilizadas es la Sísmica de Refracción, la cual consiste en generar impactos mediante una fuente de energía mecánica en un punto del terreno donde se implanta una serie de geófonos que detectan las ondas sísmicas. Se capta las velocidades V_1 y V_2 y el tiempo que tarda una onda en viajar hasta los diferentes estratos del subsuelo y regresar a la superficie. Uno de los principales usos de estas tecnologías es determinar los diferentes estratos del terreno y localizar macizos rocosos. Este método se lo utiliza para obtener información preliminar del terreno y poder posteriormente maximizar la exploración del subsuelo [40].

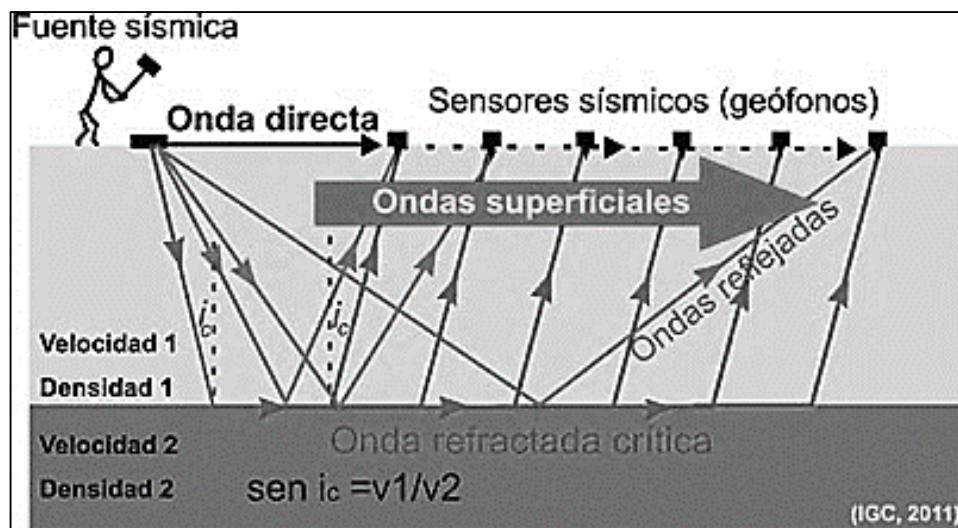


Figura 11. Método Sísmico
Fuente: GEOAR. Estudios Geofísicos, 2011

1.1.3.7.2.2 Método Magnético

Es un método que se utiliza para estudios rápidos y económicos de grandes zonas con la utilización del magnetómetro, el cual, mide las desviaciones originadas por el campo magnético de la Tierra.

Tiene funcionalidad para la rehabilitación de estructuras y la detección de restos arquitectónicos mediante el Geo-Radar. Este equipo genera impulsos electromagnéticos que interceptan una superficie y una parte de esta energía se reflejan para ser detectados por la antena receptora. La velocidad de propagación dependerá de la permeabilidad del medio, por ejemplo, en el aire tiene un valor de 30 cm/s [40].

Las anomalías magnéticas detectadas a través de estudios magnéticos en terreno se explican con variaciones en las propiedades físicas de las rocas como la susceptibilidad magnética y/o la imantación remanente de las rocas. Estas propiedades físicas solo

existen a temperaturas debajo de la temperatura de Curie. En consecuencia, los generadores de las anomalías magnéticas podemos hallar hasta una profundidad máxima de 30 a 40 km.



Figura 12. Método magnético
Fuente: GeoVirtual, 2013

1.1.3.7.2.3 Método Radiométrico

Es el método que mide la radioactividad de minerales existentes en los suelos, se ha venido llevando a cabo desde 1905 por Ernest Rutherford con la idea de determinar la edad de la Tierra. Los estudios de esta índole son necesarios para realizar un mapeo geológico donde se identifica varios tipos de rocas partiendo de su firma radioactiva.

El estudio en campo afirma que, para realizar esta técnica, la superficie del terreno debe ser en lo posible plana para que las emisiones radioactivas se originen debajo del instrumento. Los levantamientos radiométricos se los hacen desde el aire con una altitud de vuelo menor a 100 metros con sensores de centelleo que permiten una mejor sensibilidad en la medición [39].

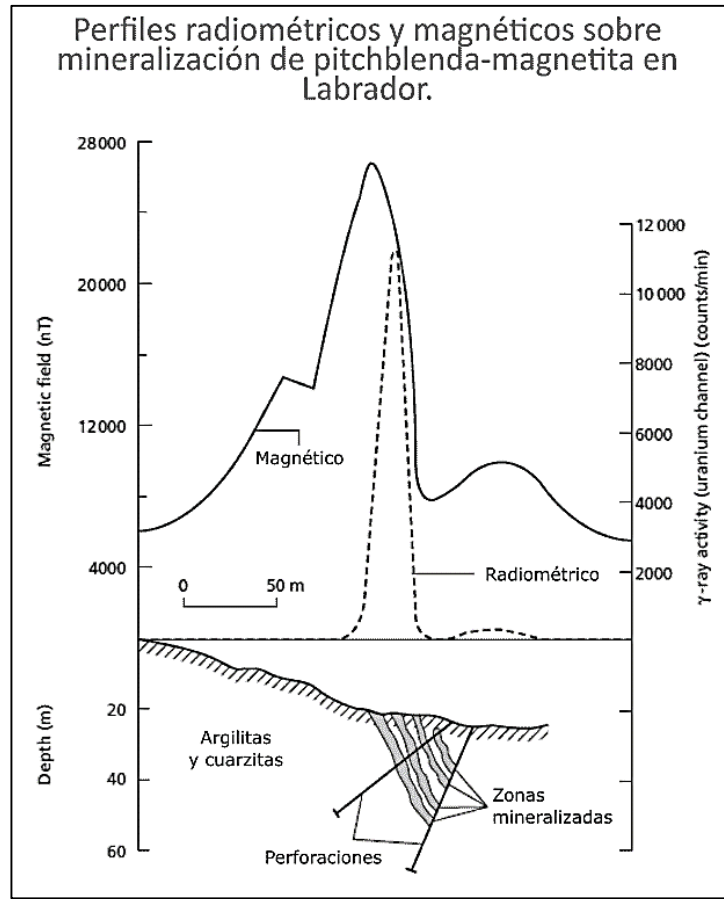


Figura 13. Perfiles radiométricos y magnéticos
Fuente: Geofísica, 2019.

1.1.3.7.2.4 Método Eléctrico

El estudio de prospección eléctrica consiste en aprovechar las propiedades eléctricas del suelo para realizar estudios en la parte interna de la Tierra mediante la resistividad de algunos materiales. La resistividad es la inversa de la conductividad eléctrica, es decir, se denomina a la oposición del paso de la corriente entre los materiales [41].

El método eléctrico se lo aplica mediante la determinación de la resistividad al introducir dos electrodos A y B en el suelo, los cuales son conectados a una fuente eléctrica que proporciona corriente. A su vez, existe dos electrodos adicionales M y N que reciben la información de la resistividad existente en el terreno seleccionado.

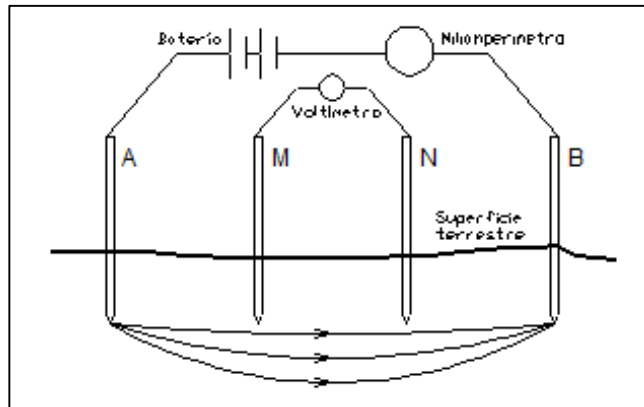


Figura 14. Esquema de método eléctrico: Circuito de emisión y recepción
Fuente: J. Sanjosé, 2012.

1.1.3.8 Fundamentos Eléctricos

Para el análisis de la propuesta de este trabajo experimental es necesario conocer conceptos fundamentales de electricidad debido a la utilización de instrumentos eléctricos en la puesta a campo para la obtención de la resistividad eléctrica del suelo.

1.1.3.8.1 Carga Eléctrica

Se define como la propiedad fundamental eléctrica de las partículas para explicar los fenómenos eléctricos midiendo el número de electrones que posee un cuerpo y cuyas unidades se miden en coulombs (C).

Se considera que la carga es móvil ya que puede ser transferida y convertida en otro tipo de energía, esto se debe a la ley de la conservación, la cual indica que la energía no puede ser creada ni destruida, solo transferida. [42]

1.1.3.8.2 Campo Eléctrico

Es la interacción que existe entre las partículas, es decir la reacción que presenta un conjunto de cargas en un espacio determinado. Para comprobar la existencia de un campo eléctrico se utiliza inicialmente una carga de prueba colocada en un espacio del campo y se observará la presencia de fuerzas eléctricas que pueden ser de atracción o de repulsión [43].

La fórmula de campo eléctrico se define como:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

Donde \bar{F} es la fuerza actuante.
 q_o es la carga de prueba.

1.1.3.8.3 Voltaje

Es la cantidad de energía que es transferida a cada carga de coulomb en un circuito determinado para que se establezca un flujo de corriente. La unidad del voltaje es el volt (V), se define de la siguiente manera [43]:

$$V = \frac{W}{Q}$$

Donde W es la energía en joules (J).
 Q es la carga en coulombs (C).

1.1.3.8.4 Corriente

Se define como la velocidad con que se desplaza un flujo de carga mediante un conductor. La unidad de medida es el ampere (A). Se identifica dos sentidos, uno Real de polo (-) al polo (+) del generador y el otro Convencional de polo (+) al polo (-) del generador [43].

$$I = \frac{Q}{t}$$

Donde Q es la carga en coulombs (C).
 t es el tiempo en segundos (s).

1.1.3.8.5 Ley de Ohm

Antes de entrar en materia se debe definir la resistencia, la cual se define como el impedimento a que fluya la carga eléctrica. En 1826 Georg Simon Ohm estableció que, para un resistor determinado, con una temperatura específica, la corriente es directamente proporcional al voltaje aplicado. Es decir, la velocidad del flujo de carga entre los dos puntos va a depender del voltaje que existe entre ellos, todos estos fundamentos se conocen como ley de Ohm [43].

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

Donde R es la carga en coulombs (Ω).
 V es el voltaje en volts (V).
 I es la corriente en amperes (A).

1.1.3.9 Método de Resistividad Eléctrica

1.1.3.9.1 Generalidades

La clasificación de los suelos toma un papel fundamental para encontrar valores de resistividad aproximados a la realidad, es por ello que se considera necesario que éstos ensayos se los realicen in situ. Las técnicas que se utilizan son generalmente como cualquier otra cuya intención es medir y obtener valores; lo más notorio que varía se encuentra en la interpretación de los datos ya que cuando se obtiene valores de resistividades no uniformes, se debe interpretarlos de la manera correcta conociendo los factores que influyen en el terreno.

Como sabemos la estratigrafía de nuestro país es muy variada, las capas de los suelos se ubican de forma horizontal y por consiguiente cada una con diferente resistividad. Ocasionalmente los cambios de resistividad se presentan de manera lateral de preferencia graduales a menos que se configure fallas geológicas, de aquí parte la importancia de realizar mediciones de resistividad para encontrar variaciones que se relacionen con la profundidad [44].

Tabla 6. Resistividad en función del terreno

Naturaleza del terreno	Resistividad en Ohm.m
Terrenos pantanosos	0 a 30
Limoo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba Húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y Arcillas compactas	100 a 200
Margas del Jurásico	30 a 40
Arenas Arcillosas	50 a 500
Arena Silíceas	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 5000
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800
Granito alterado	1500 a 10000
Granito muy alterado	100 a 600

Fuente: Norma ITC-BT 18, 2019.

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

1.1.3.9.2 Método Cuatro Electrodo

La normativa IEEE 81-1983 nos sugiere ciertos métodos de medición de resistividad del suelo, en los cuales sobresale uno en especial por ser preciso y popular. Este método es de los cuatro electrodos o conocido como Método de Wenner.

El método de Wenner presenta ciertas ventajas a comparación de los otros ya que recoge valores de resistividad para capas estratigráficas profundas sin la necesidad de que los electrodos lleguen a dichas profundidades, además el equipo utilizado es un telurómetro que puede ser fácilmente manipulado y movilizado, otra ventaja que presenta es los datos de resistividad no se ven afectados al utilizar electrodos auxiliares o huecos en el terreno para insertar los mismos [44].

Abreviadamente, este método consiste en utilizar cuatro electrodos y colocarlos en línea recta con una misma profundidad al penetrarlos sobre el suelo y simétricamente ubicados respecto a un punto central tomado debajo de la zona en la cual queremos medir la resistividad.

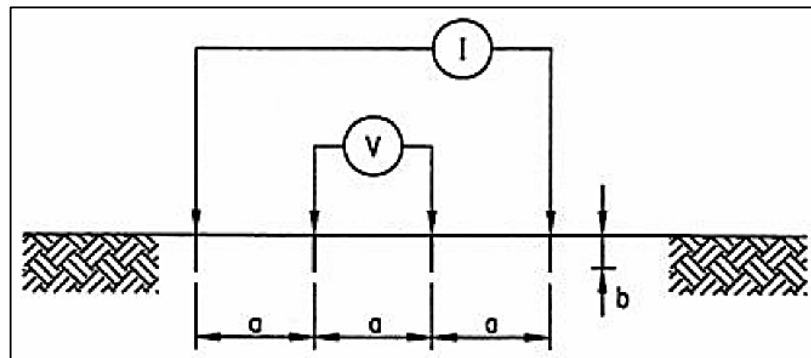


Figura 15. Método de Wenner

Fuente: EPM, 2008.

En la figura, se muestra una corriente “I” que se inyecta entre los dos electrodos externos y el potencial “V” entre los dos intermedios los cuales son medidos por el telurómetro. El equipo mide la resistencia del volumen cilíndrico del suelo contenido en el espacio “a” entre los electrodos internos [44].

La resistividad aparente con respecto a las distancias “a” y “b” es:

$$\rho = \frac{4\pi Ra}{\left(1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}\right)}$$

Como la distancia de “a” es mayor que la de “b”, la ecuación se simplifica de la siguiente forma:

$$\rho = 2\pi Ra$$

La distancia “a” entre los electrodos se considera como la profundidad que se pretende alcanzar con la medición de resistividad del suelo. Para obtener variaciones de resistividad se debe realizar el ensayo por lo menos en 3 direcciones con el punto central en el área especificada.

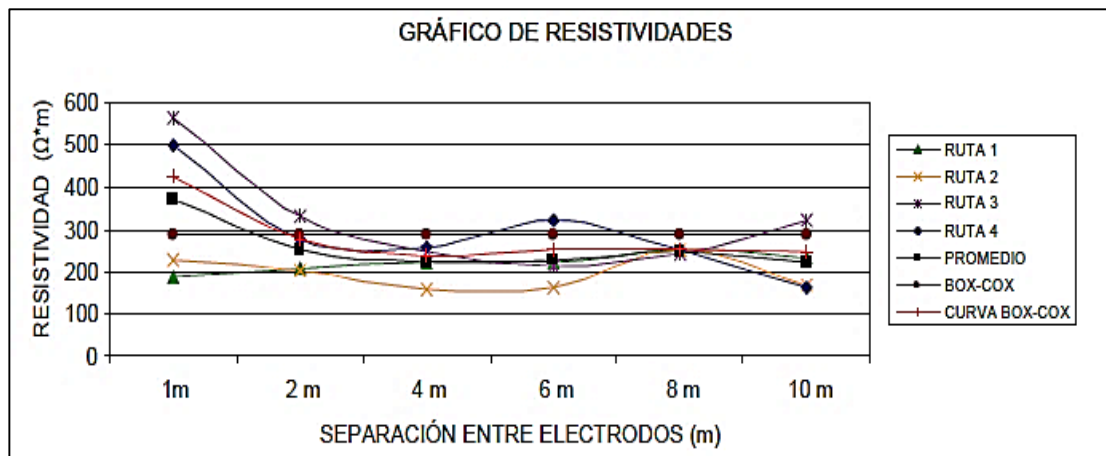


Figura 16. Curva de resistividad típica
Fuente: EPM, 2008.

1.1.3.9.3 Procedimiento de medición

Se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos para la medición de resistividad por el método de Wenner [44]:

- ✓ Antes que todo se debe realizar una inspección visual del área a ser medida para identificar y retirar obstáculos.
- ✓ La alineación y espaciamento de los electrodos deben ser la correcta.
- ✓ La profundidad de los electrodos no debe exceder el 5% de la separación de las picas, en terrenos arenosos es recomendable incrementar la profundidad para asegurar un buen contacto entre electrodo y suelo.
- ✓ Los electrodos deben estar limpios y libres de óxido para evitar datos erróneos.
- ✓ Mientras se realiza la medición, se debe realizar una recolección de información sobre fecha de medición o fecha de ultimo fenómeno fluvial.

- ✓ Las mediciones se recomienda realizarlas en periodo estacional seco. No es recomendable realizarlos bajo lluvia debido a la posibilidad de presencia de rayos.
- ✓ Se debe utilizar botas y guantes de caucho, las cuales funcionan de aislantes durante la medición.

1.1.3.9.4 Metodología de medición para casos especiales

1.1.3.9.4.1 Medida de resistividad sobre pavimentos o concreto

En páginas preliminares se revisó la medición de la resistividad en suelos naturales, pero existen casos en los que encima del suelo están cubiertos por pavimentos o concreto y en los cuales la penetración del electrodo resulta casi imposible. Para esto se debe utilizar placas de cobre que reemplazan a los electrodos y sobre éstas un pequeño remojo con agua de la superficie en que van a asentarse.

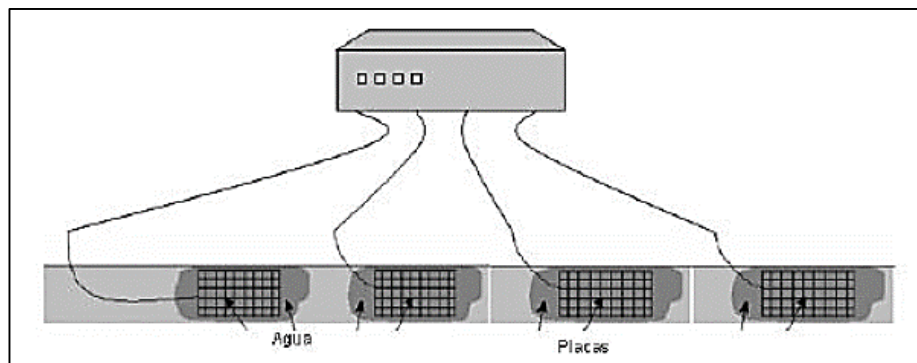


Figura 17. Medida de resistividad del terreno mediante placas de cobre
Fuente: EPM, 2008.

La distancia entre las placas obedece a la misma que indica los electrodos en el método de Wenner. Las placas deben tener una dimensión de 30x30 cm y un espesor de 3,8 cm. Para realizar el ensayo se debe esperar por lo menos 30 minutos hasta que el agua colocado bajo las placas penetre en la superficie [44].

1.1.3.9.4.2 Medida de resistividad mediante muestras de suelo

En este caso sólo debe ser utilizado cuando el área sea de difícil acceso o las condiciones de la misma no permitan realizar la medida por el método de Wenner.

La metodología del método indica que se debe recolectar una muestra del área o de algún terreno cercano con características similares. La muestra debe ser obtenida a

determinada profundidad donde se aprecie que no ha sufrido alteración alguna por condiciones ambientales. Luego se llena un recipiente de medidas conocidas y se procede a realizar el ensayo de resistividad [44].

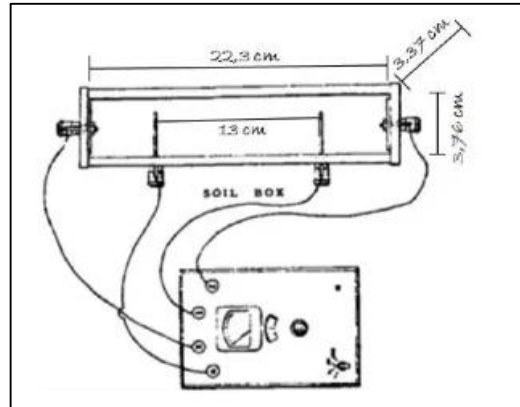


Figura 18. Medición de resistividad mediante muestras de suelo
Fuente: EPM, 2008.

1.1.3.9.5 Factores que influyen en la resistividad de los suelos

La resistividad de los suelos se ve afectada por varios factores que no son constantes con el transcurso del tiempo, además de esto el tipo de suelo es un aspecto a considerar debido a que la combinación de los mismo se evidencia en la geografía de nuestro país. A continuación, se presenta algunos factores principales que influyen al obtener el valor de resistividad:

Naturaleza del Terreno

Se considera que con los suelos que poseen una granulometría más fina, la resistividad tiende a ser baja y como consecuencia resulta mejores conductores a diferencia de suelos con granos medios y gruesos.

Humedad

En este aspecto hay que tomar en cuenta el tamaño del grano debido a que al aumento del contenido de humedad del terreno tiende a disminuir la resistividad, en general para mejores valores se recomienda un suelo equilibradamente húmedo.

Salinidad

La presencia de sales en el terreno resulta una forma para poder mejorar la resistividad del suelo debido a que lo convierte en un buen conductor. Se sugiere al realizar el

ensayo colocar una cantidad de sal cerca del electrodo para obtener buenos valores de resistividad, esto solo en casos que donde necesariamente se requiera ya que un terreno aparentemente artificial (al añadir sal) va a requerir un constantemente mantenimiento.

Temperatura

Este factor indica que la resistividad va a aumentar cuando la temperatura del suelo disminuye, en zonas donde el clima es implacable como veranos extremadamente calurosos o inviernos fríos, los electrodos que se coloquen en el suelo deben introducirse a mayor profundidad.

Estratigrafía del Terreno

La profundidad de los electrodos va a ser diferentes ya que desconocemos cuantas capas de suelo se encuentran por debajo de la superficie, esto quiere decir que las resistividades van a ser diferentes y por ello el dato obtenido en el telurómetro va a ser un valor medio.

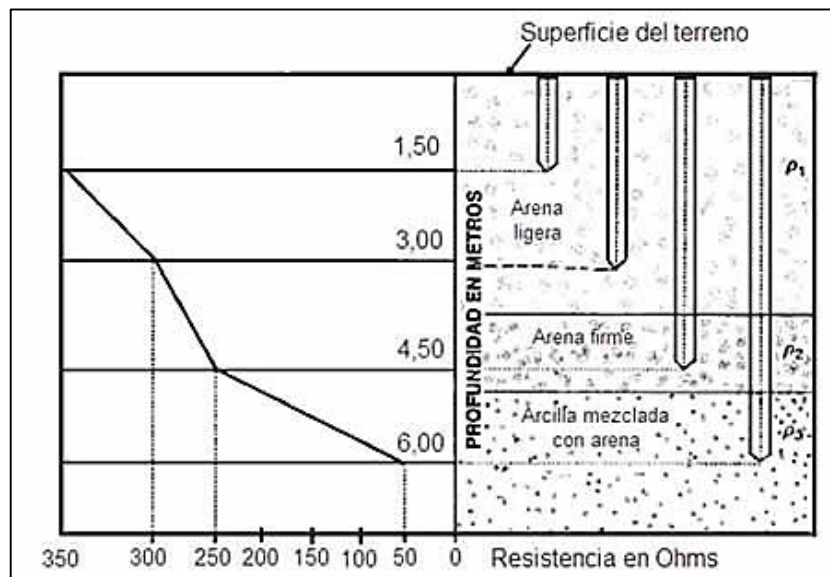


Figura 19. Profundidad Estratigráfica

Fuente: Ikastraroak.ulhi.net, 2012.

Compactación del Terreno

Se recomienda que el terreno a ser estudiado se lo compacte para lograr un buen contacto entre el electrodo y el suelo ya que, si antes de hacerlo se inserta el electrodo con algún mecanismo de penetración, se producirá vibraciones y, por consiguiente, una separación entre la pica y el terreno.

1.1.4 Hipótesis

El análisis de las correlaciones entre propiedades índice y mecánicas se relaciona directamente con la resistividad eléctrica de suelos granulares en la zona 2 de la ciudad de Ambato.

Variable Independiente: Propiedades índice y mecánicas

Variable Dependiente: Resistividad eléctrica de suelos

Variable Interviniente: Suelos granulares

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar las correlaciones entre propiedades índice y mecánicas con la resistividad eléctrica de los suelos granulares de la ciudad de Ambato.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Efectuar un estudio de las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares de Ambato.
- Determinar la correlación entre las propiedades índice y mecánicas de los suelos con la resistividad eléctrica.
- Establecer la correlación entre el valor de SPT con la resistividad eléctrica.
- Identificar la correlación entre el valor de CBR con la resistividad eléctrica.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Nivel o Tipo de Investigación

Los tipos de investigación empleados en el presente trabajo son: exploratoria, explicativa, descriptiva, de campo y experimental.

2.1.1 Investigación Exploratoria

Se establece que la investigación es exploratoria, ya que permitirá conocer la correlación existente entre la resistividad del suelo y sus propiedades índice y mecánicas, a través de la recolección de muestras in situ para realizar los ensayos respectivos con la finalidad de reemplazar el ensayo SPT por el de resistividad.

2.1.2 Investigación Explicativa

Este tipo de investigación permitirá detallar los ensayos que se va a ejecutar en campo y en el laboratorio para hallar la relación existente entre las propiedades que deseamos obtener con los ensayos y al aplicar el método de resistividad de suelos.

2.1.3 Investigación Descriptiva

La investigación planteada pretende obtener como resultado los valores de los ensayos realizados en campo y en laboratorio, el producto final de las correlaciones simples y múltiples por el método de mínimos cuadrados.

2.1.4 Investigación de Campo

Se realizará una investigación de campo para reconocer el lugar y proceder a la recolección de datos tomando en cuenta las condiciones del tipo de suelo.

2.1.5 Investigación Experimental

Se ejecuta una investigación experimental en la que se realizará ensayos de laboratorio como granulometría, límites de Atterberg, compactación, resistencia de corte, para relacionarlos con la resistividad del suelo medida en campo, con los resultados obtenidos se concluirá el uso del trabajo realizado.

2.1.6 Población

La población subjetiva del proyecto que se ha considerado para el desarrollado de la investigación fue el suelo granular a analizarse en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua, principalmente obtenido en las parroquias de Celiano Monge y Pishilata.

El tipo de suelo según la figura 19 se encuentra determinado por los símbolos Mc2 del cual se detalla en la tabla #7.

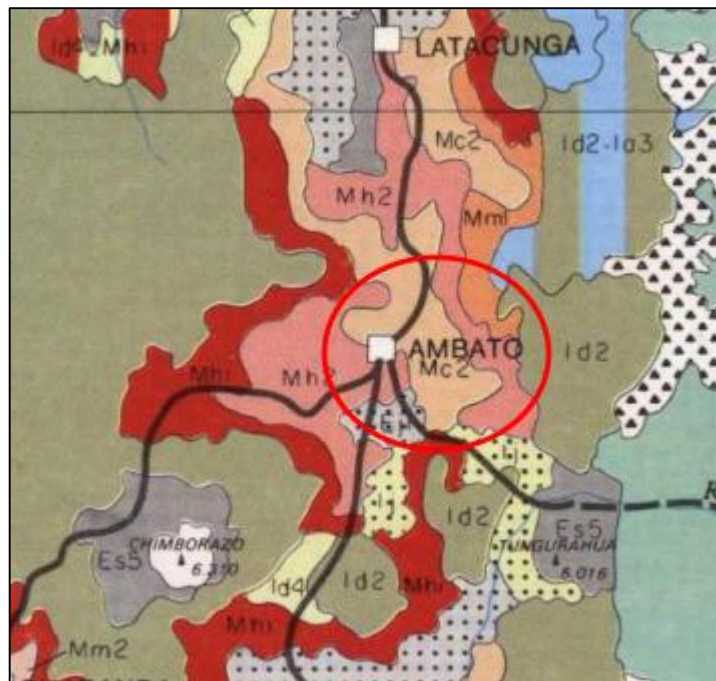


Figura 20. Mapa geológico de la ciudad de Ambato

Fuente: Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. Mapa General de Suelos del Ecuador. Mapa Base IGM, 2017.

Tabla 7. Descripción del suelo Mc2

Climas, zonas de humedad y		Fisiología y Relieve	Características de los suelos	Suelo Tipo	Simbología
Seco	Templado	Relieves ondulados a colinados de las vertientes y partes bajas norte y centro	Duripán (Cangahua) a menos de 1 metro de profundidad; pardos, arenosos finos, Ph neutro a ligeramente alcalino	Arenosos finos	Mc2

Fuente: Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. Mapa General de Suelos del Ecuador. Mapa Base IGM, 2017.

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

2.1.7 Muestra

Se tomó distintos pesos para los ensayos de cada tipo de suelo de las parroquias de Celiano Monge y Huachi Solís, sectores Huachi Solís y La Joya respectivamente (Ver anexo 1), se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 8. Muestreo

Suelos F1 al F10			
SUELO ARENO LIMOSO (Clasificación visual)			
Muestra	Descripción	Número de Ensayos	Total (kg)
250	Granulometría	10	2,50
50	Gravedad Específica	10	0,50
24000	Ensayos Proctor	10	240,00
18000	Ensayos CBR	10	180,00
TOTAL DE LA MUESTRA			423,00

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

Para el ensayo de granulometría se requiere una muestra de suelo con peso de 250 gr por muestra de suelo, por lo que es fino no requiere pasar el tamiz N° 4 según la norma (AASHTO T-87-70; ASTM-D-421-58).

Para el ensayo de gravedad específica se requiere una muestra de suelo con peso aproximado de 50 gr por muestra de suelo que pasa el tamiz N° 40 según la norma (AASHTO T 100 2015; ASTM D-854-58).

Para los ensayos de límite líquido y límite plástico se requiere una muestra de suelo con peso aproximado de 150 gr para cada uno. No se especifica un valor puesto que son ensayos de prueba y error. Se realizará según las normas (AASHTO T-90-70; ASTM D-424-71) y (AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74) respectivamente.

Para el ensayo del Proctor Modificado se requiere una muestra de suelo con peso de 6000 gr por cada molde, es decir 24000 gr en total según la norma (AASHTO T-180; ASTM D-1557).

Para el ensayo del CBR se requiere una muestra de suelo con peso de 6000 gr por cada molde, es decir 18000 gr en total según la norma (AASHTO T-193-63; ASTM D-1883-73).

2.2 Materiales y Equipos

Los materiales y equipos utilizados en el desarrollo de esta tesis se detallan a continuación.

Tabla 9. Equipos y Materiales

ENSAYOS	MATERIALES	EQUIPOS	NORMA
Pozo a Cielo Abierto	Muestras in situ	<ul style="list-style-type: none"> • Herramienta menor 	AASHTO T 87-70
Resistividad	Muestras in situ	<ul style="list-style-type: none"> • Herramienta menor • Telurómetro • Electrodo • Cables de prueba 	IEEE Std 81-1983
Densidad de Campo (Método del Cono y Arena de Ottawa)	Muestras in situ	<ul style="list-style-type: none"> • Cono • Cíncel • Cuchareta • Placa metálica • Balanza • Clavos • Martillo 	AASHTO T 191 2014
Gravedad específica de sólidos	50 gr de suelo que pasa tamiz # 40	<ul style="list-style-type: none"> • Tamiz #40 • Mortero de porcelana • Pistillo de caucho • Picnómetro • Embudo • Termómetro • Recipiente metálico • Pipeta • Baño María 	AASHTO T 100 2015
Granulometría	Muestra cuarteada	<ul style="list-style-type: none"> • Tamizadora • Tamices #8, #10, #16, #30, #40, #50, #60; #100 y #200 • Bandeja 	AASHTO T 88 2013

		<ul style="list-style-type: none"> • Brocha • Recipiente 	
Límite Líquido (Copa Casagrande)	150 gr de suelo que pasa tamiz # 40	<ul style="list-style-type: none"> • Copa Casagrande • Espátula • Acanalador • Recipientes de aluminio 	AASHTO T 89 2013
Límite Plástico	150 gr de suelo que pasa tamiz # 40	<ul style="list-style-type: none"> • Placa de vidrio • Fuente de mezclado • Calibrador pie de rey 	AASHTO T 90 2016
Proctor Modificado tipo B	24 kg de suelo que pasa el tamiz # 4	<ul style="list-style-type: none"> • Bandeja metálica cuadrada • Martillo de compactación • Molde Ø 6" con extensión y base • Probeta graduada • Palustre • Regleta Metálica 	AASHTO T 180 2018
California Bearing Ratio (CBR)	18 kg de suelo que pasa el tamiz # 4	MULTISPEED 34-V1172	AASHTO T 193 2013

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

2.3 Métodos

2.3.1 Plan de Recolección de datos

Tabla 10. Plan de recolección de datos

PREGUNTAS BASICAS	EXPLICACIÓN
¿Para qué?	Para correlacionar las propiedades índices y mecánicas de diferentes suelos con su resistividad eléctrica obtenida in situ con el afán que exista un ahorro de tiempo y dinero en la realización de los ensayos en el campo de la ingeniería civil.
¿A quiénes?	A la comunidad educativa y profesionales de ingeniería civil.
¿Sobre qué aspectos?	Las propiedades de los suelos obtenidas mediante los diferentes ensayos de campo y laboratorio, así como el valor del CBR obtenido del ensayo de relación de soporte de California y a su vez con la resistividad eléctrica correspondiente.
¿Quien?	Esteban Wladimir Tenecota Paredes
¿Cuándo?	Ensayos de campo del 10 de junio al 20 de julio. Ensayos de laboratorio del 21 de julio al 01 de octubre. Procesamiento y análisis de información desde octubre a noviembre.
¿Dónde?	Parroquias de Celiano Monge y Huachi Solís, sectores Huachi Solís y La Joya respectivamente para tomas de muestras y ensayos in situ. Laboratorio de Ensayos de Materiales y Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
¿Técnicas de recolección?	Se retira la capa vegetal y se procede a realizar el ensayo Densidad de Campo por el método de Cono y Arena bajo la norma AASHTO T 191, el ensayo se lo realizó in situ. Posterior a ello se toma la muestra de 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>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, los ensayos mencionados anteriormente 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 mediante la norma AASHTO T 180 2018 del ensayo del Proctor Modificado, este contenido de humedad es utilizado para realizar el ensayo de relación de soporte de California (CBR) este último normado mediante AASHTO T 193 2013.</p> <p>Los datos de Ensayos de Penetración Estándar (SPT) realizados en base a la norma INEN 0689 se toman de las tesis elaboradas por el Ing. Israel Martínez sobre “Estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras de Huachi Solís parroquia Celiano Monge, cantón Ambato, provincia Tungurahua” y la Ing. Evelyn Jiménez sobre “Estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras del sector La Joya de la parroquia Huachi Chico”</p>
--	---

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

2.3.1.1 Ensayos de campo

2.3.1.1.1 Resistividad Eléctrica

A continuación, se explica el procedimiento que se siguió para la medición de la resistividad del suelo in situ.

- 1) Retirar la capa vegetal del área a ensayar.



Figura 21. Limpieza capa vegetal
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

- 2) Ubicar los electrodos en el área seleccionada a una misma profundidad y una misma separación (1 metro).



Figura 22. Electrodo en el suelo
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

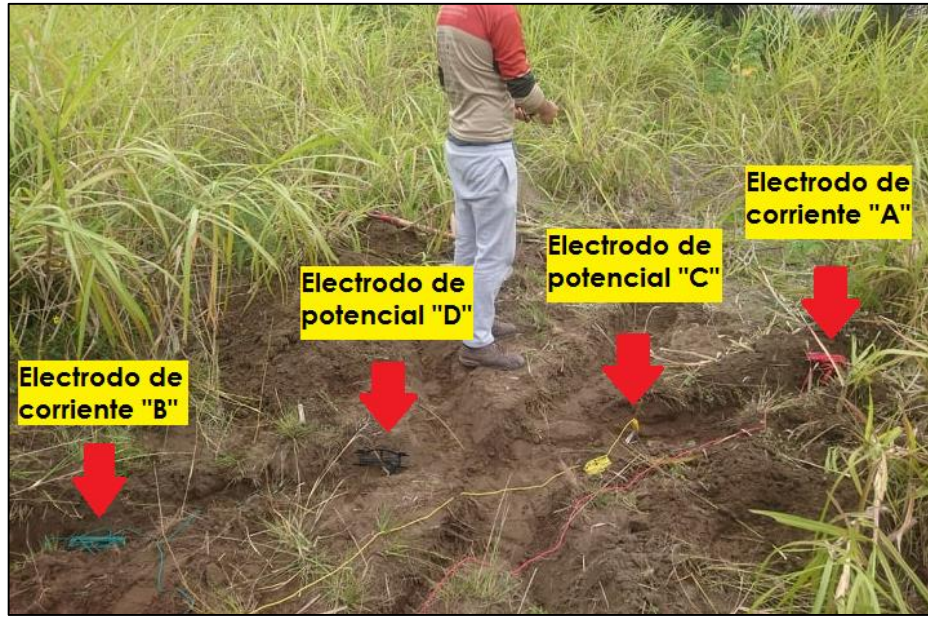


Figura 23. Electrodo en el suelo
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

- 3) Después de haber conectado los cables de corriente y potencia a los electrodos, se conecta al telurómetro y se mide su resistividad.



Figura 24. Cableado en el telurómetro
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

- 4) Se repite la medición en tres direcciones con el mismo punto de referencia medio, y se anota los valores para obtener un promedio de la resistividad del área seleccionada.

2.3.1.1.2 Pozos a cielo abierto



Figura 25. Excavación calicatas
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

2.3.1.1.3 Densidad de Campo (Método Cono-Arena de Ottawa)



Figura 26. Ensayo con cono y arena de Ottawa
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

2.3.1.2 Ensayos de Laboratorio

2.3.1.2.1 Granulometría



Figura 27. Ensayo granulométrico
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

2.3.1.2.2 Gravedad Específica

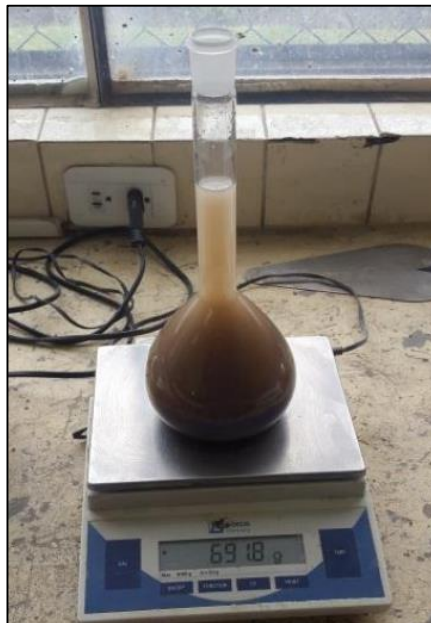


Figura 28. Ensayo de gravedad específica
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

2.3.1.2.3 Límite Líquido



Figura 29. Ensayo de límite líquido
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

2.3.1.2.4 Límite Plástico



Figura 30. Ensayo de límite plástico
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

2.3.1.2.5 Compactación (Proctor Modificado)



Figura 31. Ensayo Proctor Modificado
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

2.3.1.2.6 Resistencia al corte C.B.R

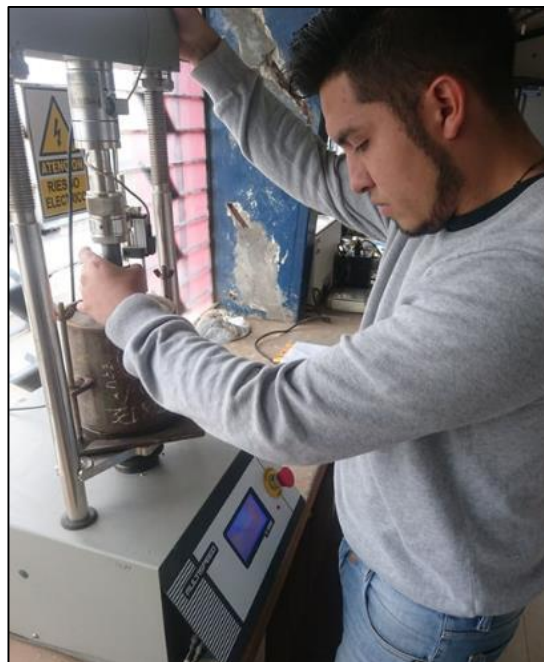


Figura 32. Ensayo CBR
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

2.3.2 Plan de procesamiento y Análisis de Información

Se revisará la información recolectada de las muestras in situ que serán procesadas, tabuladas y presentadas de manera comprensible, al igual los resultados de los ensayos de suelos se manifestarán mediante formatos establecidos por los laboratorios de la facultad y elaborados por el autor.

Consecuentemente, se realizarán las correlaciones para obtener valores altos del coeficiente de correlación ($R^2 > 50\%$) adjuntadas con sus respectivas gráficas para facilitar la enseñanza y entendimiento del futuro lector. Las correlaciones con serán de dos variables y variables múltiples, esto conlleva a la utilización del software para generar las gráficas y calcular el coeficiente de correlación.

Adicionalmente, para correlaciones de variables múltiples con el criterio de mínimos cuadrados se utilizará la facilidad del programa al generar tablas usando un sistema de tres ecuaciones resolviéndolas por el método de matriz inversa, dando como resultado los tres coeficientes necesarios para elaborar la ecuación de correlación.

Correlación Lineal Múltiple

Tabla 11. Formato hoja de cálculo lineal múltiple

Variable Dependiente 1	Variable Dependiente 2	Variable Independiente	ECUACIÓN VARIABLE MÚLTIPLE		$Y = a + b_1 * X_1 + b_2 * X_2$			
X1	X2	Y	X1*Y	X2*Y	X1*X2	X1 ²	X2 ²	Y ²
$\Sigma X1$	$\Sigma X2$	ΣY	$\Sigma(X1*Y)$	$\Sigma(X2*Y)$	$\Sigma(X1*X2)$	$\Sigma(X1^2)$	$\Sigma(X2^2)$	ΣY^2

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

El sistema de ecuaciones para resolver por el criterio de mínimos cuadrados es:

$$an + b_1 \Sigma X1 + b_2 \Sigma X2 = \Sigma Y$$

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

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

Se resuelve el sistema de ecuaciones mediante la matriz inversa.

Tabla 12. Sistema de ecuaciones lineal múltiple

a	b ₁	b ₂	=
n	∑X ₁	∑X ₂	∑Y
∑X ₁	∑(X ₁ ²)	∑(X ₁ *X ₂)	∑(X ₁ *Y)
∑X ₂	∑(X ₁ *X ₂)	∑(X ₂ ²)	∑(X ₂ *Y)

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

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

De este modo se encuentra la ecuación de correlación múltiple y posteriormente se calcula el coeficiente de correlación.

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

Correlación Logarítmica Múltiple

Tabla 13. Formato hoja de cálculo logarítmica múltiple

Variable Dependiente	Variable Dependiente	Variable Independiente	ECUACIÓN LOGARÍTMICA MÚLTIPLE			Y = a + b ₁ * log(X ₁) + b ₂ * X ₂					
			X ₁	X ₂	Y	X ₁ '=LOG(X ₁)	X ₁ *Y	X ₂ *Y	X ₁ '*X ₂	X ₁ '^2	X ₂ '^2
∑X ₁	∑X ₂	∑Y	∑X ₁ '	∑(X ₁ '*Y)	∑(X ₂ *Y)	∑(X ₁ '*X ₂)	∑(X ₁ '^2)	∑(X ₂ '^2)	∑(Y^2)		

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

El sistema de ecuaciones para resolver por el criterio de mínimos cuadrados es:

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

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

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

Se resuelve el sistema de ecuaciones mediante la matriz inversa.

Tabla 14. Sistema de ecuaciones logarítmicas múltiple

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

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

$$Y = a + b_1 * \log(X1) + b_2 * X2$$

De este modo se encuentra la ecuación de correlación múltiple y posteriormente se calcula el coeficiente de correlación.

$$R^2 = \frac{a \sum Y + b_1 \sum (X1' * Y) + b_2 \sum (X2 * Y) - n * (Ymed)^2}{\sum (Y^2) - n * (Ymed)^2}$$

Correlación Potencial Múltiple

Tabla 15. Formato hoja de cálculo potencial múltiple

Variable Dependiente	Variable Dependiente	Variable Independiente	ECUACIÓN POTENCIAL MÚLTIPLE			$LOG(Y) = \log(a) + b_1 \log(X1) + b_2 \log(X2)$					
X1	X2	Y	X1'=Log(X1)	X2'=Log(X2)	Y'=Log(Y)	X1'*Y'	X2'*Y'	X1'*X2'	X1'^2	X2'^2	Y'^2
$\sum X1$	$\sum X2$	$\sum Y$	$\sum X1'$	$\sum X2'$	$\sum Y'$	$\sum (X1' * Y')$	$\sum (X2' * Y')$	$\sum (X1' * X2')$	$\sum (X1'^2)$	$\sum (X2'^2)$	$\sum (Y'^2)$

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

El sistema de ecuaciones para resolver por el criterio de mínimos cuadrados es:

$$a * n + b_1 * \sum X1' + b_2 * \sum X2' = \sum Y'$$

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

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

Se resuelve el sistema de ecuaciones mediante la matriz inversa.

Tabla 16. Sistema de ecuaciones potencial múltiple

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

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

$$LOG(Y) = log(a1) + b1Log(X1) + b2Log(X2)$$

De este modo se encuentra la ecuación de correlación múltiple y posteriormente se calcula el coeficiente de correlación.

$$R^2 = \frac{a \sum Y' + b1 \sum (X1' * Y') + b2 \sum (X2' * Y') - n * (Y' med)^2}{\sum (Y'^2) - n * (Y' med)^2}$$

Correlación Exponencial Múltiple

Tabla 17. Formato hoja de cálculo exponencial múltiple

Variable Dependiente	Variable Dependiente	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
$\sum X1$	$\sum X2$	$\sum Y$	$\sum Y'$	$\sum (X1 * Y')$	$\sum (X2 * Y')$	$\sum (X1 * X2)$	$\sum (X1^2)$	$\sum (X2^2)$	$\sum (Y'^2)$

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

El sistema de ecuaciones para resolver por el criterio de mínimos cuadrados es:

$$a * n + b_1 * \sum X1 + b_2 * \sum X2 = \sum Y'$$

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

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

Se resuelve el sistema de ecuaciones mediante la matriz inversa.

Tabla 18. Sistema de ecuaciones exponencial múltiple

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

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

$$\ln(Y) = \ln(a1) + b1 * X1 + b2 * X2$$

De este modo se encuentra la ecuación de correlación múltiple y posteriormente se calcula el coeficiente de correlación.

$$R^2 = \frac{a \sum Y' + b1 \sum (X1 * Y') + b2 \sum (X2 * Y') - n * (Y'_{med})^2}{\sum (Y'^2) - n * (Y'_{med})^2}$$

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

Las 10 muestras de suelo de las parroquias de Huachi Chico y La Joya pertenecientes a la zona 2 (Anexo 1) de la ciudad de Ambato sirvieron para obtener varias correlaciones que cumplen con un coeficiente de correlación superior al 50%, entre estas correlaciones constan simples y múltiples dependiendo las variables que se consideran influyentes en cada tipo de suelo encontrado.

En este capítulo, se presentará los resultados obtenidos en los ensayos además de las correlaciones elaboradas con las muestras recolectadas en campo y laboratorio.

3.1.1 Clasificación de Suelos

Las granulometrías de las 10 muestras de suelos resultaron con valores similares indicando que la composición del suelo tiende a presentar en ciertas zonas suelo limo arenoso. En todas las muestras el porcentaje de grava resulto ser nulo.

Tabla 19. Clasificación de tipos de suelos zona 2

Punto	Coord. (17M)	Ubicación (Parroquia)	G(%) Grava	S(%) Arena	M-C(%) Limos y arcillas	SUCS	AASHTO
F1	9858644; 763845; 2752	Huachi Solis-Celiano Monge	0,00	80,66	19,34	SM (Arena Limosa)	A-2-4(0)
F2	9858327; 764104; 2769	Huachi Solis-Celiano Monge	0,00	81,06	18,94	SM (Arena Limosa)	A-2-4(0)
F3	9858129; 764021; 2763	Huachi Solis-Celiano Monge	0,00	97,10	2,90	SP (Arena pobremente graduada)	A-2-4(0)

F4	9858159; 763757; 2767	Huachi Solis- Celiano Monge	0,00	54,83	45,17	SM (Arena Limosa)	A-4(2)
F5	9858547; 763907; 2751	Huachi Solis- Celiano Monge	0,00	85,71	14,29	SM (Arena Limosa)	A-2-4(0)
F6	9859061; 764813; 2720	La Joya- Huachi Chico	0,00	79,90	20,10	SC (Arena Arcillosa de baja plasticidad)	A-2-4(0)
F7	9859000; 765095; 2702	La Joya- Huachi Chico	0,00	75,11	24,89	SM (Arena Limosa)	A-2-4(0)
F8	9858500; 764964; 2726	La Joya- Huachi Chico	0,00	84,95	15,05	SM (Arena Limosa)	A-2-4(0)
F9	9858512; 765660; 2717	La Joya- Huachi Chico	0,00	97,30	2,70	SP (Arena pobremente graduada)	A-2-4(0)
F10	9858199; 764858; 2730	La Joya- Huachi Chico	0,00	88,43	11,57	SP-SM (Arena Limosa pobremente graduada)	A-2-4(0)

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

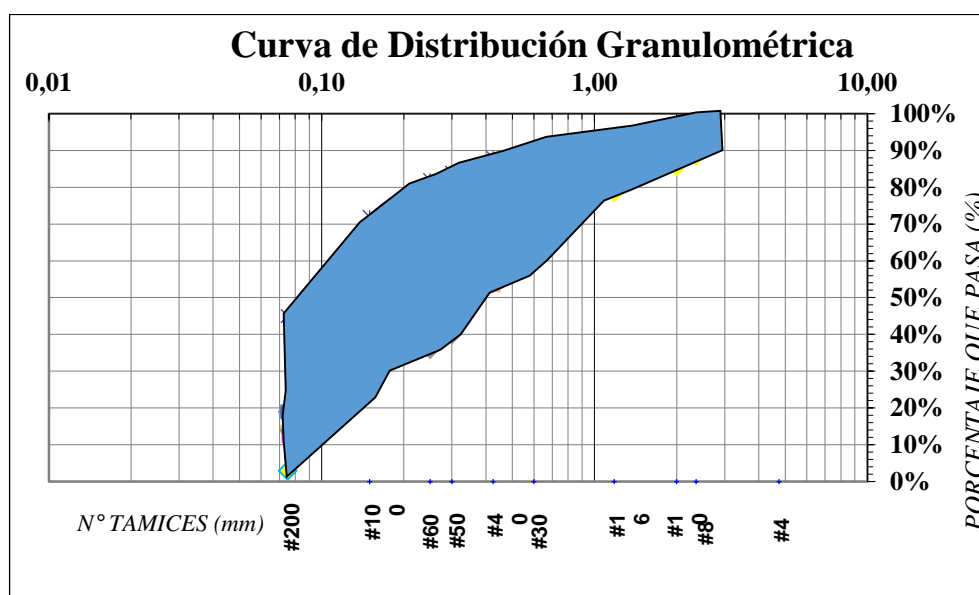


Figura 33. Granulometría muestras F1-F10
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Tabla 20. Límites de Atterberg de suelos zona 2

Punto	Coord. (17M)	Ubicación (Parroquia)	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	Índice Líquido (%)
F1	9858644; 763845; 2752	Huachi Solis-Celiano Monge	17,66	16,90	0,76	-8,21
F2	9858327; 764104; 2769	Huachi Solis-Celiano Monge	22,23	19,24	2,99	-1,82
F3	9858129; 764021; 2763	Huachi Solis-Celiano Monge	22,76	20,44	2,32	-4,34
F4	9858159; 763757; 2767	Huachi Solis-Celiano Monge	23,61	21,53	2,08	-4,37
F5	9858547; 763907; 2751	Huachi Solis-Celiano Monge	23,01	21,44	1,57	-8,31
F6	9859061; 764813; 2720	La Joya-Huachi Chico	24,78	15,83	8,95	-0,12
F7	9859000; 765095; 2702	La Joya-Huachi Chico	22,31	20,63	1,68	-4,70
F8	9858500; 764964; 2726	La Joya-Huachi Chico	20,59	16,72	3,87	-2,14
F9	9858512; 765660; 2717	La Joya-Huachi Chico	23,88	22,12	1,76	-6,65
F10	9858199; 764858; 2730	La Joya-Huachi Chico	21,68	20,50	1,18	-10,97

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019.

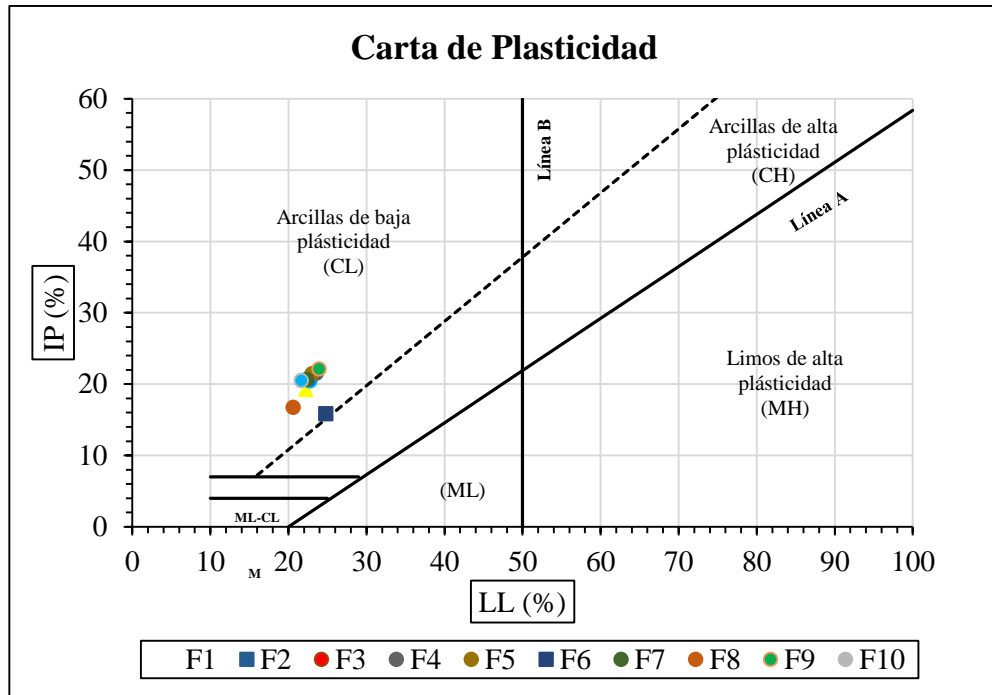


Figura 34. Límites Atterberg de muestras F1-F10

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

3.1.2 Determinación de Propiedades Físicas

Los ensayos realizados con las muestras recolectadas de las 10 muestras se presentan a continuación indicando el valor mínimo y máximo de uno de ellos. Visualmente el suelo ensayado denota un color café claro, muy vistoso en los suelos arenosos secos, mientras que con una tonalidad oscura en los suelos limosos más húmedos que los anteriores.

El contenido de humedad natural varía entre (7,55 a 14,78) %, se desea que éste valor sea bajo para que la capacidad de carga del suelo sea mucho mayor. En zonas amazónicas de nuestro país, el contenido de humedad puede llegar a 250%.

No existe presencia de grava en los suelos ensayados, por lo tanto, el porcentaje de arena varía entre (54,83 a 97,30) % y la cantidad de suelo limo arcilloso corresponde entre (2,70 a 45,17) %.

Dentro de los límites de Atterberg, el límite líquido está comprendido entre (17,66 a 24,78) %; mientras que el límite plástico varía de (15,83 a 21,53) %. Los valores de gravedad específica varían entre 2,631 a 2,704. Dichos valores son característicos de suelos granulares.

En base a los ensayos anteriores se determina que el grado de saturación de aire comprende valores entre (40,66 a 76,90) %, mientras que el grado de saturación de agua varían entre (23,10 a 59,34) %. Por otra parte, en la densidad húmeda en sitio, los datos varían entre (1477 a 1971) Kg/m³. La densidad seca en sitio varía entre (1362 a 1818) Kg/m³.

La densidad seca máxima varía entre (1587 a 1786) Kg/m³ y el contenido de humedad óptima varía entre (13,5 a 18) %, ambos valores se relacionan directamente ya que parten del ensayo de compactación proctor, tomando en cuenta la gráfica que se obtiene mediante el ensayo. Adicionalmente, el grado de compactación varía entre (80,29 a 108,03) %.

En el ensayo California Bearing Ratio (CBR) se considera el valor de la densidad seca máxima al 95% para encontrar mediante la gráfica el valor del CBR que se va a trabajar, éstos datos varían entre (7,50 a 76,00) %.

Tabla 21. Datos ensayos SPT

Zona	Ensayo de Penetración Estándar	
	N SPT	Vs (m/s)
F1	43	290,912
F2	35	276,138
F3	33	286,641
F4	45	289,685
F5	34	284,382
F6	30	286,230
F7	31	271,010
F8	36	277,730
F9	32	268,680
F10	20	273,290

Fuente: Tesis de microzonificación
Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019

3.1.3 Resistividad Eléctrica en el Campo

La recolección de las 10 muestras en la zona 2 del cantón Ambato y posteriormente realización de los ensayos tanto en campo como en laboratorio, permitieron obtener los datos de resistividad (ρ), contenido de humedad (W) y peso específico (γ). La resistividad del suelo se lo obtuvo mediante el procedimiento indicado en la sección 2.3.1.1.1 donde se realiza la propagación del diferencial de potencia a los electrodos que permiten la propagación de las ondas debajo del suelo que se pretende ensayar.

La relación entre el contenido de humedad y los valores de resistividad eléctrica de 10 muestras de suelo se presentan en la Fig. 35. Los resultados obtenidos indican una relación curvi-lineal entre resistividad y contenido de humedad. Con menor contenido de humedad, alta variación en resistividad eléctrica.

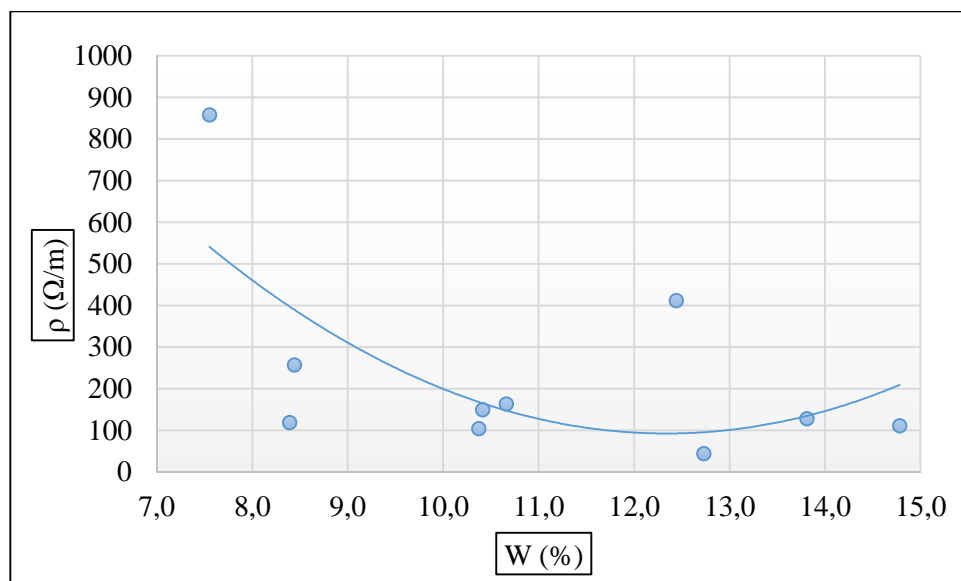


Figura 35. Contenido de Humedad vs. Resistividad Eléctrica

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Las unidades que se utilizarán para el procesamiento de datos serán las que se indica en la siguiente sección. Los valores de SPT se recolectaron de tesis anteriores de las respectivas zonas de estudio.

3.1.3.1 Nomenclatura

Tabla 22. Nomenclatura utilizada en los procedimientos

SIMBOLOGÍA	SIGNIFICADO	UNIDAD
W _{nat}	Contenido de humedad natural	(%)
D ₁₀	Diámetro efectivo	(mm)
D ₃₀	Diámetro equiparable	(mm)
D ₆₀	Diámetro dimensional	(mm)
Cu	Coefficiente de uniformidad	
Cc	Coefficiente de curvatura	
G	Cantidad de grava	(%)
S	Cantidad de arena	(%)
M	Cantidad de limo	(%)
C	Cantidad de arcilla	(%)
SP	Arena pobremente graduada	
CL	Arena de baja plasticidad	
LL	Límite líquido	(%)
LP	Límite plástico	(%)
IP	Índice plástico	(%)
IL	Índice de liquidez	(%)
N° 200	Cantidad que pasa tamiz N°200	(%)
G _s	Gravedad específica de sólidos	
e	Relación de vacíos	
n	Porosidad	(%)
G _a	Grado de saturación del aire	
G _w	Grado de saturación del agua	
γ _{h in situ}	Densidad húmeda en sitio	(Kg/m ³)
γ _{d in situ}	Densidad seca en sitio	(Kg/m ³)
γ _{d máx}	Densidad seca máxima	(Kg/m ³)
W _{ópt}	Contenido de humedad óptimo	(%)
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 de ensayo SPT	
V _{S30}	Velocidad de propagación de la onda	(m/s)
ρ	Resistividad	(Ω/m)
R ²	Coefficiente de correlación	(%)

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019

3.1.3.2 Tabla resumen de los ensayos en campo y en laboratorio

Tabla 23. Resultados ensayos en campo y laboratorio

Nº	Zona	W _{nat} (%)	Granulometría								Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	Índice Líquido (%)	Gravedad Específica (Gs)	Relación de vacíos e	Porosidad n(%)	Grado de saturación de aire Ga(%)
			Diámetro Efectivo (D10)(mm)	Diámetro Equiparable (D30)(mm)	Diámetro Dimensional (D60)(mm)	Coefficiente de uniformidad	Coefficiente de curvatura	G(%) Grava	S(%) Arena	M-C(%) Limos y arcillas								
1	F1	10,66	0,035	0,18	0,45	2,06	12,86	0,00	80,66	19,34	17,66	16,90	0,76	-8,21	2,673	0,58	36,57	51,74
2	F2	13,81	0,06	0,09	0,2	0,68	3,33	0,00	81,06	18,94	22,23	19,24	2,99	-1,82	2,664	0,61	37,93	40,66
3	F3	10,37	0,09	0,15	0,25	1,00	2,78	0,00	97,10	2,90	22,76	20,44	2,32	-4,34	2,704	0,48	32,49	47,74
4	F4	12,44	0,035	0,065	0,11	1,10	3,14	0,00	54,83	45,17	23,61	21,53	2,08	-4,37	2,681	0,77	43,62	57,39
5	F5	8,39	0,065	0,13	0,4	0,65	6,15	0,00	85,71	14,29	23,01	21,44	1,57	-8,31	2,666	0,95	48,76	75,64
6	F6	14,78	0,06	0,1	0,21	0,79	3,50	0,00	79,90	20,10	24,78	15,83	8,95	-0,12	2,678	0,93	48,23	46,05
7	F7	12,73	0,045	0,1	0,6	0,37	13,33	0,00	75,11	24,89	22,31	20,63	1,68	-4,70	2,652	0,71	41,60	52,28
8	F8	8,44	0,075	0,1	0,18	0,74	2,40	0,00	84,95	15,05	20,59	16,72	3,87	-2,14	2,691	0,46	31,49	50,49
9	F9	10,41	0,1	0,17	0,3	0,96	3,00	0,00	97,30	2,70	23,88	22,12	1,76	-6,65	2,631	0,67	40,19	59,25
10	F10	7,55	0,075	0,1	0,17	0,78	2,27	0,00	88,43	11,57	21,68	20,50	1,18	-10,97	2,640	0,84	45,78	76,90

Nº	Zona	Grado de saturación de agua G _w (%)	Clasificación		Densidad de Campo				Compactación				CBR (%)			Ensayo de Penetración Estándar		Resistividad ρ (Ω/m)
			SUCS	AASHTO	γ _{h in-situ} (gr/cm ³)	γ _{h in-situ} (Kg/m ³)	γ _{d in-situ} (gr/cm ³)	γ _{d in-situ} (Kg/m ³)	γ _{d máx} (gr/cm ³)	γ _{d máx} (Kg/m ³)	W _{ópt} (%)	G _c (%)	95% γ _{d máx}		Mayor	N SPT	Vs (m/s)	
													0.1"	0.2"				
1	F1	48,26	SM	A-2-4(0)	1,857	1857	1,678	1678	1,743	1743	13,50	96,27	69,00	76,00	76,00	43	290,912	163,10
2	F2	59,34	SM	A-2-4(0)	1,870	1870	1,643	1643	1,662	1662	17,00	98,86	4,90	7,50	7,50	35	276,138	127,30
3	F3	52,26	SP	A-2-4(0)	1,959	1959	1,775	1775	1,643	1643	18,00	108,03	22,80	30,00	30,00	33	286,641	103,83
4	F4	42,61	SM	A-4(2)	1,680	1680	1,494	1494	1,661	1661	15,00	89,95	15,70	19,80	19,80	45	289,685	411,27
5	F5	24,36	SM	A-2-4(0)	1,477	1477	1,362	1362	1,587	1587	15,00	85,82	52,40	60,00	60,00	34	284,382	118,27
6	F6	53,95	S-CL	A-2-4(0)	1,632	1632	1,372	1372	1,681	1681	16,50	81,62	22,80	25,50	25,50	30	286,230	110,33
7	F7	47,72	SM	A-2-4(0)	1,746	1746	1,549	1549	1,592	1592	15,50	97,30	38,50	40,80	40,80	31	271,010	43,73
8	F8	49,51	SM	A-2-4(0)	1,971	1971	1,818	1818	1,728	1728	14,50	105,21	10,00	10,60	10,60	36	277,730	256,53
9	F9	40,75	SP	A-2-4(0)	1,749	1749	1,584	1584	1,737	1737	15,75	91,19	25,80	28,50	28,50	32	268,680	149,07
10	F10	23,10	SP-SM	A-2-4(0)	1,542	1542	1,434	1434	1,786	1786	15,00	80,29	55,50	65,00	65,00	20	273,290	857,17

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019

3.1.4 Correlaciones

Para categorizar los resultados de los coeficientes de correlación, se establecieron categorías de los resultados. Además, en ciertas correlaciones se procedió a excluir máximo 2 muestras para poder establecer una correlación adecuada o mayor al 50%.

$90 \leq R^2 \leq 100$ Excelente

$80 \leq R^2 < 90$ Satisfactoria

$70 \leq R^2 < 80$ Muy Buena

$60 \leq R^2 < 70$ Buena

$50 \leq R^2 < 60$ Regular

Tabla 24. Correlaciones de los ensayos

N°	Ecuación	Coefficiente de correlación R ² (%)	N° muestras	Tipo de correlación
CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE				
1	$LP = 0,19(LL)^2 - 7,16(LL) + 82,49$	92	8	Polinómica Simple
2	$\gamma_{d \text{ máx}} = -4,26(W_{\text{opt}})^2 + 110,66(W_{\text{opt}}) + 1024,28$	50	8	Polinómica Simple
3	$\gamma_{d \text{ máx}} = 2185,53 - 9,67(LL) - 16,21(LP)$	74	8	Lineal Múltiple
4	$G_s = -11419,21(\text{Pasa N}^\circ 200)^2 + 60937,20(\text{Pasa N}^\circ 200) - 81276,954$	90	8	Polinómica Simple
5	$G_s = 3,24 - 0,033(n) + 1,097(e)$	79	9	Lineal Múltiple
6	$G_s = 2,5811(W_{\text{nat}})^{0,0057}(\text{Pasa N}^\circ 200)^{0,0060}$	68	8	Potencial Múltiple
7	$G_s = 2,543 + 0,048 \text{Log}(\text{Pasa N}^\circ 200) + 0,00004(\gamma_{d \text{ in-situ}})$	71	8	Logarítmica Múltiple
8	$\gamma_{d \text{ máx}} = -1057,86 - 19,74(W_{\text{opt}}) - 1057,86(G_s)$	73	8	Lineal Múltiple
CORRELACIONES RESISTIVIDAD ELÉCTRICA vs. PROPIEDADES ÍNDICE				
9	$W_{\text{nat}} = \frac{31,6668}{(\rho)^{0,2124}}$	61	8	Potencial Simple
10	$LL = 4,994 - 0,001(\rho) + 0,86(LP)$	78	9	Lineal Múltiple
11	$G_s = \frac{2,6543(\text{Pasa N}^\circ 200)^{0,008}}{(\rho)^{0,0032}}$	69	8	Potencial Múltiple
12	$\gamma_{d \text{ in-situ}} = 2386,129 - 0,55(\rho) - 58,372(W_{\text{nat}})$	69	9	Lineal Múltiple
13	$G_a = 0,00003(\rho)^2 + 0,0073(\rho) + 48,181$	86	9	Polinómica Simple
14	$G_w = \frac{57,4384}{\exp^{0,001(\rho)}}$	81	9	Exponencial Simple
15	$W_{\text{opt}} = -13,187 - 0,103 \text{Log}(\rho) + 0,233(W_{\text{nat}})$	61	8	Logarítmica Múltiple
16	$\gamma_{d \text{ máx}} = 1450,578 + 153,056 \text{Log}(\rho) - 6,373(W_{\text{opt}})$	67	9	Logarítmica Múltiple
17	$G_a = 0,030(\rho)^2 - 1,012(W_{\text{nat}}) + 57,669$	78	9	Lineal Múltiple

Tabla 23. Correlaciones de los ensayos

18	$G_w = 44,1951(\exp)^{-0,0009(\rho)}(\exp)^{0,0207(W_{nat})}$	84	9	Exponencial Múltiple
19	$SPT = -0,00011(\rho)^2 + 0,0854(\rho) + 25,349$	78	10	Polinómica Simple
20	$V_s = -0,0001(\rho)^2 + 0,0911(\rho) + 274,766$	70	8	Polinómica Simple
21	$SPT = \frac{97,5495}{(\exp)^{0,0007(\rho)} * (\exp)^{0,0610(W_{opt})}}$	75	9	Exponencial Múltiple
22	$G_c = 143,864 - 0,017(\rho) - 2,331(LP)$	75	8	Lineal Múltiple
23	$W_{opt} = 32,496 - 4,655 \text{ Log}(\rho) - 0,194(SPT)$	65	8	Logarítmica Múltiple
CORRELACIONES CBR vs. PROPIEDADES ÍNDICE				
24	$CBR_{MAYOR} = 216,96 - 0,084(\gamma_{d \text{ in-situ}}) - 4,926(W_{nat})$	76	9	Lineal Múltiple
25	$CBR_{MAYOR} = \frac{69,5328 * 10e6}{(\exp)^{0,0037(\gamma_{d \text{ in-situ}})} (\exp)^{0,582(W_{opt})}}$	74	9	Exponencial Múltiple
26	$CBR_{MAYOR} = 81,784 - 105,132 \text{ Log}(IP) - 1,071(W_{opt})$	86	9	Logarítmica Múltiple
27	$CBR_{MAYOR} = 223,79 - 7,811(LL) - 0,292(\text{Pasa N}^\circ 200)$	69	8	Lineal Múltiple
28	$CBR_{MAYOR} = 169,36 - 4,035(LL) - 21,313(IP)$	86	9	Lineal Múltiple
29	$CBR_{MAYOR} = 38,006 - 17,885(IP) - 1,329(IL)$	76	10	Lineal Múltiple
30	$CBR_{MAYOR} = 0,0002(\rho)^2 - 0,1515(\rho) + 40,110$	81	8	Polinómica Simple

Elaborado por: Esteban Tenecota, 2019

3.1.4.1 Correlación N° 1. Límite Líquido vs. Límite Plástico

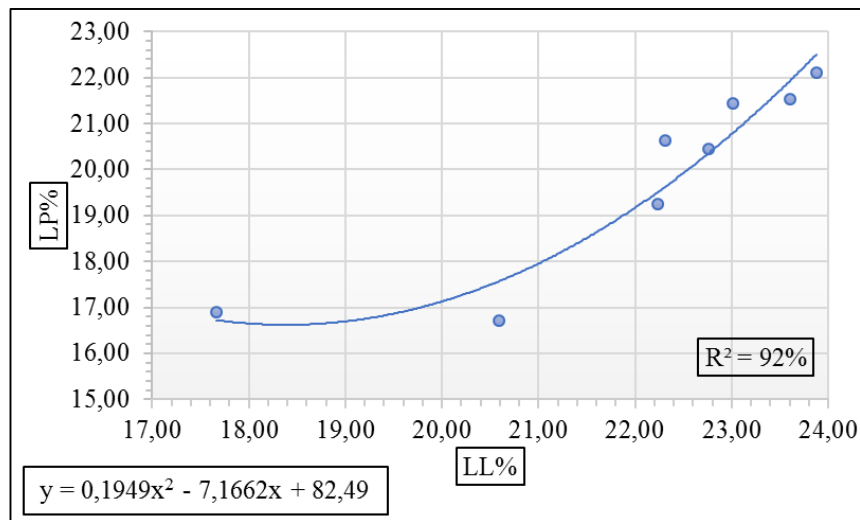


Figura 36. Límite Líquido vs. Límite Plástico

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$LP = 0,1949 (LL)^2 - 7,1662 (LL) + 82,49$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 92\%$$

Análisis e Interpretación

De acuerdo con la información recolectada, la correlación límite líquido y límite plástico sugiere una relación polinómica con 8 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F6 y F10), dando un valor de R^2 igual a 92%, el cual se considera un coeficiente de correlación excelente.

Se observa que el límite plástico incrementa su valor de manera proporcional con el límite líquido, presentando una relación directa ya que por concepto el LP es la brecha del estado semi-sólido para pasar al estado plástico, mientras que el LL cumple la misma función del estado plástico para pasar al estado líquido, lo que concuerda teóricamente con la gráfica obtenida.

3.1.4.2 Correlación N° 2. Contenido de Humedad Óptimo vs. Densidad Seca Máxima

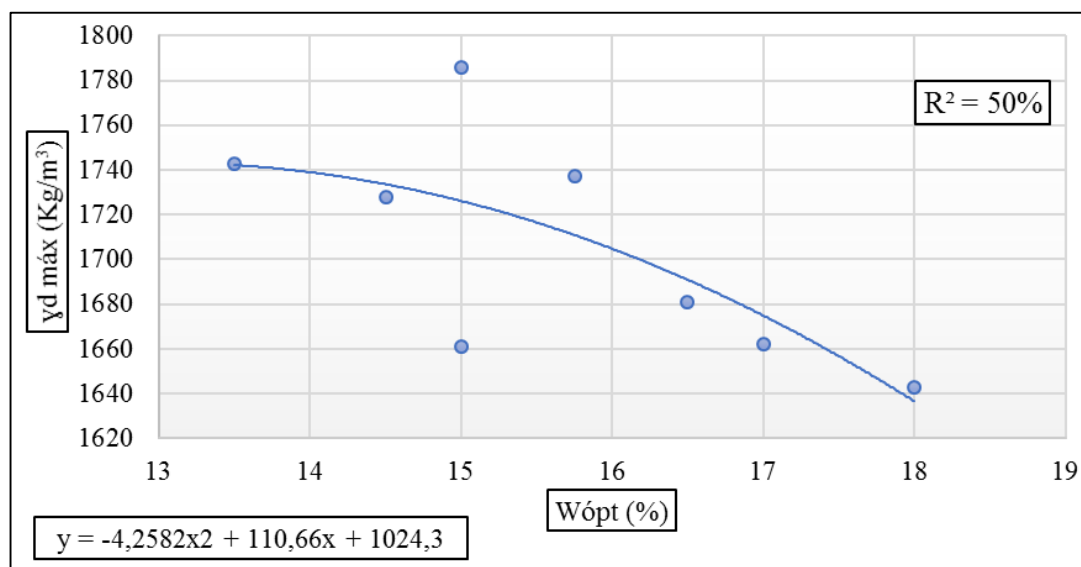


Figura 37. Contenido de Humedad Óptimo vs. Densidad Seca Máxima

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$\gamma d \text{ máx} = -4,258 (Wópt)^2 + 110,66 (Wópt) + 1024,28$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 50\%$$

Análisis e Interpretación

Se evidencia que con la correlación del contenido de humedad óptimo vs. Densidad seca máxima se obtiene una relación polinómica con 8 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F5 y F7), dando un valor de R^2 igual a 50%, el cual se considera un coeficiente de correlación regular.

Debido a los valores bajos de los puntos F2 y F4 con 17% y 15% de humedad respectivamente, el coeficiente de densidad seca máxima va a ser el mismo para ambos casos por lo que su relación es inversamente proporcional. De esto se asume que, a mayor contenido de humedad óptimo, se obtiene una densidad seca máxima menor. Concluyendo que las partículas finas necesitan una mayor cantidad de humedad óptima para que la densidad seca máxima disminuya en campo, tanto que para las arenas finas se requiere una humedad óptima menor para alcanzar un valor de densidad seca máxima mayor.

3.1.4.3 Correlación N° 3. Límite Líquido vs. Límite Plástico vs. Densidad Seca Máxima

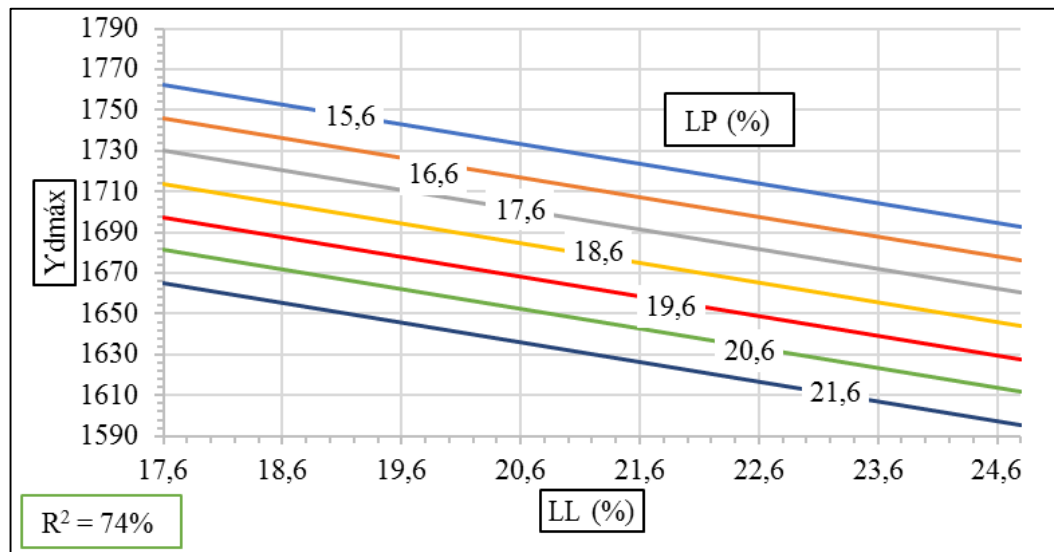


Figura 38. Límite Líquido vs. Límite Plástico vs. Densidad Seca Máxima

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$y d \text{ máx} = 2185,53 - 9,67 (LL) - 16,21 (LP)$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 74\%$$

Análisis e Interpretación

Considerando los resultados recolectados, la correlación del límite líquido vs. límite plástico vs. densidad seca máxima indica una relación lineal múltiple con 8 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F9 y F10), dando un valor de R^2 igual a 74%, el cual se considera un coeficiente de correlación muy bueno.

Se presenta una relación inversamente proporcional del límite líquido y la densidad seca máxima, de igual forma entre la densidad seca máxima y el límite plástico, por ende, mientras aumenta el límite líquido, disminuye la densidad seca máxima y si aumenta el límite plástico, disminuye la densidad seca máxima. Se evidencia que los suelos con más humedad que requieren pasar del estado semi-sólido a plástico y de plástico a líquido, tienen menor densidad seca máxima.

3.1.4.4 Correlación N° 4. Gravedad Específica vs. Porcentaje Pasa Tamiz N° 200

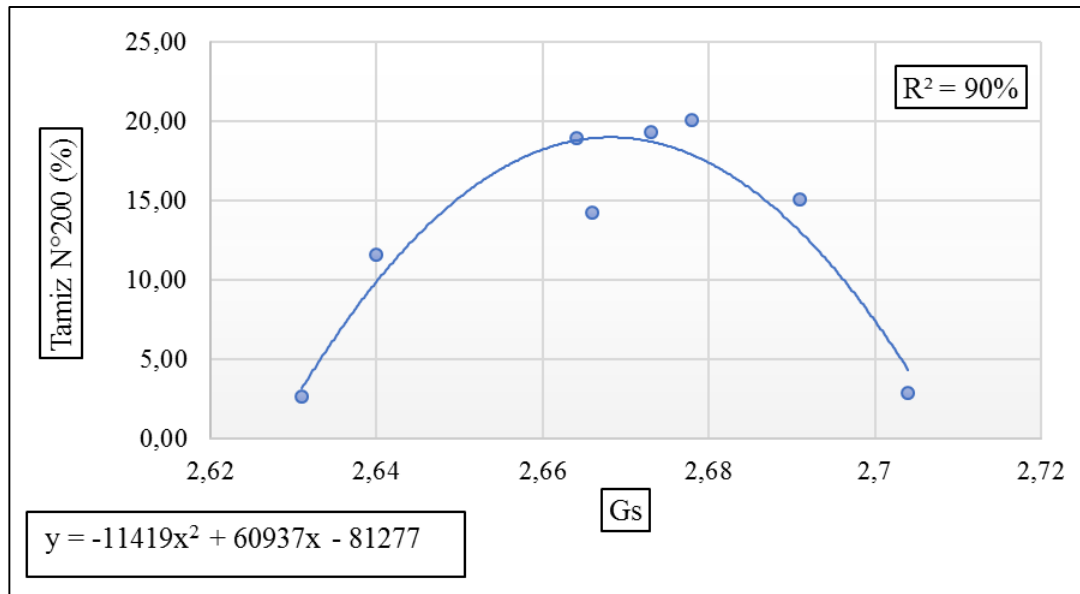


Figura 39. Gravedad Específica vs. Porcentaje Pasa Tamiz N°200
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$Gs = -11419,21 (Pasa N^{\circ}200)^2 + 60937,20 (Pasa N^{\circ}200) - 81276,954$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 90\%$$

Análisis e Interpretación

De acuerdo con la información recolectada, la correlación de gravedad específica y porcentaje pasa tamiz N°200 señala una relación polinómica con 8 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F4 y F7), dando un valor de R^2 igual a 90%, el cual se considera un coeficiente de correlación excelente.

Se evidencia que para dos valores en las muestras (F3 y F9) de gravedad específica proporciona un solo valor en el porcentaje que pasa el tamiz N°200. Desde el valor de Gs de 2,62 hasta 2,67 se considera una relación directamente proporcional, mientras que más de 2,67 se observa una relación inversamente proporcional. Dentro de este análisis, cabe indicar que si se desea excluir la muestra F7 se considera toda la relación directamente proporcional, lo que concuerda con la teoría donde a más partículas finas se obtiene mayor gravedad específica.

3.1.4.5 Correlación N° 5. Porosidad vs. Relación de Vacíos vs. Gravedad Específica

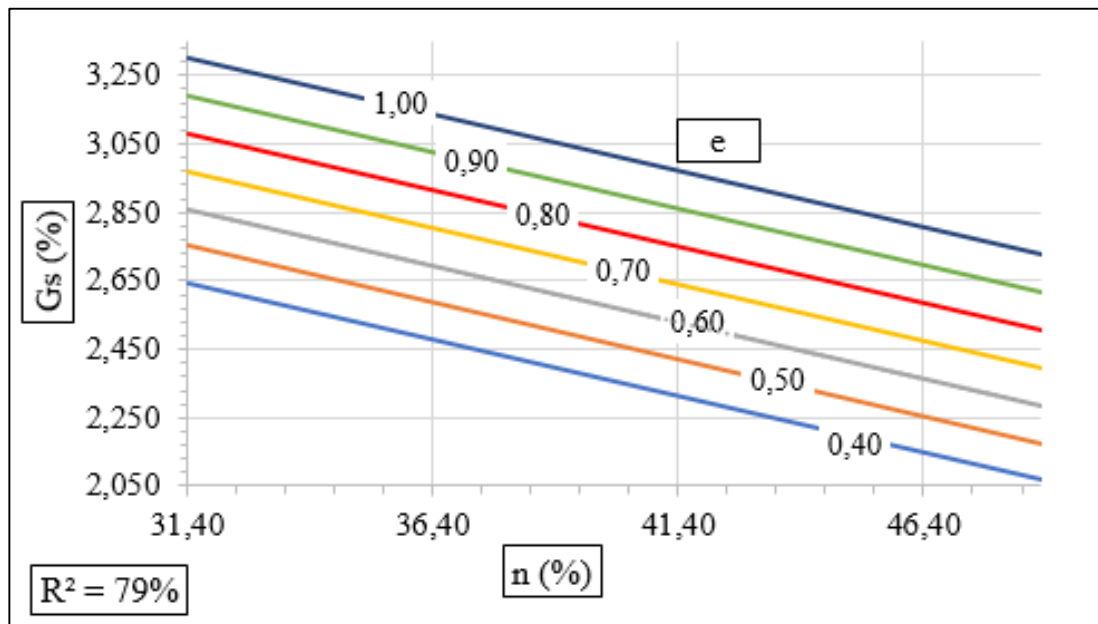


Figura 40. Porosidad vs. Relación de Vacíos vs. Gravedad Específica

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$G_s = 3,24 - 0,033 (n) + 1,097 (e)$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 79\%$$

Análisis e Interpretación

Con los datos obtenidos de las muestras se obtiene la correlación de la porosidad vs. relación de vacíos vs. gravedad específica, la cual señala una relación lineal múltiple con 9 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F4), dando un valor de R^2 igual a 79%, el cual se considera un coeficiente de correlación muy bueno.

Se aprecia una relación indirectamente proporcionalmente entre la porosidad y la gravedad específica, al igual que se genera una relación directamente proporcional entre la relación de vacíos y la gravedad específica. Si el suelo a ser estudiado presenta gran porosidad, su gravedad específica disminuye; mientras que el suelo con mayor compactación in situ presenta un menor valor de la gravedad específica.

3.1.4.6 Correlación N° 6. Contenido de Humedad Natural vs. Porcentaje Pasa Tamiz N°200 vs. Gravedad Específica

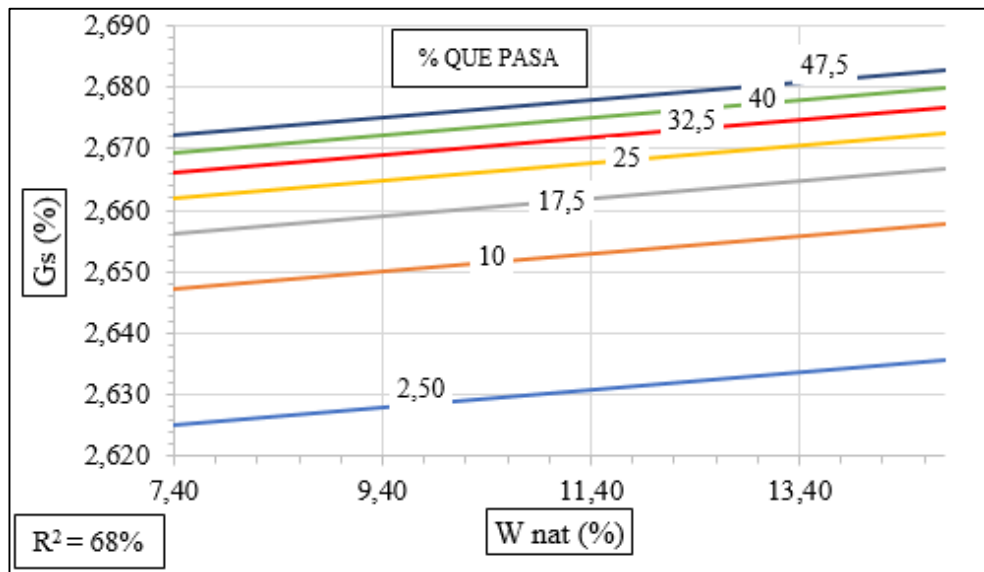


Figura 41. Contenido de Humedad Natural vs. Porcentaje Pasa Tamiz N°200 vs. Gravedad Específica

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$Gs = 2,5811 (Wnat)^{0,0057} (Pasa N^{\circ}200)^{0,0060}$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 68\%$$

Análisis e Interpretación

De acuerdo con la información recolectada, la correlación del contenido de humedad natural vs. porcentaje que pasa tamiz N°200 vs. gravedad específica indica una relación múltiple potencial con 8 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F3 y F8), dando un valor de R^2 igual a 68%, el cual se considera un coeficiente de correlación bueno.

Con los valores presentados se indica que la relación que se conforma es directamente proporcional entre el contenido de humedad natural y la gravedad específica, a la par que comparte la misma relación entre el porcentaje que pasa por el tamiz N° 200 y la gravedad específica.

3.1.4.7 Correlación N° 7. Porcentaje Pasa Tamiz N°200 vs. Gravedad Específica vs. Densidad Seca in situ

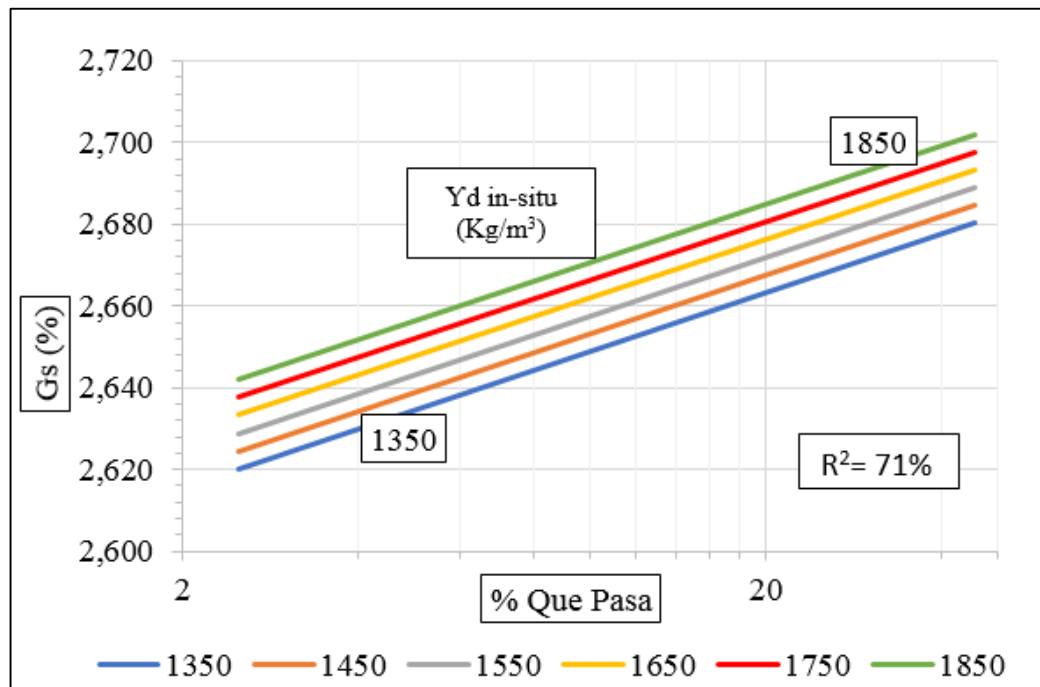


Figura 42. Porcentaje Pasa Tamiz N°200 vs. Gravedad Específica vs. Densidad Seca in situ

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$Gs = 2,543 + 0,048 \text{Log} (\text{Pasa N}^\circ 200) + 0,00004 (\gamma_d \text{ in situ})$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 71\%$$

Análisis e Interpretación

Se evidencia que con la correlación del porcentaje que pasa tamiz N°200 vs. gravedad específica vs. densidad seca in se obtiene una relación polinómica con 8 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F3 y F7), dando un valor de R^2 igual a 71%, el cual se considera un coeficiente de correlación muy bueno.

Con los datos presentados, se establece una relación directamente proporcional entre la gravedad específica y el porcentaje que pasa por el tamiz N°200, donde la cantidad de agregados finos se incrementará en conjunto con el valor de gravedad específica. Las muestras que posean una gran compactación in situ, se asumirá que su gravedad específica se incrementará a la par en los ensayos de laboratorio.

3.1.4.8 Correlación N° 8. Contenido de Humedad Óptima vs. Densidad Seca Máxima vs. Gravedad Específica

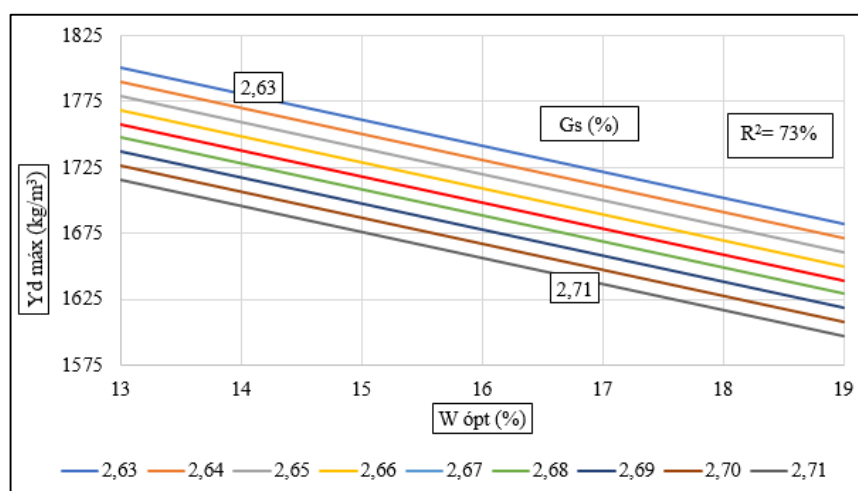


Figura 43. Contenido de Humedad Óptima vs. Densidad Seca Máxima vs. Gravedad Específica

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$y_d \text{ máx} = -1057,86 - 19,74 (W \text{ ópt}) - 1057,86 (G_s)$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 73\%$$

Análisis e Interpretación

De acuerdo con la información recolectada, la correlación del contenido de humedad óptima vs. densidad seca máxima vs. gravedad específica señala una relación múltiple lineal con 8 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F5 y F7), dando un valor de R^2 igual a 90%, el cual se considera un coeficiente de correlación muy bueno.

Se observa que, con los resultados de la correlación, la gráfica sugiere una relación inversamente proporcional entre la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo. De igual manera se considera inversamente proporcional entre la densidad seca máxima y la gravedad específica. Por lo que se llega al concepto de que en suelos finos se necesita más contenido de humedad para llegar al óptimo teniendo un menor valor de densidad seca máxima. Sin embargo, en suelos con partículas gruesas se requerirá un mayor valor en la gravedad específica para que el contenido de humedad óptimo sea menor con su respectiva densidad seca máxima.

3.1.4.9 Correlación N° 9. Resistividad vs. Contenido de Humedad Natural

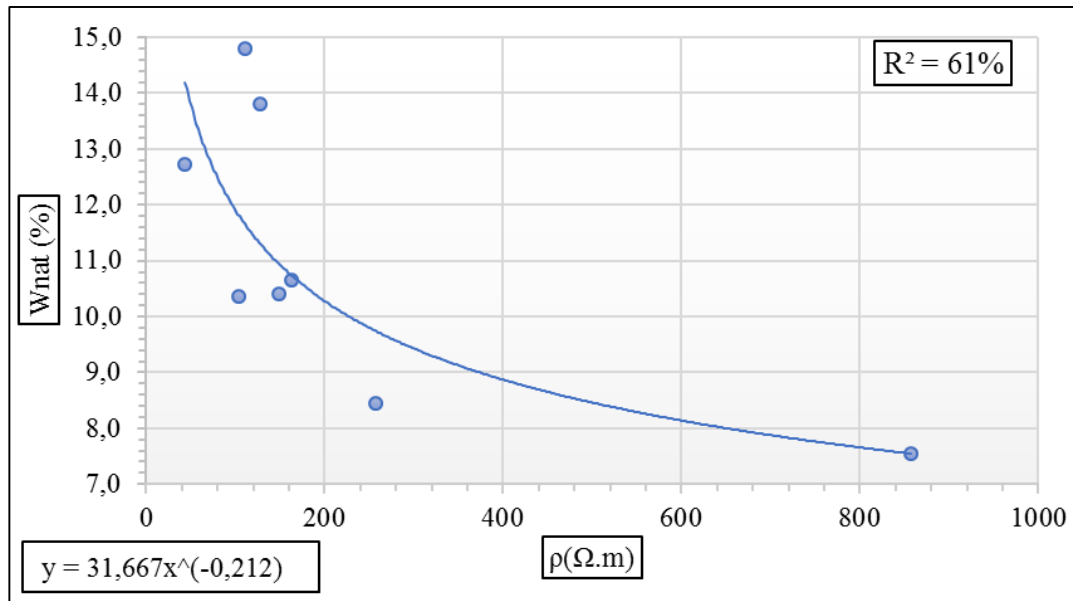


Figura 44. Resistividad vs. Contenido de Humedad Natural
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$W_{nat} = \frac{31,6668}{(\rho)^{0,2124}}$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 61\%$$

Análisis e Interpretación

Con los datos que se alcanzaron de las muestras se obtiene la correlación de resistividad vs. contenido de humedad natural, la cual señala una relación potencial con 8 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F4 y F5), dando un valor de R^2 igual a 61%, el cual se considera un coeficiente de correlación bueno.

Con los resultados de la correlación se aprecia que la relación es inversamente proporcional, es decir se muestra una tendencia curvilínea entre la resistividad y el contenido de humedad natural. Se determina que la cantidad de agua influye de manera directa y en gran magnitud sobre la resistividad del suelo en estudio, esto puede deberse a varios factores como la relación de vacíos y el grado de saturación del suelo, éste último factor es el que influye en la determinación de la relación inicial. Otro factor a considerarse es el grado de compactación que el suelo posea.

3.1.4.10 Correlación N° 10. Resistividad vs. Límite Líquido vs. Límite Plástico

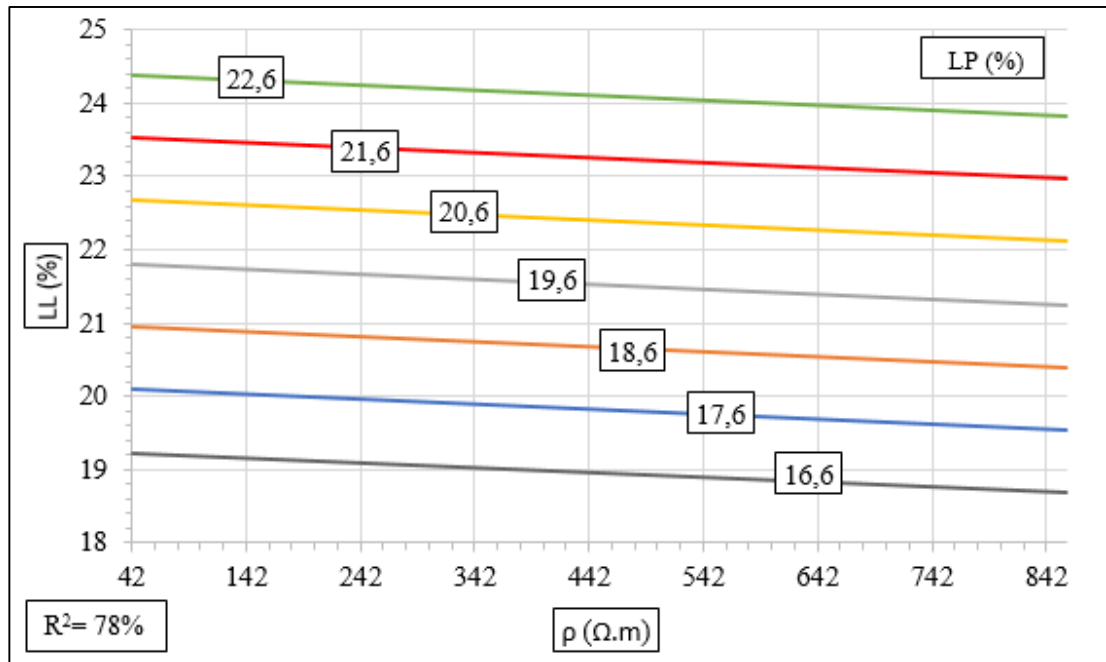


Figura 45. Resistividad vs. Límite Líquido vs. Límite Plástico

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$LL = 4,994 - 0,001 (\rho) + 0,86 (LP)$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 78\%$$

Análisis e Interpretación

De acuerdo con la información recolectada, la correlación de resistividad vs. límite líquido vs. límite plástico demanda una relación múltiple lineal con 9 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F6), dando un valor de R^2 igual a 78%, el cual se considera un coeficiente de correlación muy bueno.

La gráfica propone una relación inversamente proporcional entre el límite líquido y la resistividad. Con este resultado se corrobora la correlación N° 1, por ende, la resistividad no influye en gran cantidad cuando se la relaciona con el límite líquido como se aprecia en la pequeña variación existente. Como la resistividad que se la obtuvo en campo y los límites de Atterberg en laboratorio, ambos son influenciados por la humedad natural que se presenta y por la cantidad de agregados finos como a su vez de gruesos.

3.1.4.11 Correlación N° 11. Resistividad vs. Gravedad Específica vs. Porcentaje Pasa Tamiz N°200

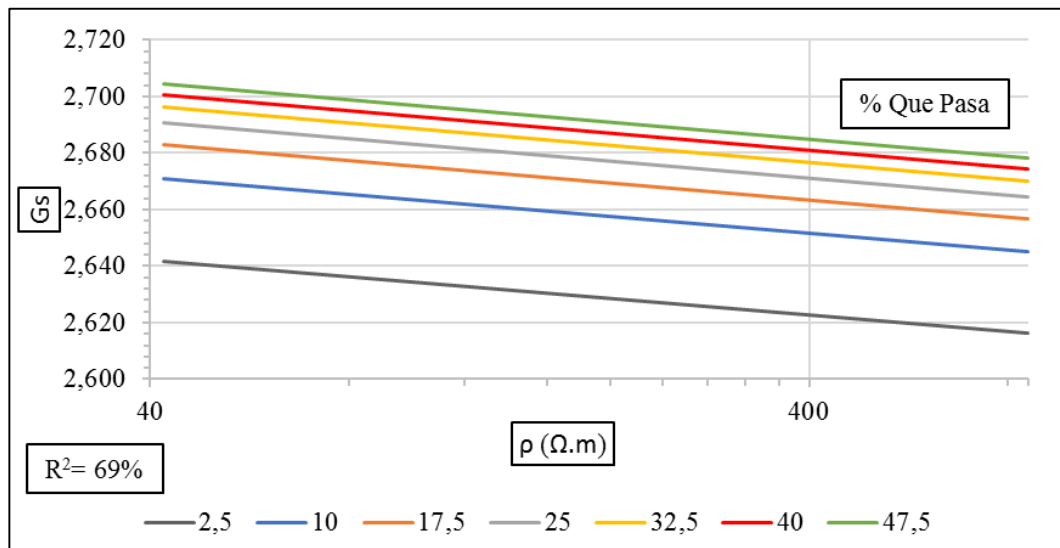


Figura 46. Resistividad vs. Gravedad Específica vs. Porcentaje Pasa Tamiz N°200
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$G_s = \frac{2,6543 (Pasa N^{\circ}200)^{0,008}}{(\rho)^{0,0032}}$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 69\%$$

Análisis e Interpretación

De acuerdo con los datos obtenidos se muestra la correlación de resistividad vs. gravedad específica vs. porcentaje pasa tamiz N°200, la cual indica una relación múltiple potencial con 8 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F3 y F7), dando un valor de R^2 igual a 69%, el cual se considera un coeficiente de correlación bueno.

La interpretación de los resultados indica una relación inversamente proporcional entre la gravedad específica y la resistividad. Además de una relación directamente proporcional con la gravedad específica y el porcentaje que pasa por el tamiz N° 200, lo que concuerda con las correlaciones anteriores. Aumenta la resistividad y disminuye la gravedad específica en los suelos más gruesos, mientras que la gravedad específica disminuye en los suelos finos.

3.1.4.12 Correlación N° 12. Resistividad vs. Densidad Seca in situ vs. Humedad Natural

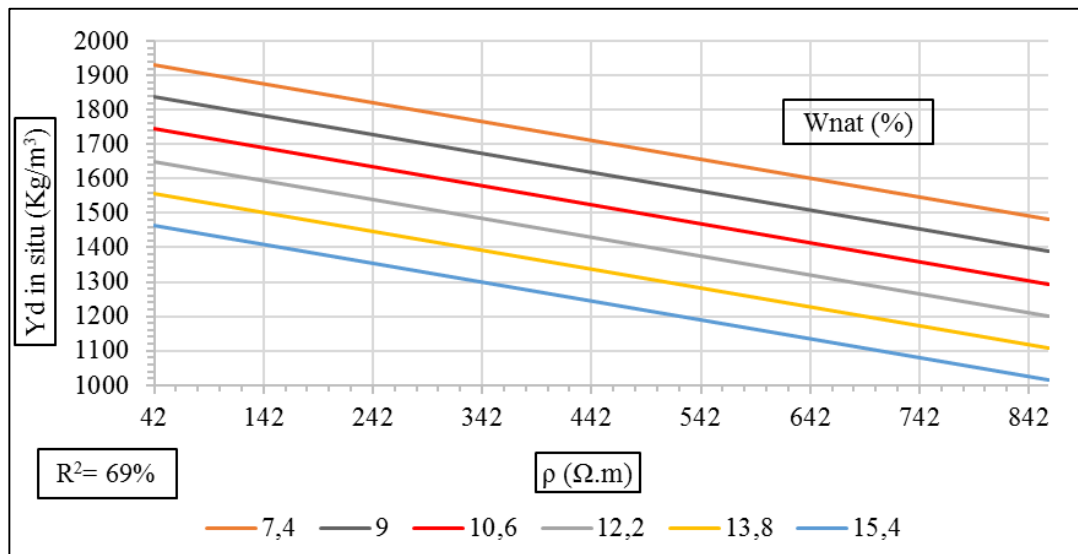


Figura 47. Resistividad vs. Densidad Seca in situ vs. Humedad Natural

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$y d \text{ in situ} = 2386,129 - 0,55 (\rho) - 58,372 (Wnat)$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 69\%$$

Análisis e Interpretación

Considerando los datos procesados se tiene la correlación de resistividad vs. densidad seca in situ vs. humedad natural, la cual señala una relación múltiple lineal con 9 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F5), dando un valor de R^2 igual a 69%, el cual se considera un coeficiente de correlación bueno.

Se presenta una relación inversamente proporcional entre la resistividad y la densidad seca in situ, al igual que se presenta la misma relación entre la densidad seca in situ y el contenido de humedad natural. Se identifica que el suelo más saturado in situ presenta un menor valor de densidad seca. Los suelos que tienen menor resistividad con un alto contenido de humedad, poseen menor densidad seca in situ, mientras que cuando tienen menor resistividad y menor contenido de humedad posee una alta densidad seca in situ.

3.1.4.13 Correlación N° 13. Resistividad vs. Grado de Saturación del Aire

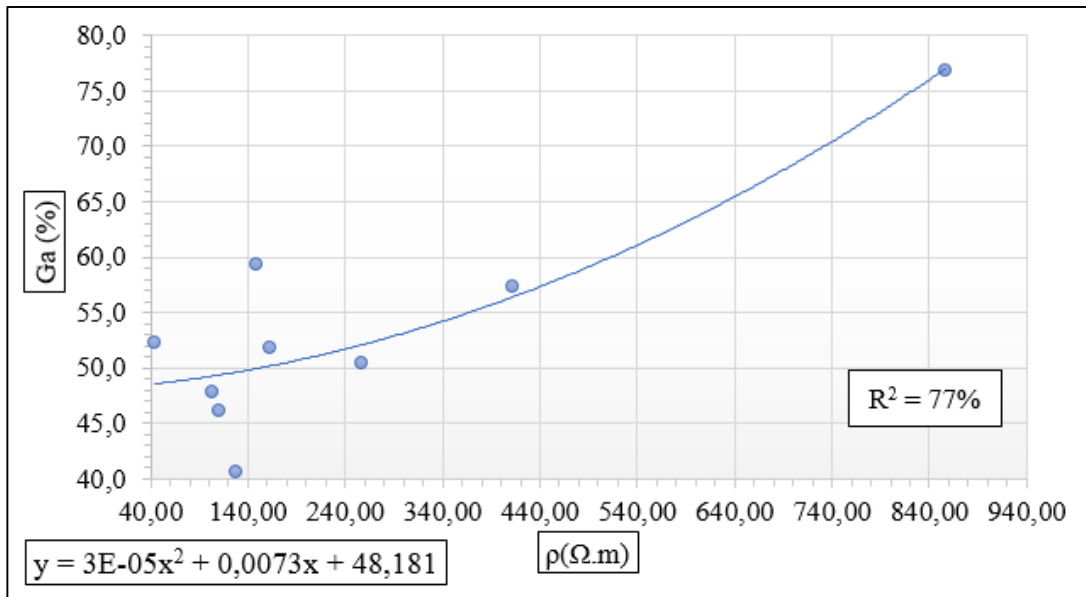


Figura 48. Resistividad vs. Grado de Saturación del Aire
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$Ga = 0,00003 (\rho)^2 + 0,0073 (\rho) + 48,181$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 77\%$$

Análisis e Interpretación

Con los datos que se consiguieron de las muestras se obtiene la correlación de resistividad vs. grado de saturación del aire, la cual sugiere una relación polinómica con 9 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F5), dando un valor de R^2 igual a 77%, el cual se considera un coeficiente de correlación muy bueno.

Con la relevancia de los datos se encuentra una relación directamente proporcional formando una curvilínea creciente. El grado de saturación del aire indica que los poros del suelo se encuentran en gran parte llenos de aire, esto conlleva a que la resistividad aumente debido a que la relación de vacíos se ve influenciada por el aire.

3.1.4.14 Correlación N° 14. Resistividad vs. Grado de saturación del agua

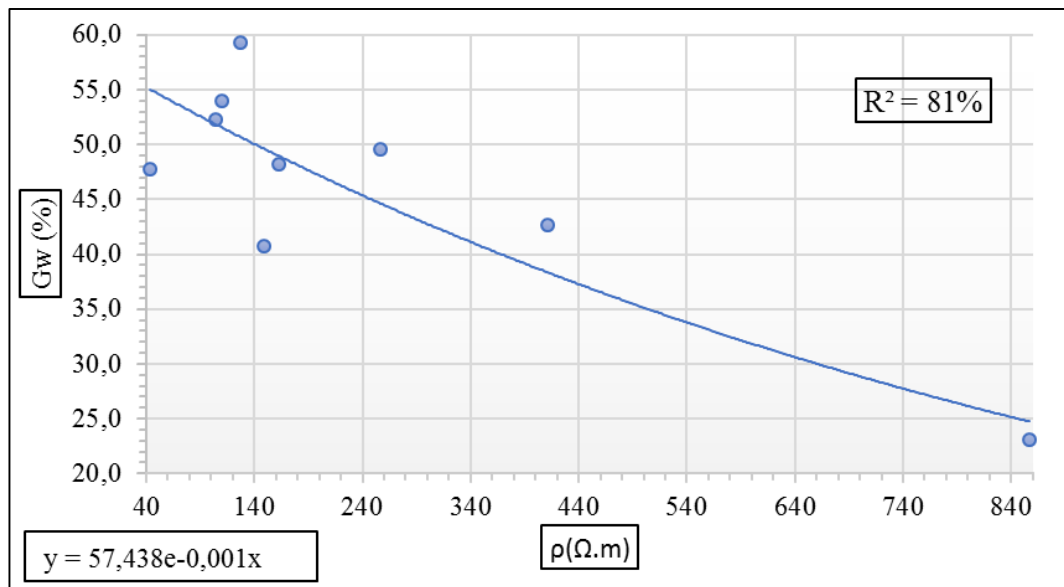


Figura 49. Resistividad vs. Grado de saturación del agua

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$Gw = \frac{57,4384}{exp^{0,001(\rho)}}$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 81\%$$

Análisis e Interpretación

De acuerdo con la información recolectada, la correlación de resistividad vs. grado de saturación del agua señala una relación exponencial con 9 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F5), dando un valor de R^2 igual a 81%, el cual se considera un coeficiente de correlación satisfactorio.

La relación es inversamente proporcional entre la resistividad y el grado de saturación del agua. Si el suelo se encuentra más saturado, la resistividad va a disminuir. Esto va vinculado con el contenido de humedad natural ya que, al tener mayor cantidad de poros de agua, la medida que se tome en la resistividad se va a ver reducida.

3.1.4.15 Correlación N° 15. Resistividad vs. Humedad Óptima vs. Humedad Natural

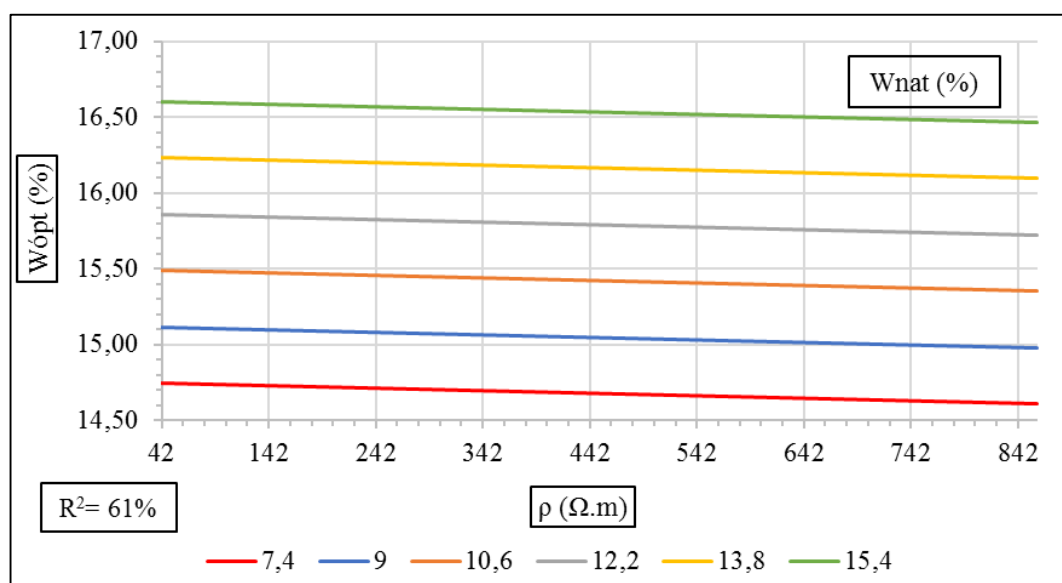


Figura 50. Resistividad vs. Humedad Óptima vs. Humedad Natural
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$W_{\text{ópt}} = -13,187 - 0,103 \text{ Log} (\rho) - 0,233(W_{\text{nat}})$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 61\%$$

Análisis e Interpretación

Considerando los datos procesados se consigue la correlación de resistividad vs. humedad óptima vs. humedad natural donde se indica una relación múltiple logarítmica con 9 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F5), dando un valor de R^2 igual a 69%, el cual se considera un coeficiente de correlación bueno.

Mediante el análisis de los datos se denota que la relación existente entre la resistividad y el contenido de humedad óptimo es inversamente proporcional, mientras que entre el contenido de humedad natural y el contenido de humedad óptimo existe una relación directamente proporcional. La resistividad no tiene influencia en este análisis ya que la variación es apenas de 0,13; con esto se establece que el suelo más saturado in situ va a necesitar más humedad para llegar a su valor óptimo.

3.1.4.16 Correlación N° 16. Resistividad vs. Densidad Seca Máxima vs. Humedad Óptima

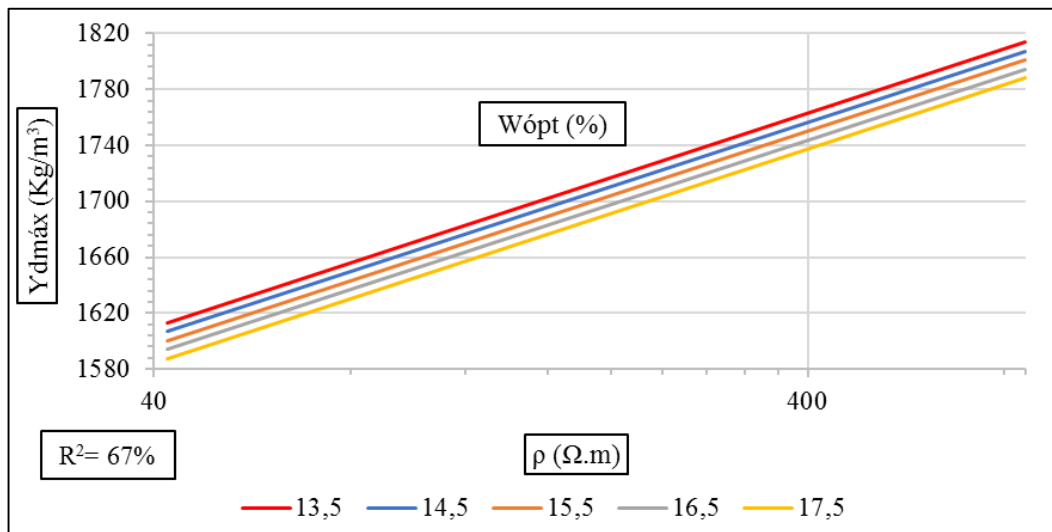


Figura 51. Resistividad vs. Densidad Seca Máxima vs. Humedad Óptima
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$Yd\ máx = 1450,578 + 153,056 \text{ Log}(\rho) - 6,373(Wópt)$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 67\%$$

Análisis e Interpretación

Teniendo en cuenta los resultados recolectados, la correlación de resistividad vs. densidad seca máxima vs. humedad óptima indica una relación múltiple logarítmica con 9 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F4), dando un valor de R^2 igual a 67%, el cual se considera un coeficiente de correlación bueno.

Se establece que la relación es directamente proporcional entre la resistividad y la densidad seca máxima, a diferencia de la relación entre el contenido de humedad óptimo y la densidad seca máxima que es inversamente proporcional. La interpretación de los datos resulta que, al presentar un aumento en el contenido de humedad óptimo, existe una menor resistividad. En suelos arenosos se necesitará menos humedad para llegar al punto óptimo, esto provocará que la densidad seca máxima aumente.

3.1.4.17 Correlación N° 17. Resistividad vs. Humedad Natural vs. Grado de Saturación del Aire

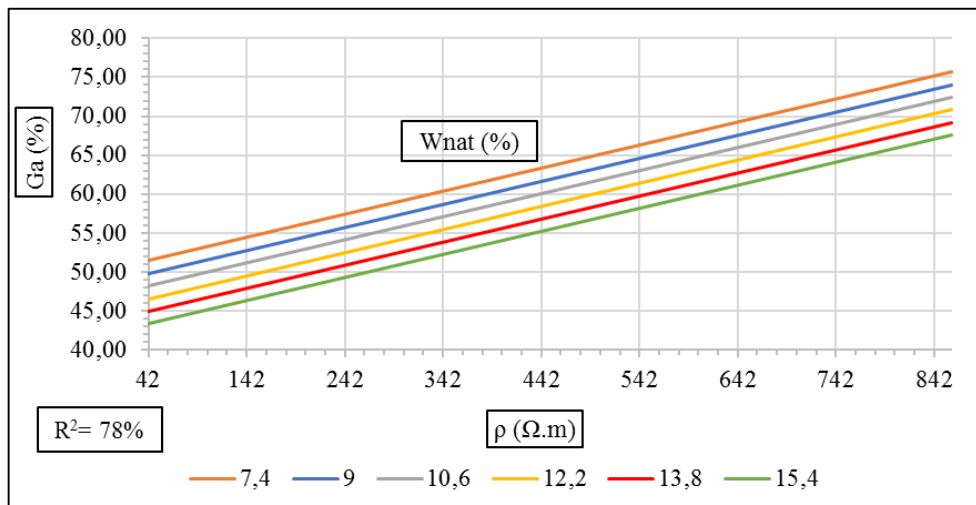


Figura 52. Resistividad vs. Humedad Natural vs. Grado de Saturación del Aire
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$Ga = 0,030(\rho)^2 - 1,012(Wnat) + 57,669$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 78\%$$

Análisis e Interpretación

Con los datos que se procesaron de las muestras se obtiene la correlación de resistividad vs. humedad natural vs. grado de saturación del aire, la cual señala una relación lineal múltiple con 9 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F5), dando un valor de R^2 igual a 78%, el cual se considera un coeficiente de correlación muy bueno.

Se presenta una relación directamente proporcional entre la resistividad y el grado de saturación del aire, mientras que entre el contenido de humedad natural y el grado de saturación del aire es una relación inversamente proporcional. Esto indica que existe concordancia con las correlaciones anteriores señalando que a menor cantidad de agua existe mayor saturación del aire. El suelo tiene mayor volumen de vacíos presentando una consistencia suelta, definiendo que para un mismo contenido de humedad natural se tiene resistividades diferentes.

3.1.4.18 Correlación N° 18. Resistividad vs. Humedad Natural vs. Grado de Saturación del Agua

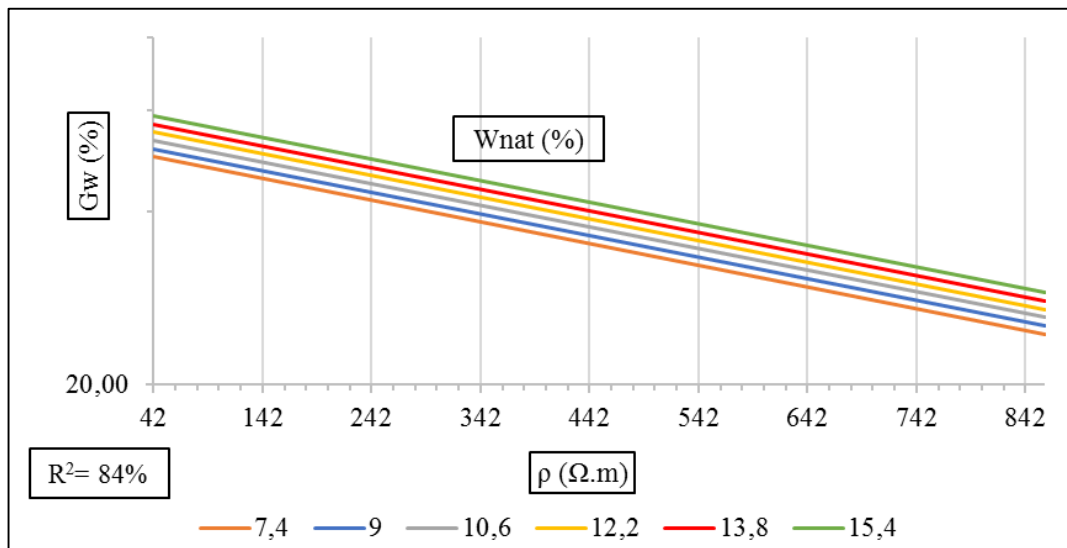


Figura 53. Resistividad vs. Humedad Natural vs. Grado de Saturación del Agua
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$GW = 44,1951(\exp)^{-0,0009(\rho)}(\exp)^{0,0207(Wnat)}$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 84\%$$

Análisis e Interpretación

Mediante la recolección de los datos se obtiene la correlación de resistividad vs. humedad natural vs. grado de saturación del agua, la misma que sugiere una relación múltiple exponencial con 9 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F5), dando un valor de R^2 igual a 84%, el cual se considera un coeficiente de correlación satisfactorio.

Mediante el ábaco se observa que la relación entre la resistividad y el grado de saturación del agua es inversamente proporcional, mientras que entre el contenido de humedad natural y el grado de saturación del agua la relación es directamente proporcional. Esto da un indicio que los volúmenes de vacíos del suelo se encuentran en su totalidad llenos de agua.

3.1.4.19 Correlación N° 19. Resistividad vs. SPT

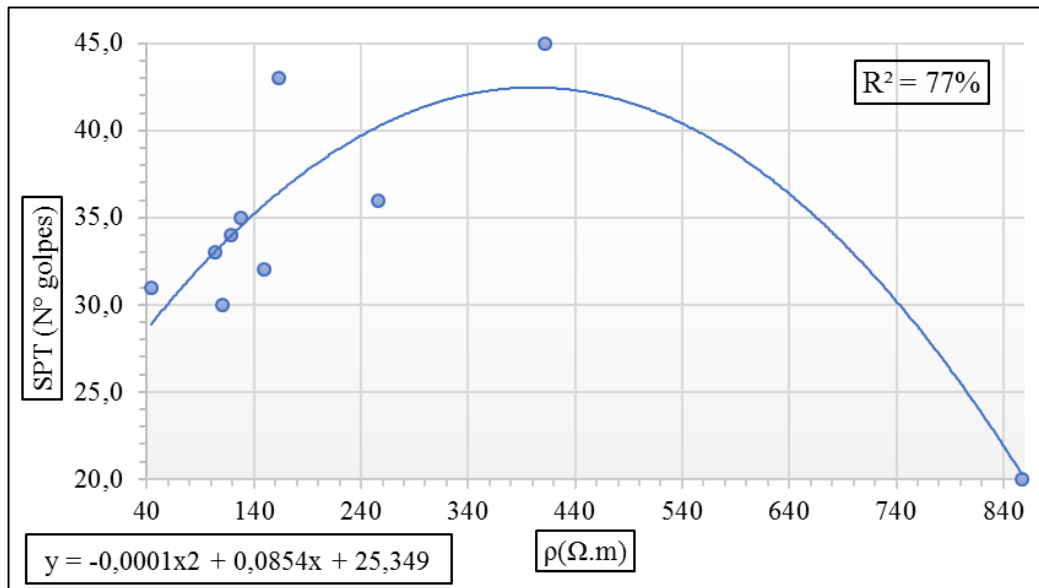


Figura 54. Resistividad vs. SPT
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$SPT = -0,00011(\rho)^2 + 0,0854(\rho) + 25,349$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 72\%$$

Análisis e Interpretación

Con la recolección de los datos se consigue la correlación de resistividad vs. SPT, la cual señala una relación polinómica con 10 muestras completas de suelo, dando un valor de R^2 igual a 77%, el cual se considera un coeficiente de correlación muy bueno.

Ésta es una de las correlaciones que sin descartar muestras cumple con el coeficiente esperado. Se observa que en el eje de resistividad (ρ) hasta el valor 440 $\Omega.m$ existe una relación directamente proporcional, tanto que pasado este valor la relación se vuelve inversamente proporcional. El punto de la muestra F10 es el que genera este cambio de relación, revisando los datos de la tabla resumen éste punto posee el más alto valor de G_a . Si se llega a descartar F10, se establecería que a mayor resistividad se obtiene una mayor penetración con el número de golpes (NSPT).

3.1.4.20 Correlación N° 20. Resistividad vs. Velocidad Media de Onda Cortante

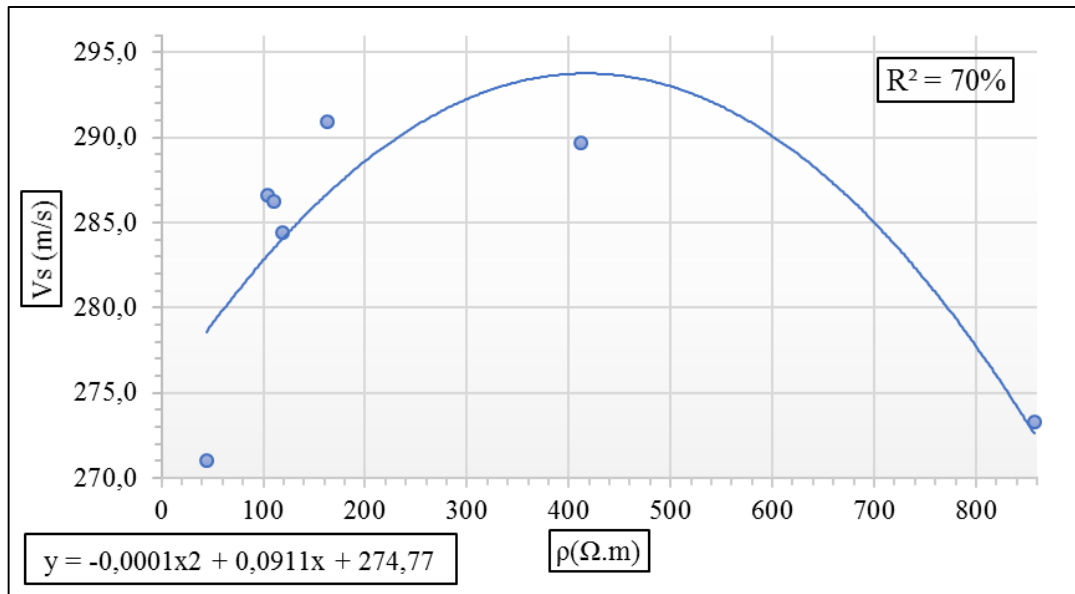


Figura 55. Resistividad vs. Velocidad Media de Onda Cortante

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$V_s = -0,0001(\rho)^2 + 0,0911(\rho) + 274,766$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 70\%$$

Análisis e Interpretación

Considerando los datos procesados se obtiene la correlación de resistividad vs. velocidad media de onda cortante que indica una relación polinómica con 8 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F8 y F9), dando un valor de R^2 igual a 70%, el cual se considera un coeficiente de correlación muy bueno.

En esta sección se tiene de igual manera el mismo caso de correlación N° 19, que en el eje de resistividad (ρ) hasta el valor 440 $\Omega.m$ existe una relación directamente proporcional, tanto que pasado este valor la relación se vuelve inversamente proporcional. De esta manera se cumple lo revisado en la correlación pasada. Cabe indicar que el V_{s30} va a depender del valor del NSPT por lo que su cálculo y correlación resultarían con un cierto grado de complejidad.

3.1.4.21 Correlación N° 21. Resistividad vs. SPT vs. Humedad Óptima

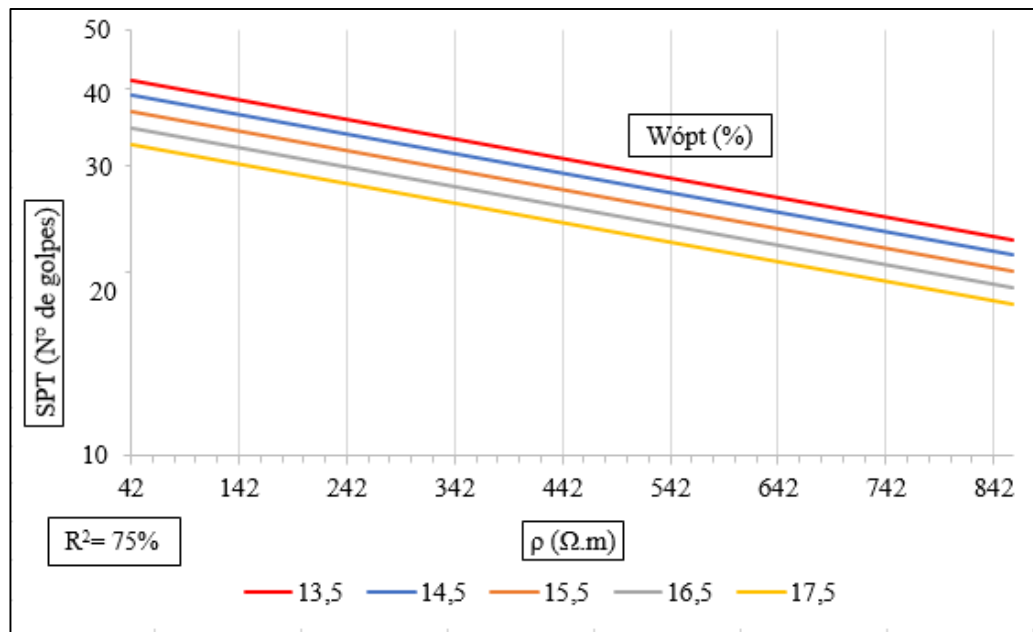


Figura 56. Resistividad vs. SPT vs. Humedad Óptima

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$SPT = \frac{97,5495}{(exp)^{0,0007(\rho)}(exp)^{0,0610(Wópt)}}$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 75\%$$

Análisis e Interpretación

De acuerdo con la información recolectada, la correlación de resistividad vs. grado de saturación del agua señala una relación exponencial con 9 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F5), dando un valor de R^2 igual a 81%, el cual se considera un coeficiente de correlación muy bueno.

Se aprecia una relación inversamente proporcional entre la resistividad y el NSPT, de igual manera se forma la misma relación entre el contenido de humedad óptimo y el NSPT. Es así que el suelo necesita más humedad para llegar a su valor óptimo, además se genera una mayor resistencia a la penetración debido a que el suelo en estudio resulta ser más fino.

3.1.4.22 Correlación N° 22. Resistividad vs. Grado de Compactación vs. Límite Plástico

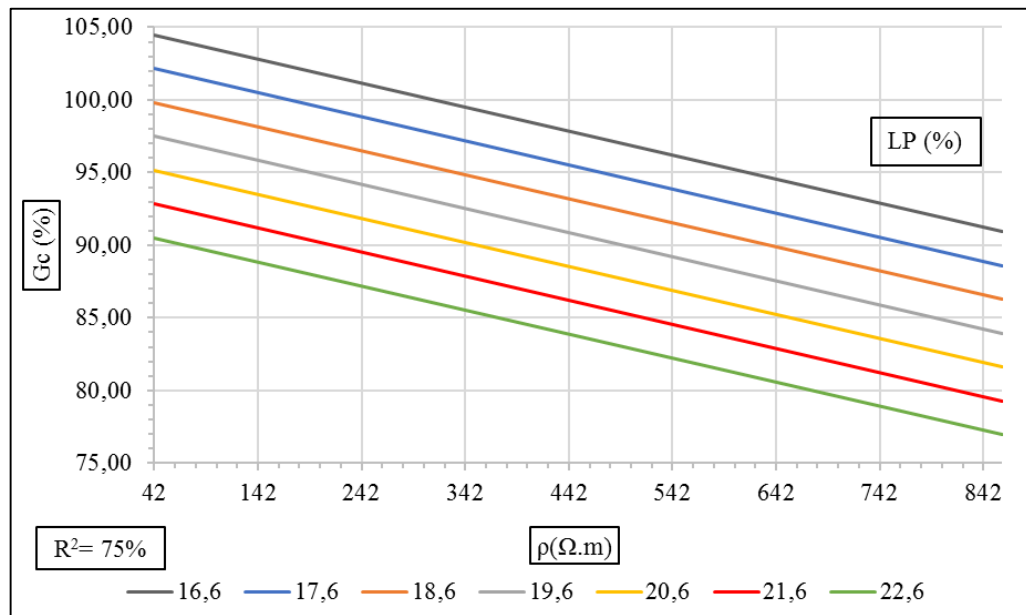


Figura 57. Resistividad vs. Grado de Compactación vs. Límite Plástico
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$Gc = 143,864 - 0,017(\rho) - 2,331(LP)$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 75\%$$

Análisis e Interpretación

Mediante la información recolectada se obtiene la correlación de resistividad vs. grado de compactación vs. límite plástico señalando una relación múltiple lineal con 8 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F3 y F6), dando un valor de R^2 igual a 75%, el cual se considera un coeficiente de correlación muy bueno.

Se presenta una relación inversamente proporcional entre la resistividad y el grado de compactación, a su vez el límite plástico y el grado de compactación de igual manera presentan una relación inversamente proporcional. Por ende, el suelo más compactado va a presentar menor resistividad por lo que concuerda con la teoría. Mientras menor cantidad de agua se necesite para pasar del estado semi-sólido a plástico, tiene mayor compactación.

3.1.4.23 Correlación N° 23. Resistividad vs. SPT vs. Humedad Óptima

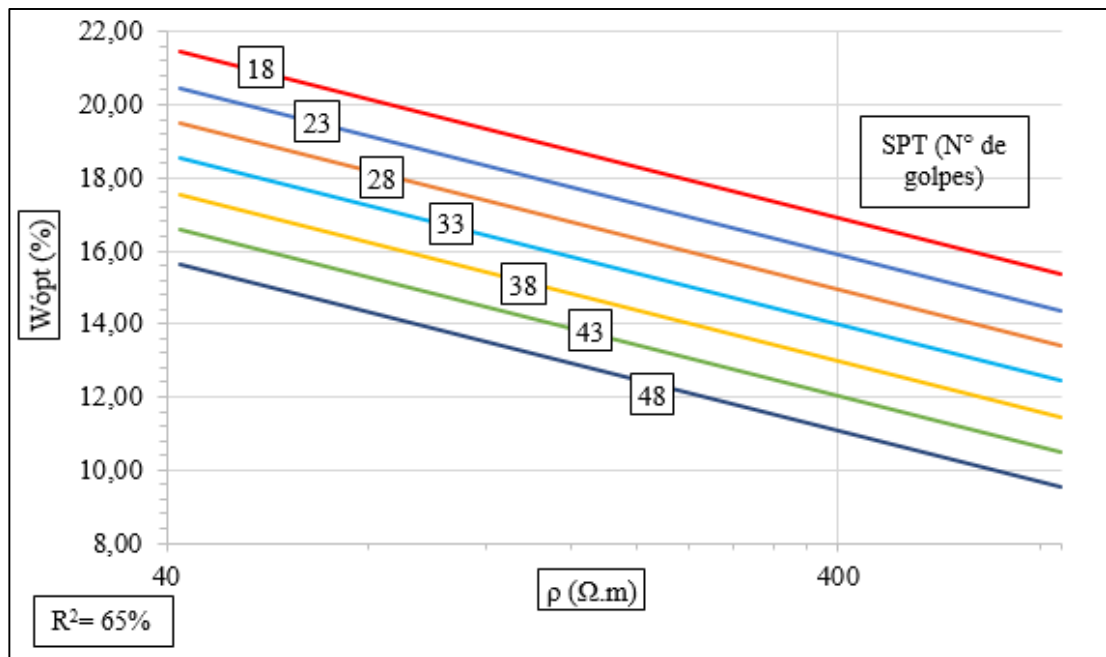


Figura 58. Resistividad vs. SPT vs. Humedad Óptima

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$W_{ópt} = 32,496 - 4,655 \text{ Log}(\rho) - 0,194(SPT)$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 65\%$$

Análisis e Interpretación

Considerando la información recolectada se muestra la correlación de resistividad vs. SPT vs. humedad óptima señalando una relación múltiple logarítmica con 8 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F4 y F7), dando un valor de R^2 igual a 65%, el cual se considera un coeficiente de correlación bueno.

Se observa que la relación entre la resistividad y el contenido de humedad óptima es inversamente proporcional, de igual manera la relación es inversamente proporcional entre el NSPT y el contenido de humedad óptima. El suelo más resistente a la penetración va a necesitar menos humedad para llegar a su punto óptimo. Los suelos arenosos van a necesitar menor cantidad de agua para de igual forma alcanzar su valor óptimo. Partiendo de estos conceptos, el suelo con mayor resistividad va a necesitar menor contenido de humedad óptimo.

3.1.4.24 Correlación N° 24. Densidad Seca in situ vs. Humedad Natural vs. CBR

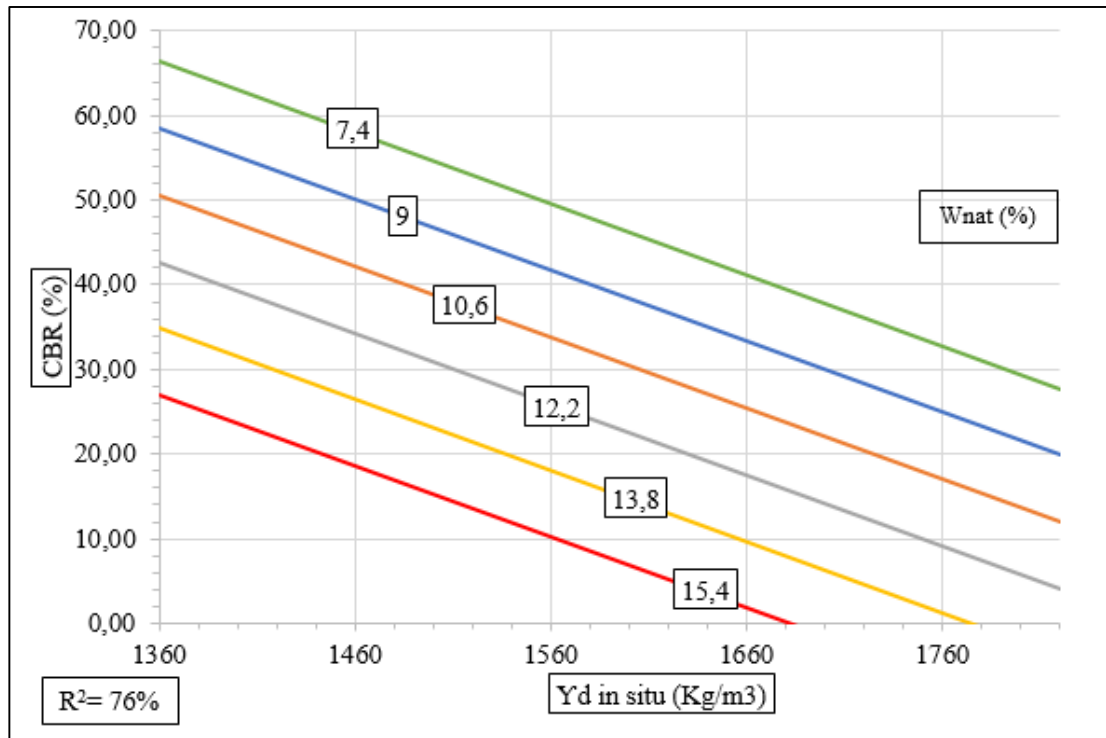


Figura 59. Densidad Seca in situ vs. Humedad Natural vs. CBR

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$CBR = 216,96 - 0,084 (Yd \text{ in situ}) - 4,926(Wnat)$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 76\%$$

Análisis e Interpretación

De acuerdo con la información recolectada, la correlación de densidad seca in situ vs. humedad natural vs. CBR señala una relación múltiple lineal con 9 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F1), dando un valor de R² igual a 76%, el cual se considera un coeficiente de correlación muy bueno.

Se aprecia una relación inversamente proporcional entre la densidad seca in situ y el CBR, a su vez la humedad natural y el CBR tienen la misma relación. El suelo siendo más arenoso va a tener una densidad seca in situ menor. Con esto se define que el suelo arenoso con más partículas finas, con un alto contenido de humedad natural va a tener un buen porcentaje de CBR.

3.1.4.25 Correlación N° 25. Densidad Seca in situ vs. Humedad Óptima vs. CBR

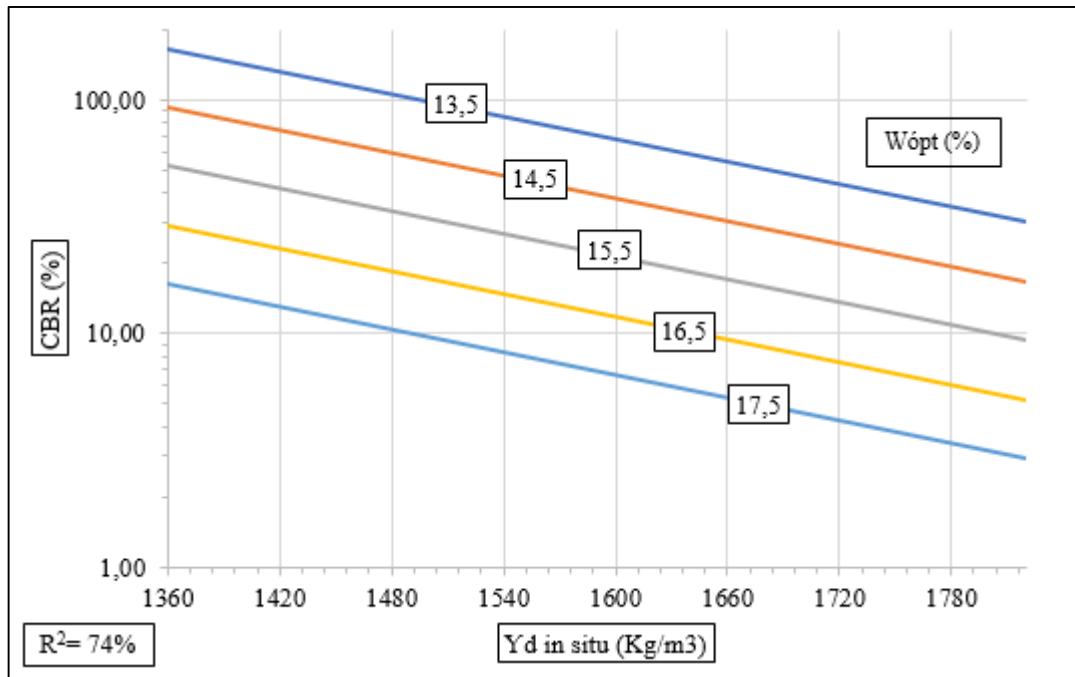


Figura 60. Densidad Seca in situ vs. Humedad Óptima vs. CBR
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$CBR = \frac{69,5328e6}{(exp)^{0,0037(Yd\ in\ situ)}(exp)^{0,582(Wópt)}}$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 74\%$$

Análisis e Interpretación

Teniendo en cuenta los resultados recolectados, la correlación de densidad seca in situ vs. humedad óptima vs. CBR indica una relación múltiple exponencial con 9 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F3), dando un valor de R^2 igual a 74%, el cual se considera un coeficiente de correlación muy bueno.

Se presenta una relación inversamente proporcional entre la densidad seca in situ y el CBR, a su vez el contenido de humedad óptimo y el CBR tienen la misma relación. El suelo siendo más arenoso va a tener una densidad seca in situ menor. Con esto se define que el suelo arenoso con más partículas finas, con un alto contenido de humedad óptimo va a tener un buen porcentaje de CBR.

3.1.4.26 Correlación N° 26. Índice Plástico vs. Humedad Óptima vs. CBR

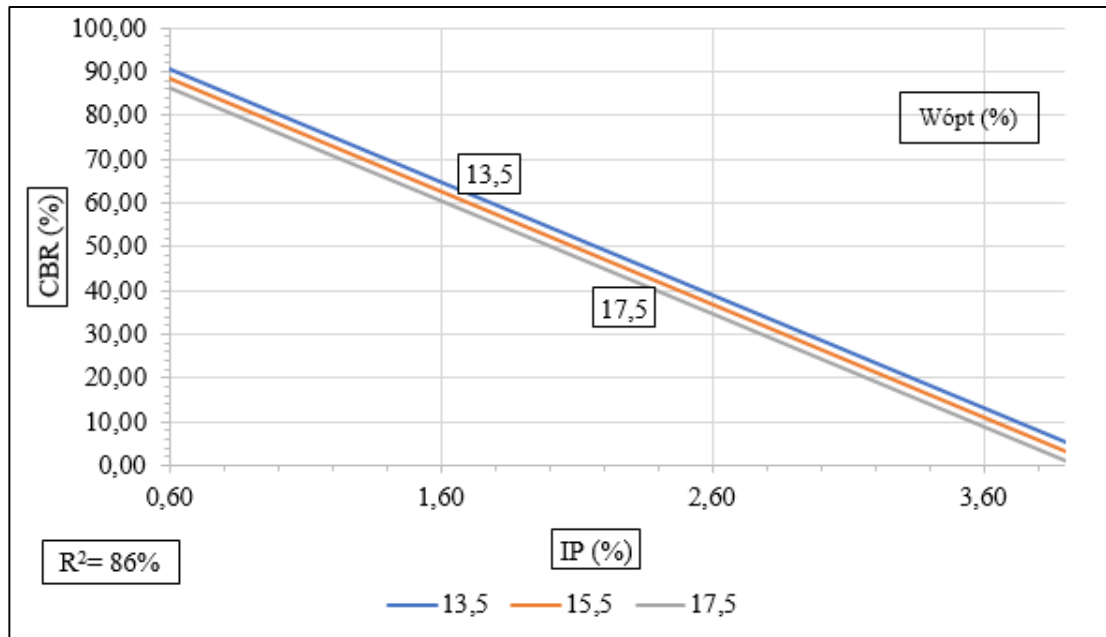


Figura 61. Índice Plástico vs. Humedad Óptima vs. CBR
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$CBR = 81,784 - 105,132 \text{ Log}(IP) - 1,071(Wópt)$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 86\%$$

Análisis e Interpretación

Con la recolección de los datos se consigue la correlación de densidad seca in situ vs. humedad óptima vs. CBR, la cual señala una relación múltiple logarítmica con 9 muestra de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F6), dando un valor de R^2 igual a 86%, el cual se considera un coeficiente de correlación satisfactorio.

Se identifica una relación inversamente proporcional entre el índice plástico y el CBR, además se tiene la misma relación entre el contenido de humedad óptimo y CBR. El suelo requiere menor cantidad de humedad para pasar del estado sólido a líquido, esto ocurre en el caso de partículas arenosas que van a tener un aumento de CBR. La humedad óptima influencia en un 5% y los valores de CBR se encontrarán en el rango de 13,5 a 17,5% en relación a la humedad.

3.1.4.27 Correlación N° 27. Límite Líquido vs. CBR vs. Porcentaje Pasa N° 200

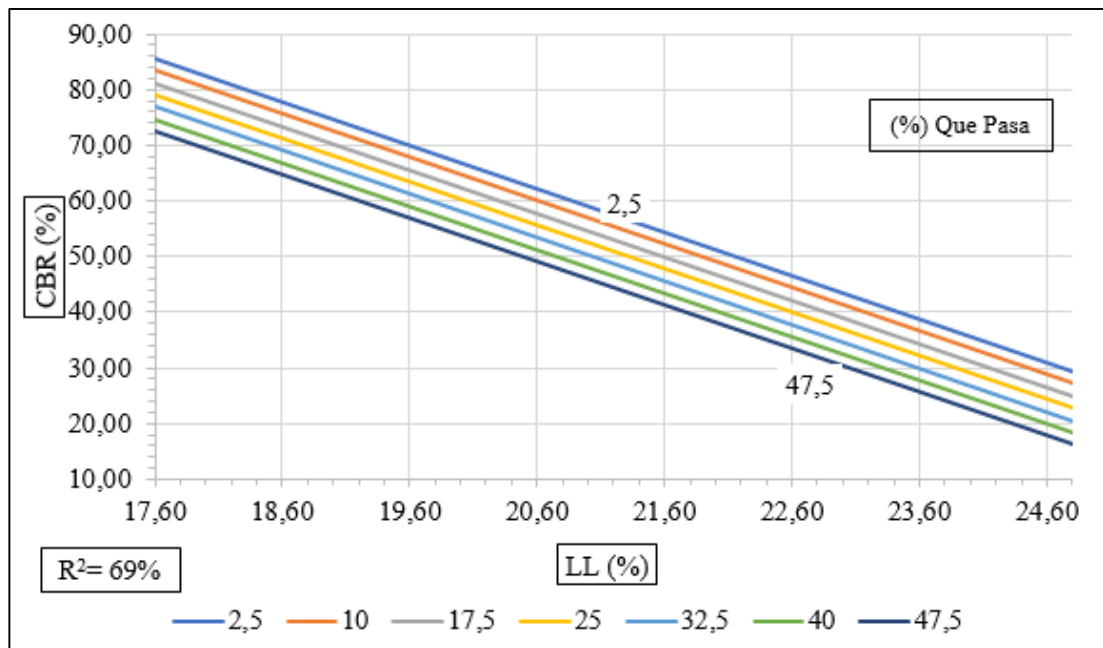


Figura 62. Límite Líquido vs. CBR vs. Porcentaje Pasa N° 200

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$CBR = 223,79 - 7,811 (LL) - 0,292(Pasa N^{\circ}200)$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 69\%$$

Análisis e Interpretación

Mediante la obtención de los datos se consigue la correlación de límite líquido vs. CBR vs. porcentaje pasa N° 200, la cual señala una relación múltiple lineal con 8 muestra de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F2 y F8), dando un valor de R^2 igual a 69%, el cual se considera un coeficiente de correlación bueno.

En la gráfica se puede observar que la relación es inversamente proporcional entre el límite líquido y el CBR, tanto que la relación entre el porcentaje que pasa el tamiz N° 200 y el CBR es directamente proporcional. El suelo va a necesitar menos cantidad de agua para pasar de estado plástico a líquido, por otra parte, mientras más fino sea el suelo el valor de CBR será más alto. En definitiva, el suelo que necesita más cantidad de agua para pasar de plástico a líquido será un suelo con más partículas finas y su valor en CBR disminuirá.

3.1.4.28 Correlación N° 28. Límite Líquido vs. CBR vs. Índice Plástico

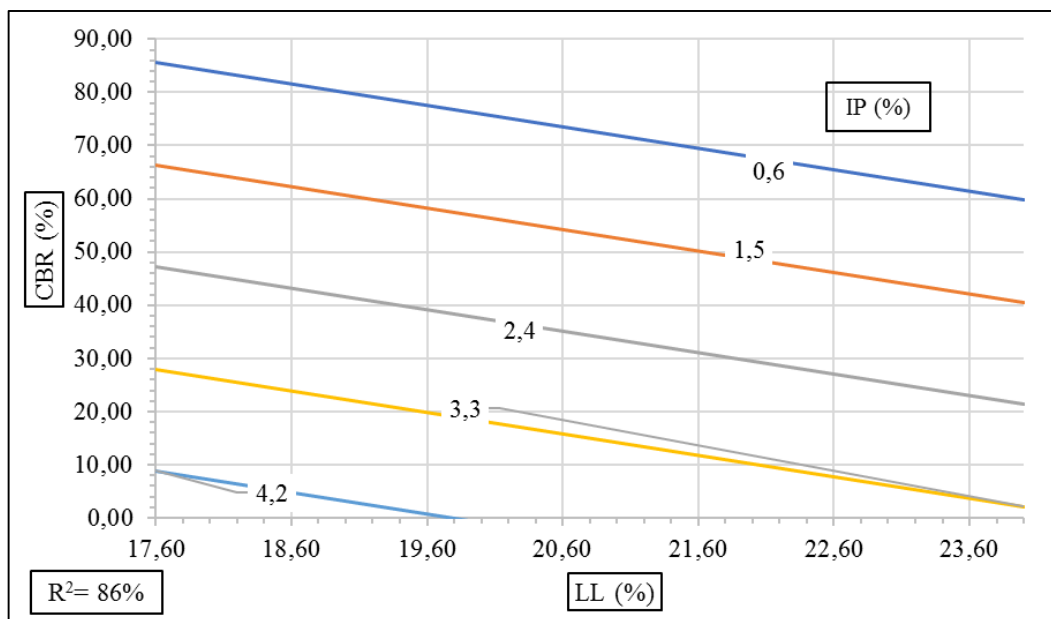


Figura 63. Límite Líquido vs. CBR vs. Índice Plástico
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$CBR = 169,36 - 4,035(LL) - 21,313(IP)$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 86\%$$

Análisis e Interpretación

De acuerdo con la información recolectada se consigue la correlación de límite líquido vs. CBR vs. índice plástico, la cual señala una relación múltiple lineal con 9 muestra de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F6), dando un valor de R^2 igual a 86%, el cual se considera un coeficiente de correlación satisfactorio.

La relación establecida entre el límite líquido y el CBR es inversamente proporcional, de igual forma la relación entre el índice plástico y el CBR resulta inversa. En esta correlación lo primordial y notorio es que el suelo que tiene menores valor en los Límites de Atterberg, tendrá un valor de CBR alto. Un aumento en el límite líquido y en límite plástico ocasionará un CBR bajo. Si existe una disminución del límite líquido y aumento del límite plástico, generará que el CBR aumente. Finalmente, si se tiene un aumento en el límite líquido y una disminución del límite plástico, el CBR será más bajo que el primer caso.

3.1.4.29 Correlación N° 29. Índice Plástico vs. CBR vs. Índice Líquido

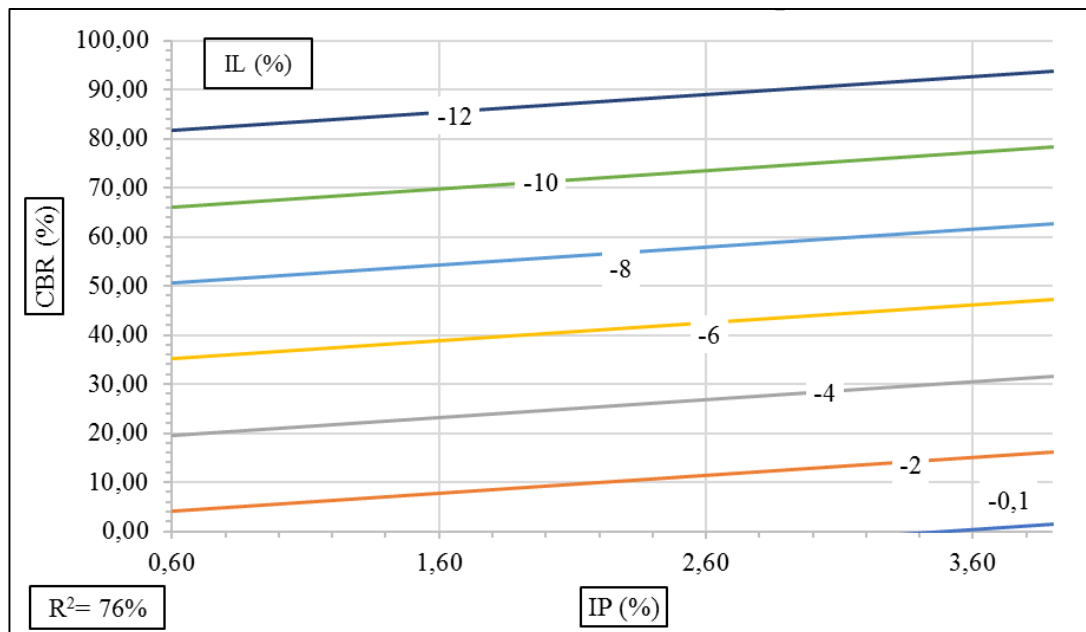


Figura 64. Índice Plástico vs. CBR vs. Índice Líquido

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$CBR = 38,006 - 17,885(IP) - 1,329(IL)$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 76\%$$

Análisis e Interpretación

Considerando los resultados recolectados, la correlación del índice plástico vs. CBR vs. índice líquido indica una relación múltiple lineal con 9 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F6), dando un valor de R^2 igual a 76%, el cual se considera un coeficiente de correlación satisfactorio.

La relación formada entre el índice plástico y el CBR resulta directamente proporcional, coincide la misma relación entre el índice de liquidez (IL) y el CBR. Si el IL es menor a 0 se considera que el suelo está bien consolidado y va a tener un excelente CBR alto. Lo que indica que el suelo necesitará más contenido de humedad para pasar del estado sólido a líquido, en situ este suelo será más consolidado con un alto CBR.

3.1.4.30 Correlación N° 30. CBR vs. Resistividad

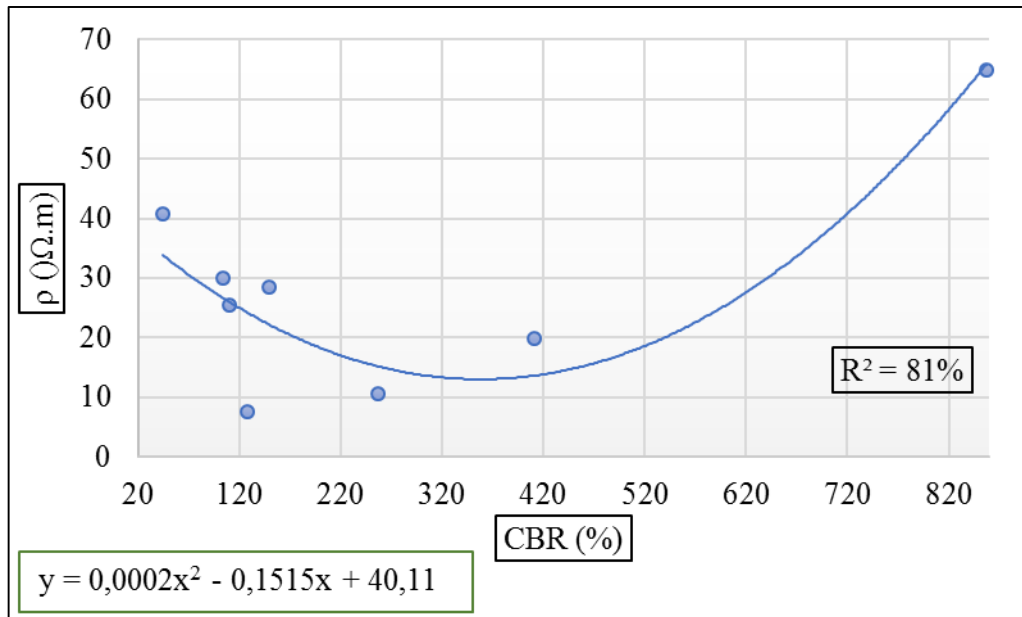


Figura 65. CBR vs. Resistividad
Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Ecuación:

$$CBR = 0,0002(\rho)^2 - 0,1515(\rho) - 40,110$$

Coefficiente de correlación:

$$R^2 = 81\%$$

Análisis e Interpretación

Teniendo en cuenta los resultados recolectados, la correlación del CBR vs. resistividad indica una relación polinómica con 8 muestras de suelo (Se excluye puntos fuera de rango F1 y F5), dando un valor de R^2 igual a 81%, el cual se considera un coeficiente de correlación satisfactorio.

Se presenta una relación directamente proporcional entre las dos variables con una tendencia curvilínea, por teoría se conoce que el suelo al estar más consolidado, menos porosidad va a presentar. Por ende, el suelo con más poros, menos relación de vacíos va a tener por lo que resulta un aumento en la capacidad de carga. A su vez el suelo con menos vacíos va a tener una menor capacidad de transmisión de electrones y como resultado la resistividad va a aumentar.

3.2 Verificación de hipótesis

Posteriormente de haber determinado los coeficientes de correlación entre las propiedades índice y mecánicas con la resistividad eléctrica, se formula las siguientes hipótesis:

Ho: No existe correlaciones confiables entre propiedades índice y mecánicas con la resistividad eléctrica de suelos granulares en la zona 2 de la ciudad de Ambato.

Hi: Existe correlaciones confiables entre propiedades índice y mecánicas con la resistividad eléctrica de suelos granulares en la zona 2 de la ciudad de Ambato.

Se pretende identificar y establecer los resultados en la hipótesis, por lo cual se procederá a obtener un promedio de los coeficientes de correlación de la Tabla #23 (Correlaciones de los ensayos) rechazando las correlaciones aparentemente bajas considerando coeficientes mayores de 70%, así obtendremos valores aceptables para la correlación:

✓ Hipótesis Nula:

- Si el coeficiente de correlación es Positivo **Ho: $R \leq 0,89$**
 - Si el coeficiente de correlación es Negativo **Ho: $R \geq - 0,89$**
- $R = 0$ (No hay correlación)

✓ Hipótesis Alternativa

- Si el coeficiente de correlación es Positivo **Hi: $R \leq 0,89$**
 - Si el coeficiente de correlación es Negativo **Hi: $R \geq - 0,89$**
- $R > 0$ (Si hay correlación)

Como las muestras de suelos que se utilizaron para obtener las correlaciones son de 10, se aplicará la prueba de hipótesis considerando el caso de muestra pequeña ($n > 30$) aplicando la siguiente fórmula:

$$t = R \sqrt{\frac{n - 2}{1 - R^2}}$$

Siendo R = Promedio de los coeficientes de correlación seleccionados.
 n = Número de muestras.

Para el valor de la región de rechazo de la hipótesis se asumirá $\alpha=0,05$

$$t = 0,89 \sqrt{\frac{10 - 2}{1 - 0,89^2}} = 5,521$$

El grado de libertad (v) representa el dato para encontrar el “t de student” de la siguiente manera:

$$v = n - 2 = 8$$

En la Fig. 66 se encuentra el valor de “t” con el grado de libertad (v) y el valor de la región de rechazo (α) que tenemos:

	0.50	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002	0.001
1	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.321	318.309	636.619
2	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	22.327	31.599
3	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.215	12.924
4	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587

Figura 66. Tabla de Distribución “t de student”

Fuente: Martínez Ciro, 2012

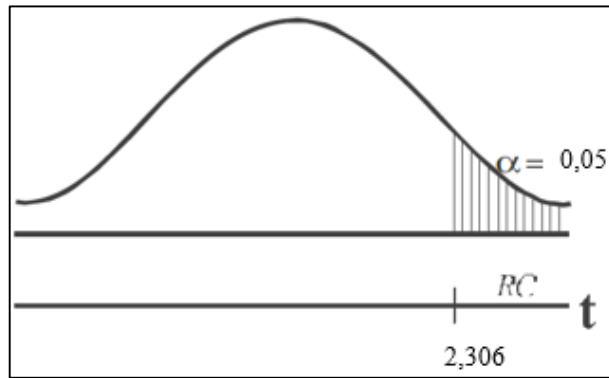


Figura 67. Prueba del Coeficiente de Correlación de Pearson

Fuente: Martínez Ciro, 2012

$$t > t_s$$

$$5,521 > 2,306 \quad OK$$

Se comprueba que el t no es menor que el ts establecido, por lo que se rechaza la Hipótesis Nula (**H₀**) y se acepta la Hipótesis Alternativa (**H₁**). Existe correlaciones confiables entre propiedades índice y mecánicas con la resistividad eléctrica de suelos granulares en la zona 2 de la ciudad de Ambato.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La correlación evidenciada entre el contenido de humedad natural (W_{nat}) y la resistividad eléctrica (ρ) indica un coeficiente de correlación de 61%. Se nota una influencia del contenido de humedad sobre el suelo, presente en la resistividad eléctrica. Además, intervienen otros factores como la relación de vacíos, el grado de saturación y sobre todo la compactación que presente el suelo in situ.
- La correlación entre la resistividad eléctrica (ρ) y la granulometría cumple el concepto de que mientras más partículas gruesas se presente en el suelo, los valores de resistividad se van a elevar; mientras que en suelos finos como arenosos, la resistividad va a disminuir. Por tal motivo la resistividad de la grava es mayor que de los suelos limosos, arenosos y arcillosos. Implica una mejor calidad del suelo.
- La correlación formada entre la resistividad eléctrica y los límites de Atterberg señala un coeficiente de correlación de 78%. Sin embargo, la resistividad (ρ) no influye considerablemente en el límite líquido (LL), ya que las tendencias serían de poca variación.
- La correlación formada entre el proctor modificado y la resistividad eléctrica (ρ) va a tener una relación indirectamente proporcional debido a que, al existir una mayor cantidad de energía al compactar, la relación de vacíos y la resistividad va a ser menor por la buena conducción de agua que se va a formar entre las partículas de suelo.
- La correlación formada entre el peso específico del suelo y la resistividad eléctrica resulta ser baja dependiendo la constitución más de los sólidos que de parte líquida de la relación de vacíos. Además de lo mencionado, el número de las muestras afecta al ser reducida. Por ende, a menor humedad se entiende que el peso específico aumenta al igual que la resistividad.

- La correlación establecida entre la resistividad eléctrica (ρ) y el ensayo de penetración estándar (SPT) indica un coeficiente de correlación de 77 % siendo muy bueno ya que no se descartó ninguna muestra y se trabajó con las 10 muestras de los puntos. Si se excluyera el valor de F10 que genera el cambio de relación tendríamos una relación directa, es decir a mayor resistividad se obtendrá una mayor penetración.
- La correlación presentada entre el ensayo CBR y la resistividad eléctrica (ρ) señalan un coeficiente de correlación de 81%. El suelo con más consolidación, posee menor porosidad. El suelo con menos vacíos tendrá menor capacidad de transmisión de electrones y por ende un aumento de resistividad.
- Los coeficientes de las correlaciones resultaron ser satisfactorios, variando del 50% al 92% bordeando un promedio de 75% tomadas en cuenta 30 correlaciones, de esta forma demostrando que se puede usar la resistividad eléctrica como un método alternativo al ser económico y rápido en ciertas propiedades como en el ensayo de penetración estándar (SPT).

4.2 Recomendaciones

- ✓ Para el ensayo de resistividad se denota la necesidad de realizar más de 10 mediciones para tener un amplio rango de datos y de esa forma una gráfica aún más definida punto a punto.
- ✓ Realizar el ensayo de resistividad eléctrica en condiciones ambientales favorables para que los datos recogidos en campo no se vean afectados por fenómenos pluviales.
- ✓ Emplear el proctor estándar en los ensayos para realizar una comparativa entre el método utilizado y así de esta forma comprobar cuál de los dos, es más compatible con los ensayos de resistividad eléctrica.
- ✓ Ejecutar el ensayo de resistividad eléctrica con los electrodos colocados a diferentes distancias de separación y a diferentes profundidades para poder obtener una base de datos con varias mediciones y así en un futuro tener comparativas sobre otros métodos de realizar el ensayo de resistividad eléctrica.
- ✓ Efectuar el método de resistividad eléctrica con muestras de suelo en laboratorio donde se debe recolectar una muestra del área o de algún terreno cercano con características similares para luego llenarlo en un recipiente de medidas conocidas y se procede a realizar el ensayo de resistividad.

MATERIAL DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

[1] Khairul, H. Syed, A. (2015). Correlation of Electrical Resistivity and SPT-N Value from Standard Penetration Test (SPT) of Sandy Soil. Tecknologi University. En línea. Disponible:

https://www.researchgate.net/publication/282531932_Correlation_of_Electrical_Resistivity_and_SPT-N_Value_from_Standard_Penetration_Test_SPT_of_Sandy_Soil

[2] Chang, S. Jeong, J. Park, H. Kyoungchul, K. (2017). Experimental Study on Electrode Method for Electrical Resistivity Survey to Detect Cavities under Road Pavements. Inha University. En línea. Disponible: <https://ideas.repec.org/a/gam/jsusta/v9y2017i12p2320-d122762.html>

[3] Syed, B. Fahad, I. Mohammad B. (2013). Relationship of Plasticity Index of Soil with Laboratory and Field Electrical Resistivity Values. Mehran University. En línea. Disponible:

https://www.researchgate.net/publication/264117031_Relationship_of_Plasticity_Index_of_Soil_with_Laboratory_and_Field_Electrical_Resistivity_Values.

[4] Portilla, F. Pillajo, A. (2001). 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. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. En línea. Disponible: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/2386>

[5] Propuesta de Directiva del Parlamento europeo y del Consejo por la que se establece un marco para la protección del suelo y se modifica la Directiva 2004/35/CE COM (2006) 232 Final, Bruselas, 22.9.2006.

[6] Ley Federal de Protección del Suelo art. 2. (1) La capa superior de la corteza terrestre, en la medida en que lleva las funciones del suelo mencionadas en (2), incluidos los componentes líquidos (solución del suelo) y los constituyentes gaseosos (aire del suelo), sin agua subterránea ni agua.

[7] Art. 2 a) del RD. 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

- [8] República del Ecuador. (2016). Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo. Registro Oficial N° 790.
- [9] Sánchez, G. (2014). Caracterización de suelos inestables frente a deslizamiento en dos laderas situadas en los alrededores de la ciudad de Cuenca. Universidad de Cuenca.
- [10] Krishna, A., and Govil. (2008). Assessment of heavy metal contamination in soils around Manali industrial area, Chennai, Southern India. *Environmental Geology* 54:1465-1472.
- [11] Yepes, V. (2019). Densidad de los suelos granulares. Repositorio de la Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/03/11/densidad-de-los-suelos-granulares/>
- [12] Gámez, J. (2013). Comportamiento dinámico de suelos granulares. Repositorio de la Universidad de Granada. Disponible en: <https://www.studocu.com/es/document/universidad-de-granada/ingenieria-del-terreno/apuntes/tema-3-comportamiento-dinamico-de-suelos-granulares/1349882/view>
- [13] Sánchez, (2019). Caracterización de suelos granulares gruesos. El caso de la Grava de Lima. *Revista Research Gate*. Disponible en: <file:///D:/respal%20user/Downloads/Gravadelima2016rev.pdf>
- [14] Ávila, T. (2017). Guía para la selección de agentes estabilizadores para suelos y materiales granulares. Repositorio de la Universidad de Costa Rica. Disponible en: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/969/LM-PI-UMP-055-R1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [15] Archer, N; Hess, T; Quinton, J. 2002. The water balance of two semiarid shrubs on abandoned land in South-Eastern Spain after cold season rainfall. *Hydrology and Earth System Sciences* 6(5):913-926.
- [16] Blum, W; Santelises, AA. 1994. A concept of sustainability and resilience based on soil functions. In Greenland, DJ; Szboles, I. eds. *Soil resilience and sustainable land use*. CAB Int., Wallingford, Oxon, UK. p. 535-542.

- [17] P. Berry y d. Reíd, mecánica de suelos, Bogotá: McGraw-Hill interamericana, S.A, 1993, pp. 20-32.
- [18] F. Mantilla, manual didáctico de laboratorio de mecánica de suelos en la ingeniería civil, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2008, pp. 7-10; 33-42.
- [19] E. Juárez y a. Rico, mecánica de suelos: fundamentos de la mecánica de suelos, Vol. Tomo I, México D.F: Limusa. S.A, 1973, pp. 7-8.
- [20] Leoni (2006). Formación de suelos
- [21] Chi, L. (1993). Modeling mechanical behavior of agricultural soils. Transactions of the ASA E, 36(6): 1563-1570.
- [22] Durán, M. (2002). Efecto de la humedad en la resistencia mecánica de un suelo franco, pp. 234. Terra Latinoamericana.
- [23] Mouazem, A. (2002). Mechanical behavior of the upper layers of a sandy loam soil under shear loading», J. Terramech,39(3): pp.115-126.
- [24] Thien, S. (1979). A flow diagram for teaching texture by feel analysis, Journal of Agronomic Education, p. 54-55.
- [25] Porta; López; Roquero. (1999). Edafología para la agricultura y el ambiente. Barcelona, España, Mundi – Prensa. p. 849.
- [26] Day, P. (1965). Particle fractionation and particle size analysis. In: Black, C. A. (ed.). Part 1. Method of soil analysis. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, USA. p. 565-566.
- [27] Gee, G, Or. (2002). Particle-size analysis. En: J.H. Dane and G.C. Topp (Ed.) Methods of soil analysis. Part 4. SSSA Book series N° 5, SSSA, Madison, WI. p 255-293.
- [28] F. Mantilla, mecánica de suelos elemental en la ingeniería civil, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2012, pp. 11-20
- [29] Angelone, S (2006). Permeabilidad de los suelos: Universidad Nacional de Rosario. p.12.
- [30] Baver, Gardner. (1973). Física de suelos. México, CRAT. 52p p.

- [31] G. Duque. (2015). Clasificación de suelos. Universidad Autónoma de Colombia. Recuperado el 20 de octubre de 2019. Disponible [en línea]: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1864/6/cap5.pdf>
- [32] Buol, S.W., F.D. Hole; R.J. McCracken. 1971. Soil genesis and classification. The Iowa State University Press. Ames, IA.
- [33] ASTM D-1557, J. E. Bowles (Experimento N° 9), MTC E 115-2000.
- [34] ASTM D-1883, AASHTO T-193, J. E. Bowles (Experimento N° 19), MTC E 132-2000.
- [35] M. F. Triola, *Estadística*. Novena Edición. México: Pearson Educación, 2004, pp 496-519.
- [36] U. de Barcelona, Ajuste por el método de los mínimos cuadrados: Recta de Regresión. Recuperado el 27 de septiembre de 2019. [En línea]. Disponible en: <http://www.ub.edu/stat/GrupsInnovacio/Statmedia/demo/Temas/Capitulo13/B0C13m1t4.htm>
- [37] S. de la Fuente, Regresión Múltiple. (2011). Recuperado el 30 de septiembre de 2019. [En línea]. Disponible en: http://www.estadistica.net/ECONOMETRIA/MULTIVARIANTE/REGRE_MULTIPLE/regresion-multiple.pdf
- [38] L. Espinosa y G. Carrillo, “Propiedades geofísicas de rocas y suelos calcáreos. Mediciones de laboratorio en especímenes pequeños”. UADY, pp 23-32, Febrero 2002.
- [39] N. Gella, J. Bruggen. La Exploración geofísica del subsuelo. 1980.
- [40] C. Campano, M. del Río, A. Farfán. “Los métodos geofísicos en los estudios previos del terreno para la rehabilitación de edificios. La iglesia del Monasterio de Santa María de Moreruela (Zamora)”. Universidad de Salamanca, pp 17-26, Marzo 2013.
- [41] J. De Sanjosé, A. Andrada, A. López. “Comparación de los métodos geofísicos de prospección eléctrica y magnética para la localización de muros de piedra en un yacimiento arqueológico”. Escuela Politécnica de Cáceres, Enero 2012.

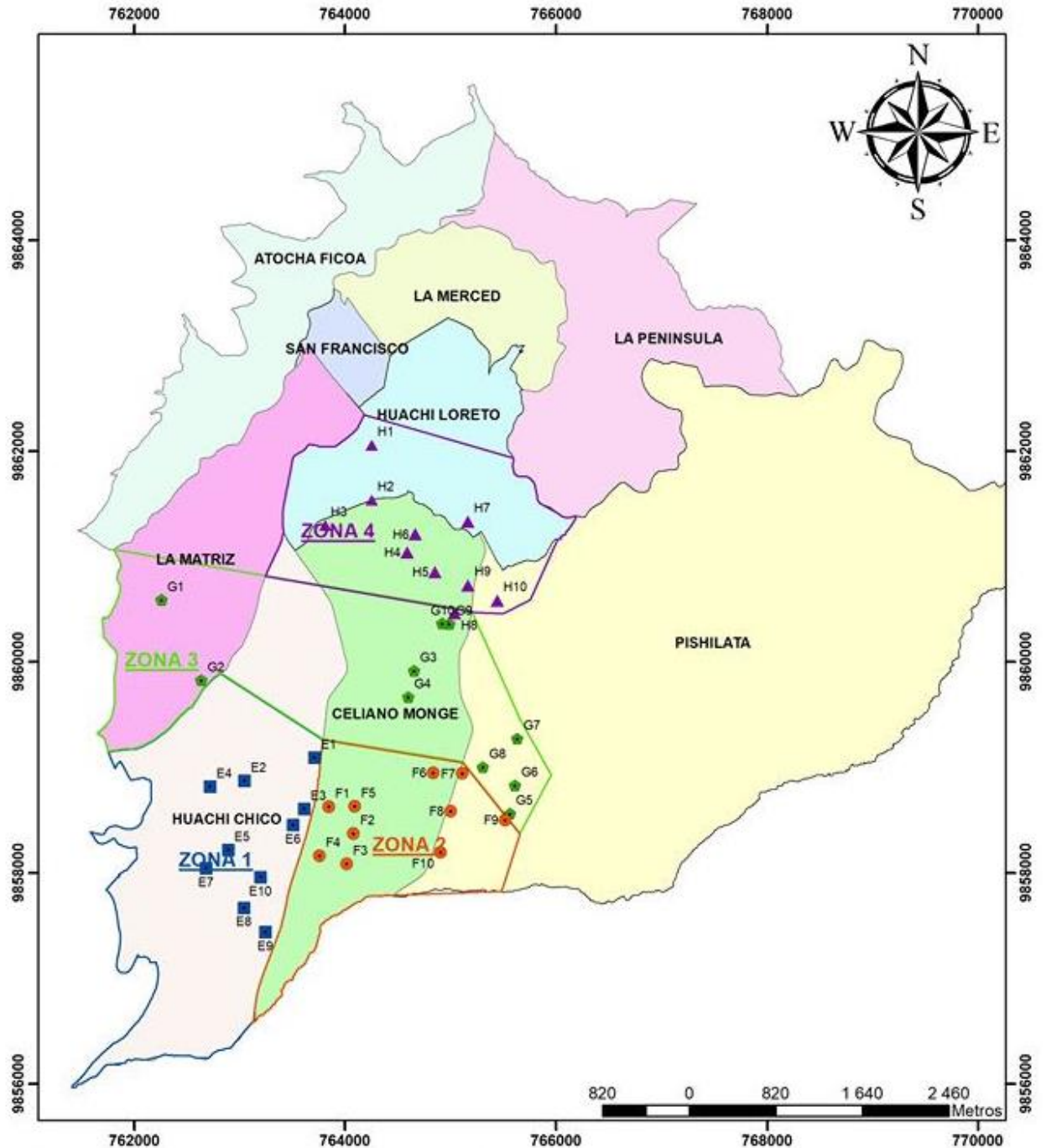
[42] C. Alexander, M. Sadiku. “Fundamentos de Circuitos Eléctricos”. Quinta Edición, pp 5-10.

[43] D. Gutiérrez, 2017. “Campo Eléctrico”. Recuperado el 19 de octubre de 2019. Disponible [en línea]: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/7380/Campo%20el%C3%A9ctrico.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

[44] Área Ingeniería Distribución, “Medida de Resistividad Eléctrica del Suelo”, Empresa de Servicios Públicos de Medellín (EPM), Colombia, Normas Técnicas, RA6-014, mayo 2008.

Anexos

Anexo 1. Zonas de trabajo del sector urbano de la ciudad de Ambato

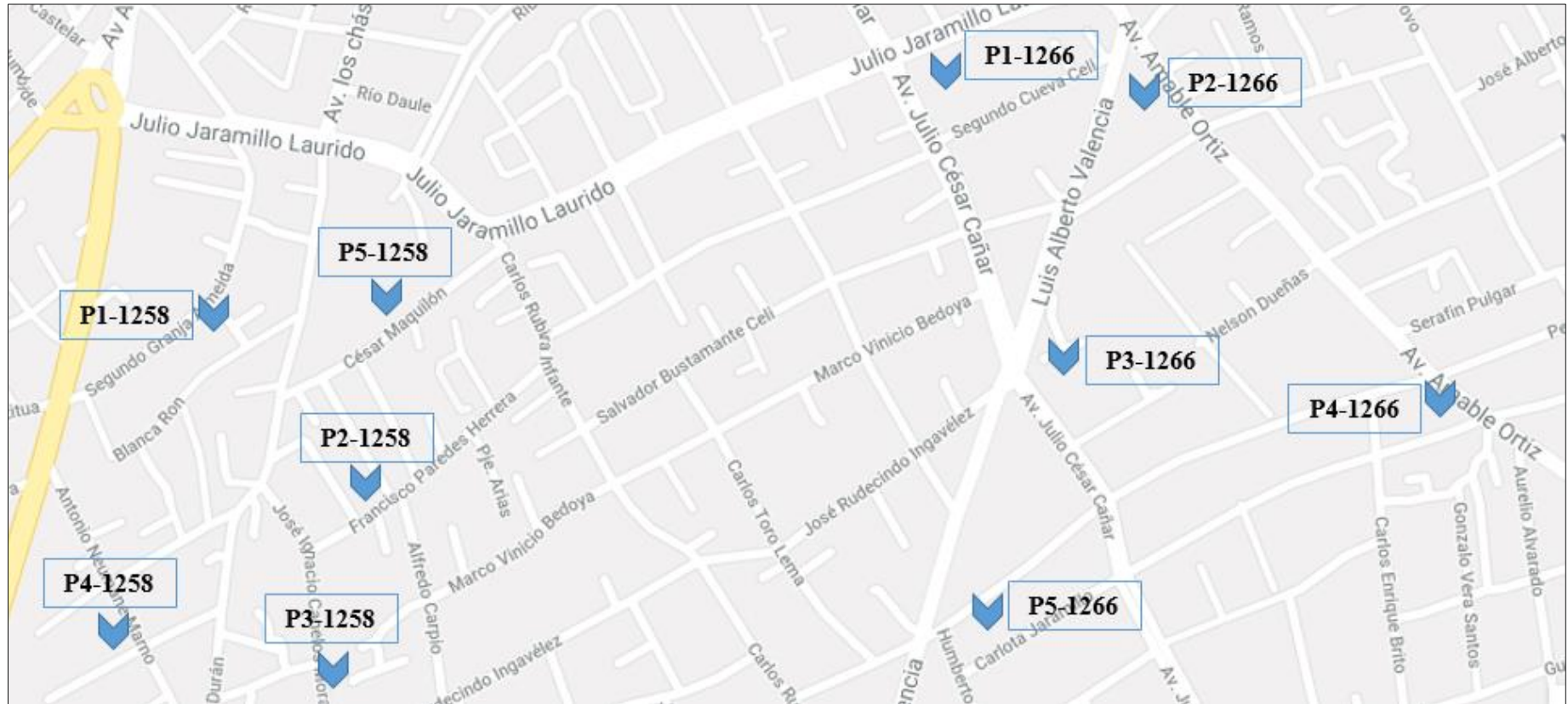


Zona	Parroquia	Investigador	N° Puntos	Id. Puntos
1	Huachi Chico	Jimmy Macas	10	E1-E2-E3-E4-E5 E6-E7-E8-E9-E10
2	Celiano Monge Pishilata La Matriz	Esteban Tenecota	10	F1-F2-F3-F4-F5 F6-F7-F8-F9-F10
3	Huachi Chico Celiano Monge Pishilata	Christian Pérez	10	G1-G2-G3-G4-G5 G6-G7-G8-G9-G10
4	Huachi Chico Celiano Monge	Patricio Mera	10	H1-H2-H3-H4-H5 H6-H7-H8-H9-H10

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil		
ZONAS DE TRABAJO EN LAS ZONAS URBANAS DEL CANTÓN AMBATO		
Investigadores: <ul style="list-style-type: none"> <li style="display: inline-block; width: 45%;">• Jimmy Macas <li style="display: inline-block; width: 45%;">• Christian Pérez <li style="display: inline-block; width: 45%;">• Esteban Tenecota <li style="display: inline-block; width: 45%;">• Patricio Mera 		
Escala: 1:50000	Fecha: Noviembre 2019	Lamina: L1

Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes



Anexo 2. Puntos de la zona 2 ubicados mediante Google Maps



Fuente: Esteban Wladimir Tenecota Paredes

Anexo 3. Ensayos de los 10 puntos de la zona 2 de Ambato

 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA			
ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	18/07/2019
NOMBRE DE ZONA:	F1	NORMA:	IEEE STD 81-1983
COORDENADAS (UTM)		Zona	Norte (m)
		17M	9858644
		Este (m)	763845
		Elevación (m)	2752
N° ensayo	1	2	3
Resistividad ρ (Ω/m)	155,80	167,70	165,80
Resistividad Prom. ρ (Ω/m)	163,10		
Resistencia R (Ω)	25,97		
Observaciones:			

 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO DENSIDAD DE CAMPO			
ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	18/07/2019
NOMBRE DE ZONA:	F1	NORMA:	AASHTO T 191 2014
1. Contenido de Humedad			
N° Recipiente	63	68	
Masa suelo humedo + recipiente (gr)	99,5	104,5	
Masa suelo seco + recipiente (gr)	93	97,3	
Masa Recipiente (gr)	31,1	30,8	
Contenido de humedad (W%)	10,50%	10,83%	
W Promedio (%)	10,66%		
2. Determinación de la masa del Suelo Extraído			
Masa del suelo + recipiente (gr)	904,1		
Masa del recipiente (gr)	3,6		
Masa del suelo Wm (gr)	900,5		
3. Calibración del Cono de arena de Ottawa			
Volumen Vsand (cm ³)	209,44		
$\gamma_{sand} = W_{sand}/V_{sand}$ (gr/cm ³)	1,638		
4. Determinación de volumen del hueco en el suelo			
Lectura inicial frasco + cono + arena (gr)	5143		
Lectura final frasco + cono + arena (gr)	4006		
Masa de Arena en el hueco W_{sand} (gr)	794		
Volumen del suelo V_m = W_{sand}/γ_{sand} (cm ³)	484,83		
5. Determinación del peso volumetrico de la masa			
$\gamma_m = W_m/V_m$ (gr/cm ³)	1,857		
6. Determinación del peso volumetrico seco			
$\gamma_d = \gamma_m/(1+w)$ (gr/cm ³)	1,678		
7. Determinación de la relación de Vacíos (e)			
Peso específico relativo de los sólidos S_s	2,65		
e = V_v/V_s	0,58		
8. Determinación de la Porosidad (n%)			
n% = V_v/V_m *100	36,57%		
9. Determinación del grado de saturación de agua y aire (Gw%) (Ga%)			
Gw% = V_w/V_v *100	48,26%		
Ga% = (V_v-V_w)/V_v *100	51,74%		



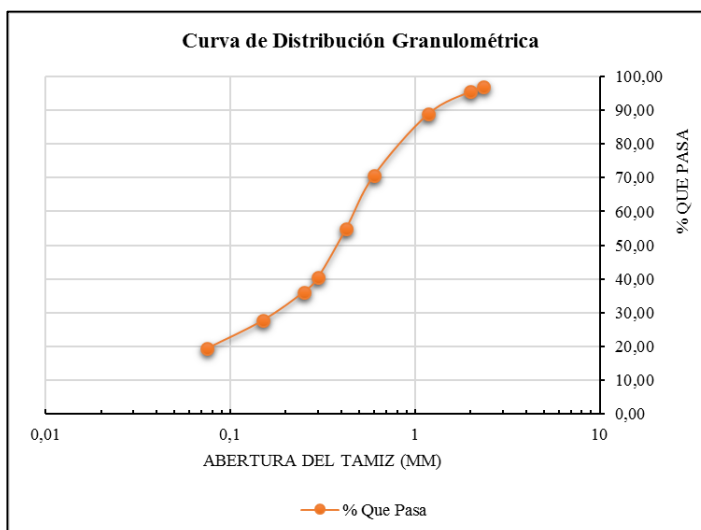
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	23/07/2019		
NOMBRE DE ZONA:	F1	NORMA:	ASTM D-421-58		
PESO MUESTRA:	250 gr.		AASHTO T-87-70		
#Tamiz	Tamaño de partículas (mm)	P. Retenido Parcial	P. Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
#8	2,36	7,5	7,5	3,03	96,97
#10	2	3,5	11	4,44	95,56
#16	1,18	16,6	27,6	11,14	88,86
#30	0,6	45,2	72,8	29,39	70,61
#40	0,425	38,9	111,7	45,09	54,91
#50	0,3	35,7	147,4	59,51	40,49
#60	0,25	10,9	158,3	63,91	36,09
#100	0,15	20,9	179,2	72,35	27,65
#200	0,075	20,6	199,8	80,66	19,34
Bandeja		47,9	247,7	100,00	
Resultados					
TNM	1,18	Cc:	12,86	Error Permitido:	1,00%
D10	0,035				
D30	0,18	Cu:	2,06	Error Calculado:	0,92%
D60	0,45				
Porcentaje de Material					
	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (Finos%)		
SUCS	0	81	19		
AASHTO	2	79	19		



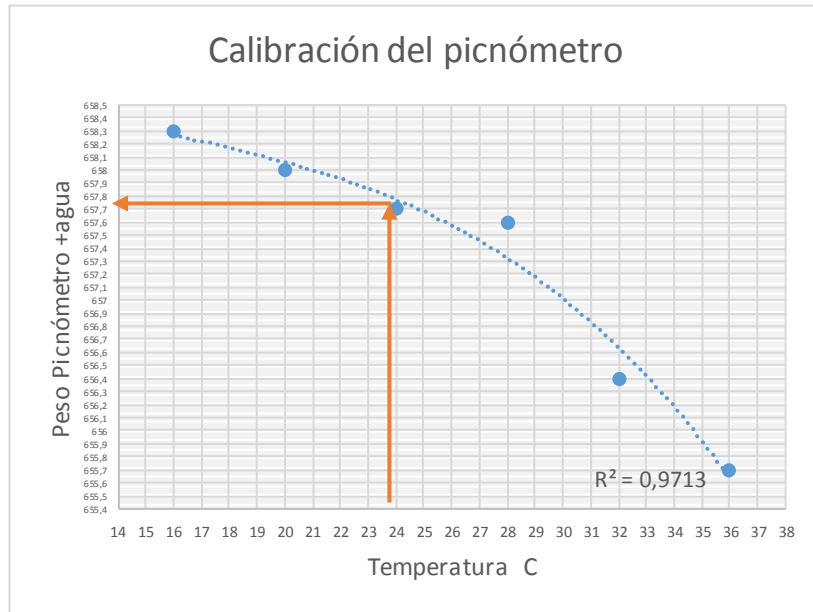


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO
GRAVEDAD ESPECÍFICA

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	30/07/2019
NOMBRE DE ZONA:	F1	NORMA:	AASHTO T- 100; ASTM D 854 58



MASA DEL PICNÓMETRO	165,5	gr
TEMPERATURA DEL AGUA	22,5	C
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	657,90	gr
MASA DEL AGUA	492,40	gr
MASA MUESTRA DE SUELO	50	gr
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	692,7	gr
MASA RECIPIENTE	131,1	gr
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	186,7	gr
MASA MUESTRA SECA	55,6	gr
Gravedad Específica (Gs)	2,673	

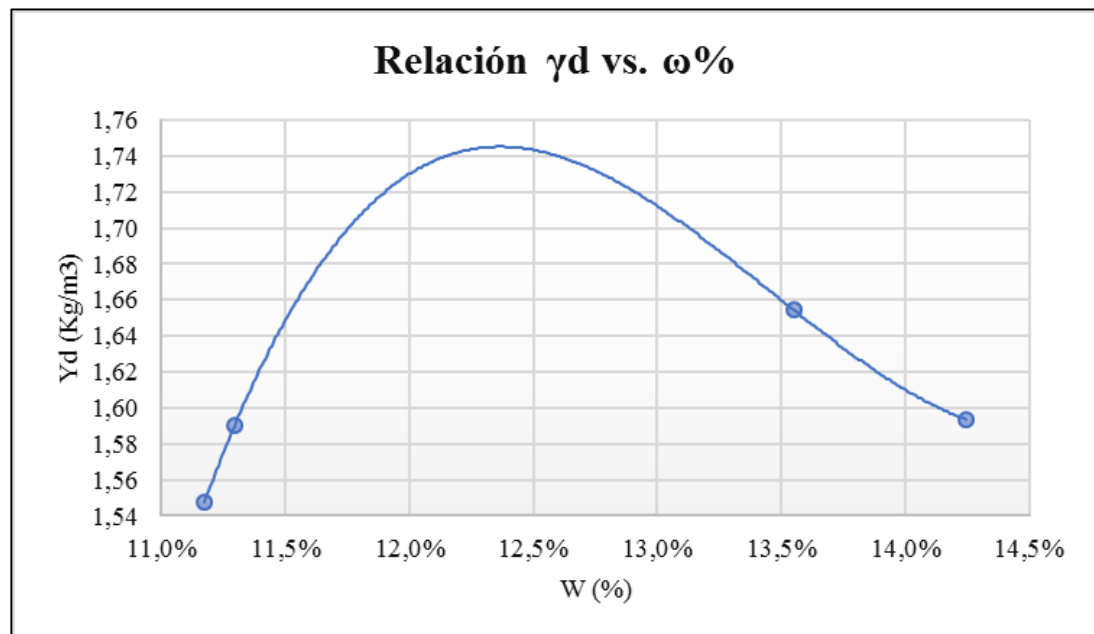


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"

ELABORADO POR:		ESTEBAN TENECOTA						
NOMBRE DE ZONA:		F1						
FECHA:		06/Ags/2019			NORMA:		AASHTO:T- 180	
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10	lb
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	14805	gr	Volumen molde:	2261,95	cm ³
Energía de compactación:	55986	lb/ft ³	Diámetro:	15	cm	Altura:	12,8	cm
Ensayo número	1		2		3		4	
Peso inicial deseado	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial añadida	6		9		12		15	
P. molde + suelo húmedo	18697		18809		19054		18923	
Peso suelo húmedo	3892		4004		4249		4118	
Peso unitario húmedo γ_m	1,721		1,770		1,878		1,821	
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	A	B	C	D	E	F	G	H
R. + Suelo húmedo	57,6	61,8	59,0	63,0	66,6	65,9	69,1	66,2
R. + Suelo seco	52,1	57,4	54,1	57,5	59,7	59,3	62	58,9
Peso agua	5,5	4,4	4,9	5,5	6,9	6,6	7,1	7,3
Peso recipiente	10	10	9,8	9,8	9,7	9,7	9,9	9,8
Peso suelo seco	42,1	47,4	44,3	47,7	50	49,6	52,1	49,1
Contenido humedad $\omega\%$	13,06%	9,28%	11,06%	11,53%	13,80%	13,31%	13,63%	14,87%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	11,17%		11,30%		13,55%		14,25%	
Densidad seca γ_d	1,55		1,59		1,65		1,59	
Grado de compactación $G_c\%$	96,27							





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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE PLÁSTICO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA				
NOMBRE DE ZONA:	F1				
FECHA:	13/Ags/2019	NORMA:	AASHTO: T- 90-70		
N° MUESTRA	1	2	3	4	5
N° RECIPIENTE	10	90	82	7E	14
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (Wm+W_r)(gr)	11,7	11,9	12	11,6	11,8
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	11,5	11,8	11,8	11,5	11,6
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	10,7	10,7	10,7	10,5	10,7
PESO AGUA (W_w) (gr)	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	0,8	1,1	1,1	1	0,9
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	25,00	9,09	18,18	10,00	22,22
PROMEDIO W%	16,90				
LÍMITE LÍQUIDO LL (%)	17,66				
LÍMITE PLÁSTICO LP (%)	16,90				
ÍNDICE PLÁSTICO IP (%)	0,76				



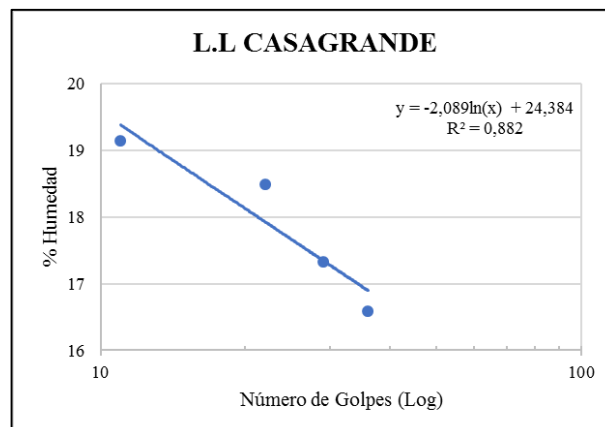
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA							
NOMBRE DE ZONA:	F1							
FECHA:	21/Ags/2019				NORMA:	AASHTO: T- 90-70		
N° MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
N° RECIPIENTE	7	10	16	17	21	23	40	63
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (Wm+W_r)(gr)	16,1	16,3	17,1	17,5	15,1	15,7	15,6	16,3
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	15,3	15,5	16,1	16,6	14,5	15	15	15,5
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	11,4	11	11,1	11,3	11	11	11	11,1
PESO AGUA (W_w) (gr)	0,8	0,8	1	0,9	0,6	0,7	0,6	0,8
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	3,9	4,5	5	5,3	3,5	4	4	4,4
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	20,51	17,78	20,00	16,98	17,14	17,50	15,00	18,18
PROMEDIO W%	19,15		18,49			17,32		16,59
NÚMERO DE GOLPES	11		22			29		36
LÍMITE LÍQUIDO L.L (%)	17,66							





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 2 DE LA CIUDAD DE
 AMBATO

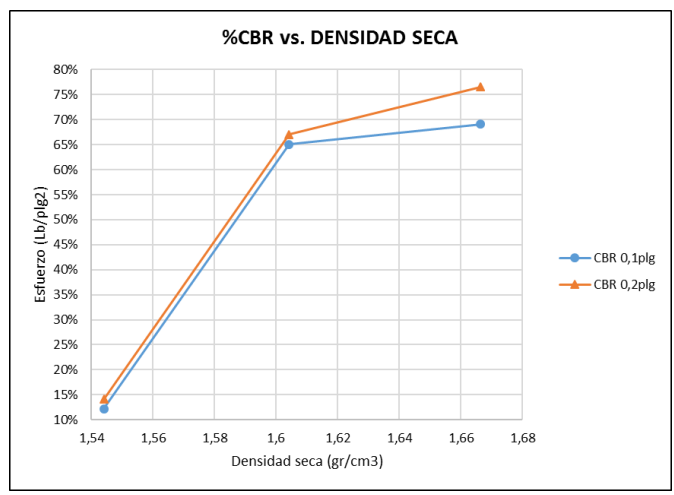
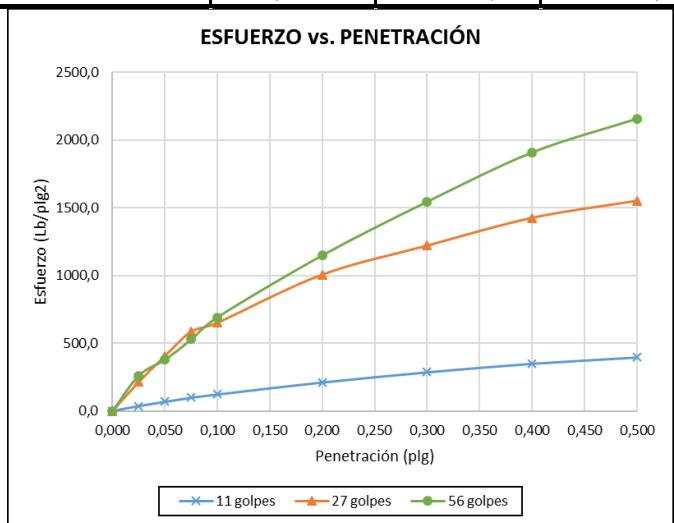
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA					
NOMBRE DE ZONA:	F1			NORMA:	AASHTO:T- 180	
FECHA:	19/Ags/2019			Wópt:	12,50	
MOLDE	A		B		C	
DIMENSIONES	Diámetro	15	Diámetro	15,12	Diámetro	15,13
	Altura	12,7	Altura	12,6	Altura	12,7
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10620		11476		11869	
Masa Molde (gr)	6724		7390		7587	
Masa muestra húmeda (gr)	3896		4086		4282	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,736		1,806		1,875	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	3	4	12	14	16	18
Masa del recipiente	36,7	36,5	35,9	36,2	36,2	44,5
Masa suelo hum+recip. (gr)	96,3	96,7	95,4	96,6	101,6	117,4
Masa suelo seco+recip. (gr)	90,3	89,9	88,5	90,1	94,2	109,4
Masa de agua (gr)	6,5	6,8	6,9	6,5	7,4	8
Masa suelo seco (gr)	53,6	53,4	52,6	53,9	58	64,9
Contenido de humedad W%	12,13%	12,73%	13,12%	12,06%	12,76%	12,33%
Promedio W%	12,43%		12,59%		12,54%	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,544		1,604		1,666	
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	10816		11628		11931	
Masa Molde (gr)	6724		7390		7587	
Masa muestra húmeda (gr)	4092		4238		4344	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,823		1,873		1,903	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	3	4	12	14	16	18
Masa del recipiente	36,7	36,5	35,9	36,2	36,2	44,5
Masa suelo hum+recip. (gr)	94,1	95	91,5	93,6	94,8	113,1
Masa suelo seco+recip. (gr)	83,1	84,6	82	84,5	85,8	102,4
Masa de agua (gr)	11	10,4	9,5	9,1	9	10,7
Masa suelo seco (gr)	46,4	48,1	46,1	48,3	49,6	57,9
Contenido de humedad W%	23,71%	21,62%	20,61%	18,84%	18,15%	18,48%
Promedio W%	22,66%		19,72%		18,31%	

ENSAYO						
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg ²)	dial	Presión (lb/plg ²)	dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	108	36,00	643	214,33	781	260,33
0,050	203	67,67	1218	406,00	1133	377,67
0,075	293	97,67	1758	586,00	1583	527,67
0,100	366	122,00	1953	651,00	2073	691,00
0,200	633	211,00	3018	1006,00	3443	1147,67
0,300	860	286,67	3659	1219,67	4630	1543,33
0,400	1050	350,00	4273	1424,33	5720	1906,67
0,500	1190	396,67	4650	1550,00	6466	2155,33

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	122,00	12,20%	1,544	211,00	14,07%	1,544
B	651,00	65,10%	1,604	1006,00	67,07%	1,604
C	691,00	69,10%	1,666	1147,67	76,51%	1,666

Densidad Seca Máxima	1,74			
DSM	%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR	
95%	1,656	69,0%	76,0%	76,0%





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 2 DE LA
 CIUDAD DE AMBATO**

ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	28/06/2019	
NOMBRE DE ZONA:	F2	NORMA:	IEEE STD 81-1983	
COORDENADAS (UTM)	Zona	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)
	17M	9858327	764104	2769
N° ensayo	1	2	3	
Resistividad ρ (Ω/m)	125,60	129,40	126,90	
Resistividad Prom. ρ (Ω/m)	127,30			
Resistencia R (Ω)	20,27			



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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO**

DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	28/06/2019
NOMBRE DE ZONA:	F2	NORMA:	AASHTO T 191 2014
1. Contenido de Humedad			
N° Recipiente	63	68	
Masa suelo humedo + recipiente (gr)	100,9	100,3	
Masa suelo seco + recipiente (gr)	92,5	91,8	
Masa Recipiente (gr)	31,1	30,8	
Contenido de humedad (W%)	13,68%	13,93%	
W Promedio (%)	13,81%		
2. Determinación de la masa del Suelo Extraído			
Masa del suelo + recipiente (gr)	947,4		
Masa del recipiente (gr)	8,8		
Masa del suelo Wm (gr)	938,6		
3. Calibración del Cono de arena de Ottawa			
Volumen Vsand (cm ³)	209,44		
y sand = Wsand/Vsand (gr/cm ³)	1,638		
4. Determinación de volumen del hueco en el suelo			
Lectura inicial frasco + cono + arena (gr)	7182		
Lectura final frasco + cono + arena (gr)	6017		
Masa de Arena en el hueco Wsand (gr)	822		
Volumen del suelo Vm = Wsand/ysand (cm ³)	501,92		
5. Determinación del peso volumetrico de la masa			
$\gamma_m = Wm/Vm$ (gr/cm³)	1,870		
6. Determinación del peso volumetrico seco			
$\gamma_d = \gamma_m/(1+w)$ (gr/cm³)	1,643		
7. Determinación de la relación de Vacios (e)			
Peso específico relativo de los sólidos Ss	2,65		
$e = Vv/Vs$	0,61		
8. Determinación de la Porosidad (n%)			
$n\% = Vv/Vm * 100$	37,93%		
9. Determinación del grado de saturación de agua y aire (Gw%) (Ga%)			
$Gw\% = Vw/Vv * 100$	59,34%		
$Ga\% = (Vv-Vw)/Vv * 100$	40,66%		



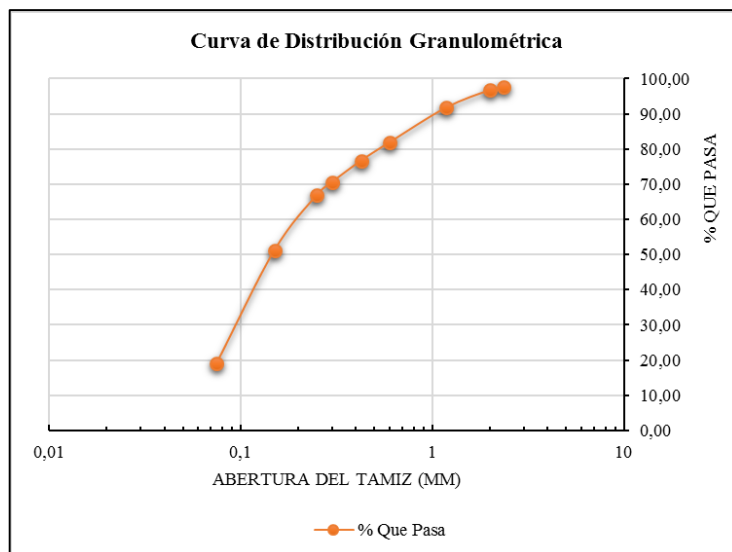
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL







TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

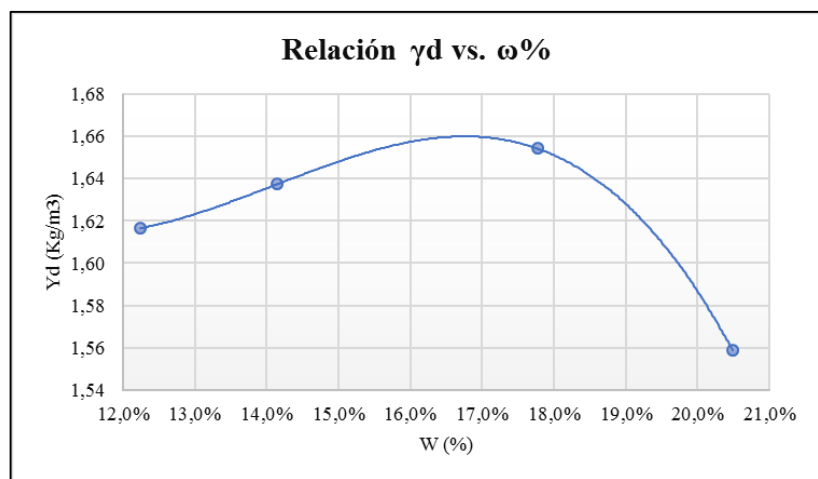
DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	22/07/2019		
NOMBRE DE ZONA:	F2	NORMA:	ASTM D-421-58		
PESO MUESTRA:	250 gr.		AASHTO T-87-70		
#Tamiz	Tamaño de partículas (mm)	P. Retenido Parcial	P. Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
#8	2,36	6,1	6,1	2,46	97,54
#10	2	2,1	8,2	3,31	96,69
#16	1,18	12,4	20,6	8,30	91,70
#30	0,6	24,4	45	18,14	81,86
#40	0,425	13	58	23,38	76,62
#50	0,3	15,1	73,1	29,46	70,54
#60	0,25	9,1	82,2	33,13	66,87
#100	0,15	39,2	121,4	48,93	51,07
#200	0,075	79,7	201,1	81,06	18,94
Bandeja		47	248,1	100,00	
Resultados					
TNM	1,18	Cc:	3,33	Error Permitido:	1,00%
D10	0,06				
D30	0,09	Cu:	0,68	Error Calculado:	0,76%
D60	0,2				
Porcentaje de Material					
	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (Finos%)		
SUCS	0	81	19		
AASHTO	2	79	19		



 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO GRAVEDAD ESPECÍFICA			
ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	30/07/2019
NOMBRE DE ZONA:	F2	NORMA:	AASHTO T- 100; ASTM D 854 58
MASA DEL PICNÓMETRO	165,5	gr	
TEMPERATURA DEL AGUA	24	C	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	657,78	gr	
MASA DEL AGUA	492,28	gr	
MASA MUESTRA DE SUELO	50	gr	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	692,2	gr	
MASA RECIPIENTE	199,7	gr	
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	254,8	gr	
MASA MUESTRA SECA	55,1	gr	
Gravedad Específica (Gs)	2,664		

 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"							
ELABORADO POR:				ESTEBAN TENECOTA			
NOMBRE DE ZONA:				F2			
FECHA:		06/Ags/2019		NORMA:		AASHTO-T- 180	
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO							
N° de Golpes:	56	N° de capas:	5	Peso martillo:	10	lb	
Altura de caída:	18" o 1.5ft	Peso molde:	14805	gr	Volumen molde:	2261,95	cm ³
Energía de compactación:	55986	lb/ft ³	Diámetro:	15	cm	Altura:	12,8
Ensayo número	1	2	3	4			
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000			
Humedad inicial añadida	9	12	15	18			
P. molde + suelo húmedo	18909	19033	19212	19053			
Peso suelo húmedo	4104	4228	4407	4248			
Peso unitario húmedo γ_m	1,814	1,869	1,948	1,878			
CONTENIDO DE HUMEDAD							
# Recipiente	3	4	5	6	11	12	1
R. + Suelo húmedo	98,1	97,1	99,4	96,6	95,8	99,9	97,7
R. + Suelo seco	91,3	90,4	92	88,8	86,9	90,2	87,1
Peso agua	6,8	6,7	7,4	7,8	8,9	9,7	10,6
Peso recipiente	35,6	35,8	36,6	36,6	35,8	36,7	35,6
Peso suelo seco	55,7	54,6	55,4	52,2	51,1	53,5	51,5
Contenido humeda $\omega\%$	12,21%	12,27%	13,36%	14,94%	17,42%	18,13%	20,58%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	12,24%		14,15%		17,77%		20,49%
Densidad seca γ_d	1,62		1,64		1,65		1,56
Grado de compactación $G_c\%$	98,86						





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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE PLÁSTICO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA				
NOMBRE DE ZONA:	F2				
FECHA:	12/Ags/2019	NORMA:	AASHTO: T- 90-70		
N° MUESTRA	1	2	3	4	5
N° RECIPIENTE	10	90	82	7E	14
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	11,6	11,5	11,9	11,2	11,4
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	11,4	11,4	11,7	11,1	11,3
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	10,7	10,7	10,7	10,5	10,7
PESO AGUA (W_w) (gr)	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	0,7	0,7	1	0,6	0,6
CONTENIDO DE HUMEDAD W %	28,57	14,29	20,00	16,67	16,67
PROMEDIO W %	19,24				
LÍMITE LÍQUIDO LL (%)	22,23				
LÍMITE PLÁSTICO LP (%)	19,24				
ÍNDICE PLÁSTICO IP (%)	2,99				



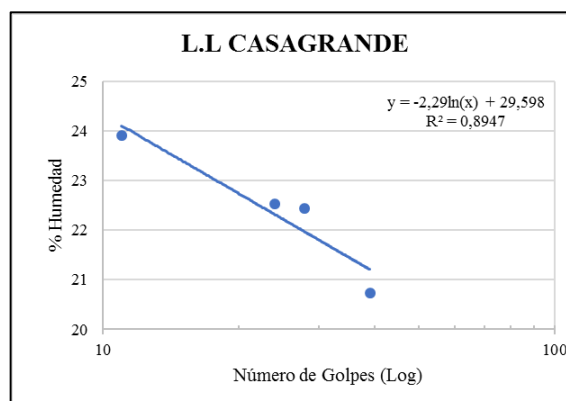
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA							
NOMBRE DE ZONA:	F2							
FECHA:	20/Ags/2019					NORMA:	AASHTO: T- 90-70	
N° MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
N° RECIPIENTE	7	10	16	17	21	23	40	63
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	18,1	18,3	16,8	17,6	18,9	19,5	17,9	17
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	16,8	16,9	15,7	16,5	17,4	18	16,7	16
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	11,4	11	11,1	11,3	11	11	11	11,1
PESO AGUA (W_w) (gr)	1,3	1,4	1,1	1,1	1,5	1,5	1,2	1
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	5,4	5,9	4,6	5,2	6,4	7	5,7	4,9
CONTENIDO DE HUMEDAD W %	24,07	23,73	23,91	21,15	23,44	21,43	21,05	20,41
PROMEDIO W %	23,90		22,53		22,43		20,73	
NÚMERO DE GOLPES	11		24		28		39	
LÍMITE LÍQUIDO L.L (%)	22,23							





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 2 DE LA CIUDAD DE
 AMBATO

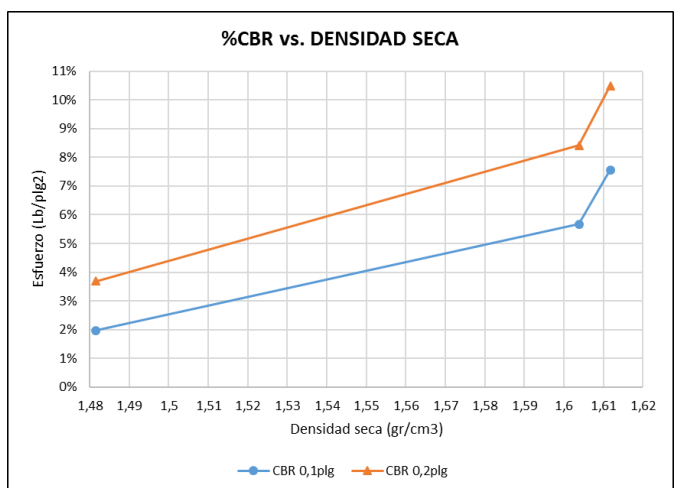
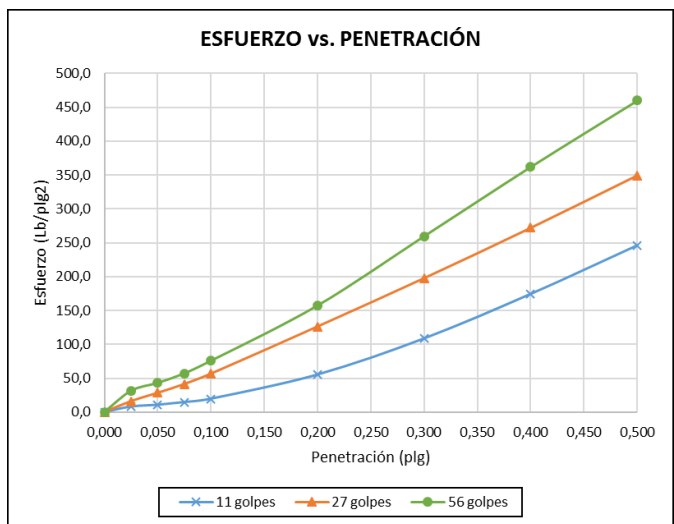
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA					
NOMBRE DE ZONA:	F2			NORMA:	AASHTO:T- 180	
FECHA:	19/Sep/2019			Wópt:	17,00	
MOLDE	A		B		C	
DIMENSIONES	Diámetro	15	Diámetro	15,12	Diámetro	15,13
	Altura	12,7	Altura	12,6	Altura	12,7
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12464		12662		13975	
Masa Molde (gr)	8341		8393		9634	
Masa muestra húmeda (gr)	4123		4269		4341	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,837		1,887		1,901	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	22	24	34	36	37	39
Masa del recipiente	24	24,2	23,5	24,8	26	25,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	119,8	119,3	119,3	112,3	116,7	103,1
Masa suelo seco+recip. (gr)	105,6	105,1	105	99,1	103,4	90,9
Masa de agua (gr)	14,2	14,2	14,3	13,2	13,3	12,2
Masa suelo seco (gr)	81,6	80,9	81,5	74,3	77,4	65,1
Contenido de humedad W%	17,40%	17,55%	17,55%	17,77%	17,18%	18,74%
Promedio W%	17,48%		17,66%		17,96%	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,482		1,604		1,612	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12523		12693		14013	
Masa Molde (gr)	8341		8393		9634	
Masa muestra húmeda (gr)	4182		4300		4379	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,863		1,901		1,918	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	22	24	34	36	37	39
Masa del recipiente	24	24,2	23,5	24,8	26	25,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	90,7	94,2	91,3	92,4	97,7	93,6
Masa suelo seco+recip. (gr)	77,9	82,5	77,6	80,9	83,5	81,9
Masa de agua (gr)	12,8	11,7	13,7	11,5	14,2	11,7
Masa suelo seco (gr)	53,9	58,3	54,1	56,1	57,5	56,1
Contenido de humedad W%	23,75%	20,07%	25,32%	20,50%	24,70%	20,86%
Promedio W%	21,91%		22,91%		22,78%	

ENSAYO						
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	24	8,00	48	16,00	94	31,33
0,050	32	10,67	85	28,33	129	43,00
0,075	44	14,67	124	41,33	171	57,00
0,100	59	19,67	170	56,67	227	75,67
0,200	166	55,33	379	126,33	472	157,33
0,300	326	108,67	593	197,67	779	259,67
0,400	523	174,33	816	272,00	1086	362,00
0,500	738	246,00	1048	349,33	1380	460,00

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg2)	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg2)	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	19,67	1,97%	1,482	55,33	3,69%	1,482
B	56,67	5,67%	1,604	126,33	8,42%	1,604
C	75,67	7,57%	1,612	157,33	10,49%	1,612

Densidad Seca Máxima	1,66		
DSM	%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR
95%	1,579	4,9%	7,5%





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 2 DE LA
 CIUDAD DE AMBATO**

ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	26/06/2019	
NOMBRE DE ZONA:	F3	NORMA:	IEEE STD 81-1983	
COORDENADAS (UTM)	Zona	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)
	17M	9858129	764021	2763
N° ensayo	1	2	3	
Resistividad ρ (Ω/m)	87,90	112,40	111,20	
Resistividad Prom. ρ (Ω/m)	103,83			
Resistencia R (Ω)	16,53			



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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO**

DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	26/06/2019
NOMBRE DE ZONA:	F3	NORMA:	AASHTO T 191 2014
1. Contenido de Humedad			
N° Recipiente	73	74	
Masa suelo humedo + recipiente (gr)	97,5	103,4	
Masa suelo seco + recipiente (gr)	91,7	96,1	
Masa Recipiente (gr)	30,6	31,2	
Contenido de humedad (W%)	9,49%	11,25%	
W Promedio (%)	10,37%		
2. Determinación de la masa del Suelo Extraído			
Masa del suelo + recipiente (gr)	767,2		
Masa del recipiente (gr)	10		
Masa del suelo W_m (gr)	757,2		
3. Calibración del Cono de arena de Ottawa			
Volumen V_{sand} (cm ³)	209,44		
$\gamma_{sand} = W_{sand}/V_{sand}$ (gr/cm ³)	1,638		
4. Determinación de volumen del hueco en el suelo			
Lectura inicial frasco + cono + arena (gr)	6348		
Lectura final frasco + cono + arena (gr)	5371,9		
Masa de Arena en el hueco W_{sand} (gr)	633,1		
Volumen del suelo $V_m = W_{sand}/\gamma_{sand}$ (cm ³)	386,58		
5. Determinación del peso volumetrico de la masa			
$\gamma_m = W_m/V_m$ (gr/cm ³)	1,959		
6. Determinación del peso volumetrico seco			
$\gamma_d = \gamma_m/(1+w)$ (gr/cm ³)	1,775		
7. Determinación de la relación de Vacios (e)			
$e = V_v/V_s$	0,48		
8. Determinación de la Porosidad (n%)			
$n\% = V_v/V_m * 100$	32,49%		
9. Determinación del grado de saturación de agua y aire (Gw%) (Ga%)			
$G_w\% = V_w/V_v * 100$	52,26%		
$G_a\% = (V_v - V_w)/V_v * 100$	47,74%		

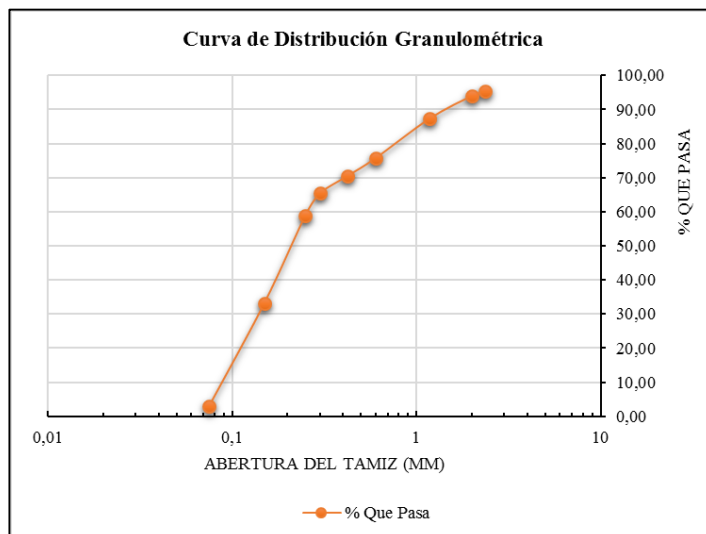




UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL





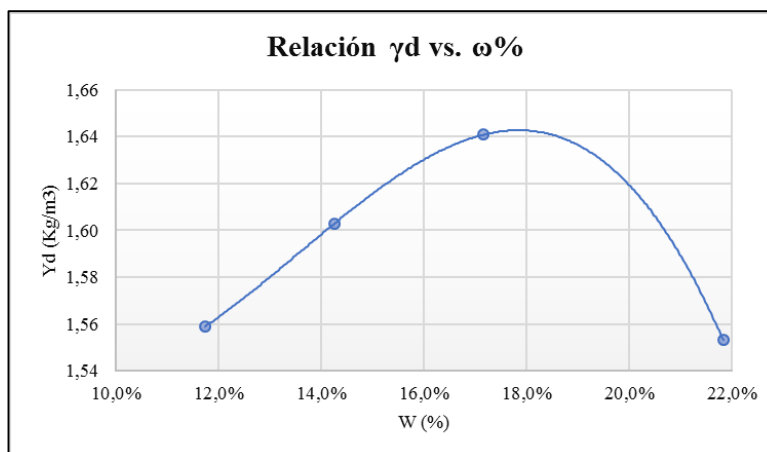
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO
DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	22/07/2019		
NOMBRE DE ZONA:	F3	NORMA:	ASTM D-421-58		
PESO MUESTRA:	250 gr.		AASHTO T-87-70		
#Tamiz	Tamaño de partículas (mm)	P. Retenido Parcial	P. Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
#8	2,36	11,6	11,6	4,67	95,33
#10	2	3,4	15	6,04	93,96
#16	1,18	16,5	31,5	12,68	87,32
#30	0,6	28,9	60,4	24,31	75,69
#40	0,425	12,8	73,2	29,46	70,54
#50	0,3	12,8	86	34,61	65,39
#60	0,25	16,1	102,1	41,09	58,91
#100	0,15	63,8	165,9	66,76	33,24
#200	0,075	75,4	241,3	97,10	2,90
Bandeja		7,2	248,5	100,00	
Resultados					
TNM	1,18	Cc:	2,78	Error Permitido:	1,00%
D10	0,09				
D30	0,15	Cu:	1,00	Error Calculado:	0,60%
D60	0,25				
Porcentaje de Material					
	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (Finos%)		
SUCS	0	97	3		
AASHTO	2	95	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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO GRAVEDAD ESPECÍFICA			
ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	30/07/2019
NOMBRE DE ZONA:	F3	NORMA:	AASHTO T- 100; ASTM D 854 58
MASA DEL PICNÓMETRO	165,5	gr	
TEMPERATURA DEL AGUA	24	C	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	657,78	gr	
MASA DEL AGUA	492,28	gr	
MASA MUESTRA DE SUELO	50	gr	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	690,3	gr	
MASA RECIPIENTE	81,7	gr	
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	133,3	gr	
MASA MUESTRA SECA	51,6	gr	
Gravedad Específica (Gs)	2,704		

 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"			
ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA		
NOMBRE DE ZONA:	P3-1258		
FECHA:	26/Jul/2019	NORMA:	AASHTO:T- 180
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO			
N° de Golpes:	56	N° de capas:	5
Altura de caída:	18' o 1.5ft	Peso molde:	14805 gr
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft3	Diámetro:	15 cm
Ensayo número	1	2	3
Peso inicial deseado	6000	6000	6000
Humedad inicial añadida	6	9	12
P. molde + suelo húmedo	18745	18947	19153
Peso suelo húmedo	3940	4142	4348
Peso unitario húmedo γm	1,742	1,831	1,922
CONTENIDO DE HUMEDAD			
# Recipiente	1	2	3
R. + Suelo húmedo	117,3	118,8	109,3
R. + Suelo seco	108,9	109,9	99,9
Peso agua	8,4	8,9	9,4
Peso recipiente	35,6	35,8	36,6
Peso suelo seco	73,3	74,1	63,3
Contenido humedad ω%	11,46%	12,01%	14,85%
Cont. Humedad prom. ω%	11,74%	14,25%	17,15%
Densidad seca γd	1,56	1,60	1,64
Grado de compactación Gc%	108,03		





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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE PLÁSTICO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA				
NOMBRE DE ZONA:	F3				
FECHA:	14/Ags/2019	NORMA:	AASHTO: T- 90-70		
N° MUESTRA	1	2	3	4	5
N° RECIPIENTE	7E	10	14	82	90
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	11,4	11,6	11,4	11,8	11,8
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	11,2	11,5	11,3	11,6	11,6
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	10,5	10,7	10,7	10,7	10,7
PESO AGUA (W_w) (gr)	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	0,7	0,8	0,6	0,9	0,9
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	28,57	12,50	16,67	22,22	22,22
PROMEDIO W%	20,44				
LÍMITE LÍQUIDO LL (%)	22,76				
LÍMITE PLÁSTICO LP (%)	20,44				
ÍNDICE PLÁSTICO IP (%)	2,32				



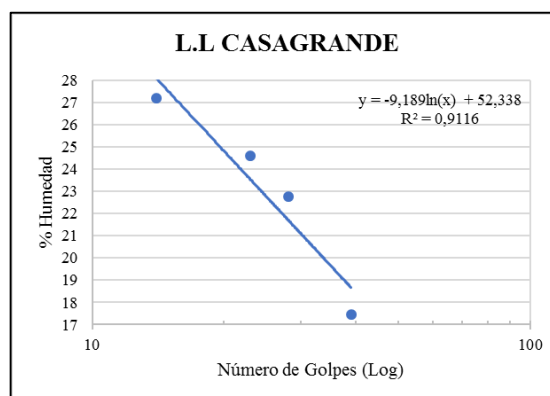
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA							
NOMBRE DE ZONA:	P3-1258							
FECHA:	15/Ags/2019					NORMA:	AASHTO: T- 90-70	
N° MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
N° RECIPIENTE	7	10	16	17	40	63	21	23
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	17,6	18,8	18,8	18,8	17,6	17,1	18	17,1
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	16,3	17,1	17,3	17,3	16,6	15,8	17,2	16
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	11,4	11	11,1	11,3	11	11,1	11	11
PESO AGUA (W_w) (gr)	1,3	1,7	1,5	1,5	1	1,3	0,8	1,1
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	4,9	6,1	6,2	6	5,6	4,7	6,2	5
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	26,53	27,87	24,19	25,00	17,86	27,66	12,90	22,00
PROMEDIO W%	27,20		24,60		22,76		17,45	
NÚMERO DE GOLPES	14		23		28		39	
LÍMITE LÍQUIDO L.L (%)	22,76							





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



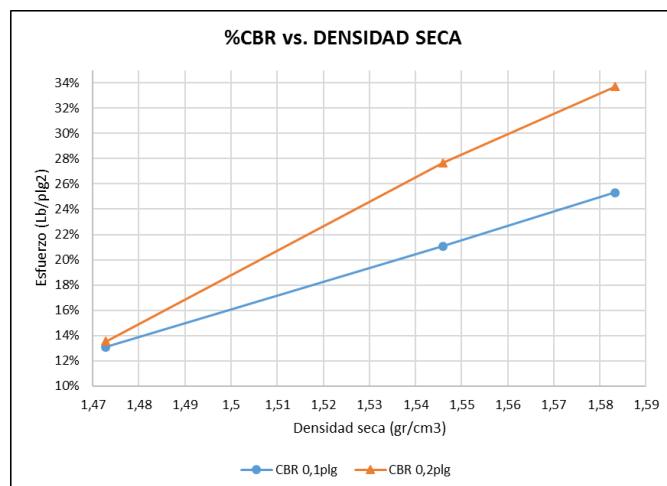
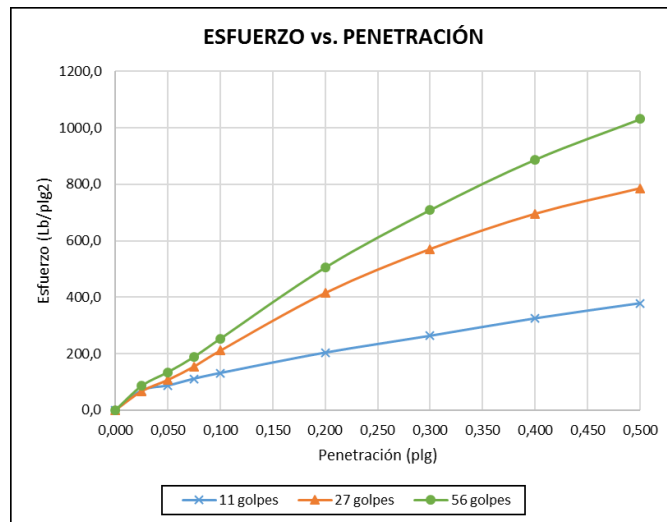
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON
 LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE
 AMBATO

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA					
NOMBRE DE ZONA:	F3			NORMA:	AASHTO:T- 180	
FECHA:	04/A Sep/2019			Wópt:	18,00	
MOLDE	A		B		C	
DIMENSIONES	Diámetro	15	Diámetro	15,12	Diámetro	15,13
	Altura	12,7	Altura	12,6	Altura	12,7
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	13191		11563		11016	
Masa Molde (gr)	9250		7392		6726	
Masa muestra húmeda (gr)	3941		4171		4290	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,756		1,844		1,879	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	75	81	37	51	2	34
Masa del recipiente	30,7	30,7	26	30,3	24	24
Masa suelo hum+recip. (gr)	96,5	99	107,9	94,1	105,4	103,4
Masa suelo seco+recip. (gr)	85,4	88,5	94,8	83,7	92,7	90,8
Masa de agua (gr)	11,1	10,5	13,1	10,4	12,7	12,6
Masa suelo seco (gr)	54,7	57,8	68,8	53,4	68,7	66,8
Contenido de humedad W%	20,29%	18,17%	19,04%	19,48%	18,49%	18,86%
Promedio W%	19,23%		19,26%		18,67%	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,473		1,546		1,583	
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	13487		11670		11085	
Masa Molde (gr)	9250		7392		6726	
Masa muestra húmeda (gr)	4237		4278		4359	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,888		1,891		1,909	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	75	81	37	51	2	34
Masa del recipiente	30,7	30,7	26	30,3	24	24
Masa suelo hum+recip. (gr)	95,2	97,5	95,2	94,2	96,8	99,6
Masa suelo seco+recip. (gr)	82,1	85,4	83	82	83,2	85,7
Masa de agua (gr)	13,1	12,1	12,2	12,2	13,6	13,9
Masa suelo seco (gr)	51,4	54,7	57	51,7	59,2	61,7
Contenido de humedad W%	25,49%	22,12%	21,40%	23,60%	22,97%	22,53%
Promedio W%	23,80%		22,50%		22,75%	

ENSAYO						
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	209	69,67	200	66,67	257	85,67
0,050	260	86,67	320	106,67	403	134,33
0,075	333	111,00	463	154,33	566	188,67
0,100	393	131,00	632	210,67	759	253,00
0,200	609	203,00	1246	415,33	1516	505,33
0,300	788	262,67	1713	571,00	2128	709,33
0,400	973	324,33	2088	696,00	2663	887,67
0,500	1133	377,67	2359	786,33	3093	1031,00
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg2)	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg2)	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	131,00	13,10%	1,473	203,00	13,53%	1,473
B	210,67	21,07%	1,546	415,33	27,69%	1,546
C	253,00	25,30%	1,583	505,33	33,69%	1,583

Densidad Seca Máxima	1,64		
DSM	%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR
95%	1,561	22,8%	30,0%





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 2 DE LA
 CIUDAD DE AMBATO**

ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	03/07/2019
NOMBRE DE ZONA:	F4	NORMA:	IEEE STD 81-1983
COORDENADAS (UTM)	Zona	Norte (m)	Este (m)
	17M	9858159	763757
N° ensayo	1	2	3
Resistividad ρ (Ω/m)	391,40	437,20	405,20
Resistividad Prom. ρ (Ω/m)	411,27		
Resistencia R (Ω)	65,47		



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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO**

DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	03/07/2019
NOMBRE DE ZONA:	F4	NORMA:	AASHTO T 191 2014
1. Contenido de Humedad			
N° Recipiente	63	73	
Masa suelo humedo + recipiente (gr)	98,9	105,6	
Masa suelo seco + recipiente (gr)	91,4	97,3	
Contenido de humedad (W%)	12,44%	12,44%	
W Promedio (%)	12,44%		
2. Determinación de la masa del Suelo Extraído			
Masa del suelo + recipiente (gr)	1233,8		
Masa del recipiente (gr)	6,3		
Masa del suelo Wm (gr)	1227,5		
3. Calibración del Cono de arena de Ottawa			
Volumen Vsand (cm ³)	209,44		
$\gamma_{sand} = W_{sand}/V_{sand}$ (gr/cm ³)	1,638		
4. Determinación de volumen del hueco en el suelo			
Masa de Arena en el hueco Wsand (gr)	1196,6		
Volumen del suelo Vm = Wsand/γ_{sand} (cm ³)	730,66		
5. Determinación del peso volumetrico de la masa			
$\gamma_m = W_m/V_m$ (gr/cm ³)	1,680		
6. Determinación del peso volumetrico seco			
$\gamma_d = \gamma_m/(1+w)$ (gr/cm ³)	1,494		
7. Determinación de la relación de Vacios (e)			
$e = V_v/V_s$	0,77		
8. Determinación de la Porosidad (n%)			
$n\% = V_v/V_m * 100$	43,62%		
9. Determinación del grado de saturación de agua y aire (Gw%) (Ga%)			
$G_w\% = V_w/V_v * 100$	42,61%		
$G_a\% = (V_v - V_w)/V_v * 100$	57,39%		

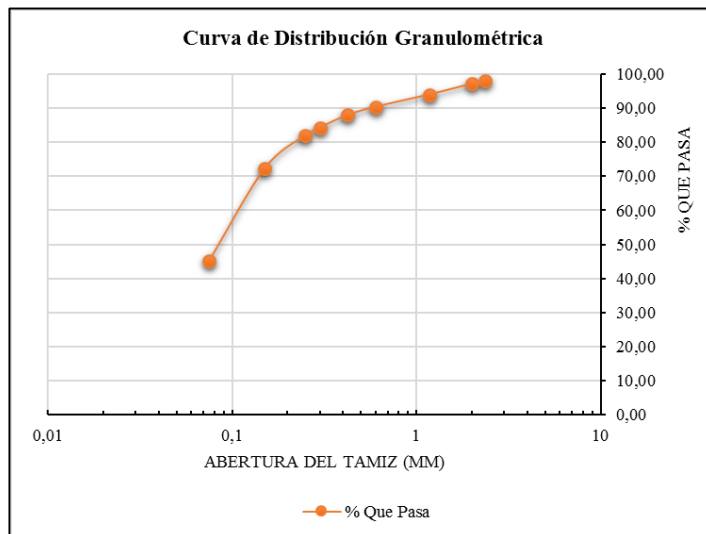




UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL





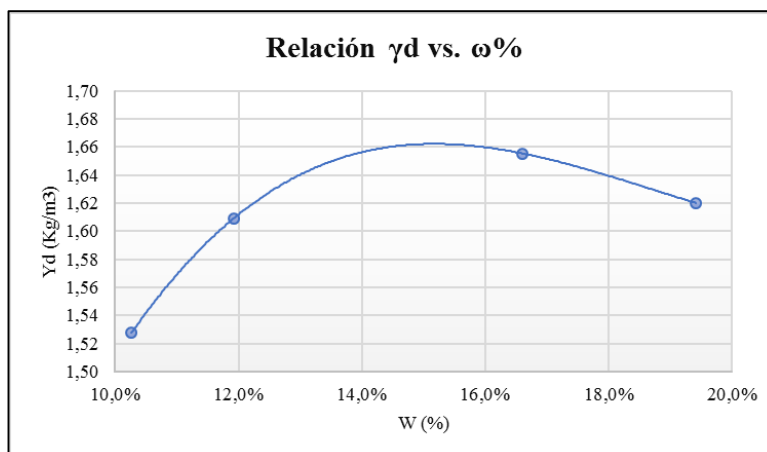
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO
DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	23/07/2019		
NOMBRE DE ZONA:	F4	NORMA:	ASTM D-421-58		
PESO MUESTRA:	250 gr.		AASHTO T-87-70		
#Tamiz	Tamaño de partículas (mm)	P. Retenido Parcial	P. Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
#8	2,36	5,2	5,2	2,08	97,92
#10	2	2	7,2	2,89	97,11
#16	1,18	7,8	15	6,01	93,99
#30	0,6	9,1	24,1	9,66	90,34
#40	0,425	5,9	30	12,02	87,98
#50	0,3	9,1	39,1	15,67	84,33
#60	0,25	5,8	44,9	18,00	82,00
#100	0,15	24,4	69,3	27,78	72,22
#200	0,075	67,5	136,8	54,83	45,17
Bandeja		112,7	249,5	100,00	
Resultados					
TNM	1,18	Cc:	3,14	Error Permitido:	1,00%
D10	0,035				
D30	0,065	Cu:	1,10	Error Calculado:	0,20%
D60	0,11				
Porcentaje de Material					
	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (Finos%)		
SUCS	0	55	45		
AASHTO	2	53	45		



 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO GRAVEDAD ESPECÍFICA					
ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	30/07/2019		
NOMBRE DE ZONA:	F4	NORMA:	AASHTO T- 100; ASTM D 854 58		
MASA DEL PICNÓMETRO			165,5	gr	
TEMPERATURA DEL AGUA			21	C	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA			658,00	gr	
MASA DEL AGUA			492,50	gr	
MASA MUESTRA DE SUELO			50	gr	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO			692,8	gr	
MASA RECIPIENTE			224,3	gr	
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA			279,8	gr	
MASA MUESTRA SECA			55,5	gr	
Gravedad Específica (Gs)			2,681		

 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"									
ELABORADO POR:				ESTEBAN TENECOTA					
NOMBRE DE ZONA:				F4					
FECHA:				07/Ags/2019		NORMA:			
						AASHTO-T- 180			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO									
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10	lb	
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	15470	gr	Volumen molde:	2261,95	cm ³	
Energía de compactación:	55986	lb/ft ³	Diámetro:	15	cm	Altura:	12,8	cm	
Ensayo número	1		2			3		4	
Peso inicial deseado	6000		6000		6000		6000		
Humedad inicial añadida	9		12		15		18		
P. molde + suelo húmedo	19280		19544		19836		19846		
Peso suelo húmedo	3810		4074		4366		4376		
Peso unitario húmedo γ _m	1,684		1,801		1,930		1,935		
CONTENIDO DE HUMEDAD									
# Recipiente	A	B	C	D	E	F	G	H	
R. + Suelo húmedo	74,4	69,4	75,9	65,2	77,7	75,9	71,6	74,7	
R. + Suelo seco	68,7	63,6	67,6	60,4	68,3	66,2	61,8	63,9	
Peso agua	5,7	5,8	8,3	4,8	9,4	9,7	9,8	10,8	
Peso recipiente	10	10	9,8	9,8	9,7	9,7	9,9	9,8	
Peso suelo seco	58,7	53,6	57,8	50,6	58,6	56,5	51,9	54,1	
Contenido humedad ω%	9,71%	10,82%	14,36%	9,49%	16,04%	17,17%	18,88%	19,96%	
Cont. Humedad prom. ω%	10,27%		11,92%		16,60%		19,42%		
Densidad seca γ _d	1,53		1,61		1,66		1,62		
Grado de compactación G _c %								89,95	





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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE PLÁSTICO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA				
NOMBRE DE ZONA:	4				
FECHA:	13/Ags/2019	NORMA:	AASHTO: T- 90-70		
N° MUESTRA	1	2	3	4	5
N° RECIPIENTE	73	3E	4E	5E	6E
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	11,7	12	12	11,8	11,7
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	11,5	11,8	11,7	11,6	11,5
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	10,6	10,7	10,5	10,6	10,6
PESO AGUA (W_w) (gr)	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	0,9	1,1	1,2	1	0,9
CONTENIDO DE HUMEDAD W %	22,22	18,18	25,00	20,00	22,22
PROMEDIO W %	21,53				
LÍMITE LÍQUIDO LL (%)	23,61				
LÍMITE PLÁSTICO LP (%)	21,53				
ÍNDICE PLÁSTICO IP (%)	2,08				



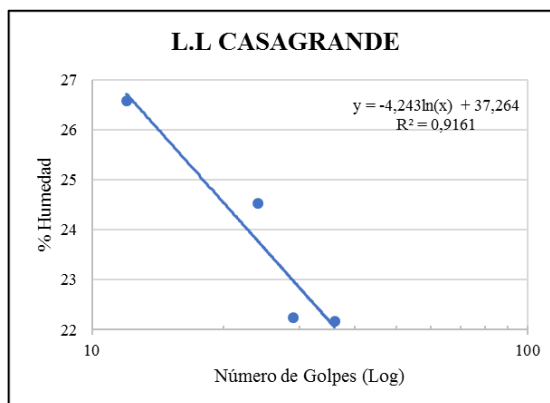
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA							
NOMBRE DE ZONA:	F4							
FECHA:	19/Ags/2019					NORMA:	AASHTO: T- 90-70	
N° MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
N° RECIPIENTE	7	10	16	17	21	23	40	63
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	17,5	16,8	17,4	17,2	15,8	16,1	19,2	17,5
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	16,2	15,6	16,2	16	14,9	15,2	17,9	16,2
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	11,4	11	11,1	11,3	11	11	11	11,1
PESO AGUA (W_w) (gr)	1,3	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9	1,3	1,3
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	4,8	4,6	5,1	4,7	3,9	4,2	6,9	5,1
CONTENIDO DE HUMEDAD W %	27,08	26,09	23,53	25,53	23,08	21,43	18,84	25,49
PROMEDIO W %	26,59		24,53		22,25		22,17	
NÚMERO DE GOLPES	12		24		29		36	
LÍMITE LÍQUIDO L.L (%)	23,61							





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



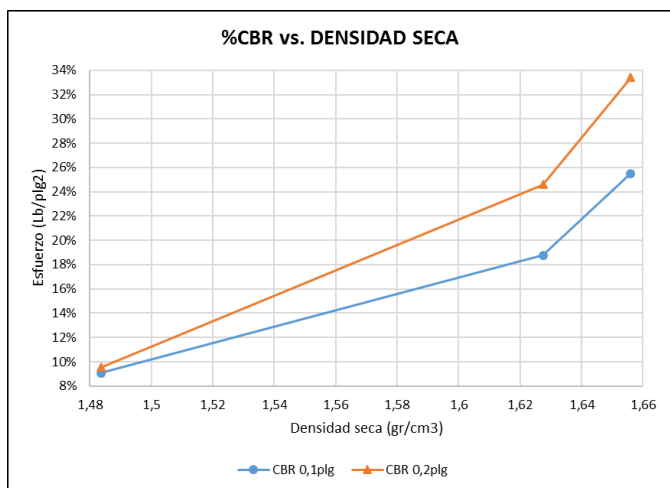
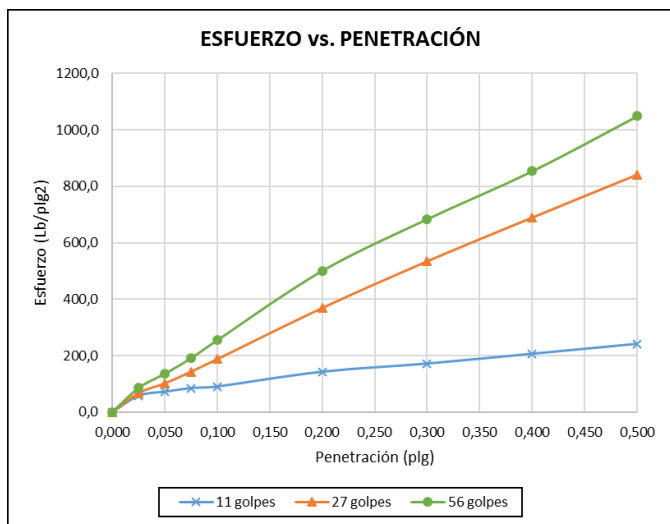
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON
 LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE
 AMBATO

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA					
NOMBRE DE ZONA:	F4			NORMA:	AASHTO:T- 180	
FECHA:	25/Sep/2019			Wópt:	15,00	
MOLDE	A		B		C	
DIMENSIONES	Diámetro	15	Diámetro	15,12	Diámetro	15,13
	Altura	12,7	Altura	12,6	Altura	12,7
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10248		12601		12675	
Masa Molde (gr)	6400		8342		8295	
Masa muestra húmeda (gr)	3848		4259		4380	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,715		1,883		1,918	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	22	24	34	36	37	39
Masa del recipiente	24	24,2	23,5	24,8	26	25,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	98,5	96,7	97,1	97,3	90,9	93,2
Masa suelo seco+recip. (gr)	88,7	86,7	87,1	87,5	82,3	83,7
Masa de agua (gr)	9,8	10	10	9,8	8,6	9,5
Masa suelo seco (gr)	64,7	62,5	63,6	62,7	56,3	57,9
Contenido de humedad W%	15,15%	16,00%	15,72%	15,63%	15,28%	16,41%
Promedio W%	15,57%		15,68%		15,84%	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,484		1,627		1,656	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	10605		12645		12760	
Masa Molde (gr)	6400		8342		8295	
Masa muestra húmeda (gr)	4205		4303		4465	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,874		1,902		1,956	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	22	24	34	36	37	39
Masa del recipiente	24	24,2	23,5	24,8	26	25,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	99,4	92,3	92,1	94	93,4	95,9
Masa suelo seco+recip. (gr)	87,4	80,2	79,7	82,4	80,6	84,3
Masa de agua (gr)	12	12,1	12,4	11,6	12,8	11,6
Masa suelo seco (gr)	63,4	56	56,2	57,6	54,6	58,5
Contenido de humedad W%	18,93%	21,61%	22,06%	20,14%	23,44%	19,83%
Promedio W%	20,27%		21,10%		21,64%	

ENSAYO						
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	174	58,00	203	67,67	257	85,67
0,050	216	72,00	304	101,33	408	136,00
0,075	255	85,00	429	143,00	573	191,00
0,100	272	90,67	563	187,67	765	255,00
0,200	429	143,00	1106	368,67	1503	501,00
0,300	516	172,00	1603	534,33	2053	684,33
0,400	620	206,67	2067	689,00	2563	854,33
0,500	726	242,00	2523	841,00	3148	1049,33
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg2)	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg2)	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	90,67	9,07%	1,484	143,00	9,53%	1,484
B	187,67	18,77%	1,627	368,67	24,58%	1,627
C	255,00	25,50%	1,656	501,00	33,40%	1,656

Densidad Seca Máxima	1,66			
DSM	%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR	
95%	1,578	15,7%	19,8%	19,8%





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 2 DE LA
 CIUDAD DE AMBATO**

ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	24/06/2019
NOMBRE DE ZONA:	F5	NORMA:	IEEE STD 81-1983
COORDENADAS (UTM)	Zona	Norte (m)	Este (m)
	17M	9858547	763907
Elevación (m)	2751		
N° ensayo	1	2	3
Resistividad ρ (Ω/m)	106,10	126,20	122,50
Resistividad Prom. ρ (Ω/m)	118,27		
Resistencia R (Ω)	18,83		



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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO**

DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	24/06/2019
NOMBRE DE ZONA:	F5	NORMA:	AASHTO T 191 2014
1. Contenido de Humedad			
N° Recipiente	68	63	
Masa suelo humedo + recipiente (gr)	91,7	98,4	
Masa suelo seco + recipiente (gr)	86,8	93,4	
Masa Recipiente (gr)	30,8	31,1	
Contenido de humedad (W%)	8,75%	8,03%	
W Promedio (%)	8,39%		
2. Determinación de la masa del Suelo Extraído			
Masa del suelo + recipiente (gr)	1913,5		
Masa del recipiente (gr)	9,4		
Masa del suelo Wm (gr)	1904,1		
3. Calibración del Cono de arena de Ottawa			
Volumen Vsand (cm ³)	926,58		
$\gamma_{sand} = W_{sand}/V_{sand}$ (gr/cm³)	1,610		
4. Determinación de volumen del hueco en el suelo			
Masa de Arena en el hueco W_{sand} (gr)	2076,5		
Volumen del suelo V_m = W_{sand}/γ_{sand} (cm ³)	1289,57		
5. Determinación del peso volumetrico de la masa			
$\gamma_m = W_m/V_m$ (gr/cm³)	1,477		
6. Determinación del peso volumetrico seco			
$\gamma_d = \gamma_m/(1+w)$ (gr/cm³)	1,362		
7. Determinación de la relación de Vacíos (e)			
$e = V_v/V_s$	0,95		
8. Determinación de la Porosidad (n%)			
$n\% = V_v/V_m * 100$	48,76%		
9. Determinación del grado de saturación de agua y aire (Gw%) (Ga%)			
$Gw\% = V_w/V_v * 100$	24,36%		
$Ga\% = (V_v - V_w)/V_v * 100$	75,64%		



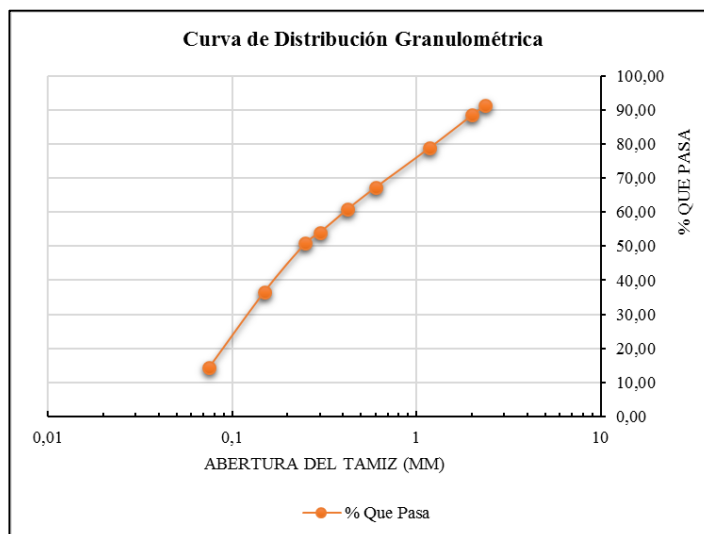
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL







TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

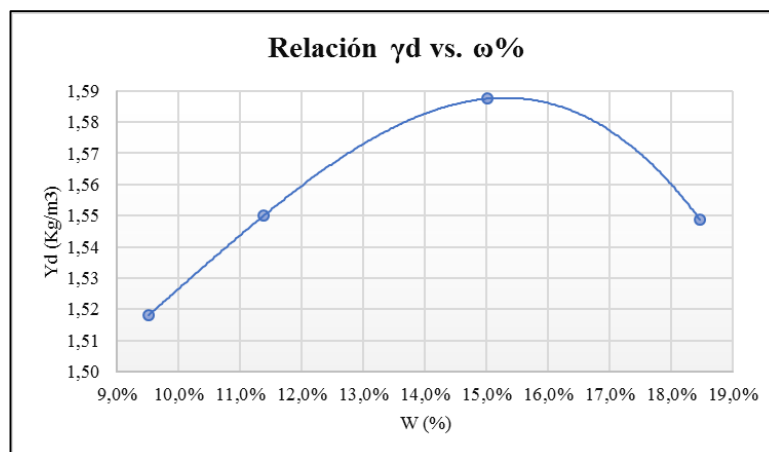
DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	22/07/2019		
NOMBRE DE ZONA:	F5	NORMA:	ASTM D-421-58		
PESO MUESTRA:	250 gr.		AASHTO T-87-70		
#Tamiz	Tamaño de partículas (mm)	P. Retenido Parcial	P. Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
#8	2,36	21,5	21,5	8,65	91,35
#10	2	7,2	28,7	11,55	88,45
#16	1,18	23,7	52,4	21,09	78,91
#30	0,6	29	81,4	32,76	67,24
#40	0,425	15,7	97,1	39,07	60,93
#50	0,3	17,1	114,2	45,96	54,04
#60	0,25	8	122,2	49,18	50,82
#100	0,15	35,3	157,5	63,38	36,62
#200	0,075	55,5	213	85,71	14,29
Bandeja		35,5	248,5	100,00	
Resultados					
TNM	1,18	Cc:	6,15	Error Permitido:	1,00%
D10	0,065				
D30	0,13	Cu:	0,65	Error Calculado:	0,60%
D60	0,4				
Porcentaje de Material					
	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (Finos%)		
SUCS	0	86	14		
AASHTO	2	84	14		



 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO GRAVEDAD ESPECÍFICA					
ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	30/07/2019		
NOMBRE DE ZONA:	F5	NORMA:	AASHTO T- 100; ASTM D 854 58		
MASA DEL PICNÓMETRO	165,5			gr	
TEMPERATURA DEL AGUA	21,5			C	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	657,97			gr	
MASA DEL AGUA	492,47			gr	
MASA MUESTRA DE SUELO	50			gr	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	693,4			gr	
MASA RECIPIENTE	112,8			gr	
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	169,5			gr	
MASA MUESTRA SECA	56,7			gr	
Gravedad Específica (Gs)	2,666				

 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"																
ELABORADO POR:				ESTEBAN TENECOTA												
NOMBRE DE ZONA:				F5												
FECHA:				07/Ags/2019		NORMA:		AASHTO:T- 180								
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO																
Nº de Golpes:	56			Nº de capas:	5			Peso martillo:	10 lb							
Altura de caída:	18' o 1.5ft			Peso molde:	15470 gr			Volumen molde:	2261,95 cm ³							
Energía de compactación:	55986 lb/ft ³			Diámetro:	15 cm			Altura:	12,8 cm							
Ensayo número	1			2			3			4						
Peso inicial deseado	6000			6000			6000			6000						
Humedad inicial añadida	9			12			15			18						
P. molde + suelo húmedo	19231			19375			19600			19620						
Peso suelo húmedo	3761			3905			4130			4150						
Peso unitario húmedo γ _m	1,663			1,726			1,826			1,835						
CONTENIDO DE HUMEDAD																
# Recipiente	3		4		5		6		11		12		1		2	
R. + Suelo húmedo	104,4		101,8		99,3		104,0		110,8		95,2		101,1		109,1	
R. + Suelo seco	98,7		95,8		93		97		98,7		89,5		90,7		97,9	
Peso agua	5,7		6		6,3		7		12,1		5,7		10,4		11,2	
Peso recipiente	35,6		35,8		36,6		36,6		35,8		36,7		35,6		35,8	
Peso suelo seco	63,1		60		56,4		60,4		62,9		52,8		55,1		62,1	
Contenido humedad ω%	9,03%		10,00%		11,17%		11,59%		19,24%		10,80%		18,87%		18,04%	
Cont. Humedad prom. ω%	9,52%				11,38%				15,02%				18,46%			
Densidad seca γ _d	1,52				1,55				1,59				1,55			
Grado de compactación G _c %												85,82				





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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE PLÁSTICO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA				
NOMBRE DE ZONA:	F5				
FECHA:	13/Ags/2019	NORMA:	AASHTO: T- 90-70		
N° MUESTRA	1	2	3	4	5
N° RECIPIENTE	3AL	1	11	5	2E
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	11,7	11,9	11,9	11,7	11,9
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	11,5	11,7	11,7	11,5	11,7
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	10,6	10,7	10,7	10,7	10,7
PESO AGUA (W_w) (gr)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	0,9	1	1	0,8	1
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	22,22	20,00	20,00	25,00	20,00
PROMEDIO W%	21,44				
LÍMITE LÍQUIDO LL (%)	23,01				
LÍMITE PLÁSTICO LP (%)	21,44				
ÍNDICE PLÁSTICO IP (%)	1,57				



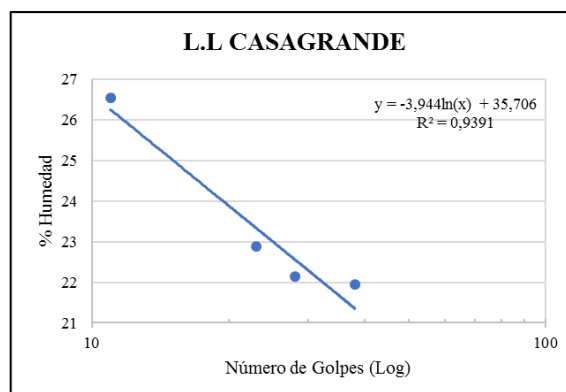
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA							
NOMBRE DE ZONA:	F5							
FECHA:	20/Ags/2019					NORMA:	AASHTO: T- 90-70	
N° MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
N° RECIPIENTE	31	62	67	68	73	77	79	90
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	16,4	16,4	17,6	16,3	18,1	18,3	16,9	17,6
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	15,3	15,3	16,4	15,3	16,8	17,1	15,8	16,5
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	11,3	11	11,3	10,8	11,2	11,4	11,2	11
PESO AGUA (W_w) (gr)	1,1	1,1	1,2	1	1,3	1,2	1,1	1,1
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	4	4,3	5,1	4,5	5,6	5,7	4,6	5,5
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	27,50	25,58	23,53	22,22	23,21	21,05	23,91	20,00
PROMEDIO W%	26,54		22,88		22,13		21,96	
NÚMERO DE GOLPES	11		23		28		38	
LÍMITE LÍQUIDO L.L (%)	23,01							





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



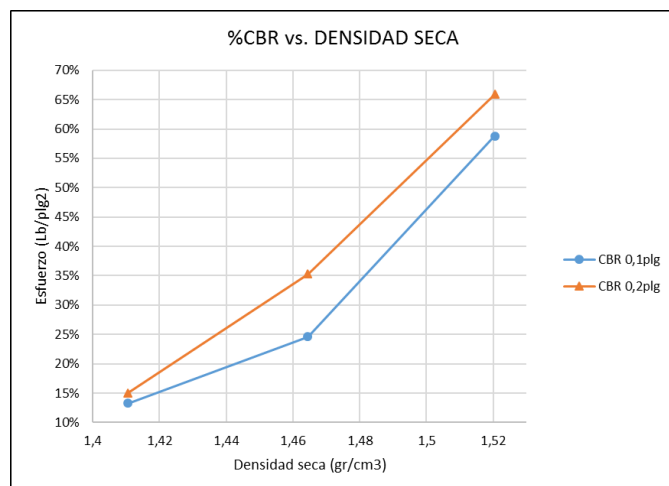
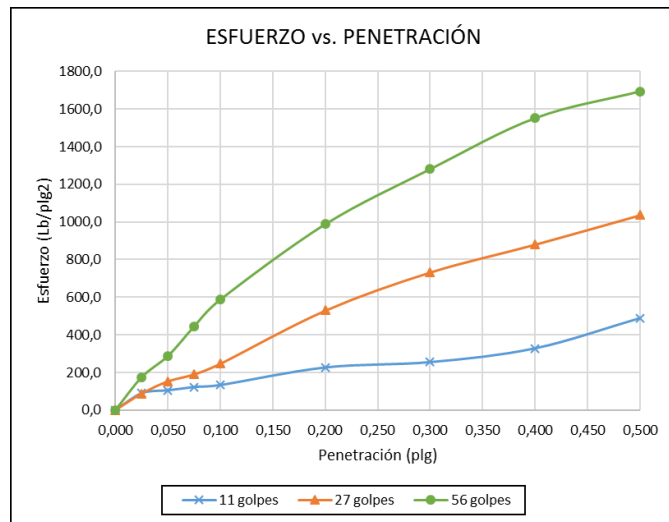
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON
 LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE
 AMBATO

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA					
NOMBRE DE ZONA:	F5			NORMA:	AASHTO:T- 180	
FECHA:	12/Sep/2019			Wópt:	15,00	
MOLDE	A		B		C	
DIMENSIONES	Diámetro	15	Diámetro	15,12	Diámetro	15,13
	Altura	12,7	Altura	12,6	Altura	12,7
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	11946		12180		10725	
Masa Molde (gr)	8295		8342		6722	
Masa muestra húmeda (gr)	3651		3838		4003	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,627		1,696		1,753	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	101	103	53	86	11	57
Masa del recipiente	31,3	30,8	30,9	31,2	30,9	31,1
Masa suelo hum+recip. (gr)	93,9	98,8	87,4	91,7	92,1	90,5
Masa suelo seco+recip. (gr)	86,2	89,1	79,6	83,5	84,1	82,5
Masa de agua (gr)	7,7	9,7	7,8	8,2	8	8
Masa suelo seco (gr)	54,9	58,3	48,7	52,3	53,2	51,4
Contenido de humedad W%	14,03%	16,64%	16,02%	15,68%	15,04%	15,56%
Promedio W%	15,33%		15,85%		15,30%	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,411		1,464		1,521	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12287		12408		10878	
Masa Molde (gr)	8295		8342		6722	
Masa muestra húmeda (gr)	3992		4066		4156	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,779		1,797		1,820	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	101	103	53	86	11	57
Masa del recipiente	31,3	30,8	30,9	31,2	30,9	31,1
Masa suelo hum+recip. (gr)	90	98,8	101,1	98,7	93,6	87,6
Masa suelo seco+recip. (gr)	78,3	87,6	87,4	84,5	80,9	76
Masa de agua (gr)	11,7	11,2	13,7	14,2	12,7	11,6
Masa suelo seco (gr)	47	56,8	56,5	53,3	50	44,9
Contenido de humedad W%	24,89%	19,72%	24,25%	26,64%	25,40%	25,84%
Promedio W%	22,31%		25,44%		25,62%	

ENSAYO						
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg ²)	dial	Presión (lb/plg ²)	dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	268	89,33	263	87,67	526	175,33
0,050	313	104,33	457	152,33	863	287,67
0,075	366	122,00	568	189,33	1336	445,33
0,100	398	132,67	739	246,33	1763	587,67
0,200	678	226,00	1588	529,33	2965	988,33
0,300	763	254,33	2198	732,67	3843	1281,00
0,400	984	328,00	2643	881,00	4657	1552,33
0,500	1467	489,00	3113	1037,67	5083	1694,33
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	132,67	13,27%	1,411	226,00	15,07%	1,411
B	246,33	24,63%	1,464	529,33	35,29%	1,464
C	587,67	58,77%	1,521	988,33	65,89%	1,521

Densidad Seca Máxima	1,59		
DSM	%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR
95%	1,508	52,4%	60,0%





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 2 DE LA
 CIUDAD DE AMBATO**

ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	11/06/2019	
NOMBRE DE ZONA:	F6	NORMA:	IEEE STD 81-1983	
COORDENADAS (UTM)	Zona	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)
	17M	9859061	764813	2720
N° ensayo	1	2	3	
Resistividad ρ (Ω/m)	108,00	125,00	98,00	
Resistividad Prom. ρ (Ω/m)	110,33			
Resistencia R (Ω)	17,57			



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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO**

DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	11/06/2019
NOMBRE DE ZONA:	F6	NORMA:	AASHTO T 191 2014
1. Contenido de Humedad			
N° Recipiente	84	59	
Masa suelo humedo + recipiente (gr)	92,9	89,6	
Masa suelo seco + recipiente (gr)	84,8	82,1	
Masa Recipiente (gr)	30,8	30,6	
Contenido de humedad (W%)	15,00%	14,56%	
W Promedio (%)	14,78%		
2. Determinación de la masa del Suelo Extraído			
Masa del suelo + recipiente (gr)	2067,4		
Masa del recipiente (gr)	13,2		
Masa del suelo Wm (gr)	2054,2		
3. Calibración del Cono de arena de Ottawa			
Volumen Vsand (cm ³)	926,58		
$\gamma_{sand} = W_{sand}/V_{sand}$ (gr/cm³)	1,610		
4. Determinación de volumen del hueco en el suelo			
Masa de Arena en el hueco W_{sand} (gr)	2026,6		
Volumen del suelo V_m = W_{sand}/γ_{sand} (cm ³)	1258,58		
5. Determinación del peso volumetrico de la masa			
$\gamma_m = W_m/V_m$ (gr/cm³)	1,632		
6. Determinación del peso volumetrico seco			
$\gamma_d = \gamma_m/(1+w)$ (gr/cm³)	1,422		
7. Determinación de la relación de Vacios (e)			
$e = V_v/V_s$	0,87		
8. Determinación de la Porosidad (n%)			
$n\% = V_v/V_m * 100$	46,44%		
9. Determinación del grado de saturación de agua y aire (Gw%) (Ga%)			
$G_w\% = V_w/V_v * 100$	45,84%		
$G_a\% = (V_v - V_w)/V_v * 100$	54,16%		

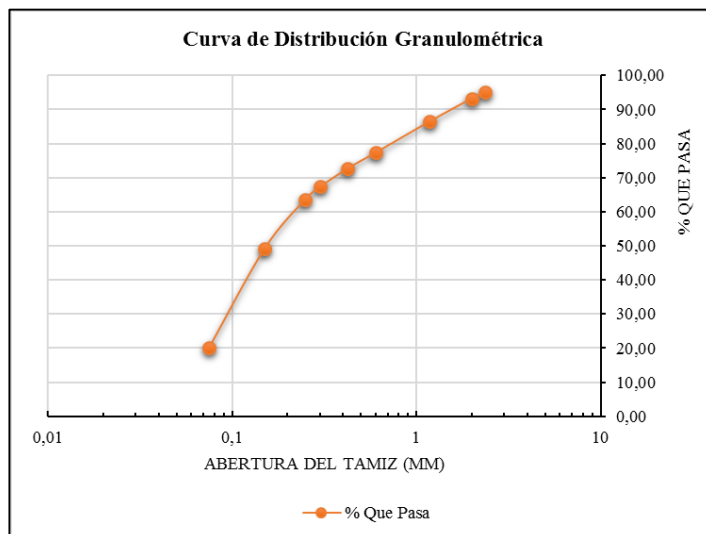




UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL





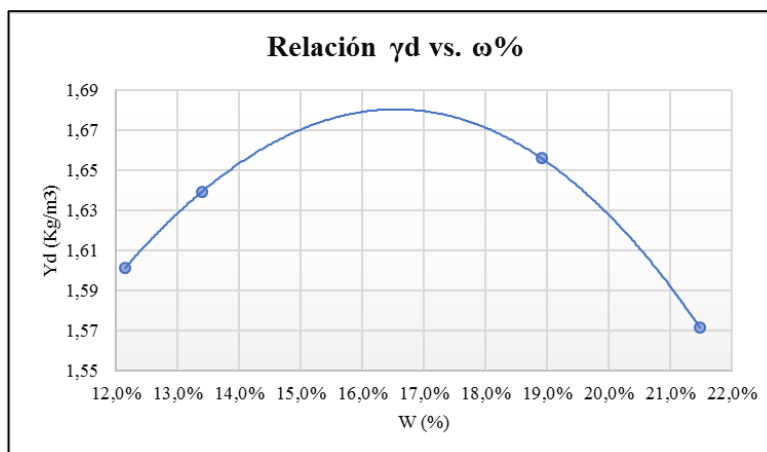
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO
DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	22/07/2019		
NOMBRE DE ZONA:	F6	NORMA:	ASTM D-421-58		
PESO MUESTRA:	250 gr.		AASHTO T-87-70		
#Tamiz	Tamaño de partículas (mm)	P. Retenido Parcial	P. Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
#8	2,36	12,3	12,3	4,95	95,05
#10	2	4,5	16,8	6,76	93,24
#16	1,18	16,8	33,6	13,51	86,49
#30	0,6	22,8	56,4	22,68	77,32
#40	0,425	11,4	67,8	27,26	72,74
#50	0,3	13,5	81,3	32,69	67,31
#60	0,25	9	90,3	36,31	63,69
#100	0,15	36,1	126,4	50,82	49,18
#200	0,075	72,3	198,7	79,90	20,10
Bandeja		50	248,7	100,00	
Resultados					
TNM	1,18	Cc:	3,50	Error Permitido:	1,00%
D10	0,06				
D30	0,1	Cu:	0,79	Error Calculado:	0,52%
D60	0,21				
Porcentaje de Material					
	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (Finos%)		
SUCS	0	80	20		
AASHTO	2	78	20		



 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO GRAVEDAD ESPECÍFICA			
ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	30/07/2019
NOMBRE DE ZONA:	F6	NORMA:	AASHTO T- 100; ASTM D 854 58
MASA DEL PICNÓMETRO	165,5	gr	
TEMPERATURA DEL AGUA	24	C	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	657,78	gr	
MASA DEL AGUA	492,28	gr	
MASA MUESTRA DE SUELO	50	gr	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	690,3	gr	
MASA RECIPIENTE	199,7	gr	
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	251,6	gr	
MASA MUESTRA SECA	51,9	gr	
Gravedad Específica (Gs)	2,678		

 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"			
ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA		
NOMBRE DE ZONA:	F6		
FECHA:	23/Jul/2019	NORMA:	AASHTO:T- 180
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO			
Nº de Golpes:	56	Nº de capas:	5
Altura de caída:	18' o 1.5ft	Peso molde:	14805 gr
Energía de compactación:	55986 lb/ft ³	Diámetro:	15 cm
Ensayo número	1	2	3
Peso inicial deseado	6000	6000	6000
Humedad inicial añadida	6	9	12
P. molde + suelo húmedo	18868	19010	19259
Peso suelo húmedo	4063	4205	4454
Peso unitario húmedo γ _m	1,796	1,859	1,969
CONTENIDO DE HUMEDAD			
# Recipiente	64	86	60
R. + Suelo húmedo	96,0	107,5	104,3
R. + Suelo seco	88,8	99,3	95,7
Peso agua	7,2	8,2	8,6
Peso recipiente	31	30,1	23,8
Peso suelo seco	57,8	69,2	71,9
Contenido humeda ω%	12,46%	11,85%	11,96%
Cont. Humedad prom. ω%	12,15%	13,40%	14,83%
Densidad seca γ _d	1,60	1,64	1,66
Grado de compactación G _c %	81,62		





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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE PLÁSTICO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA				
NOMBRE DE ZONA:	F6				
FECHA:	13/Ags/2019	NORMA:	AASHTO: T- 90-70		
N° MUESTRA	1	2	3	4	5
N° RECIPIENTE	5	6	23	26	47
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	8,1	8,1	8,3	8	8,1
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	8	8	8,2	7,9	8
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	7,4	7,4	7,4	7,3	7,4
PESO AGUA (W_w) (gr)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	16,67	16,67	12,50	16,67	16,67
PROMEDIO W%	15,83				
LÍMITE LÍQUIDO LL (%)	24,78				
LÍMITE PLÁSTICO LP (%)	15,83				
ÍNDICE PLÁSTICO IP (%)	8,95				



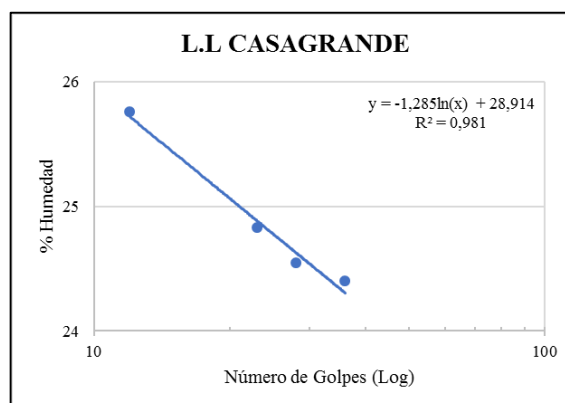
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA							
NOMBRE DE ZONA:	F6							
FECHA:	15/Ags/2019					NORMA:	AASHTO: T- 90-70	
N° MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
N° RECIPIENTE	16	68	70	72	20	35	36	41
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	18	16,8	19,9	21,5	21,6	19,7	18,6	18,9
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	15,8	14,9	17,5	18,6	19,6	18	17,2	17,3
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	7,4	7,4	7,4	7,4	11,3	11,2	11	11,2
PESO AGUA (W_w) (gr)	2,2	1,9	2,4	2,9	2	1,7	1,4	1,6
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	8,4	7,5	10,1	11,2	8,3	6,8	6,2	6,1
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	26,19	25,33	23,76	25,89	24,10	25,00	22,58	26,23
PROMEDIO W%	25,76		24,83		24,55		24,41	
NÚMERO DE GOLPES	12		23		28		36	
LÍMITE LÍQUIDO L.L (%)	24,78							





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



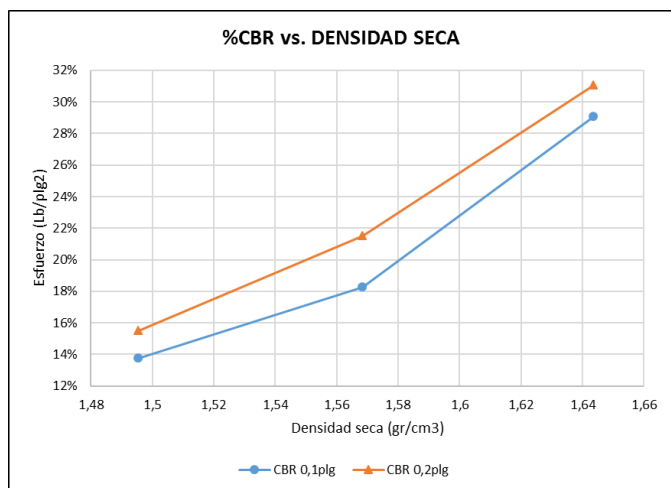
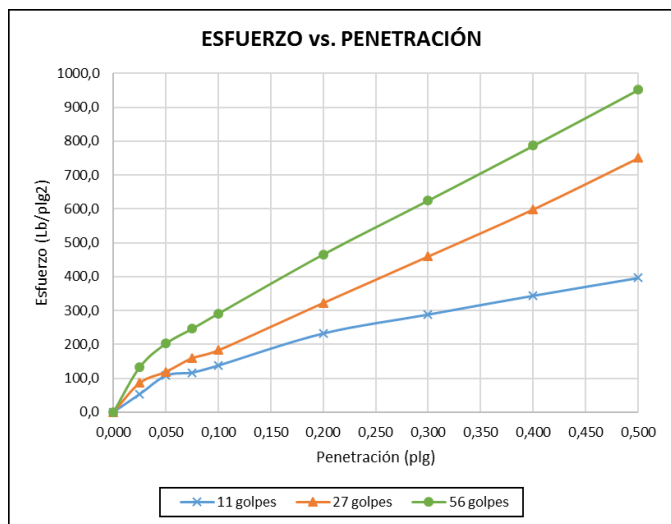
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON
 LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE
 AMBATO

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA					
NOMBRE DE ZONA:	F6			NORMA:	AASHTO:T- 180	
FECHA:	01/Oct/2019			Wópt:	16,50	
MOLDE	A		B		C	
DIMENSIONES	Diámetro	15	Diámetro	15,12	Diámetro	15,13
	Altura	12,7	Altura	12,6	Altura	12,7
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10325		12463		12661	
Masa Molde (gr)	6400		8342		8295	
Masa muestra húmeda (gr)	3925		4121		4366	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,749		1,822		1,912	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	22	24	34	36	37	39
Masa del recipiente	24	24,2	23,5	24,8	26	25,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	93,9	88,4	92,8	95,1	92,6	88
Masa suelo seco+recip. (gr)	84,2	78,7	82,9	85,6	83,2	79,3
Masa de agua (gr)	9,7	9,7	9,9	9,5	9,4	8,7
Masa suelo seco (gr)	60,2	54,5	59,4	60,8	57,2	53,5
Contenido de humedad W%	16,11%	17,80%	16,67%	15,63%	16,43%	16,26%
Promedio W%	16,96%		16,15%		16,35%	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,495		1,568		1,643	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	10515		12663		12820	
Masa Molde (gr)	6400		8342		8295	
Masa muestra húmeda (gr)	4115		4321		4525	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,834		1,910		1,982	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	22	24	34	36	37	39
Masa del recipiente	24	24,2	23,5	24,8	26	25,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	94,1	95	91,5	93,6	94,8	96,8
Masa suelo seco+recip. (gr)	82	82,5	80	81,6	82,9	84,9
Masa de agua (gr)	12,1	12,5	11,5	12	11,9	11,9
Masa suelo seco (gr)	58	58,3	56,5	56,8	56,9	59,1
Contenido de humedad W%	20,86%	21,44%	20,35%	21,13%	20,91%	20,14%
Promedio W%	21,15%		20,74%		20,52%	

ENSAYO						
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	159	53,00	258	86,00	398	132,67
0,050	323	107,67	357	119,00	607	202,33
0,075	350	116,67	478	159,33	737	245,67
0,100	413	137,67	548	182,67	872	290,67
0,200	698	232,67	968	322,67	1397	465,67
0,300	866	288,67	1381	460,33	1875	625,00
0,400	1033	344,33	1798	599,33	2360	786,67
0,500	1190	396,67	2253	751,00	2855	951,67
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg2)	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg2)	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	137,67	13,77%	1,495	232,67	15,51%	1,495
B	182,67	18,27%	1,568	322,67	21,51%	1,568
C	290,67	29,07%	1,643	465,67	31,04%	1,643

Densidad Seca Máxima	1,68			
DSM	%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR	
95%	1,597	22,8%	25,5%	25,5%





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 2 DE LA
 CIUDAD DE AMBATO**

ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	17/06/2019
NOMBRE DE ZONA:	F7	NORMA:	IEEE STD 81-1983
COORDENADAS (UTM)	Zona	Norte (m)	Este (m)
	17M	9859000	765095
Elevación (m)	2702		
N° ensayo	1	2	3
Resistividad ρ (Ω/m)	40,20	45,20	45,80
Resistividad Prom. ρ (Ω/m)	43,73		
Resistencia R (Ω)	6,97		



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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO**

DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	17/06/2019
NOMBRE DE ZONA:	F7	NORMA:	AASHTO T 191 2014
1. Contenido de Humedad			
N° Recipiente	87	58	
Masa suelo humedo + recipiente (gr)	95,8	99,4	
Masa suelo seco + recipiente (gr)	88,4	91,7	
Masa Recipiente (gr)	30,7	30,8	
Contenido de humedad (W%)	12,82%	12,64%	
W Promedio (%)	12,73%		
2. Determinación de la masa del Suelo Extraído			
Masa del suelo + recipiente (gr)	1877,9		
Masa del recipiente (gr)	15,2		
Masa del suelo W_m (gr)	1862,7		
3. Calibración del Cono de arena de Ottawa			
Volumen V_{sand} (cm^3)	926,58		
$\gamma_{sand} = W_{sand}/V_{sand}$ (gr/cm ³)	1,610		
4. Determinación de volumen del hueco en el suelo			
Masa de Arena en el hueco W_{sand} (gr)	1717,7		
Volumen del suelo $V_m = W_{sand}/\gamma_{sand}$ (cm^3)	1066,75		
5. Determinación del peso volumetrico de la masa			
$\gamma_m = W_m/V_m$ (gr/cm ³)	1,746		
6. Determinación del peso volumetrico seco			
$\gamma_d = \gamma_m/(1+w)$ (gr/cm ³)	1,549		
7. Determinación de la relación de Vacíos (e)			
$e = V_v/V_s$	0,71		
8. Determinación de la Porosidad (n%)			
$n\% = V_v/V_m * 100$	41,60%		
9. Determinación del grado de saturación de agua y aire (Gw%) (Ga%)			
$G_w\% = V_w/V_v * 100$	47,72%		
$G_a\% = (V_v - V_w)/V_v * 100$	52,28%		



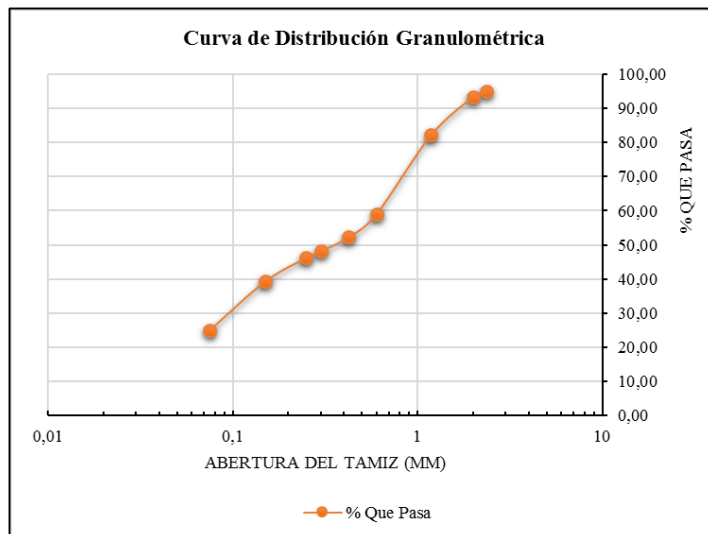
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL







TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

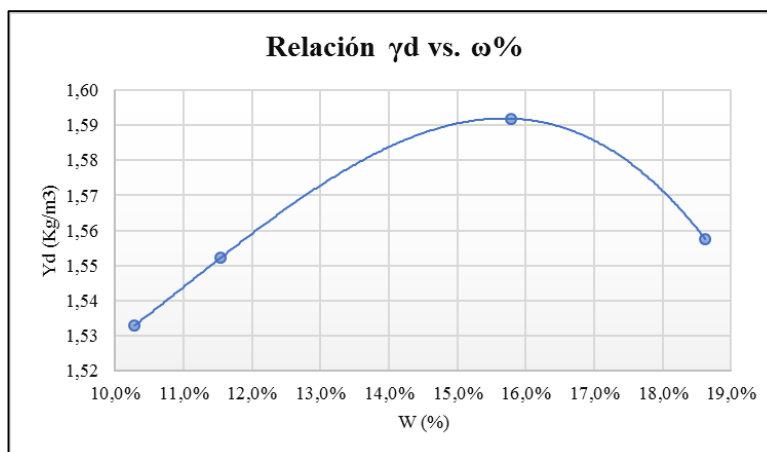
DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	23/07/2019		
NOMBRE DE ZONA:	F7	NORMA:	ASTM D-421-58		
PESO MUESTRA:	250 gr.		AASHTO T-87-70		
#Tamiz	Tamaño de partículas (mm)	P. Retenido Parcial	P. Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
#8	2,36	12,1	12,1	4,88	95,12
#10	2	4,2	16,3	6,58	93,42
#16	1,18	28	44,3	17,87	82,13
#30	0,6	57,3	101,6	40,98	59,02
#40	0,425	16,8	118,4	47,76	52,24
#50	0,3	10,2	128,6	51,88	48,12
#60	0,25	4,9	133,5	53,85	46,15
#100	0,15	17,1	150,6	60,75	39,25
#200	0,075	35,6	186,2	75,11	24,89
Bandeja		61,7	247,9	100,00	
Resultados					
TNM	1,18	Cc:	13,33	Error Permitido:	1,00%
D10	0,045				
D30	0,1	Cu:	0,37	Error Calculado:	0,84%
D60	0,6				
Porcentaje de Material					
	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (Finos%)		
SUCS	0	75	25		
AASHTO	2	73	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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO GRAVEDAD ESPECÍFICA			
ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	30/07/2019
NOMBRE DE ZONA:	F7	NORMA:	AASHTO T- 100; ASTM D 854 58
MASA DEL PICNÓMETRO	165,5	gr	
TEMPERATURA DEL AGUA	22,5	C	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	657,90	gr	
MASA DEL AGUA	492,40	gr	
MASA MUESTRA DE SUELO	50	gr	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	691,6	gr	
MASA RECIPIENTE	75,5	gr	
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	129,6	gr	
MASA MUESTRA SECA	54,1	gr	
Gravedad Específica (Gs)	2,652		

 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"			
ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA		
NOMBRE DE ZONA:	F7		
FECHA:	08/Ags/2019	NORMA:	AASHTO-T- 180
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO			
Nº de Golpes:	56	Nº de capas:	5
Altura de caída:	18' o 1.5ft	Peso molde:	15470 gr
Energía de compactación:	55986 lb/ft ³	Diámetro:	15 cm
Ensayo número	1	2	3
Peso inicial deseado	6000	6000	6000
Humedad inicial añadida	6	9	12
P. molde + suelo húmedo	19294	19386	19639
Peso suelo húmedo	3824	3916	4169
Peso unitario húmedo γ _m	1,691	1,731	1,843
CONTENIDO DE HUMEDAD			
# Recipiente	1	2	3
R. + Suelo húmedo	100,2	106,4	125,6
R. + Suelo seco	94,1	99,9	117,3
Peso agua	6,1	6,5	8
Peso recipiente	35,6	35,8	36,6
Peso suelo seco	58,5	64,1	80,7
Contenido humedad ω%	10,43%	10,14%	9,91%
Cont. Humedad prom. ω%	10,28%	11,54%	15,78%
Densidad seca γ _d	1,53	1,55	1,59
Grado de compactación G _c %	97,3		





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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE PLÁSTICO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA				
NOMBRE DE ZONA:	F7				
FECHA:	12/Ags/2019	NORMA:	AASHTO: T- 90-70		
N° MUESTRA	1	2	3	4	5
N° RECIPIENTE	3AL	1	5	11	2E
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	12,8	12,7	12,3	12,2	12,1
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	12,4	12,3	12,1	11,9	11,9
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	10,6	10,7	10,7	10,7	10,7
PESO AGUA (W_w) (gr)	0,4	0,4	0,2	0,3	0,2
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	1,8	1,6	1,4	1,2	1,2
CONTENIDO DE HUMEDAD W %	22,22	25,00	14,29	25,00	16,67
PROMEDIO W %	20,63				
LÍMITE LÍQUIDO LL (%)	22,31				
LÍMITE PLÁSTICO LP (%)	20,63				
ÍNDICE PLÁSTICO IP (%)	1,68				



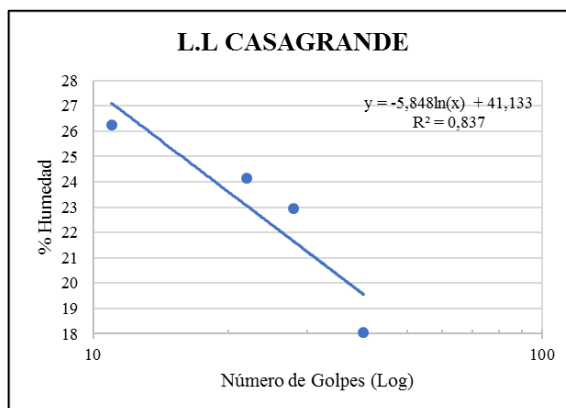
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA							
NOMBRE DE ZONA:	F7							
FECHA:	20/Ags/2019					NORMA:	AASHTO: T- 90-70	
N° MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
N° RECIPIENTE	35	36	16	72	20	41	68	70
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	17	17,7	12,8	13,3	17,4	16,9	12,8	13,9
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	15,8	16,3	11,8	12,1	16,3	15,8	11,9	13
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	11,2	11	7,4	7,4	11,3	11,2	7,4	7,4
PESO AGUA (W_w) (gr)	1,2	1,4	1	1,2	1,1	1,1	0,9	0,9
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	4,6	5,3	4,4	4,7	5	4,6	4,5	5,6
CONTENIDO DE HUMEDAD W %	26,09	26,42	22,73	25,53	22,00	23,91	20,00	16,07
PROMEDIO W %	26,25		24,13		22,96		18,04	
NÚMERO DE GOLPES	11		22		28		40	
LÍMITE LÍQUIDO L.L (%)	22,31							





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



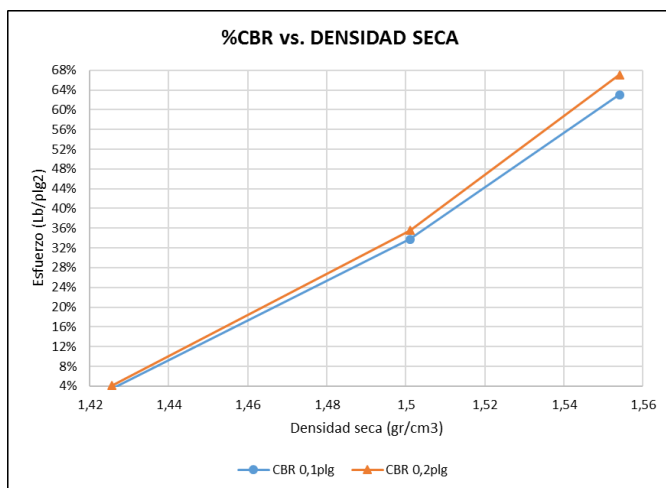
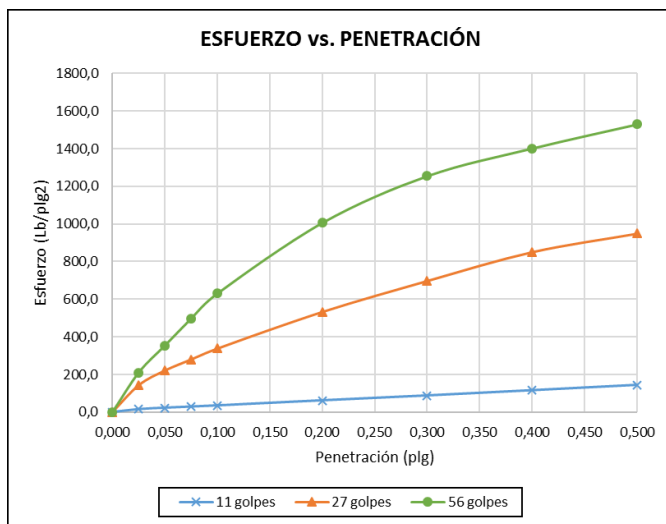
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON
 LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE
 AMBATO

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA					
NOMBRE DE ZONA:	F7			NORMA:	AASHTO:T- 180	
FECHA:	26/Sep/2019			Wópt:	15,50	
MOLDE	A		B		C	
DIMENSIONES	Diámetro	15	Diámetro	15,12	Diámetro	15,13
	Altura	12,7	Altura	12,6	Altura	12,7
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10139		12234		12366	
Masa Molde (gr)	6400		8324		8295	
Masa muestra húmeda (gr)	3739		3910		4071	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,666		1,728		1,783	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	3	6	8	10	20	30
Masa del recipiente	26,9	24,8	26,7	23,6	24,7	24,3
Masa suelo hum+recip. (gr)	97,2	98,1	98,3	99,5	97,7	93,9
Masa suelo seco+recip. (gr)	86,5	88,1	88,9	89,5	88,5	84,8
Masa de agua (gr)	10,7	10	9,4	10	9,2	9,1
Masa suelo seco (gr)	59,6	63,3	62,2	65,9	63,8	60,5
Contenido de humedad W%	17,95%	15,80%	15,11%	15,17%	14,42%	15,04%
Promedio W%	16,88%		15,14%		14,73%	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,426		1,501		1,554	
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	10427		12476		12571	
Masa Molde (gr)	6400		8324		8295	
Masa muestra húmeda (gr)	4027		4152		4276	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,794		1,835		1,873	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	22	24	34	36	37	39
Masa del recipiente	24	24,2	23,5	24,8	26	25,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	98	91,2	89,5	97,6	87,8	95,8
Masa suelo seco+recip. (gr)	83,5	78,3	77,2	84,6	77,2	83,1
Masa de agua (gr)	14,5	12,9	12,3	13	10,6	12,7
Masa suelo seco (gr)	59,5	54,1	53,7	59,8	51,2	57,3
Contenido de humedad W%	24,37%	23,84%	22,91%	21,74%	20,70%	22,16%
Promedio W%	24,11%		22,32%		21,43%	

ENSAYO						
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	46	15,33	429	143,00	632	210,67
0,050	68	22,67	663	221,00	1063	354,33
0,075	86	28,67	839	279,67	1493	497,67
0,100	105	35,00	1013	337,67	1892	630,67
0,200	185	61,67	1599	533,00	3019	1006,33
0,300	263	87,67	2094	698,00	3765	1255,00
0,400	346	115,33	2555	851,67	4206	1402,00
0,500	430	143,33	2850	950,00	4590	1530,00
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg2)	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg2)	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	35,00	3,50%	1,426	61,67	4,11%	1,426
B	337,67	33,77%	1,501	533,00	35,53%	1,501
C	630,67	63,07%	1,554	1006,33	67,09%	1,554

Densidad Seca Máxima	1,59			
DSM	%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR	
95%	1,512	38,5%	40,8%	40,8%





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 2 DE LA
 CIUDAD DE AMBATO**

ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	09/06/2019
NOMBRE DE ZONA:	F8	NORMA:	IEEE STD 81-1983
COORDENADAS (UTM)	Zona	Norte (m)	Este (m)
	17M	9858500	764964
N° ensayo	1	2	3
Resistividad ρ (Ω/m)	240,60	275,80	253,20
Resistividad Prom. ρ (Ω/m)	256,53		
Resistencia R (Ω)	40,83		



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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO**

DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	09/07/2019
NOMBRE DE ZONA:	F8	NORMA:	AASHTO T 191 2014
1. Contenido de Humedad			
N° Recipiente	73	74	
Masa suelo humedo + recipiente (gr)	119,1	129,1	
Masa suelo seco + recipiente (gr)	112,1	121,6	
Masa Recipiente (gr)	30,6	31,2	
Contenido de humedad (W%)	8,59%	8,30%	
W Promedio (%)	8,44%		
2. Determinación de la masa del Suelo Extraído			
Masa del suelo + recipiente (gr)	729,7		
Masa del recipiente (gr)	6,3		
Masa del suelo W_m (gr)	786,4		
3. Calibración del Cono de arena de Ottawa			
Volumen V_{sand} (cm^3)	209,44		
$\gamma_{sand} = W_{sand}/V_{sand}$ (gr/cm ³)	1,638		
4. Determinación de volumen del hueco en el suelo			
Masa de Arena en el hueco W_{sand} (gr)	653,3		
Volumen del suelo $V_m = W_{sand}/\gamma_{sand}$ (cm^3)	398,91		
5. Determinación del peso volumetrico de la masa			
$\gamma_m = W_m/V_m$ (gr/cm ³)	1,971		
6. Determinación del peso volumetrico seco			
$\gamma_d = \gamma_m/(1+w)$ (gr/cm ³)	1,818		
7. Determinación de la relación de Vacíos (e)			
$e = V_v/V_s$	0,46		
8. Determinación de la Porosidad (n%)			
$n\% = V_v/V_m * 100$	31,49%		
9. Determinación del grado de saturación de agua y aire (Gw%) (Ga%)			
$G_w\% = V_w/V_v * 100$	49,51%		
$G_a\% = (V_v - V_w)/V_v * 100$	50,49%		



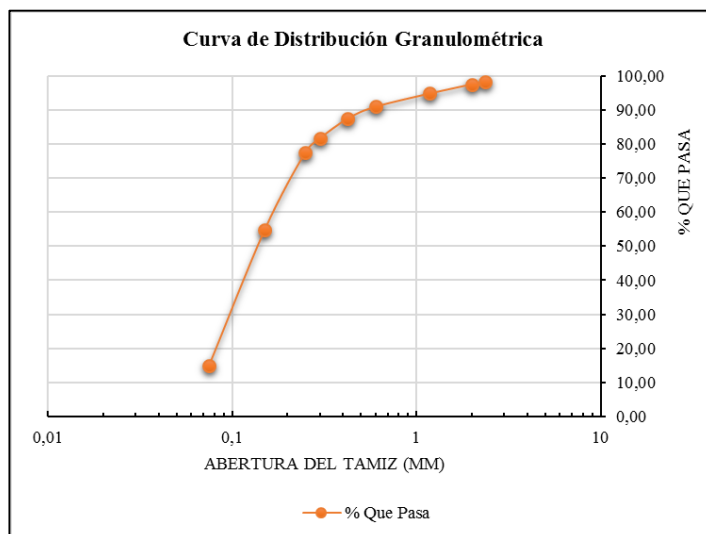
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL







TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

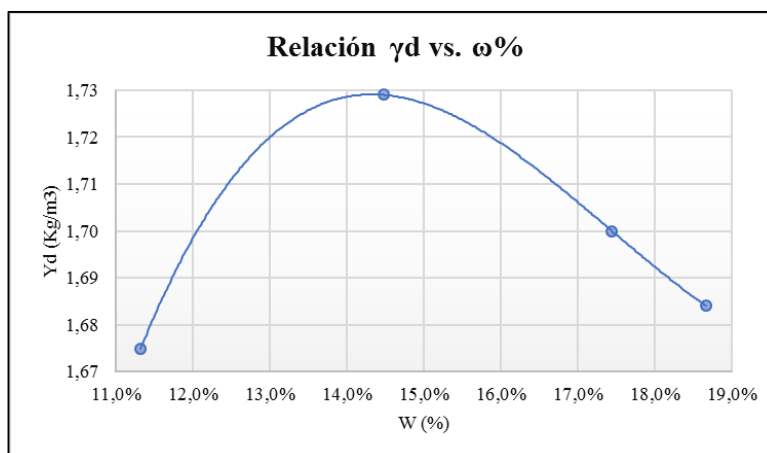
DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	23/07/2019		
NOMBRE DE ZONA:	F8	NORMA:	ASTM D-421-58		
PESO MUESTRA:	250 gr.		AASHTO T-87-70		
#Tamiz	Tamaño de partículas (mm)	P. Retenido Parcial	P. Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
#8	2,36	4,4	4,4	1,77	98,23
#10	2	1,8	6,2	2,49	97,51
#16	1,18	6,7	12,9	5,18	94,82
#30	0,6	9,7	22,6	9,07	90,93
#40	0,425	8,5	31,1	12,48	87,52
#50	0,3	14,5	45,6	18,31	81,69
#60	0,25	10,2	55,8	22,40	77,60
#100	0,15	56,9	112,7	45,24	54,76
#200	0,075	98,9	211,6	84,95	15,05
Bandeja		37,5	249,1	100,00	
Resultados					
TNM	1,18	Cc:	2,40	Error Permitido:	1,00%
D10	0,075				
D30	0,1	Cu:	0,74	Error Calculado:	0,36%
D60	0,18				
Porcentaje de Material					
	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (Finos%)		
SUCS	0	85	15		
AASHTO	2	83	15		



 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO GRAVEDAD ESPECÍFICA					
ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	30/07/2019		
NOMBRE DE ZONA:	F8	NORMA:	AASHTO T- 100; ASTM D 854 58		
MASA DEL PICNÓMETRO	165,5	gr			
TEMPERATURA DEL AGUA	24	C			
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	657,78	gr			
MASA DEL AGUA	492,28	gr			
MASA MUESTRA DE SUELO	50	gr			
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	691,4	gr			
MASA RECIPIENTE	112,8	gr			
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	166,3	gr			
MASA MUESTRA SECA	53,5	gr			
Gravedad Específica (Gs)	2,691				

 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"										
ELABORADO POR:				ESTEBAN TENECOTA						
NOMBRE DE ZONA:				F8						
FECHA:				24/Jul/2019		NORMA:		AASHTO T- 180		
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO										
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10		lb	
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	14805		gr	Volumen molde:	2261,95		cm ³
Energía de compactación:	55986	lb/ft ³	Diámetro:	15		cm	Altura:	12,8		cm
Ensayo número	1		2		3		4			
Peso inicial deseado	6000		6000		6000		6000			
Humedad inicial añadida	6		9		12		15			
P. molde + suelo húmedo	19022		19282		19325		19303			
Peso suelo húmedo	4217		4477		4520		4498			
Peso unitario húmedo γ _m	1,864		1,979		1,998		1,989			
CONTENIDO DE HUMEDAD										
# Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8		
R. + Suelo húmedo	133,3	143,3	135,8	134,4	105,1	104,1	106,6	105,9		
R. + Suelo seco	123,8	131,9	123,7	121,6	94,1	93,6	95,3	96,4		
Peso agua	9,5	11,4	12,1	12,8	11	10,5	11,3	9,5		
Peso recipiente	35,6	35,8	36,6	36,6	35,8	36,7	36,3	36		
Peso suelo seco	88,2	96,1	87,1	85	58,3	56,9	59	60,4		
Contenido humedad ω%	10,77%	11,86%	13,89%	15,06%	18,87%	18,45%	19,15%	15,73%		
Cont. Humedad prom. ω%	11,32%		14,48%		18,66%		17,44%			
Densidad seca γ _d	1,67		1,73		1,68		1,70			
Grado de compactación G _c %					105,21					





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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE PLÁSTICO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA				
NOMBRE DE ZONA:	F8				
FECHA:	06/Ags/2019	NORMA:	AASHTO: T- 90-70		
N° MUESTRA	1	2	3	4	5
N° RECIPIENTE	73	3E	4E	5E	6E
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	11,5	11,7	11,6	11,6	11,6
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	11,4	11,5	11,5	11,5	11,4
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	10,6	10,7	10,5	10,6	10,6
PESO AGUA (W_w) (gr)	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	0,8	0,8	1	0,9	0,8
CONTENIDO DE HUMEDAD W %	12,50	25,00	10,00	11,11	25,00
PROMEDIO W %	16,72				
LÍMITE LÍQUIDO LL (%)	20,59				
LÍMITE PLÁSTICO LP (%)	16,72				
ÍNDICE PLÁSTICO IP (%)	3,87				



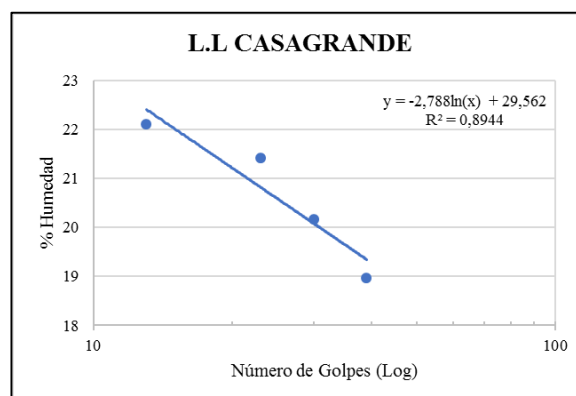
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA							
NOMBRE DE ZONA:	F8							
FECHA:	14/Ags/2019					NORMA:	AASHTO: T- 90-70	
N° MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
N° RECIPIENTE	8	10	18	25	30	40	45	46
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	15,4	16	13,1	13,6	15	15,3	14,2	14,4
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	13,9	14,5	12,1	12,5	13,7	14	13,1	13,3
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
PESO AGUA (W_w) (gr)	1,5	1,5	1	1,1	1,3	1,3	1,1	1,1
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	6,5	7,1	4,7	5,1	6,3	6,6	5,7	5,9
CONTENIDO DE HUMEDAD W %	23,08	21,13	21,28	21,57	20,63	19,70	19,30	18,64
PROMEDIO W %	22,10		21,42		20,17		18,97	
NÚMERO DE GOLPES	13		23		30		39	
LÍMITE LÍQUIDO L.L (%)	20,59							





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



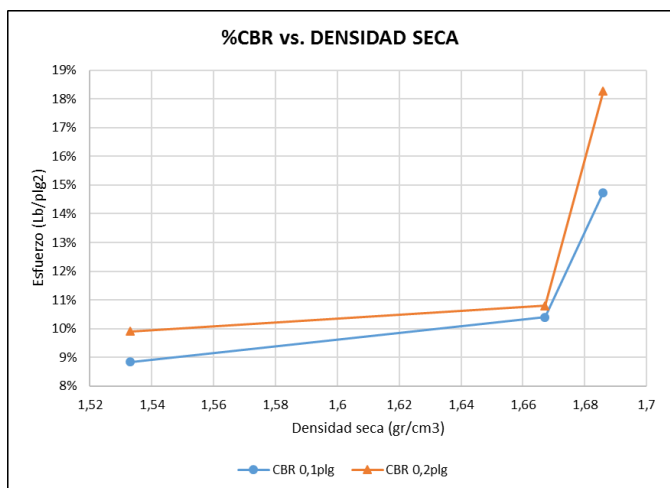
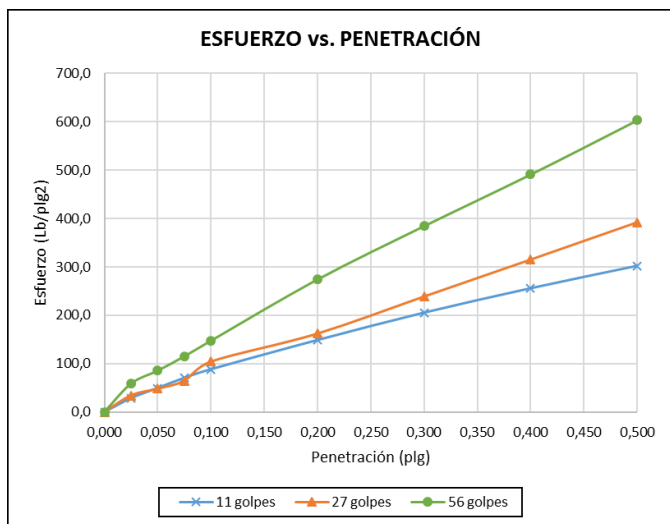
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON
 LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE
 AMBATO

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA					
NOMBRE DE ZONA:	F8			NORMA:	AASHTO:T- 180	
FECHA:	24/Sep/2019			Wópt:	14,50	
MOLDE	A		B		C	
DIMENSIONES	Diámetro	15	Diámetro	15,12	Diámetro	15,13
	Altura	12,7	Altura	12,6	Altura	12,7
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10329		11700		13657	
Masa Molde (gr)	6400		7387		9248	
Masa muestra húmeda (gr)	3929		4313		4409	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,751		1,906		1,931	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	22	24	34	36	37	39
Masa del recipiente	24	24,2	23,5	24,8	26	25,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	96,9	98,4	99,4	94,6	97,9	97,3
Masa suelo seco+recip. (gr)	87,9	89,1	89,7	86	88,8	88,2
Masa de agua (gr)	9	9,3	9,7	8,6	9,1	9,1
Masa suelo seco (gr)	63,9	64,9	66,2	61,2	62,8	62,4
Contenido de humedad W%	14,08%	14,33%	14,65%	14,05%	14,49%	14,58%
Promedio W%	14,21%		14,35%		14,54%	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,533		1,667		1,686	
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	10661		11728		13680	
Masa Molde (gr)	6400		7387		9248	
Masa muestra húmeda (gr)	4261		4341		4432	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,899		1,919		1,941	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	22	24	34	36	37	39
Masa del recipiente	24	24,2	23,5	24,8	26	25,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	96,3	92,1	92,4	96,1	96,4	91,6
Masa suelo seco+recip. (gr)	82,2	79,4	80,2	84	84,8	79,9
Masa de agua (gr)	14,1	12,7	12,2	12,1	11,6	11,7
Masa suelo seco (gr)	58,2	55,2	56,7	59,2	58,8	54,1
Contenido de humedad W%	24,23%	23,01%	21,52%	20,44%	19,73%	21,63%
Promedio W%	23,62%		20,98%		20,68%	

ENSAYO						
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	86	28,67	103	34,33	176	58,67
0,050	149	49,67	144	48,00	256	85,33
0,075	212	70,67	193	64,33	345	115,00
0,100	265	88,33	312	104,00	442	147,33
0,200	446	148,67	486	162,00	822	274,00
0,300	616	205,33	716	238,67	1153	384,33
0,400	767	255,67	945	315,00	1473	491,00
0,500	906	302,00	1176	392,00	1809	603,00
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg2)	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg2)	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	88,33	8,83%	1,533	148,67	9,91%	1,533
B	104,00	10,40%	1,667	162,00	10,80%	1,667
C	147,33	14,73%	1,686	274,00	18,27%	1,686

Densidad Seca Máxima	1,73			
DSM	%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR	
95%	1,642	10,0%	10,6%	10,6%





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 2 DE LA
 CIUDAD DE AMBATO**

ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	17/07/2019
NOMBRE DE ZONA:	F9	NORMA:	IEEE STD 81-1983
COORDENADAS (UTM)	Zona	Norte (m)	Este (m)
	17M	9858512	765660
Elevación (m)	2717		
N° ensayo	1	2	3
Resistividad ρ (Ω/m)	143,20	134,40	169,60
Resistividad Prom. ρ (Ω/m)	149,07		
Resistencia R (Ω)	23,73		



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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO**

DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	17/07/2019
NOMBRE DE ZONA:	F9	NORMA:	AASHTO T 191 2014
1. Contenido de Humedad			
N° Recipiente	73	74	
Masa suelo humedo + recipiente (gr)	113,9	114,4	
Masa suelo seco + recipiente (gr)	106,1	106,5	
Masa Recipiente (gr)	30,6	31,2	
Contenido de humedad (W%)	10,33%	10,49%	
W Promedio (%)	10,41%		
2. Determinación de la masa del Suelo Extraído			
Masa del suelo + recipiente (gr)	607,5		
Masa del recipiente (gr)	6,3		
Masa del suelo Wm (gr)	601,2		
3. Calibración del Cono de arena de Ottawa			
Volumen Vsand (cm ³)	209,44		
$\gamma_{sand} = W_{sand}/V_{sand}$ (gr/cm³)	1,638		
4. Determinación de volumen del hueco en el suelo			
Masa de Arena en el hueco W_{sand} (gr)	563		
Volumen del suelo V_m = W_{sand}/γ_{sand} (cm ³)	343,77		
5. Determinación del peso volumetrico de la masa			
$\gamma_m = W_m/V_m$ (gr/cm³)	1,749		
6. Determinación del peso volumetrico seco			
$\gamma_d = \gamma_m/(1+w)$ (gr/cm³)	1,584		
7. Determinación de la relación de Vacios (e)			
$e = V_v/V_s$	0,67		
8. Determinación de la Porosidad (n%)			
$n\% = V_v/V_m * 100$	40,19%		
9. Determinación del grado de saturación de agua y aire (Gw%) (Ga%)			
$G_w\% = V_w/V_v * 100$	40,75%		
$G_a\% = (V_v - V_w)/V_v * 100$	59,25%		



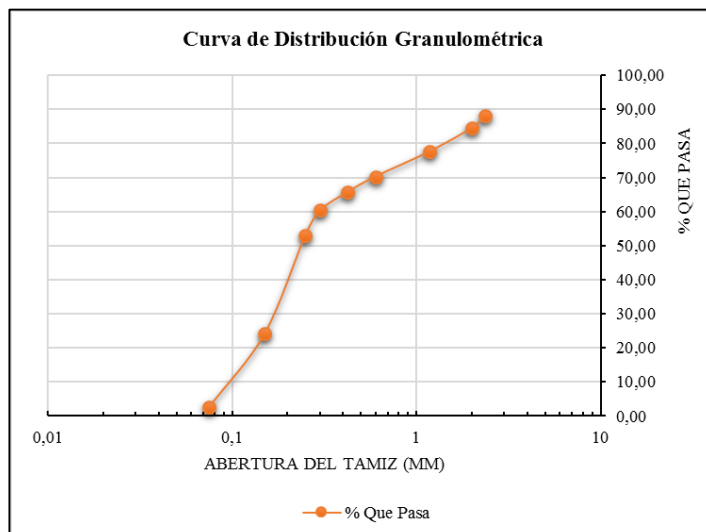
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL







TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

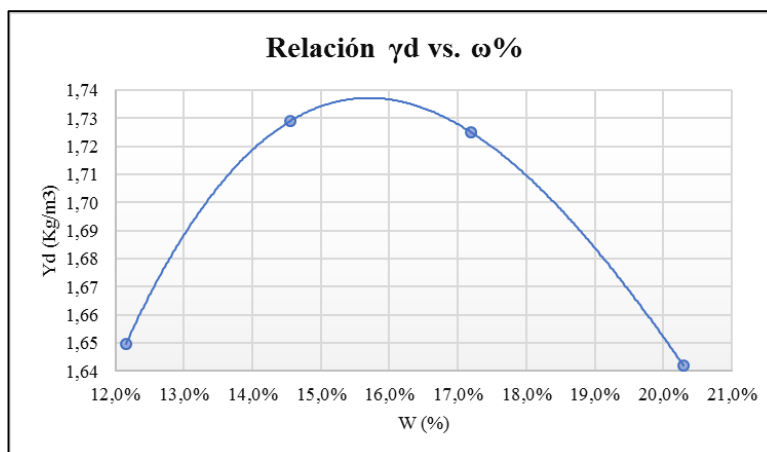
DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR: ESTEBAN TENECOTA		FECHA: 23/07/2019			
NOMBRE DE ZONA: F9		NORMA: ASTM D-421-58 AASHTO T-87-70			
PESO MUESTRA: 250 gr.					
#Tamiz	Tamaño de partículas (mm)	P. Retenido Parcial	P. Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
#8	2,36	29,8	29,8	12,01	87,99
#10	2	8,6	38,4	15,48	84,52
#16	1,18	17,2	55,6	22,41	77,59
#30	0,6	18,2	73,8	29,75	70,25
#40	0,425	11,1	84,9	34,22	65,78
#50	0,3	13,5	98,4	39,66	60,34
#60	0,25	18	116,4	46,92	53,08
#100	0,15	71,8	188,2	75,86	24,14
#200	0,075	53,2	241,4	97,30	2,70
Bandeja		6,7	248,1	100,00	
Resultados					
TNM	1,18	Cc:	3,00	Error Permitido:	1,00%
D10	0,1				
D30	0,17	Cu:	0,96	Error Calculado:	0,76%
D60	0,3				
Porcentaje de Material					
	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (Finos%)		
SUCS	0	97	3		
AASHTO	2	95	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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO GRAVEDAD ESPECÍFICA			
ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	30/07/2019
NOMBRE DE ZONA:	F9	NORMA:	AASHTO T- 100; ASTM D 854 58
MASA DEL PICNÓMETRO	165,5	gr	
TEMPERATURA DEL AGUA	23,5	C	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	657,82	gr	
MASA DEL AGUA	492,32	gr	
MASA MUESTRA DE SUELO	50	gr	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	693,1	gr	
MASA RECIPIENTE	86,6	gr	
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	143,5	gr	
MASA MUESTRA SECA	56,9	gr	
Gravedad Específica (Gs)	2,631		

 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"			
ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA		
NOMBRE DE ZONA:	F9		
FECHA:	08/Ags/2019	NORMA:	AASHTO T- 180
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO			
N° de Golpes:	56	N° de capas:	5
Altura de caída:	18' o 1.5ft	Peso molde:	15470 gr
Energía de compactación:	55986 lb/ft ³	Diámetro:	15 cm
Ensayo número	1	2	3
Peso inicial deseado	6000	6000	6000
Humedad inicial añadida	6	9	12
P. molde + suelo húmedo	19655	19950	20043
Peso suelo húmedo	4185	4480	4573
Peso unitario húmedo γ _m	1,850	1,981	2,022
CONTENIDO DE HUMEDAD			
# Recipiente	A	B	C
R. + Suelo húmedo	73,4	69,4	64,4
R. + Suelo seco	66,6	62,9	57,5
Peso agua	6,8	6,5	6,9
Peso recipiente	10	10	9,8
Peso suelo seco	56,6	52,9	47,7
Contenido húmeda ω%	12,01%	12,29%	14,47%
Cont. Humedad prom. ω%	12,15%	14,55%	17,19%
Densidad seca γ _d	1,65	1,73	1,73
Grado de compactación G _c %	91,19		





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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE PLÁSTICO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA				
NOMBRE DE ZONA:	F9				
FECHA:	06/Ags/2019	NORMA:	AASHTO: T- 90-70		
N° MUESTRA	1	2	3	4	5
N° RECIPIENTE	73	3E	4E	5E	6E
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	12,1	12,3	11,8	12,4	12,4
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	11,8	12	11,5	12,2	12,1
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	10,6	10,7	10,5	10,6	10,6
PESO AGUA (W_w) (gr)	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	1,2	1,3	1	1,6	1,5
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	25,00	23,08	30,00	12,50	20,00
PROMEDIO W%	22,12				
LÍMITE LÍQUIDO LL (%)	23,88				
LÍMITE PLÁSTICO LP (%)	22,12				
ÍNDICE PLÁSTICO IP (%)	1,76				



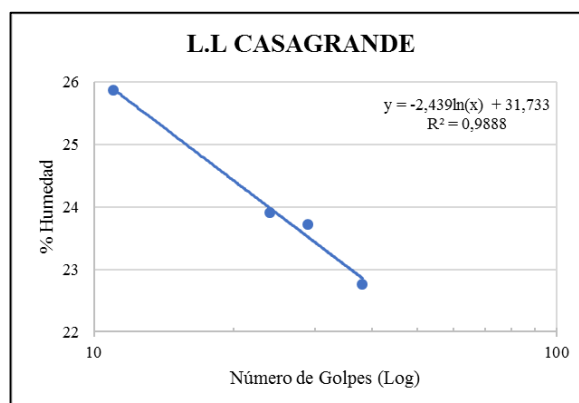
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA							
NOMBRE DE ZONA:	F9							
FECHA:	06/Ags/2019					NORMA:	AASHTO: T- 90-70	
N° MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
N° RECIPIENTE	7	10	16	17	40	63	21	23
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	18,6	18,4	16,5	16,8	20,3	19	19,7	20,1
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	17,1	16,9	15,4	15,8	18,5	17,5	18,1	18,4
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	11,4	11	11,1	11,3	11	11,1	11	11
PESO AGUA (W_w) (gr)	1,5	1,5	1,1	1	1,8	1,5	1,6	1,7
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	5,7	5,9	4,3	4,5	7,5	6,4	7,1	7,4
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	26,32	25,42	25,58	22,22	24,00	23,44	22,54	22,97
PROMEDIO W%	25,87		23,90		23,72		22,75	
NÚMERO DE GOLPES	11		24		29		38	
LÍMITE LÍQUIDO L.L (%)	23,88							





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



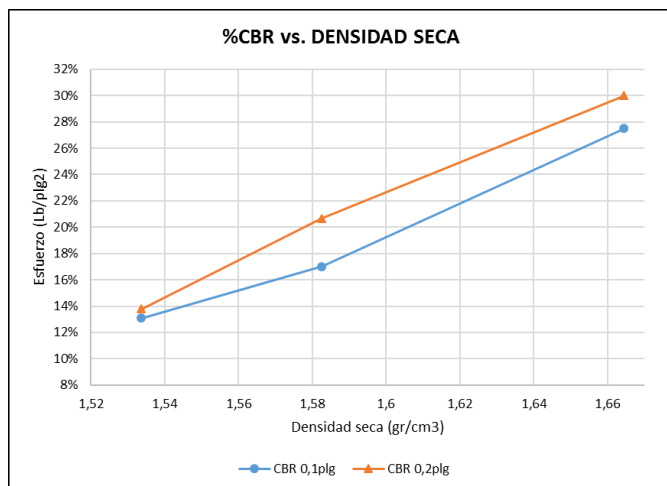
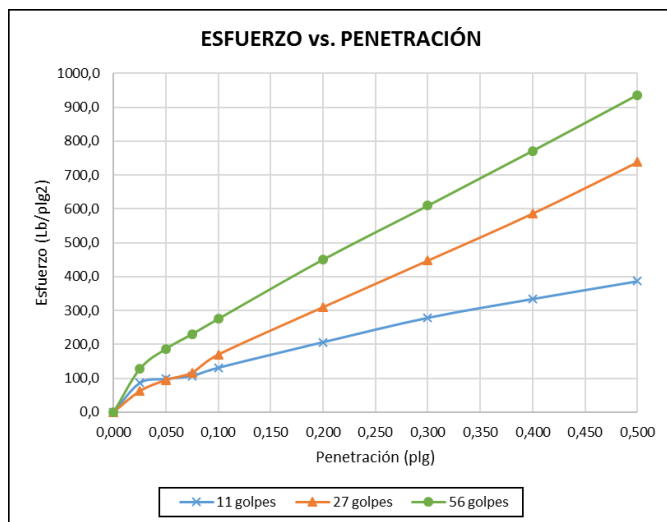
TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON
 LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE
 AMBATO

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA					
NOMBRE DE ZONA:	F9			NORMA:	AASHTO:T- 180	
FECHA:	27/Ags/2019			Wópt:	15,75	
MOLDE	A		B		C	
DIMENSIONES	Diámetro	15	Diámetro	15,12	Diámetro	15,13
	Altura	12,7	Altura	12,6	Altura	12,7
Nº de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10722		11563		11961	
Masa Molde (gr)	6724		7390		7587	
Masa muestra húmeda (gr)	3998		4173		4374	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,781		1,845		1,916	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Nº Recipiente	A	B	D	E	F	G
Masa del recipiente	10	10,1	9,8	9,8	9,7	9,9
Masa suelo hum+recip. (gr)	68,9	63,4	67,8	70,1	67,6	63
Masa suelo seco+recip. (gr)	60,8	55,9	59,5	61,6	58,9	57,1
Masa de agua (gr)	8,1	7,5	8,3	8,5	8,7	5,9
Masa suelo seco (gr)	50,8	45,8	49,7	51,8	49,2	47,2
Contenido de humedad W%	15,94%	16,38%	16,70%	16,41%	17,68%	12,50%
Promedio W%	16,16%		16,55%		15,09%	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,534		1,583		1,664	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	10784		11611		11890	
Masa Molde (gr)	6724		7390		7587	
Masa muestra húmeda (gr)	4060		4221		4303	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,809		1,866		1,885	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº Recipiente	A	B	D	E	F	G
Masa del recipiente	10	10,1	9,8	9,8	9,7	9,9
Masa suelo hum+recip. (gr)	64,8	65,7	69,7	65,1	67,8	64,3
Masa suelo seco+recip. (gr)	54,2	55,8	59,5	56,5	58,4	55,6
Masa de agua (gr)	10,6	9,9	10,2	8,6	9,4	8,7
Masa suelo seco (gr)	44,2	45,7	49,7	46,7	48,7	45,7
Contenido de humedad W%	23,98%	21,66%	20,52%	18,42%	19,30%	19,04%
Promedio W%	22,82%		19,47%		19,17%	

ENSAYO						
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	258	86,00	186	62,00	382	127,33
0,050	293	97,67	283	94,33	560	186,67
0,075	320	106,67	350	116,67	690	230,00
0,100	393	131,00	510	170,00	825	275,00
0,200	620	206,67	930	310,00	1350	450,00
0,300	836	278,67	1343	447,67	1828	609,33
0,400	1003	334,33	1760	586,67	2313	771,00
0,500	1160	386,67	2215	738,33	2808	936,00
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg2)	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg2)	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	131,00	13,10%	1,534	206,67	13,78%	1,534
B	170,00	17,00%	1,583	310,00	20,67%	1,583
C	275,00	27,50%	1,664	450,00	30,00%	1,664

Densidad Seca Máxima	1,74		
DSM	%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR
95%	1,650	25,8%	28,5%





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 2 DE LA
 CIUDAD DE AMBATO**

ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	11/07/2019
NOMBRE DE ZONA:	F10	NORMA:	IEEE STD 81-1983
COORDENADAS (UTM)	Zona	Norte (m)	Este (m)
	17M	9858199	764858
Elevación (m)	2730		
N° ensayo	1	2	3
Resistividad ρ (Ω/m)	870,80	805,40	895,30
Resistividad Prom. ρ (Ω/m)	857,17		
Resistencia R (Ω)	136,43		



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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO**

DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	17/07/2019
NOMBRE DE ZONA:	F10	NORMA:	AASHTO T 191 2014
1. Contenido de Humedad			
N° Recipiente	63	68	
Masa suelo humedo + recipiente (gr)	101,1	111,6	
Masa suelo seco + recipiente (gr)	96,3	105,8	
Masa Recipiente (gr)	31,1	30,8	
Contenido de humedad (W%)	7,36%	7,73%	
W Promedio (%)	7,55%		
2. Determinación de la masa del Suelo Extraído			
Masa del suelo + recipiente (gr)	555,2		
Masa del recipiente (gr)	6,1		
Masa del suelo Wm (gr)	549,1		
3. Calibración del Cono de arena de Ottawa			
Volumen Vsand (cm ³)	209,44		
$\gamma_{sand} = W_{sand}/V_{sand}$ (gr/cm³)	1,638		
4. Determinación de volumen del hueco en el suelo			
Masa de Arena en el hueco W_{sand} (gr)	583		
Volumen del suelo V_m = W_{sand}/γ_{sand} (cm ³)	355,99		
5. Determinación del peso volumetrico de la masa			
$\gamma_m = W_m/V_m$ (gr/cm³)	1,542		
6. Determinación del peso volumetrico seco			
$\gamma_d = \gamma_m/(1+w)$ (gr/cm³)	1,434		
7. Determinación de la relación de Vacios (e)			
$e = V_v/V_s$	0,84		
8. Determinación de la Porosidad (n%)			
$n\% = V_v/V_m * 100$	45,78%		
9. Determinación del grado de saturación de agua y aire (Gw%) (Ga%)			
$G_w\% = V_w/V_v * 100$	23,10%		
$G_a\% = (V_v - V_w)/V_v * 100$	76,90%		



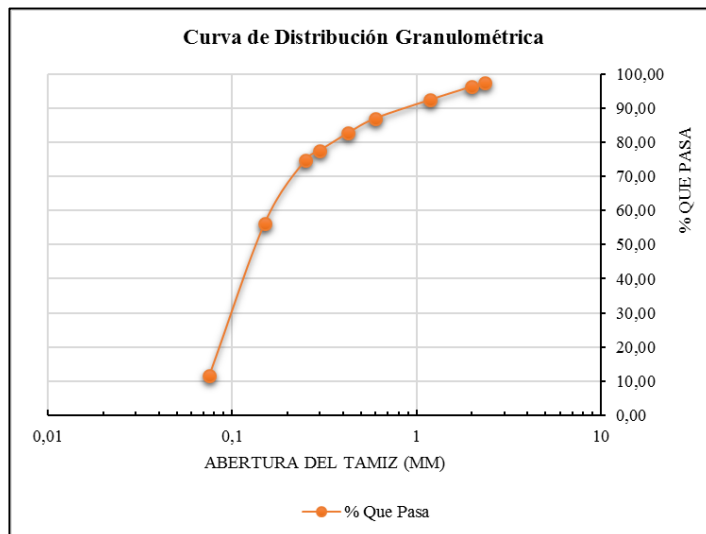
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL







TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

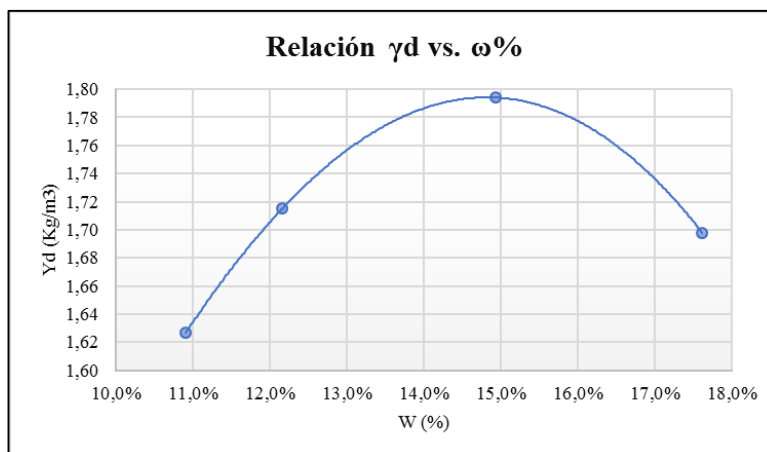
DENSIDAD DE CAMPO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	23/07/2019		
NOMBRE DE ZONA:	F10	NORMA:	ASTM D-421-58		
PESO MUESTRA:	250 gr.		AASHTO T-87-70		
#Tamiz	Tamaño de partículas (mm)	P. Retenido Parcial	P. Retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
#8	2,36	6,7	6,7	2,70	97,30
#10	2	2,7	9,4	3,79	96,21
#16	1,18	9,7	19,1	7,70	92,30
#30	0,6	13,3	32,4	13,06	86,94
#40	0,425	10,7	43,1	17,38	82,62
#50	0,3	12,5	55,6	22,42	77,58
#60	0,25	7	62,6	25,24	74,76
#100	0,15	46	108,6	43,79	56,21
#200	0,075	110,7	219,3	88,43	11,57
Bandeja		28,7	248	100,00	
Resultados					
TNM	1,18	Cc:	2,27	Error Permitido:	1,00%
D10	0,075				
D30	0,1	Cu:	0,78	Error Calculado:	0,80%
D60	0,17				
Porcentaje de Material					
	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (Finos%)		
SUCS	0	88	12		
AASHTO	2	86	12		



 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO GRAVEDAD ESPECÍFICA			
ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA	FECHA:	30/07/2019
NOMBRE DE ZONA:	F10	NORMA:	AASHTO T- 100; ASTM D 854 58
MASA DEL PICNÓMETRO	165,5	gr	
TEMPERATURA DEL AGUA	23,5	C	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	657,82	gr	
MASA DEL AGUA	492,32	gr	
MASA MUESTRA DE SUELO	50	gr	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	692,3	gr	
MASA RECIPIENTE	75,6	gr	
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	131,1	gr	
MASA MUESTRA SECA	55,5	gr	
Gravedad Específica (Gs)	2,640		

 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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"								
ELABORADO POR:				ESTEBAN TENECOTA				
NOMBRE DE ZONA:				F10				
FECHA:				25/Jul/2019		NORMA:		
						AASHTO:T- 180		
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10	lb
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	14805	gr	Volumen molde:	2261,95	cm ³
Energía de compactación:	55986	lb/ft ³	Diámetro:	15	cm	Altura:	12,8	cm
Ensayo número	1		2			3		4
Peso inicial deseado	6000		6000			6000		6000
Humedad inicial añadida	6		9			12		15
P. molde + suelo húmedo	18886		19156			19469		19322
Peso suelo húmedo	4081		4351			4664		4517
Peso unitario húmedo γ_m	1,804		1,924			2,062		1,997
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	11	12	1	2	3	4	5	6
R. + Suelo húmedo	113,0	115,4	156,5	154,7	139,7	139,8	123,6	123,8
R. + Suelo seco	105	108	143,5	141,7	126,3	126,4	110,3	110,9
Peso agua	8	7,4	13	13	13,4	13,4	13,3	12,9
Peso recipiente	35,8	35,9	35,6	35,8	36,6	36,6	35,8	36,7
Peso suelo seco	69,2	72,1	107,9	105,9	89,7	89,8	74,5	74,2
Contenido humedad $\omega\%$	11,56%	10,26%	12,05%	12,28%	14,94%	14,92%	17,85%	17,39%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	10,91%		12,16%		14,93%		17,62%	
Densidad seca γ_d	1,63		1,71		1,79		1,70	
Grado de compactación $G_c\%$	80,29							





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 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE PLÁSTICO

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA				
NOMBRE DE ZONA:	F10				
FECHA:	06/Ags/2019	NORMA:	AASHTO: T- 90-70		
N° MUESTRA	1	2	3	4	5
N° RECIPIENTE	1	2E	3AL	5	11
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	11,4	11,3	11,8	11,8	11,6
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	11,2	11,2	11,6	11,7	11,5
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	10,7	10,7	10,6	10,7	10,7
PESO AGUA (W_w) (gr)	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	0,5	0,5	1	1	0,8
CONTENIDO DE HUMEDAD W %	40,00	20,00	20,00	10,00	12,50
PROMEDIO W %	20,50				
LÍMITE LÍQUIDO LL (%)	21,68				
LÍMITE PLÁSTICO LP (%)	20,50				
ÍNDICE PLÁSTICO IP (%)	1,18				



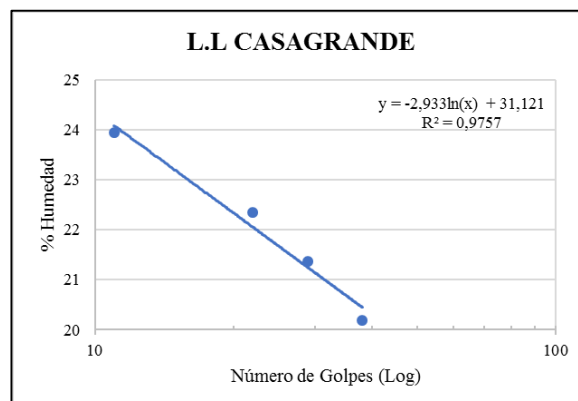
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE AMBATO

LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA							
NOMBRE DE ZONA:	F10							
FECHA:	06/Ags/2019					NORMA:	AASHTO: T- 90-70	
N° MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
N° RECIPIENTE	2	5	6	23	26	47	49	11
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	16,5	18,3	13,2	13,1	15	14,5	13,9	14
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	14,6	16,4	12,1	12,1	13,7	13,2	12,8	12,9
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	7,5	7,4	7,4	7,4	7,3	7,4	7,5	7,3
PESO AGUA (W_w) (gr)	1,9	1,9	1,1	1	1,3	1,3	1,1	1,1
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	7,1	9	4,7	4,7	6,4	5,8	5,3	5,6
CONTENIDO DE HUMEDAD W %	26,76	21,11	23,40	21,28	20,31	22,41	20,75	19,64
PROMEDIO W %	23,94		22,34		21,36		20,20	
NÚMERO DE GOLPES	11		22		29		38	
LÍMITE LÍQUIDO L.L (%)	21,68							





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 2 DE LA CIUDAD DE
 AMBATO

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ELABORADO POR:	ESTEBAN TENECOTA					
NOMBRE DE ZONA:	P5-1266			NORMA:	AASHTO:T- 180	
FECHA:	30/Sep/2019			Wópt:	15,00	
MOLDE	A		B		C	
DIMENSIONES	Diámetro	15	Diámetro	15,12	Diámetro	15,13
	Altura	12,7	Altura	12,6	Altura	12,7
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10430		12515		12770	
Masa Molde (gr)	6400		8342		8295	
Masa muestra húmeda (gr)	4030		4173		4475	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,796		1,845		1,960	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	22	24	34	36	37	39
Masa del recipiente	24	24,2	23,5	24,8	26	25,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	99,5	98,8	94,9	99,9	95,5	94,1
Masa suelo seco+recip. (gr)	90,3	88,9	86,1	90,3	86,4	86,1
Masa de agua (gr)	9,2	9,9	8,8	9,6	9,1	8
Masa suelo seco (gr)	66,3	64,7	62,6	65,5	60,4	60,3
Contenido de humedad W%	13,88%	15,30%	14,06%	14,66%	15,07%	13,27%
Promedio W%	14,59%		14,36%		14,17%	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,567		1,613		1,717	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	10598		12783		12843	
Masa Molde (gr)	6400		8342		8295	
Masa muestra húmeda (gr)	4198		4441		4548	
Volumen muestra (cm ³)	2244,21		2262,31		2283,28	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,871		1,963		1,992	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	22	24	34	36	37	39
Masa del recipiente	24	24,2	23,5	24,8	26	25,8
Masa suelo hum+recip. (gr)	98,1	95,4	95,2	98,7	96,3	94
Masa suelo seco+recip. (gr)	86,7	83,5	84,1	86	85,3	82,9
Masa de agua (gr)	11,4	11,9	11,1	12,7	11	11,1
Masa suelo seco (gr)	62,7	59,3	60,6	61,2	59,3	57,1
Contenido de humedad W%	18,18%	20,07%	18,32%	20,75%	18,55%	19,44%
Promedio W%	19,12%		19,53%		18,99%	

ENSAYO						
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	124	41,33	284	94,67	435	145,00
0,050	219	73,00	566	188,67	787	262,33
0,075	309	103,00	859	286,33	1237	412,33
0,100	382	127,33	1240	413,33	1727	575,67
0,200	649	216,33	1980	660,00	3097	1032,33
0,300	876	292,00	2578	859,33	3643	1214,33
0,400	1066	355,33	2914	971,33	3896	1298,67
0,500	1206	402,00	3291	1097,00	4179	1393,00
PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg2)	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg2)	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	127,33	12,73%	1,567	216,33	14,42%	1,567
B	413,33	41,33%	1,613	660,00	44,00%	1,613
C	575,67	57,57%	1,717	1032,33	68,82%	1,717

Densidad Seca Máxima	1,79			
DSM	%CBR 0.1plg	%CBR 0.2plg	%CBR MAYOR	
95%	1,697	55,5%	65,0%	65,0%

