



**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 4 DE LA CIUDAD DE AMBATO”**

---

**AUTOR:** Patricio David Mera Parra

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

**Ambato – Ecuador**

**2019**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

Yo, Ing. Mg. Favio Paul Portilla Yandún, 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 4 DE LA CIUDAD DE AMBATO, es de autoría del Sr. Patricio David Mera Parra, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad

Ambato, Diciembre de 2019



Ing. Mg. Favio Paul Portilla Yandún

## AUTORÍA DE TRABAJO

Yo, Patricio David Mera Parra con C.I.: 1804404026, 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 4 DE LA CIUDAD DE AMBATO”**, es de mi completa autoría

Ambato, Diciembre de 2019



Patricio David Mera Parra

## **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 de 2019



Patricio David Mera Parra

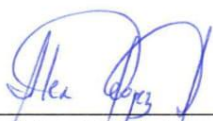



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el Trabajo Experimental, realizado por el Sr. Patricio David Mera Parra, Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato bajo el tema: **“ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 4 DE LA CIUDAD DE AMBATO”**.

Ambato, Diciembre de 2019

Para su constancia firman.

  
Ing. Mg. Alex López

  
Ing. Mg. Andrés Hidalgo

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mi padre por ser siempre mi más grande inspiración.

A mi abnegada y adorada madre, pilar fundamental de este logro.

A mi hermano, guía y referente en el andar de la vida.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi padre, de quien heredo esta noble profesión, por ser guía incluso en los momentos más difíciles.

A mi madre, quien llevó en sus hombros el peso las crisis, y apoyó cada iniciativa para no obstaculizar mis metas.

A mi hermano, quien hizo suyas mis responsabilidades para facilitar mis estudios.

Este logro más que mío, es nuestro.

A mis compañeros por hacer de este tiempo compartido algo inolvidable y anecdótico.

A las distintas autoridades y docentes que supieron apoyar, corregir, guiar y en su debido momento felicitar, mi accionar durante los cinco semestres que duró mi gestión como Presidente de la Asociación de Estudiantes.

Al Ing. Mg. Favio Portilla por su apoyo desinteresado durante la elaboración de este trabajo, y cuya guía fue de vital importancia para su culminación.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por brindarme los recursos necesarios para crecer profesional y personalmente, mi eterno cariño y gratitud.

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	II
AUTORÍA DE TRABAJO .....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN EJECUTIVO .....	XIII
EXECUTIVE SUMMARY.....	XIV
1. CAPÍTULO I.....	15
1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	15
1.1.1. Antecedentes .....	15
1.1.2. Justificación.....	17
1.1.3. Fundamentación teórica .....	19
1.1.4. Hipótesis.....	57
1.2. OBJETIVOS.....	57
1.2.1. Objetivo General .....	57
1.2.2. Objetivos Específicos.....	57
2. CAPÍTULO II.....	58
2.1. Materiales y equipos.....	61
2.2. Métodos .....	68
2.2.1. Plan de recolección de datos .....	68
2.2.2. Plan de procesamiento y análisis de información .....	69
3. CAPÍTULO III.....	71

3.1. Análisis y discusión de los resultados .....	71
3.2. Verificación de la Hipótesis .....	105
4. CAPÍTULO IV .....	106
4.1. Conclusiones.....	106
4.2. Recomendaciones .....	107
C. MATERIALES DE REFERENCIA.....	109
Referencias Bibliográficas.....	109
Anexos .....	113
Anexo A. Zonificación del Proyecto .....	113
Anexo B. Mapa geológico de Ambato.....	115
Anexo C. Resumen de ensayos por puntos.....	117

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resistividad Eléctrica para formaciones geológicas comunes.....	27
Tabla 2. Clasificación Según MIT (Massachusetts Institute of Technology) .....	31
Tabla 3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. (SUCS) .....	31
Tabla 4. Clasificación según AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).....	32
Tabla 5. Cuadro de Clasificación de Suelos SUCS.....	39
Tabla 6. Grupos de suelos según AASHTO.....	41
Tabla 7. Subgrupos de suelos según AASHTO .....	41
Tabla 8. Comparación entre las clasificaciones SUCS y AASTHO .....	43
Tabla 9. Especificaciones para Compactación según ASTM .....	45
Tabla 10. Especificaciones de Compactación normas AASHTO .....	46
Tabla 11. Clasificación para valores de CBR .....	47
Tabla 12. Resumen de ecuaciones para regresión y Correlación Simple .....	55
Tabla 13. Coordenadas de los puntos de estudio (UTM WGS84 17S).....	59
Tabla 14. Materiales y Equipo para cada Ensayo .....	61
Tabla 15. Ilustraciones de los ensayos de suelos .....	66
Tabla 16. Plan de Recolección de Datos.....	68
Tabla 17. Rango de resultados por propiedad.....	71
Tabla 18. Resultados obtenidos para cada muestra de suelo .....	73
Tabla 19. Ecuaciones de correlación entre 2 y 3 variables .....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la prospección Sísmica .....	20
Figura 2. Ejemplo de perfil gravimétrico .....	21
Figura 3. Esquema de prospección magnética .....	22
Figura 4. Esquema para la medición de resistividades del terreno .....	23
Figura 5. Campo Eléctrico generado por das cargas de polaridad opuesta.....	24
Figura 6. Esquema General para el Arreglo Schlumberger y Arreglo Wenner .....	28
Figura 7. Esquema del circuito formado por los electrodos de corriente en el suelo. ....	28
Figura 8. Esquema de una estructura simple.....	33
Figura 9. Fases de una muestra de suelo .....	33
Figura 10. Estados de consistencia según el contenido de humedad. ....	37
Figura 11. Carta de Plasticidad .....	40
Figura 12. Rangos de Límite Líquido e Índice Plástico para suelos finos.....	42
Figura 13. Curva del ensayo de compactación Proctor.....	44
Figura 14. Curva Esfuerzo Deformación para el ensayo CBR .....	49
Figura 15. Densidad Seca vs CBR .....	50
Figura 16. Diagrama de dispersión .....	52
Figura 17. Sistema de Ecuaciones Normales .....	54
Figura 18. Puntos de estudio sobre red vial .....	60
Figura 19. Puntos de estudio sobre mapa geológico .....	60
Figura 20. Preparación del terreno para la medición de resistividades.....	63
Figura 21. Conexión del cableado en el equipo .....	63
Figura 22. Ingreso a la configuración del equipo.....	64
Figura 23. Valores de configuración del equipo .....	65
Figura 24. Visualización de resultados .....	65
Figura 25. Pozo a cielo abierto.....	66
Figura 26. Densidad de Campo.....	66
Figura 27. Granulometría .....	66
Figura 28. Gravedad Específica .....	66
Figura 29. Muestra para Límite Líquido .....	67
Figura 30. Límite Líquido .....	67

Figura 31. Compactación Proctor tipo B.....	67
Figura 32. CBR de Laboratorio.....	67
Figura 33. Rango granulométrico de las muestras .....	76
Figura 34. Ubicación de las muestras en la carta de plasticidad de la SUCS .....	77
Figura 35. Ubicación de las muestras en la carta de Plasticidad de la AASHTO .....	78
Figura 36. Densidad seca máxima vs. w% óptimo .....	81
Figura 37. Densidad Seca máxima vs Límite Líquido-Límite Plástico .....	82
Figura 38. Gravedad Específica vs. %Pasa200.....	83
Figura 39. Gravedad Específica vs. Porcentaje de Finos - Densidad seca en campo	84
Figura 40. Densidad máxima vs W% óptimo- Gravedad Específica.....	85
Figura 41. Contenido de Humedad Natural vs. Resistividad .....	86
Figura 42. Límite Líquido vs. Resistividad - Límite Plástico.....	87
Figura 43. Gravedad Específica vs. Resistividad-%Pasa200.....	88
Figura 44. Densidad Seca In Situ vs. Resistividad-W% natural .....	89
Figura 45. Grado de Saturación del Agua vs. Resistividad.....	90
Figura 46. W% óptimo vs. Resistividad - W% natural .....	91
Figura 47. Densidad seca máxima vs. Resistividad - W%.....	92
Figura 48. Grado de Saturación de Agua vs. Resistividad - W% natural .....	93
Figura 49. Diámetro efectivo vs. Resistividad .....	94
Figura 50. NSPT vs. Resistividad .....	95
Figura 51. Vs30 vs Resistividad.....	96
Figura 52. NSPT vs. Resistividad - W%opt.....	97
Figura 53. Grado de Compactación vs. Resistividad -Límite Plástico .....	98
Figura 54. w% Óptimo vs. Resistividad - NSPT .....	99
Figura 55. CBR mayor vs. Resistividad.....	100
Figura 56. CBR may vs. Densidad Seca en campo - w% natural .....	101
Figura 57. CBR mayor vs. Densidad Seca en campo - W% óptimo.....	102
Figura 58. CBR may vs. Límite Líquido - %Pasa200.....	103
Figura 59. CBR may vs. Índice Plástico - Límite Líquido.....	104



## RESUMEN EJECUTIVO

**Tema de investigación:**

“ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 4 DE LA CIUDAD DE AMBATO”

**Autor:** Patricio David Mera Parra

**Tutor:** Ing. MSc. Favio Portilla

El presente trabajo desarrolla un análisis de la resistividad eléctrica como método indirecto de estimación de varias propiedades índice y mecánicas de suelos granulares, el proceso de investigación incluyó:

En primera instancia la formación de un proyecto macro que incluye cuatro investigaciones para incrementar el tamaño muestral, posteriormente se hizo un reconocimiento topográfico y geológico de las zonas a investigar, para después tomar cuarenta puntos aleatorios, de los cuales a esta investigación corresponden diez; en dichos puntos se tomaron las muestras para laboratorio y se realizaron los correspondientes ensayos de campo.

Tanto el muestreo como los ensayos de campo y laboratorio se realizaron siguiendo sus respectivas normas establecidas por la American Association of State Highway and Transportation Officials y la American Society for Testing and Materials.

Una vez obtenidos los resultados de clasificación, propiedades índice y mecánicas de los suelos muestreados, se realizó, por el método de los mínimos cuadrados, varios análisis de regresión y correlación, de los cuales se escogieron únicamente los que presentaron una relación lógica, y mayores coeficientes de correlación.

Como resultado se presentan veinte y cuatro correlaciones, simples y múltiples, cuyos coeficientes de correlación  $R^2$  varían del 66% al 94% demostrando que se puede usar la resistividad eléctrica como un método económico y rápido de estimación de ciertas propiedades de suelos granulares.

## EXECUTIVE SUMMARY

**Subject of investigation:**

“CORRELATION ANALYSIS BETWEEN INDEX AND MECHANICAL PROPERTIES WITH THE ELECTRICAL RESISTIVITY OF GRANULAR SOILS IN THE ZONE 4 OF THE CITY AMBATO.”

**Author:** Patricio David Mera Parra

**Tutor:** Ing. MSc. Favio Portilla

This research analyses electrical resistivity as an indirect method to estimate several index and mechanical properties of granular soils, the investigation process included:

At first, a macro project was developed, this project includes other four investigations in order to increase the amount of samples; afterwards, a topographic and geologic recognition of the considered zones were done. Inside this zones, forty points were randomly selected, from which ten belongs to the present study, on those points, the field tests were made and the samples were taken.

Once the index and mechanical properties results were obtained and the classification of soils were made, various regression analysis, using the least square method, were conducted, from which only the models that presented a logical relationship and higher correlation coefficients were selected.

Field and laboratory tests as well as soil sampling were done following the American Association of State Highway and Transportation Officials and the American Society for Testing and Materials standards.

Twenty four, simple and multiple, correlations are presented as result, the  $R^2$  values vary from 66% to 94%, proving that electrical resistivity can be used as an economical and fast way to estimate certain granular soils' properties.

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

##### 1.1.1. Antecedentes

La investigación en campo de suelos a través de pozos a cielo abierto y ensayos de penetración estándar es en términos generales la forma más común para el muestreo y posterior determinación de sus principales propiedades. Sin embargo son procedimientos que demandan de tiempo y por lo tanto también representan también un gran costo; a consecuencia de esto, en la industria de la construcción es muy común la suposición de valores o propiedades del suelo, lo que eventualmente lleva a un mal diseño. Una forma de mitigar estos problemas es la utilización del método de resistividad eléctrica que no requiere del traslado de muestras a un laboratorio y que a su vez no implica la alteración del entorno del suelo, para esto es necesario establecer, si las propiedades de uso ingenieril de un suelo en específico pueden ser eficientemente asociadas a su resistividad eléctrica.

En el estudio “Modelos de regresión simples y múltiples entre resistividad eléctrica y varias propiedades del suelo para caracterización de suelos” por Siddiqui y Azahar [1] publicado por la revista Environmental Earth Sciences en 2012 se determinó, en base a 79 muestras tomadas de 10 pozos a cielo abierto, que en el caso del contenido de humedad se obtiene una mayor correlación en suelos arenosos  $R^2=0.51$ , disminuyendo la resistividad cuando el contenido de humedad aumenta; por otro lado, en propiedades como el ángulo de fricción y la cohesión, la resistividad eléctrica disminuye cuando estos también lo hacen, habiendo de igual manera una mayor correlación  $R^2=0.6523$  para suelos arenosos. Respecto al Índice de Plasticidad se determinó una correlación de  $R^2= 0.42$  para todas las muestras sugiriendo que suelos con un mayor Índice de Plasticidad tienen una baja resistividad eléctrica.

Adicionalmente en [1], se revisan propiedades como el diámetro efectivo  $D_{10}$  encontrando que para arenas limosas cuando el diámetro efectivo aumenta la resistividad también lo hace y en arenas cuando el diámetro efectivo decrece la resistividad eléctrica aumenta; esto debido a que en la presencia una mayor cantidad de partículas finas, la permeabilidad se ve reducida y esto afecta a la transmisión de corriente eléctrica. Finalmente se observó que para el peso unitario no existe una correlación adecuada entre la resistividad eléctrica y el peso unitario del suelo por lo que todas las correlaciones se encontraban cercanas al  $R^2= 0.1$

Por otro lado, un estudio publicado en 2015 por la revista Applied Mechanics and Materials llamado “Correlación entre resistividad eléctrica y valor SPT-N de Ensayos de Penetración Estándar en suelos arenosos” por Anwar y Azahar [2] añade al estudio anterior la correlación con el número de golpes realizados en un Ensayo de Penetración Estándar obteniendo un valor de correlación  $R^2=0.9007$  para una regresión lineal lo que indica que valores bajos de SPT-N comúnmente implican valores bajos de resistividad eléctrica y viceversa. Además concuerda con el estudio [1] en cuanto a la correlación con el contenido de humedad obteniendo una correlación de  $R^2=0.675$ . Como conclusión este estudio indica que dado el alto grado de correlación entre ambas variables, se puede considerar como válido reemplazar un ensayo SPT con uno de resistividad eléctrica, sin embargo sugiere ampliar la base de datos para una mayor confiabilidad ya que este estudio contó solo con 11 puntos para realizar los ensayos.

En un tercer estudio llamado “Relación entre Índice de Plasticidad y valores de resistividad eléctrica en campo y laboratorio” publicado por la revista Applied Mechanics and Materials en 2013 por Osman, Siddiqui y Behan [3] se determinó que las arenas limosas, que cuentan con un mayor índice de plasticidad que los suelos arenosos, tienen una resistividad eléctrica más baja.

El valor obtenido del coeficiente  $R^2$  de correlación para todas las muestras fue de 0.5012 para una regresión logarítmica y resistividad en campo; lo que concuerda con el estudio [1] en donde se obtuvo un  $R^2$  de 0.42 para una regresión de igual forma logarítmica.

Adicionalmente un cuarto estudio publicado también en la revista Applied Mechanics and Materials llamado “Mediciones de resistividad del suelo para predecir contenido de humedad y densidad en suelos sueltos y compactados” por Zainal, et al.[4] explora las correlaciones entre la densidad aparente y la resistividad eléctrica de suelos finos; que en concordancia con [1] y [3] encontró que dichos suelos tienen valor de resistividad menor que aquellos con una mayor fracción gruesa. Adicionalmente, se determinó que existe una fuerte correlación tanto con la densidad aparente como con el contenido de humedad, ya que los valores de  $R^2$  se encuentran por encima del 0.6 tanto en condiciones de suelo suelto y compactado.

El presente trabajo pretende evaluar con qué confiabilidad se puede aplicar un estudio de resistividad eléctrica en lugar de los ensayos convencionales de suelos, encontrando los valores de correlación para varias de las propiedades exploradas ya por los autores previamente mencionados.

### **1.1.2. Justificación**

La correcta determinación de las propiedades ingenieriles de los suelos, tanto índice como mecánicas son de especial prioridad en un proyecto de construcción ya que de estas propiedades dependerán en gran medida las decisiones que se tomen en una posible etapa de diseño, reforzamiento o rehabilitación. [1]

Comúnmente la obtención de estos parámetros se hace mediante ensayos de campo y laboratorio, con muestras obtenidas a través de métodos de extracción in situ como calicatas y ensayos de penetración estándar SPT. Todo el proceso de exploración, muestreo, transporte, ensayo, y análisis de resultados que demanda un sondeo de suelos requiere de un tiempo considerablemente grande; por lo que resulta ser un factor de retraso para los proyectos, así como de encarecimiento [3], en especial cuando el terreno de estudio se encuentra en zonas de difícil acceso o es de topografía agreste. [4]

A pesar de que la Norma Ecuatoriana de la Construcción exige un número y profundidad mínima de sondeos por unidad de construcción [5], es por las razones antes mencionadas que en obra suelen suponerse las propiedades del suelo en base a

la mal llamada experiencia del constructor o se estiman de forma empírica; lo que en una zona de riesgo sísmico alto como la ciudad de Ambato [6] resulta preocupante.

Varios métodos geofísicos como la refracción sísmica, georadares, electromagnetismo, etc. se han ido popularizando con el tiempo dentro del campo de la ingeniería por ser no invasivos, no destructivos, de rápida ejecución y por ser relativamente económicos. De estos métodos la resistividad eléctrica ha sido investigada por varios autores [1]–[4] como una alternativa atractiva a los métodos destructivos de común ejecución; obteniendo correlaciones altas en cuanto a ángulo de fricción, [1] contenido de humedad [1], [4], valor N de SPT [2], Índice Plástico[1], [3], densidad en suelo suelto y compactado[4], etc. Por lo que concluyen los autores que se puede usar este método como una herramienta eficaz para determinar dichas propiedades del suelo de forma rápida y precisa.

No obstante para poder hacer de este método algo útil en la ciudad de Ambato, es necesario ejecutar los ensayos precisados para determinar tanto la validez de las correlaciones para los suelos presentes en la región, como las ecuaciones que representen dichas correlaciones con el fin de obtener los resultados más cercanos a la realidad.

En Ambato, particularmente en las parroquias Huachi Loreto y Celiano Monge, se ha evidenciado un rápido crecimiento urbanístico en donde muchas veces las edificaciones no cuentan con los estudios de suelos respectivos, dado el rápido crecimiento de estos sectores de la urbe es necesario ofrecer una alternativa económica para realizar estos estudios, por lo que el fin de esta investigación es realizar los ensayos necesarios para determinar correlaciones entre las propiedades índice y mecánicas de los suelos de la zona; de modo que los resultados puedan ser utilizados por la comunidad ingenieril de la zona de forma confiable y además sentar una base para futuras investigaciones.

### **1.1.3. Fundamentación teórica**

#### **PROSPECCIÓN GEOFÍSICA**

Comprende técnicas desarrolladas para detectar variaciones en las características físicas del suelo, como espesores y composición de los estratos, niveles freáticos, existencia de cavidades, localización de fallas, etc.

Este tipo de métodos no son destructivos y se basan en correlaciones para determinar propiedades geológicas de uso ingenieril, por lo que son llamados métodos indirectos y se usan como complemento de ensayos de campo como calicatas y perforaciones. [7], [8]

Los métodos de prospección geofísica están divididos en base a la característica física que miden, entre los más comunes tenemos:

##### **a. Método Sísmico**

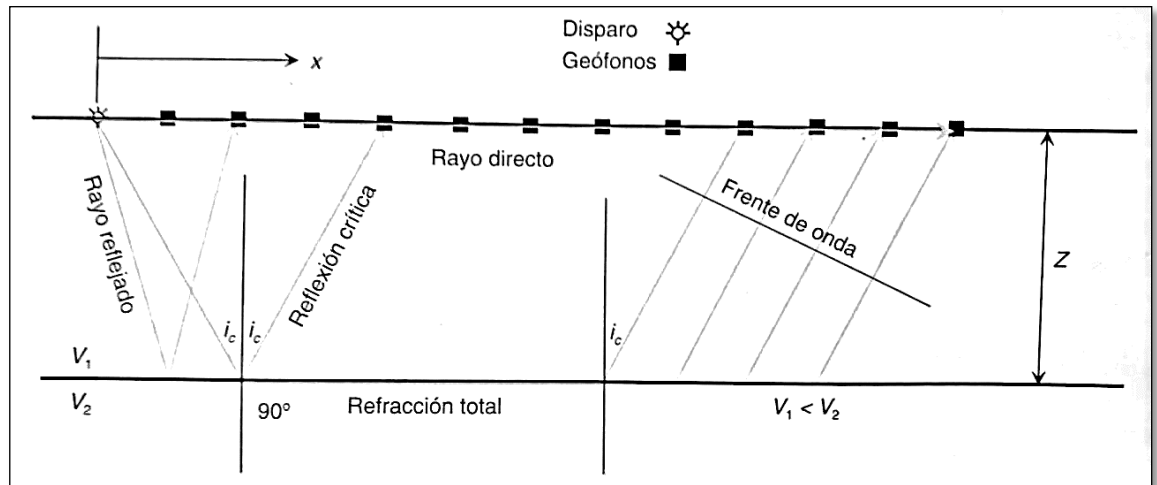
Consiste en registrar perturbaciones dinámicas (ondas sísmicas) producidas artificialmente midiendo la velocidad de propagación en el medio, dicha velocidad depende de la densidad del suelo así como de constantes elásticas.[9]

La definición del perfil del suelo se logra debido a que distintos cuerpos geológicos cuentan también con distintas propiedades elásticas, en consecuencia se puede medir variaciones en la velocidad de propagación e inferir la constitución de cada estrato. Para ello se construye una gráfica llamada domocrónica que relaciona la distancia a la que se coloca cada geófono con el tiempo que se tarda en registrar las ondas producidas. [7], [8]

Dentro de las aplicaciones del método sísmico tenemos:

- Estratigrafía y espesores del subsuelo
- Porosidad
- Profundidad de la roca basal
- Determinación de constantes elásticas

Figura 1. Esquema de la prospección Sísmica



Fuente: L. Gonzales, M. Ferrer, L. Ortuño. Ingeniería Geológica

### b. Método Gravimétrico

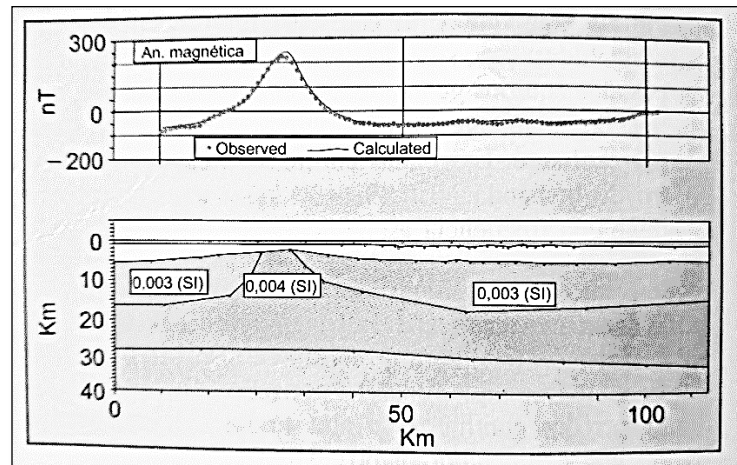
Tiene su fundamento en la ley de la gravedad planteada por Isaac Newton y busca micro perturbaciones de la fuerza de atracción gravitatoria; en aplicaciones ingenieriles se le conoce más bien como microgravimetría para diferenciarla de los estudios a gran escala que comprende también este método.

Dichas micro variaciones en el campo gravitatorio están producidas debido a que en un medio heterogéneo, un cambio en las densidades del subsuelo puede producir cambios gravimétricos positivos o negativos.[8]

La aplicación de este método permite, a través de la realización de perfiles longitudinales, la localización de cambios importantes en el subsuelo como depósitos aluviales, estratos rocosos, cavernas, pérdidas importantes de finos, entre otras aplicaciones. [9]



Figura 2. Ejemplo de perfil gravimétrico



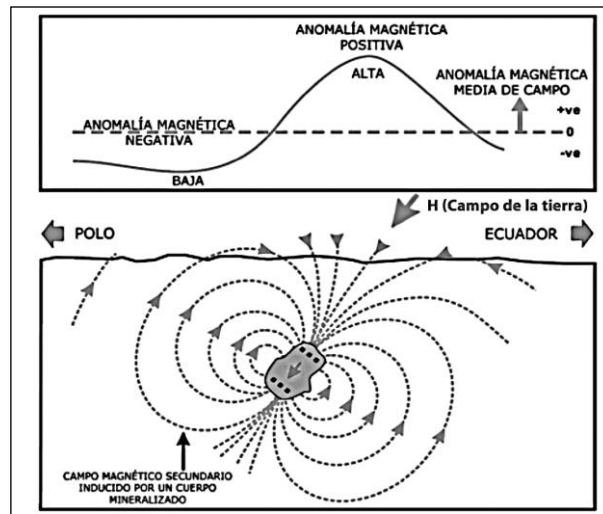
Fuente: L. Gonzales, M. Ferrer, L. Ortuño. Ingeniería Geológica

### c. Método Magnético

Este método mide alteraciones locales del campo magnético terrestre, estas anomalías se deben a las respuestas que producen cuerpos con diferente susceptibilidad magnética y a la presencia de minerales magnetizados. Una de las ventajas de este método es su sensibilidad pues puede detectar variaciones magnéticas en grandes profundidades. [10], [11]

A pesar de no tener una gran aplicación dentro del campo de la Ingeniería Civil dentro de sus principales usos está detectar: depósitos minerales, conducciones metálicas, profundidad del basamento y control de rellenos sanitarios.[8], [10]

Figura 3. Esquema de prospección magnética



Fuente: C. López, D. Martín. Aplicaciones de los drones a la prospección y explotación de recursos minerales

#### d. Método Radiométrico

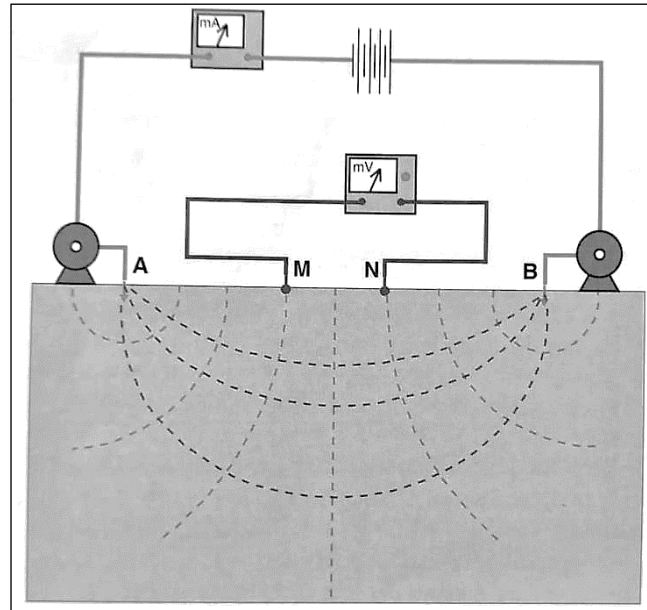
Como generalidad todos los suelos contienen, aunque en cantidades variadas, elementos radiactivos como el Uranio o el Torio así como productos residuales de su desintegración; es por esto que al medir en campo la radioactividad siempre se va a encontrar un valor mínimo que se conoce como ruido de fondo local. Cuando existen formaciones geológicas con una alta actividad radiactiva el ruido de fondo local se ve modificado de forma positiva, la cuantificación de este valor permite entre otras cosas la detección de criaderos de minerales radiactivos y datación geológica. [11]

#### e. Método Eléctrico

Se basa en el principio de que toda estructura geológica restringe el flujo de electrones con mayor o menor facilidad, estas variaciones dependen del tamaño de los estratos, su forma, contenido de humedad, etc.

Debido a la naturaleza heterogénea del suelo se pueden medir dichas anomalías, de forma que, en base a los parámetros eléctricos encontrados se pueda caracterizar geológicamente el subsuelo.[7]

Figura 4. Esquema para la medición de resistividades del terreno



Fuente: L. Gonzales, M. Ferrer, L. Ortuño. Ingeniería Geológica

Existen varios métodos que utilizan la electricidad como instrumento para la exploración geológica, entre los cuales el de mayor interés para este proyecto es el de Resistividad Eléctrica. Sin embargo, en cualquiera de los métodos es necesario que quien esté a cargo de la interpretación de los datos obtenidos tenga cierto conocimiento mínimo en el área de la electricidad por lo que se deben revisar ciertos conceptos básicos.

## FUNDAMENTOS ELÉCTRICOS

### a. Carga Eléctrica

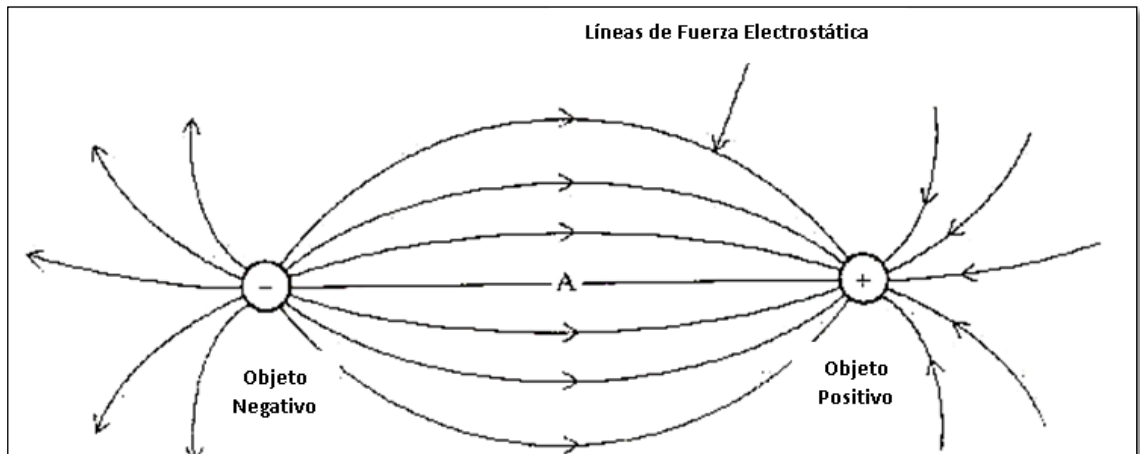
Un cuerpo puede tener carga positiva o negativa (polaridad) dependiendo de si existen protones o electrones en exceso respectivamente, la magnitud de la carga eléctrica se mide en Coulomb (C) y se determina relacionando el número de electrones con el número de protones que hay en un mismo cuerpo. [12]

### b. Campo Eléctrico

Consecuentemente si dos objetos con la misma polaridad se acercan, estos se repelen y por el contrario si dos objetos con polaridades distintas se acercan, estos se atraerán.

Cada carga, positiva o negativa, genera un campo eléctrico dentro del cual se repelen o atraen otras cargas. Cuando dos cargas con polaridad opuesta se acercan, este campo eléctrico se concentra entre las dos cargas como lo muestra la Figura 5. [12]

Figura 5. Campo Eléctrico generado por das cargas de polaridad opuesta.



Fuente: M, Gussow. Fundamentos de Electricidad

### c. Diferencia de Potencial Eléctrico

Si colocamos una carga  $q$  dentro de un campo eléctrico esta tendrá una cierta Energía Potencial Eléctrica, debido a que la fuerza generada por el campo tenderá a

atraerla o a repelerla, esta energía potencial puede llegar a transformarse en trabajo y es esa capacidad para realizar trabajo lo se conoce como Potencial Eléctrico. [13]

Ahora para mover una carga  $q$  de un punto a otro dentro del campo eléctrico debe existir una Diferencia de Potencial, es decir, una diferencia de energía que se cuantifica por unidad de carga. La unidad de la Diferencia de Potencial Eléctrico es el Voltio (V), por lo que se le conoce también como Voltaje.[12]

#### **d. Flujo Eléctrico o Corriente.**

Cuando existe una diferencia de potencial en los extremos de un medio conductor, los electrones empezarán a fluir de un extremo a otro, a esto se le conoce como Corriente; su unidad es el Amperio (A) y mide la cantidad de electrones que pasan por un punto determinado durante 1 segundo. [12]

#### **e. Ley de Ohm**

Todo material restringe el paso de electrones en menor o mayor manera, a esta restricción se la conoce como Resistencia (R) y se mide en Ohmios ( $\Omega$ ) debido a que en 1827 Georg Ohm encontró que si se varía el voltaje en un circuito manteniendo una resistencia constante, la intensidad de la corriente es directamente proporcional al voltaje. Adicionalmente encontró que al dividir cada voltaje aplicado para la intensidad de corriente que medía, el resultado era siempre el valor de resistencia. A esto se le conoce como Ley de Ohm y se expresa de la siguiente manera:[9]

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

Donde:

$I$  es la Intensidad (Amperios)

$V$  es el Voltaje (Voltios)

$R$  es la Resistencia ( $\Omega$ )

Adicional a la Ley de Ohm, se conoce también que la Resistencia es directamente proporcional a la longitud que atraviesa la corriente e inversamente proporcional al

área del conductor; además, para cada material existe una constante de proporcionalidad conocida como resistividad y representada por  $\rho$ . [14][9]

$$R = \rho * \frac{l}{s} \quad (2)$$

Donde:

R es la resistencia eléctrica ( $\Omega$ )

$\rho$  es la resistividad eléctrica ( $\Omega.m$ )

$l$  es la longitud (m)

$s$  es la sección ( $m^2$ )

## **MÉTODO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA**

La resistividad eléctrica mide la oposición que ejerce un cuerpo al paso de electrones, es decir, es el inverso de su conductividad. La resistividad de un terreno depende la disposición horizontal y vertical de los estratos, así como del contenido de humedad de los mismos, consecuentemente no es una propiedad isotrópica y va a depender de la resistividad individual de cada estrato, por lo que generalmente se la conoce como resistividad aparente.[7][8]

Dentro de una formación geológica la transmisión de electrones depende casi por completo de su contenido de agua intersticial, es decir, el agua atrapada en los poros del suelo y que contiene sales que facilitan la conducción de electricidad; en el caso de ciertas arcillas, son los mismos minerales que las constituyen los que se encargan del proceso de conducción. No obstante, a través del tiempo se han ido determinando rangos de resistividad para cada tipo de suelo como lo vemos en la Tabla 1 [7]

Tabla 1. Resistividad Eléctrica para formaciones geológicas comunes

Material	Resistividad $\rho$ ( $\Omega.m$ )
Margas	50-5000
Calizas	300-10000
Pizarras	100-1000
Granito	300-10000
Arcillas	1-20
Arenas	50-500
Conglomerados	1000-10000
Areniscas	50-5000
Aluviones	50-800

Fuente: L. Gonzales, M. Ferrer, L. Ortuño. Ingeniería Geológica

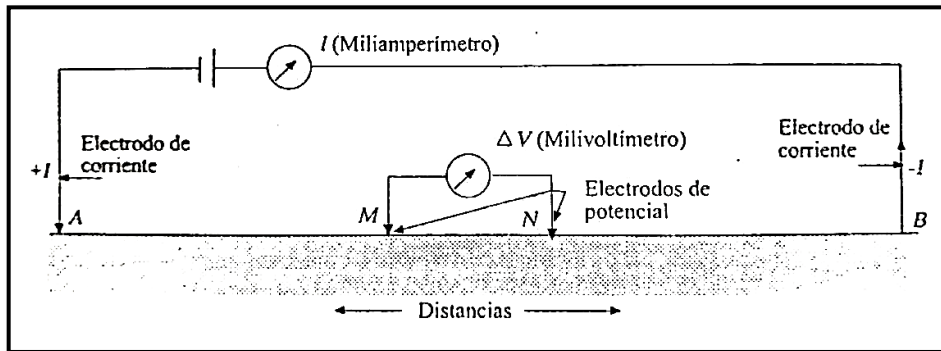
El procedimiento para la medición de la resistividad en campo es el siguiente:

- Se introducen dos electrodos llamados A y B (electrodos de corriente) en el suelo y se inyecta a través de ellos una corriente continua.
- De igual manera se introducen dos electrodos más llamados M y N (electrodos de potencial) y se mide en ellos la diferencia de potencial generada.
- Se calcula la Resistividad del terreno [8]

### **Disposición de electrodos**

La disposición y espaciamiento de los 4 electrodos depende del arreglo que se decida usar, los más comunes son el arreglo Schlumberger en donde los 4 electrodos se alinean en orden A-M-N-B pero la separación entre los electrodos de potencial M y N deberá ser menor a 1/5 de la separación A-B. Por otro lado, el arreglo Wenner mantiene la misma disposición A-M-N-B pero las distancias entre los electrodos son iguales. [8]

Figura 6. Esquema General para el Arreglo Schlumberger y Arreglo Wenner

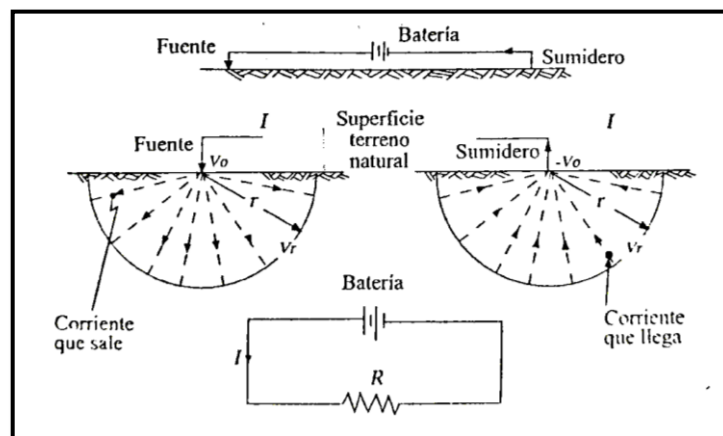


Fuente: A. Sarria. Métodos Geofísicos con Aplicación a la Ingeniería Civil

### Cálculo de la Resistividad en Campo

Como se estableció en la ecuación (2) la resistencia del medio se puede determinar multiplicando la resistividad por la razón de la longitud y el área que atraviesa la corriente; en el caso de los electrodos de corriente A-B plantados en el suelo; el flujo tridimensional de los electrones se realiza a través de una semiesfera de radio  $r$  como se observa en la Figura 7, si alineamos los electrodos de potencial M-N a una distancia específica de los electrodos de corriente, esa distancia sería el radio de la semiesfera.[9]

Figura 7. Esquema del circuito formado por los electrodos de corriente en el suelo.



Fuente: A. Sarria. Métodos Geofísicos con Aplicación a la Ingeniería Civil



Reescribiendo y simplificando la ecuación (2) para una longitud igual a  $r$  y la sección de una semiesfera igual a  $2\pi r^2$  tenemos:

$$R = \rho * \left(\frac{1}{2*\pi*r}\right) \quad (3)$$

Reemplazando R en (1) obtenemos

$$V = \rho * \frac{I}{2*\pi*r} \quad (4)$$

A través de esta expresión podemos determinar el potencial generado por un electrodo A sobre un punto M, sin embargo, en M también se está produciendo un potencial debido al electrodo B por lo que el potencial medido en M resulta de la diferencia de los dos. [9]

$$VM = \rho * \frac{I}{2*\pi*AM} - \rho * \frac{I}{2*\pi*BM} \quad (5)$$

Si aplicamos la misma lógica para el punto N, entonces la diferencia de potencial medido entre M y N será

$$VM - VN = \frac{\rho*I}{2*\pi} * \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right) \quad (6)$$

Si de la ecuación (6) despejamos la Resistividad obtendremos la ecuación utilizada en campo para medir dicho valor.[9]

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} * \frac{2*\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right)} \quad (7)$$

Como se puede observar en la ecuación (7), el segundo término de la expresión depende solamente de la disposición de los electrodos, es por esto que se le conoce como factor de forma y suele representarse como con la letra k.

### **Profundidad de exploración**

La interpretación del valor obtenido de resistividad debe hacerse considerando que este refleja la resistividad del conjunto de suelo afectado por la corriente. Evjeni [15]

definió el término “profundidad de investigación” como la profundidad a la cual una capa delgada de suelo aporta de forma máxima a la señal medida en la superficie.

En el caso del arreglo Wenner, que es el de mayor interés para este proyecto; Roy y Apparao [16] determinaron analíticamente una profundidad de investigación de  $0.11*L$ , siendo L la distancia entre los electrodos de potencial. Banerjee y Prosad [17] en un posterior análisis lo definieron como  $0.17*L$ ; sin embargo, hay que considerar que el uso de valores un tanto mayores o menores dependerá del caso de estudio, considerando la homogeneidad del suelo y que estas profundidades no son las máximas a las que llega la corriente, sino que, a partir de estas el aporte a la resistividad medida va decreciendo.

En consideración de lo expuesto se han establecido normativas que establecen una separación mínima de electrodos para una cierta profundidad, en el caso de la American Society For Testing Materials en su norma ASTM G57 [18] establece que la distancia L debe igualar a la profundidad de interés del proyecto. Para la presente investigación se adoptará dicha consideración.

## **SUELOS GRANULARES**

### **Definición**

Son suelos que no poseen cohesión o fuerza de atracción molecular. [19] Están constituidos por partículas relativamente grandes de grano redondeado, o angular dependiendo de su formación y del grado de erosión al que han sido expuestos. Este tipo de suelos son de fácil reconocimiento visual; poseen una buena permeabilidad y drenaje; se considera dentro de este grupo a gravas, arenas y limos.[20]

#### **a. Gravas**

Son fragmentos de roca que se acumulan por transportación, cuando el proceso de transporte lo hace una corriente de agua, estas sufren un continuo proceso erosivo, lo que les da una forma redondeada. [19]

#### **b. Arenas**

Proceden de la denudación de rocas más grandes a causa de agentes físicos o de la trituración artificial de las mismas. Suelen encontrarse en el mismo punto que las

gravas ya que provienen del mismo proceso de formación. Cuando se encuentran limpias, las arenas no son plásticas y no son susceptibles a cambios de volumen.[19]

### c. Limos

A diferencia de arenas y gravas presenta un drenaje pobre y poca o ninguna plasticidad, puede ser orgánico o inorgánico dependiendo de su origen y son malos para soportar cargas. Las variaciones menos plásticas de limos consisten de granos equidimensionales y por otro lado, las de mayor plasticidad contienen partículas en forma de escama. [19][21]

### Tamaño de Partículas

La definición de gravas, arenas y limos, viene acompañada de una clasificación en base al tamaño de las partículas. Varias instituciones han propuesto definiciones en base a esta medida. A continuación se detallan algunas de estas clasificaciones:

Tabla 2. Clasificación Según MIT (Massachusetts Institute of Technology)

Tamaño de partícula (mm)								
>2.00-0.60	>0.60-0.20	>0.20-0.06	>0.06-0.02	>0.02-0.006	>0.006-0.002	>0.002-0.0006	>0.0006-0.0002	>0.0002
Gruesa	Media	Fina	Grueso	Medio	Fino	Gruesa	Media	Fina (Coloides)
ARENA			LIMO			ARCILLA		

Fuente: E. Juarez, A. Rico. Mecánica de Suelos. Tomo 1. Fundamentos de la Mecánica de Suelos.

Tabla 3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. (SUCS)

Tamaño de partícula (mm)						
>75.00-19.00	>19.00-4.75	>4.75-2.00	>2.00-0.425	>0.425-0.075	>0.075	>0.075
Gruesa	Fina	Gruesa	Media	Fina	Índice plástico<4	Índice plástico>4
GRAVA		ARENA			LIMO	ARCILLA

Fuente: ASTM D 2487. Método de Ensayo Estándar para la Clasificación de Suelos con Propósitos de Ingeniería.

Tabla 4. Clasificación según AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

Tamaño de partícula (mm)					
<75.00	>75.00- 2.00	>2.00- 0.425	>0.425- 0.075	>0.075	>0.075
		GRUESA	FINA	Índice plástico≤10	Índice plástico≥11
ROCAS	GRAVA	ARENA		LIMO	ARCILLA

Fuente: ASTM D3282. Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes

### **ESTRUCTURA DE LOS SUELOS GRANULARES**

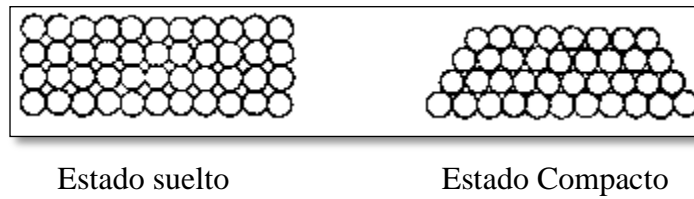
La acumulación de partículas se da en base a la acción de fuerzas naturales por lo que no se puede suponer que el suelo es un conjunto desorganizado de ellas, la estructura que tomen los depósitos de suelo dependerá de cuál es la fuerza predominante durante el proceso de acumulación.

En suelos granulares como gravas y arenas la fuerza gravitatoria es la de mayor magnitud por lo que es fácil reconocer las estructuras formadas al sedimentarse. En estos tipos de suelos las partículas se acumulan de forma tal que cada una tiene distintos puntos de apoyo a esto se le conoce como Estructura Simple [22]

Las propiedades mecánicas de esta estructura estarán determinadas por el grado de acomodo que alcancen las partículas; a esto se le conoce como compacidad y se mide en función de la relación de vacíos “e”.

Como se puede ver en la Figura 8, una mayor compacidad indicará que existe un volumen menor de vacíos en el suelo, esto implica que ante una carga el nivel de deformación será pequeño; en contraste, si el suelo está en estado suelto, su relación de vacíos será mayor así como su deformación ante una carga.[22]

Figura 8. Esquema de una estructura simple



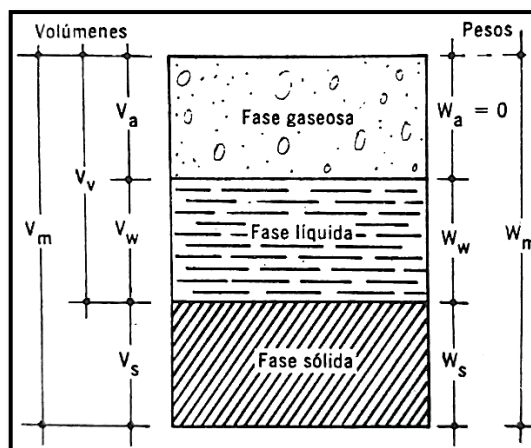
Fuente: E. Juárez, A. Rico. Mecánica de Suelos. Tomo 1. Fundamentos de la Mecánica de Suelos.

### PROPIEDADES ÍNDICE DE LOS SUELOS

Para describir el tipo de suelo existente en un punto específico no es suficiente describirlo solamente en base al tamaño de sus partículas, ya que al existir otros factores que afectan su comportamiento; no se estaría proporcionando la información necesaria para caracterizarlo.

A fin de tener la descripción completa de un suelo se han desarrollado varios métodos cuya finalidad es el de proporcionar mayor información para distinguir a un suelo de otro; estas distinciones se basan en propiedades conocidas como Propiedades Índice.[21]

Figura 9. Fases de una muestra de suelo



Fuente: E. Juárez, A. Rico. Mecánica de Suelos. Tomo 1. Fundamentos de la Mecánica de Suelos.

Donde:

$V_a$ = Volumen de aire

$W_a$ = Peso del aire

$V_w$ = Volumen de agua

$W_w$ = Peso del agua

$V_v$ = Volumen de vacíos

$V_s$ = Volumen de sólidos

$W_s$ = Peso de sólidos

$V_m$ = Volumen de la muestra

$W_m$ = Peso de la muestra

Para definir las Propiedades Índice de los suelos es necesario reconocer, como se observa en la Figura 9, que la masa de suelo está formada por tres fases, la sólida, la líquida y la gaseosa, estas se encuentran en proporciones distintas para cada suelo y se miden en base a las siguientes relaciones.

### **Relación de vacíos**

Se denomina así a la razón entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos; cuanto menor sea este valor, el suelo será más compacto y viceversa. Se representa con la letra  $e$ . [19]

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (8)$$

### **Porosidad**

Mide el valor, en porcentaje, del volumen ocupado por los vacíos en la masa de suelo por lo que se calcula como la razón entre el volumen de vacíos y el volumen total de la muestra.

$$n(\%) = \frac{V_v}{V_m} * 100$$

### **Contenido de Humedad**

Se denomina contenido de humedad a la relación porcentual entre el peso del agua de la muestra y el peso de los sólidos.

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100 \quad (10)$$

### **Grado de Saturación del Aire**

Mide que tanto espacio ocupan los gases dentro del volumen de vacíos, por lo que se calcula como la relación porcentual entre el volumen de aire y el volumen de vacíos.

$$G_a (\%) = \frac{V_a}{V_v} * 100 \quad (11)$$

### **Grado de Saturación del Agua**

Mide que tanto espacio ocupa el agua dentro del volumen de vacíos, por lo que se calcula como la relación porcentual entre el volumen de agua y el volumen de vacíos.

$$G_w (\%) = \frac{V_w}{V_v} * 100 \quad (12)$$

### **Peso específico de la masa de suelo**

Mide el peso de la muestra por unidad de volumen por lo que se calcula de la siguiente manera.

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m} = \frac{W_s + W_w}{V_m} \quad (13)$$

### **Peso Específico Seco**

Es la relación del peso de los sólidos con el volumen total de la muestra.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_m} \quad (14)$$

Se puede también obtener a partir del peso volumétrico de la masa a partir de la siguiente relación: [19]

$$\gamma_s = \frac{\gamma_m}{1 + \frac{w}{100}} \quad (15)$$

### **Gravedad Específica o Densidad Relativa**

Relaciona el peso específico del suelo con el peso específico del agua.

Generalmente se idealiza el peso específico del agua como 1 gr/cm<sup>3</sup>, pero en la práctica este valor varía dependiendo de las condiciones de trabajo. [22]

$$\text{Gravedad Específica de la masa de suelo} \quad S_m = \frac{\gamma_m}{\gamma_w} \quad (16)$$

$$\text{Gravedad Específica de los sólidos} \quad S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (17)$$

### **Densidad en campo**

Mide el peso volumétrico de la masa de suelo tal y como se encuentra de forma inalterada, para esto el método más comúnmente aplicado es el Método del Cono de Arena.

Este ensayo consiste en cavar un agujero, guardando en un recipiente el material extraído que después será pesado. El espacio dejado es reemplazado por arena cuya

densidad se conoce; esta área debe ser de tipo cuarcífera, limpia, seca, no cementada y de partículas menores a 2.0 mm y mayores a 0.25 mm. En base al peso de la arena que lleno el agujero, se calcula el volumen del mismo y se procede a determinar la densidad húmeda de la masa de suelo con la ecuación (14). La densidad seca se puede determinar analíticamente a través de la ecuación (15).

Este ensayo está limitado para suelos que no contengan partículas mayores a 38 mm, además, el suelo debe tener la suficiente estabilidad para soportar las pequeñas cargas, que se aplicaran durante el ensayo, manteniendo la forma del agujero. [23]

### **Granulometría**

Uno de los primeros intentos para caracterizar un suelo fue describiendo su distribución granulométrica, sin embargo, resulta imposible medir cada una de las partículas presentes por lo que se las agrupa en rangos. Dichos rangos se determinan a través de mallas de aperturas conocidas, esto para los suelos granulares; para suelos más finos que el tamiz N 200 es necesario aplicar un método distinto basado en la utilización de hidrómetros. [20]

En suelos granulares una buena distribución granulométrica suele ser sinónimo de un buen comportamiento. Sin embargo, hay que recordar que más allá del tamaño de las partículas; el comportamiento mecánico y hidráulico depende en gran medida de la compactación.

Para sintetizar los resultados de un análisis granulométrico, además de su gráfica, es conveniente expresar resultados numéricos. Comúnmente se aplica el método de Allen Hazen que consiste en determinar el Diámetro Efectivo y el Coeficiente de Uniformidad; el diámetro efectivo  $D_{10}$  representa la abertura para la cual el 10% de las partículas son más finas, otros valores como  $D_{30}$  y  $D_{60}$  se definen de forma análoga al anterior.[21]

El Coeficiente de Uniformidad se determina a través de la siguiente fórmula

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (18)$$

Un suelo bien graduado presentará valores altos de  $Cu$ , esto es mayores de 6 en gravas y mayores de 4 en arenas.[22]



Otro coeficiente de utilidad para conocer la graduación de un suelo es el Coeficiente de curvatura que se define como:

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad (19)$$

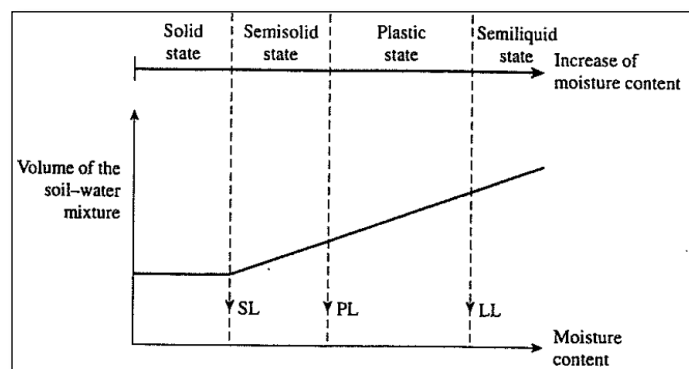
Un valor comprendido entre 1 y 3 indica una buena distribución. [19]

### Estados de consistencia

La plasticidad es una de las principales características del suelo, ya que de esta depende su capacidad de deformación; sin embargo, no todos los suelos son susceptibles de ser plásticos, esta es una propiedad generalmente reservada para arcillas y ciertos tipos de limos. No obstante, si por ejemplo un suelo predominantemente arenoso contiene arcilla en cierto porcentaje, esta puede proporcionarle un comportamiento plástico.

Es por esto que, es de suma importancia caracterizar la plasticidad de un suelo, para esto se han definido Estados de Consistencia que dependen exclusivamente del contenido de humedad del suelo, estos están separados por límites cuyo valor se debe determinar experimentalmente.

Figura 10. Estados de consistencia según el contenido de humedad.



Fuente: B. Das. Principles of Foundation Engineering.

### **Límite de Contracción (LC)**

Delimita los estados Sólido y Semi-sólido del suelo, se define como el contenido de humedad para el cual el suelo ya no sufre cambios de volumen al perder agua.

### **Límite Plástico (LP)**

Es el contenido de humedad para el cual un suelo pasa de estar de estado Semi-sólido a estado Plástico. En los suelos en los que no se pueda determinar se reportará como No Plástico NP.

### **Límite Líquido (LL)**

Es el contenido de humedad que define el límite entre los estados Plástico y Líquido, a partir de este valor la cohesión en el suelo es nula.

### **Índice plástico (IP)**

Resulta de restar los valores del Límite Líquido y el Límite Plástico, por lo que define el rango de humedad en el cual el suelo se comporta de forma plástica.

En suelos como arenas y ciertos limos este valor puede resultar cero o negativo, en ese caso el suelo se reportará como No Plástico (NP) [19]

## **CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS**

Los primeros intentos de clasificar los suelos, se hicieron en base a parámetros físicos como su granulometría; sin embargo como es bien sabido, esto no proporciona información acerca de su comportamiento mecánico o hidráulico. En base a esta necesidad se fueron planteando métodos de clasificación que tomen en cuenta otros parámetros como la plasticidad.

Existen varios métodos que varían parcialmente entre sí, entre ellos los más utilizados en el campo de la Ingeniería Civil son el método de la “American Association of State Highways and Transportation Officials” (ASSTHO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ambos toman en cuenta tanto los Límites de Consistencia como el análisis granulométrico, para en base a estos parámetros clasificar los suelos más detalladamente.

## Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Está basado en el Sistema de Clasificación de Aeropuertos propuesto por Casagrande en la década de los 40, utiliza un sistema de Prefijos y Sufijos para clasificar a los suelos en grupos dependiendo de los criterios que se muestran en la Tabla 5. [22]

Tabla 5. Cuadro de Clasificación de Suelos SUCS.

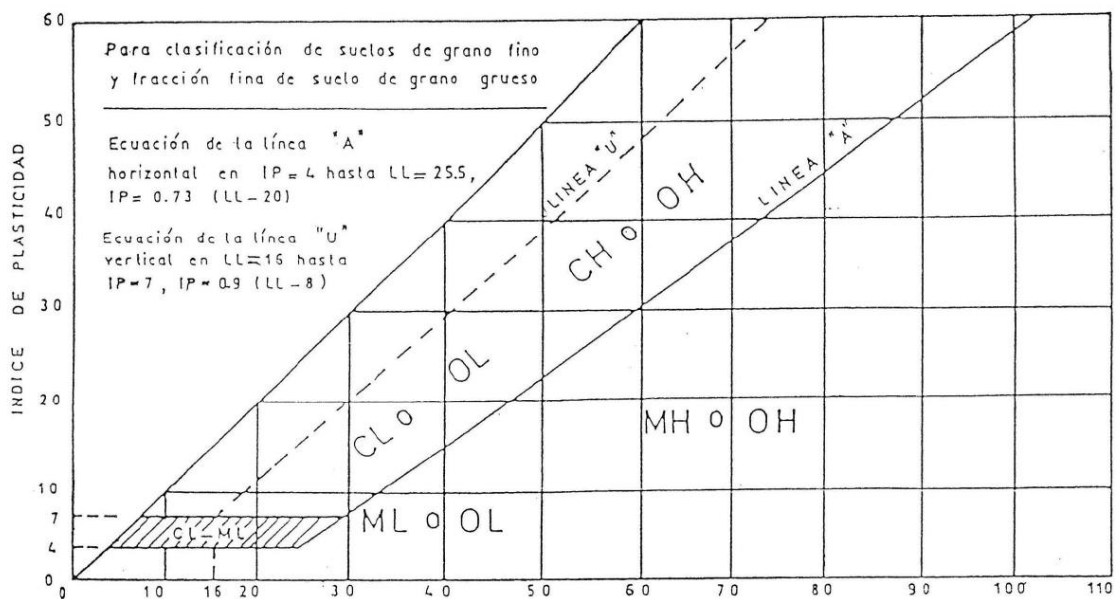
Criterios para asignar los símbolos y nombres de grupos, usando ensayos de laboratorio				Clasificación de Suelos	
				Símbolo de grupo	Nombre de grupo
<b>Suelo de Grano Grueso.</b> Más del 50% es retenido en la malla 200	<b>Gravas.</b> Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla	<b>Gravas Limpias:</b> Menos del 5% de finos	Cu $\geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	<b>GW</b>	Grava bien gradada
			Cu $< 4$ y $1 > Cc > 3$	<b>GP</b>	Grava pobremente gradada
		<b>Gravas con Finos:</b> Más del 12% de finos	Los Finos se clasifican como ML o MH	<b>GM</b>	Grava Limosa
			Los Finos se clasifican como CL o CH	<b>GC</b>	Grava Arcillosa
	<b>Arenas.</b> Más del 50% de la fracción gruesa pasa la malla N 4	<b>Arenas Limpias:</b> Menos del 5% de finos	Cu $\geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	<b>SW</b>	Arena bien gradada
			Cu $< 6$ y $1 > Cc > 3$	<b>SP</b>	Arena pobremente gradada
		<b>Arenas con finos:</b> Más del 12% de finos	Los Finos se clasifican como ML o MH	<b>SM</b>	Arena Limosa
			Los Finos se clasifican como CL o CH	<b>SC</b>	Arena Arcillosa
<b>Suelo de Grano Fino.</b> 50% o más pasa la malla N 200	<b>Limos y Arcillas.</b> Límite Líquido $< 50$	<b>Inorgánicos</b>	IP $> 7$ y cae sobre la línea "A"	<b>CL</b>	Arcilla de baja plasticidad
			IP $< 4$ o cae bajo la línea "A"	<b>ML</b>	Limo
		<b>Orgánicos</b>	Límite líquido secado al horno/Límite líquido no secado	<b>OL</b>	Arcilla Orgánica
	<b>Limos y Arcillas.</b> Límite Líquido $\geq 50$	<b>Inorgánicos</b>	IP cae en o sobre la línea "A"	<b>CH</b>	Arcilla de alta plasticidad
			IP cae bajo la línea "A"	<b>MH</b>	Limo elástico
		<b>Orgánicos</b>	Límite líquido secado al horno/Límite líquido no secado	<b>OH</b>	Arcilla Orgánica Limo Orgánico
<b>Suelos altamente orgánicos</b>	Principalmente materia orgánica, color oscuro y olor orgánico.			<b>PT</b>	Turba

Fuente: ASTM D2487, Método de Ensayo Estándar para la Clasificación de Suelos con Propósitos de Ingeniería (Sistema de Clasificación Unificada de Suelos)

Este sistema clasifica a los suelos en tres tipos, Suelos Gruesos: Gravas (G) y Arenas (S), Suelos Finos: Limos (M) y Arcillas (C), y Suelos Orgánicos (O). Posteriormente se forma 15 grupos basados en distribución granulométrica y propiedades plásticas.

El proceso para determinar los grupos correspondientes a los suelos gruesos proviene del análisis granulométrico, por otro lado para determinar los grupos de los suelos finos es necesario recurrir a los Límites de Consistencia. Para esto se debe utilizar la Carta de Plasticidad que relaciona el Límite Líquido en el eje de las abscisas y el Índice Plástico en el eje de las ordenadas, de esta manera se asignan zonas correspondientes a cada grupo como se observa en la figura 11.[24]

Figura 11. Carta de Plasticidad



Fuente: ASTM D2487, Método de Ensayo Estándar para la Clasificación de Suelos con Propósitos de Ingeniería (Sistema de Clasificación Unificada de Suelos)

Existen casos en los que se deben utilizar símbolos dobles, como por ejemplo en suelos de grano grueso con un rango de 5% a 12% de finos, esta y otras consideraciones se explican a detalle en la norma ASTM D2487 [24]

## Clasificación AASHTO

Esta clasificación está diseñada con fines de construcción de carreteras, para ello se basa, al igual que en la clasificación SUCS, en el análisis granulométrico y propiedades plásticas del suelo.

El procedimiento consiste en la determinación del porcentaje de suelo que pasa los tamices No. 10, No.40 y No.200; además de la determinación de del Límite Líquido e Índice Plástico. A continuación se procede a determinar el grupo o subgrupo en base a las Tablas 6 y 7, se debe ir verificando los parámetros de izquierda a derecha y el primer grupo que se ajuste a las características del suelo será el correcto. Para clasificar los suelos arcillosos y limosos se utiliza la Figura 12 donde se grafica el Límite Líquido vs Índice Plástico. [25]

Tabla 6. Grupos de suelos según AASHTO

General Classification	Granular Materials (35 % or less passing No. 200)				Silt-Clay Materials (More than 35 % passing No. 200)		
	A-1	A-3 <sup>A</sup>	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7
Sieve analysis, % passing:							
No. 10 (2.00 mm)	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425 µm)	50 max	51 min	...	...	...	...	...
No. 200 (75 µm)	25 max	10 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Characteristics of fraction passing No. 40 (425 µm):							
Liquid limit	...	...	<sup>B</sup>	40 max	41 min	40 max	...
Plasticity index	6 max	N.P.	<sup>B</sup>	10 max	10 max	11 min 41 min	11 min
General rating as subgrade	Excellent to Good			Fair to Poor			

<sup>A</sup> The placing of A-3 before A-2 is necessary in the "left to right elimination process" and does not indicate superiority of A-3 over A-2.

<sup>B</sup> See Table 2 for values.

Fuente: ASTM D3282. Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes

Tabla 7. Subgrupos de suelos según AASHTO

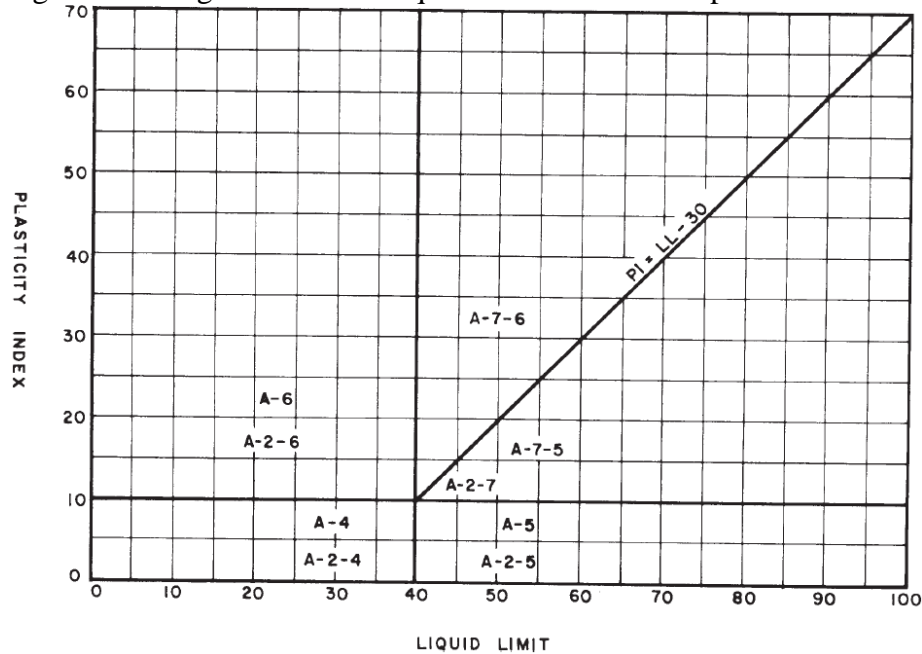
General Classification	Granular Materials (35 % or less passing No. 200)						Silt-Clay Materials (More than 35 % passing No. 200)				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Group classification	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5, A-7-6
Sieve analysis, % passing:											
No. 10 (2.00 mm)	50 max	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425 µm)	30 max	50 max	51 min	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75 µm)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Characteristics of fraction passing No. 40 (425 µm):											
Liquid limit	...	...	...	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Plasticity index	6 max	...	N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min <sup>A</sup>
Usual types of significant constituent materials	Stone Fragments, Gravel and Sand		Fine Sand	Silty or Clayey Gravel and Sand				Silty Soils		Clayey Soils	
General rating as subgrade	Excellent to Good						Fair to Poor				

<sup>A</sup> Plasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than LL minus 30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL minus 30 (see Fig. 1).

Fuente: ASTM D3282. Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes

Las características físicas y mecánicas correspondientes a cada grupo de la clasificación, así como una descripción detallada de los mismos se encuentran en la norma ASTM D3282.

Figura 12. Rangos de Límite Líquido e Índice Plástico para suelos finos



Fuente: ASTM D3282. Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes

Adicionalmente a los grupos y subgrupos de la clasificación, se debe calcular un Índice de Grupo; el mismo que se presentará entre paréntesis junto al grupo determinado. Este valor está relacionado con las propiedades ingenieriles del suelo, de modo que, mientras más alto sea el Índice de Grupo, el suelo tendrá menor capacidad de soporte.

Hay que tomar en cuenta que el valor calculado será aproximado al entero más cercano y que en el caso de encontrarse un Índice de Grupo negativo, este se debe asumir como cero. [25]

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10) \quad (20)$$

Donde:

F= Porcentaje de suelo que pasa el tamiz No. 200

LL= Límite Líquido

PI= Índice Plástico

En suelos correspondientes a los grupos A26 y A27 se debe utilizar solo el segundo término de la ecuación, es decir:[25]

$$IG = 0.01(F - 15)(PI - 10) \quad (21)$$

Dada la similitud de criterios tomados en cuenta para la clasificación de suelos tanto en el sistema SUCS y en el AASTHO, se pueden correlacionar las designaciones de ambos grupos como se observa en la Tabla 8.

Tabla 8. Comparación entre las clasificaciones SUCS y AASTHO

<b>AASTHO</b>	<b>SUCS</b>
A-1a	GW,GP,SW,GM
A-1b	SW,SP,SM,GC
A-3	SP
A-2-4	CL,ML
A-2-5	CL,ML,CH,MH
A-2-6	CL,ML
A-2-7	CL,ML,CH,MH
A-4	CL,ML
A-5	CL,ML,CH,MH
A-6	CL,ML
A-7	CL,ML,CH,MH

Fuente: C. Crespo. Mecánica de Suelos y Cimentaciones.

## **PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO**

### **Compactación**

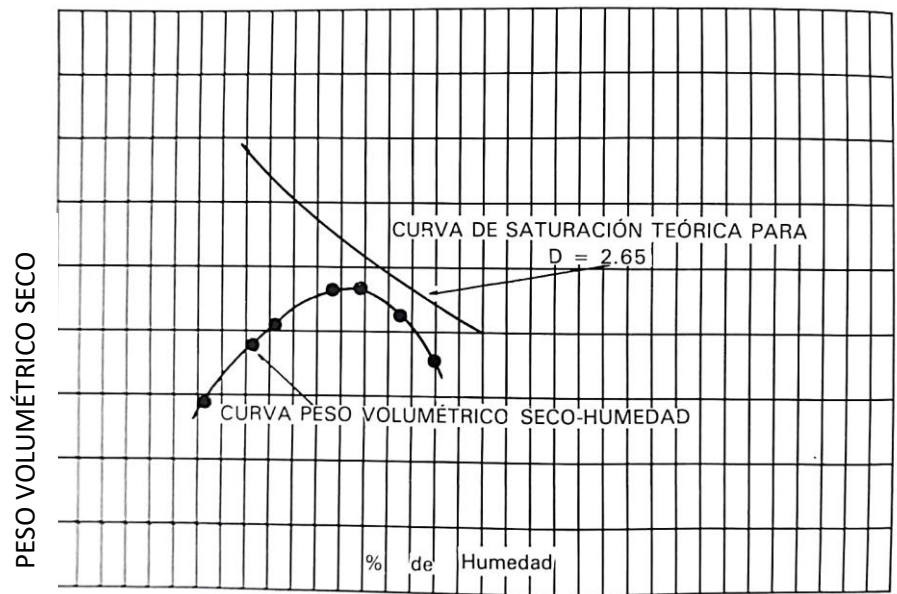
El objetivo de compactación de suelos radica principalmente en mejorar su resistencia disminuyendo la capacidad de deformación. Esto se logra a partir de procesos mecánicos mediante los cuales se reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo.

La importancia de la compactación de suelos es bien conocida dentro del ámbito ingenieril, sin embargo no fue hasta 1933 que Ralph Proctor determinó, que para una

misma energía de compactación, el peso volumétrico alcanzado está relacionado al contenido de humedad del suelo. [19]

Esta relación forma una curva, como la de la Figura 13, de la cual se puede obtener un valor de densidad máxima a la que le corresponde un valor de contenido de humedad conocido como óptimo.

Figura 13. Curva del ensayo de compactación Proctor



Fuente: C. Crespo. Mecánica de Suelos y Cimentaciones.

### Ensayo de compactación Proctor

En su estudio Ralph Proctor propuso un ensayo para encontrar los valores de Densidad Seca Máxima y Contenido Humedad Óptimo. A este ensayo se lo conoce con el nombre de su inventor y consiste en compactar dentro de un cilindro de 1/30 ft<sup>3</sup> de volumen, tres capas de suelo con contenido de humedad conocido, en cada capa se debe dejar caer 25 veces un martillo de 5.5 lb desde una altura de 12 in. [22]

Estas especificaciones permiten calcular la energía de compactación específica para la cual se realiza el ensayo mediante la siguiente fórmula:

$$E = \frac{W*H*N}{V} \quad (22)$$

Donde:

E= Energía de compactación en lb\*ft/ft<sup>3</sup>



W= Peso del martillo en lb

N= Número total de golpes del martillo

V= Volumen del suelo compactado en ft<sup>3</sup>

Los parámetros del ensayo determinados por Proctor estaban diseñados para simular la energía de compactación que se aplicaba en campo en ese entonces, posteriormente los métodos de compactación fueron progresando; por lo que el método de Proctor ya no representaba con precisión las densidades alcanzadas en campo. Consecuentemente se vio la necesidad de modificar el ensayo para tener mayores energías de compactación; lo que implica alcanzar mayores densidades con menores contenidos de humedad. [19]

A estos métodos se les conoce como Proctor Modificado y se diferencian del Proctor Estándar por modificar el número de capas, número de golpes, volumen del molde, peso del martillo y altura de caída del mismo. En las tablas 9 y 10 se detalla las especificaciones de ensayo establecidas por la ASTM y la AASTHO. [26] [27]

Tabla 9. Especificaciones para Compactación según ASTM

<b>Método</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Peso del Martillo</b>	10 lb	10 lb	10 lb
<b>Altura de Caída</b>	18 in	18 in	18 in
<b>Diámetro del molde</b>	4 in	4 in	6 in
<b>Material</b>	Pasa tamiz No. 4	Pasa tamiz 3/8 in	Pasa tamiz 3/4 in
<b>Capas</b>	5	5	5
<b>Golpes por capa</b>	25	25	56
<b>Condición de uso</b>	Si el 25% o menos del material se retiene en el tamiz No. 4	Si el 25% o menos del material se retiene en el tamiz de 3/8 in.	Si el 30% o menos del material se retiene en el tamiz de 3/4 in.

Elaborado por: Patricio David Mera Parra Fuente: ASTM D 1557. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort

Tabla 10. Especificaciones de Compactación normas AASHTO

	<b>T 99</b>	<b>T 180</b>
Mold Volume, ft <sup>3</sup>	Methods A, C: 0.0333 ±0.0005	Methods A, C: 0.0333 ±0.0005
	Methods B, D: 0.07500 ±0.0009	Methods B, D: 0.07500 ±0.0009
Mold Diameter, in.	Methods A, C: 4.000 ±0.016	Methods A, C: 4.000 ±0.016
	Methods B, D: 6.000 ±0.026	Methods B, D: 6.000 ±0.026
Mold Height, in.	4.584 ±0.018	4.584 ±0.018
Detachable Collar Height, in.	2.000 ±0.025	2.000 ±0.025
Rammer Diameter, in.	2.000 ±0.025	2.000 ±0.025
Rammer Mass, lb	5.5 ±0.02	10 ±0.02
Rammer Drop, in.	12	18
Layers	3	5
Blows per Layer	Methods A, C: 25	Methods A, C: 25
	Methods B, D: 56	Methods B, D: 56
Material Size, in.	Methods A, B: No. 4 minus	Methods A, B: No.4 minus
	Methods C, D: 3/4 minus	Methods C, D: 3/4 minus
Test Sample Size, lb	Method A: 7	Method B: 16
	Method C: 12 <sub>(1)</sub>	Method D: 25 <sub>(1)</sub>
Energy, lb-ft/ft <sup>3</sup>	12,375	56,250

Fuente: Western Alliance for Quality Transportation Construction. Moisture-Density Relations of Soils.

En cualquiera de los métodos aplicados, la determinación de la Densidad Máxima y el Contenido de Humedad Óptimo se hacen a través de la Figura 13. Adicionalmente en la gráfica se debe incluir la Curva de Saturación Teórica, que representa la densidad que se obtendría si el 100% de los vacíos estarían llenos de agua [19], para esto se utiliza la fórmula:

$$\gamma_{scs} = \frac{S_s}{1+wS_s} * \gamma_w \quad (23)$$

Donde:

$\gamma_{scs}$  = Peso volumétrico seco de la curva de saturación teórica

$S_s$  = Gravedad Específica del material

$\gamma_w$  = Peso Volumétrico del Agua

El objetivo de la Curva de Saturación Teórica, es comprobar si el ensayo de compactación está bien realizado, dado que nunca será posible alcanzar un grado de saturación del agua del 100% en un suelo compactado; por lo que las dos curvas nunca deberán cruzarse. [19]

## Radio de Soporte de California (CBR)

Este ensayo es usado de forma extensiva en el diseño de pavimentos ya que permite conocer el nivel de resistencia al esfuerzo cortante que puede alcanzar un suelo que se va a utilizar como base, subbase o subrasante. [28]

Consiste en encontrar el valor de soporte de un suelo en condiciones de humedad y compactación específicas. Este valor se expresa como el porcentaje entre la carga necesaria para penetrar la muestra de suelo 0.1 in. ó 0.2 in. con la carga correspondiente a la misma deformación para un espécimen de roca triturada bien gradada.

Tabla 11. Clasificación para valores de CBR

<i>C.B.R.</i>	<i>Clasificación</i>
0 — 5	Subrasante muy mala
5 — 10	Subrasante mala
10 — 20	Subrasante regular a buena
20 — 30	Subrasante muy buena
30 — 50	Sub-base buena
50 — 80	Base buena
80 — 100	Base muy buena

Fuente: Mecánica de Suelos y Cimentaciones (Crespo)

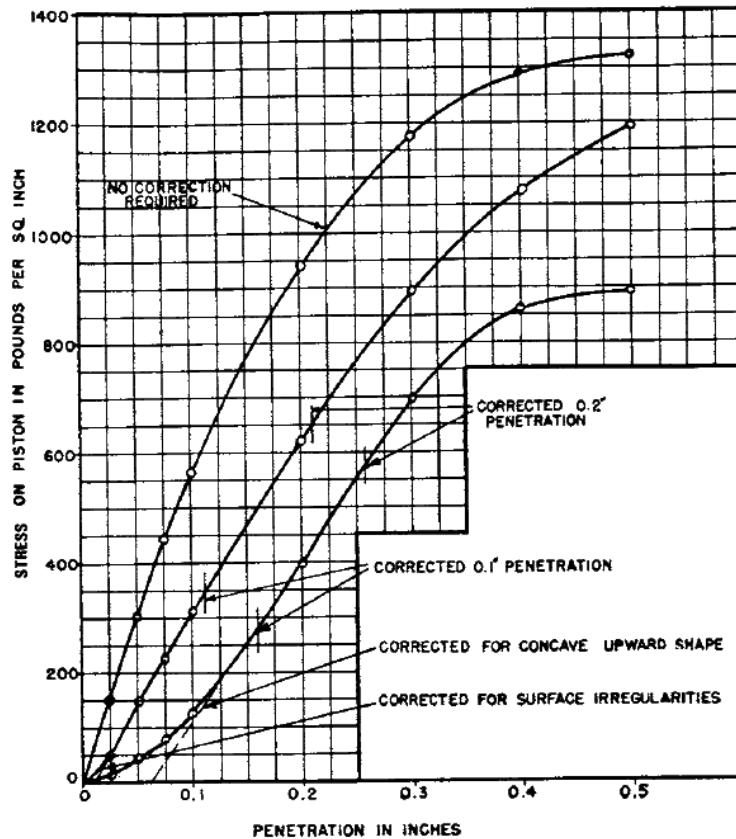
La ejecución de este ensayo puede ser requerida para un rango de contenidos de humedad o para el contenido de humedad óptimo, siendo este último el más común. Este requerimiento viene además acompañado un porcentaje de Densidad Seca Máxima, en ese caso se debe variar el número de golpes por capa en cada muestra para tener valores por debajo y por encima de lo solicitado.

Generalmente para un ensayo al 95% de la Densidad Seca Máxima y contenido de humedad óptimo se compactan moldes usando 56, 25 y 10 golpes por capa. Los lineamientos de compactación se siguen de acuerdo al método Proctor Tipo C descrito en la Tabla 9.[28] De seguirse los lineamientos de la AASHTO, el número de golpes se mantiene en 56, 25 y 10 pero se siguen las especificaciones descritas en la Tabla 10.[29]

Es necesario sumergir los moldes completamente en agua durante 96 horas, colocando una carga igual al material de la base y el pavimento; esta carga nunca debe ser menor que 10 lb. Se permite un periodo de inmersión menor, no menor a 24h, en suelos granulares dado que atrapan humedad fácilmente. [29]

Posteriormente la penetración debe hacerse manteniendo las sobrecargas usadas en la inmersión y a un ritmo de penetración del pistón de 0.05 in./min. Con los datos obtenidos se calcula el esfuerzo ejercido en el pistó y se grafica para sus correspondientes deformaciones como se ve en la Figura 14. [28]

Figura 14. Curva Esfuerzo Deformación para el ensayo CBR



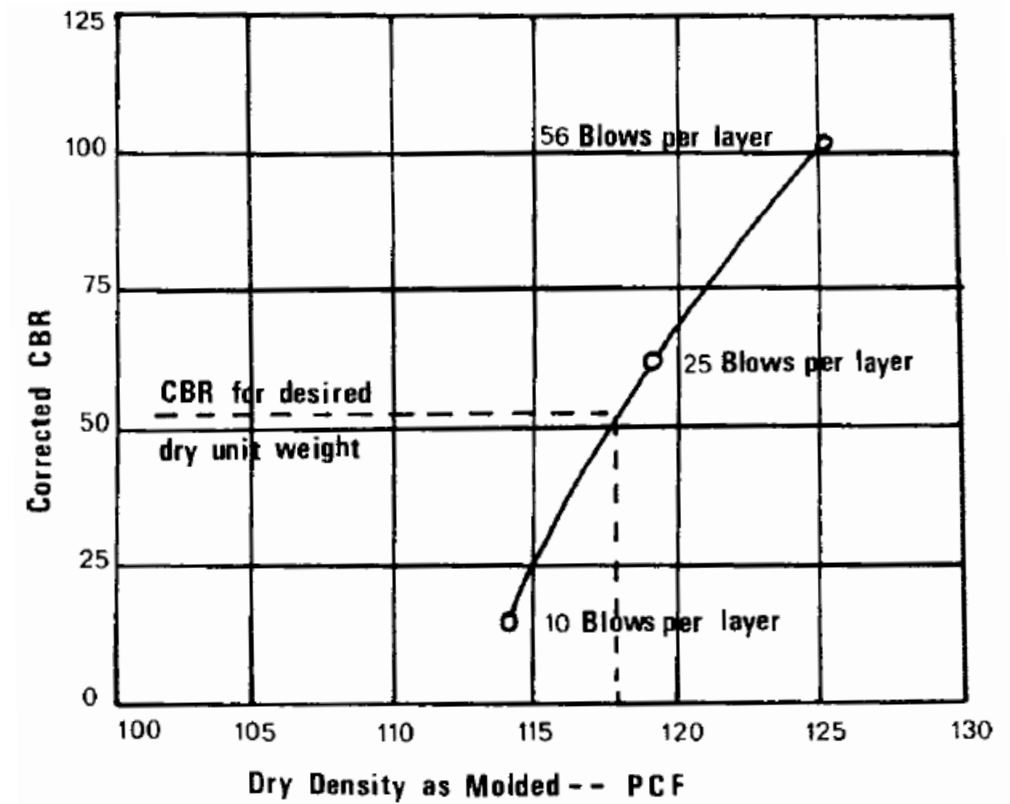
Fuente: ASTM D 1883. Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils

Muchas veces la curva presenta concavidades hacia arriba, esto se puede deber a movimientos propios de la máquina o a irregularidades en la superficie de la muestra; en consecuencia se deben corregir las curvas como se muestra en Figura 14.

Para calcular el Valor CBR se debe tomar los esfuerzos para 0.1 in. y para 0.2 in. y calcular su valor en porcentaje respecto a esfuerzos estándar de 1000 Psi y 1500 Psi respectivamente. El valor reportado como CBR será el mayor de los dos.

Este proceso es repetido para todos los moldes de 56, 25 y 10 Golpes, una vez calculados los valores de CBR se los grafica en función de la densidad seca como se observa en la Figura 15. A partir de esta gráfica se determina el valor de CBR para el porcentaje de Densidad Seca Máxima deseado. [28]

Figura 15. Densidad Seca vs CBR



Fuente: ASTM D 1883. Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El procesamiento de datos necesario para determinar correlaciones entre la resistividad eléctrica y las propiedades del suelo, involucra un profundo análisis estadístico para lo cual se hará una revisión de los términos y cálculos involucrados.

### Media Aritmética

Es una medida de tendencia cuyo fin es el de caracterizar de forma numérica un conjunto de datos. Si se tiene una muestra con los números  $x_1, x_2, \dots, x_n$  la media aritmética consiste en el promedio de este grupo de datos, también se la conoce como media muestral. [30]

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (24)$$

## Medidas De Dispersión

Para representar un conjunto de datos se calculan medidas de tendencia que nos dan un breve vistazo del comportamiento de la muestra, sin embargo esto no nos indica que tan dispersos están los datos, esto implica que para datos muy dispersos las medidas de tendencia como la media aritmética no son representativas.[31]

### a) Varianza o Varianza Total

La varianza ( $S_x^2$  ó  $S_y^2$ ) es una medida de dispersión que permite evaluar que tan dispersos son los datos de una muestra con respecto a su media aritmética. Se define como el promedio del cuadrado de las diferencias entre los valores que toman una variable y su media aritmética [31], en otras palabras:

$$S^2 = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (24)$$

### b) Desviación Estándar

La desviación estándar (S) es la medida de dispersión más ampliamente usada y se calcula como la raíz cuadrada de la varianza.[31]

### c) Covarianza

La covarianza ( $m_{xy}$  ó  $m_{yx}$ ) Determina la variabilidad de X y Y en conjunto y se calcula como el promedio del producto de la diferencia entre las variables y su media aritmética.[31]

$$Cov = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n} \quad (25)$$

### d) Varianza residual

La varianza residual ( $S^2_{yx}$ ) permite calcular el grado de dispersión de los valores que no quedan explicados por la ecuación de regresión. Si consideramos a  $y_i$  como los valores observados y a  $\hat{Y}_i$  como los valores estimados, entonces la varianza residual se calcula de la siguiente manera:[31]

$$S^2_{yx} = \frac{\Sigma(y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \quad (26)$$

### e) Varianza Explicada

La varianza explicada ( $S^2_{ay}$ ) determina el grado de dispersión de los datos que se confunden con la ecuación de regresión, es decir que quedan explicados por esta. [31]

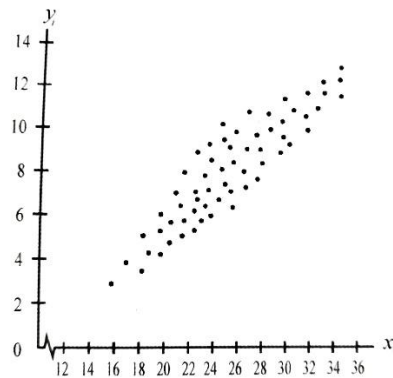
$$S^2_{ay} = \frac{\sum(\hat{Y}_i - \bar{y})^2}{n} \quad (27)$$

## ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

El objetivo de un Análisis de Regresión es el de determinar la dependencia que existe entre dos o más variables, de modo que a partir del conocimiento de una o más de ellas se pueda estimar el valor de otra.

Si definimos una muestra de datos para los cuales a cada valor del conjunto X le corresponda un valor del conjunto Y, entonces dichos puntos se pueden graficar en un plano cartesiano, a este gráfico se le conoce como Diagrama de Dispersión.

Figura 16. Diagrama de dispersión



Fuente: C. Martínez. Estadística y Muestreo

La relación existente entre las variables permite definir una línea que describe su dependencia, por lo que el objetivo del Análisis de Regresión es encontrar la ecuación matemática que determine esa línea.

Al tratarse de sistemas no deterministas, el nivel de ajuste de los datos a la línea de regresión encontrada puede variar, de modo que el Análisis de Correlación tiene por



objetivo determinar qué tanto se asocian dichas variables, para esto hace uso de un coeficiente de correlación.[31]

### Regresión y Correlación Simple

Se denomina Regresión Simple cuando el análisis involucra solamente 1 variable independiente y su respectiva variable dependiente, de modo que al graficar la muestra en un diagrama de dispersión la tendencia pueda ser explicada a través de una de las siguientes ecuaciones:

- Función polinomial de grado k

$$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 + \dots + b_kX^k \quad (28)$$

- Función Exponencial

$$Y = cb^X \text{ ó } \log(Y) = \log(c) + X \log(b) \quad (29)$$

- Función Potencial

$$Y = cX^b \text{ ó } \log(Y) = \log(c) + b \log(X) \quad (30)$$

Los coeficientes (a, b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>... b<sub>k</sub> y c) son constantes conocidas como parámetros de regresión, que definen las características de cada ecuación, como por ejemplo su ubicación, origen, pendiente, etc. por lo que la finalidad del análisis de regresión es encontrar los valores que mejor describan un conjunto de datos. [31]

### Método de los Mínimos Cuadrados

Si consideramos una muestra de datos de variables X y Y, y adicionalmente una ecuación de regresión  $\hat{Y} = b_0 + b_1x_i + b_2x_i^2 + \dots + b_kx_i^k$ ; entonces podemos evaluar la bondad de ajuste calculando el cuadrado de la diferencia entre los Y observados y los  $\hat{Y}$  calculados.

$$f(b_0, b_1 \dots b_k) = \sum_{i=1}^n [y_i - (b_0 + b_1x_i + b_2x_i^2 + \dots + b_kx_i^k)]^2 \quad (31)$$

De acuerdo con el principio de los mínimos cuadrados, se debe estimar los coeficientes  $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$  de tal forma que minimicen la expresión (31), es decir  $\sum(Y-\hat{Y})^2$ .

Para determinar dichos valores, se deben encontrar las  $k+1$  derivadas parciales de la expresión de ajuste e igualarlas a cero, esto nos permite encontrar una serie de ecuaciones denominadas “normales” con las que se puede generar un sistema de ecuaciones. [30]

Figura 17. Sistema de Ecuaciones Normales

$$\begin{array}{l} b_0 n + b_1 \sum x_i + b_2 \sum x_i^2 + \dots + b_k \sum x_i^k = \sum y_i \\ b_0 \sum x_i + b_1 \sum x_i^2 + b_2 \sum x_i^3 + \dots + b_k \sum x_i^{k+1} = \sum x_i y_i \\ \vdots \\ b_0 \sum x_i^k + b_1 \sum x_i^{k+1} + \dots + b_k \sum x_i^{2k} = \sum x_i^k y_i \end{array}$$

Fuente: J. Devore. Probabilidad y Estadística para Ingenierías y Ciencias

### **Coefficiente de Pearson o Coeficiente de Correlación**

El coeficiente de correlación (R) nos permite medir el grado de interdependencia de las variables, los valores que puede tomar este coeficiente están entre  $-1 < R < 1$ , el signo dependerá del signo que tenga la covarianza o del signo del coeficiente angular.

Usualmente se utiliza una variación de este coeficiente conocida como Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ), que elimina la posibilidad de un signo negativo, por lo que únicamente indica el grado de variación producido por la variable independiente en la variable dependiente.

De esta manera si  $R^2 = 1$  se dice que la correlación es perfecta; a medida que el valor descende, el grado de correlación de las variables también lo hace. Cuando  $R^2 \leq 0.3$  se puede decir que no existe correlación alguna.[31]

Existen varias formas de calcular  $R^2$ , entre ellas tenemos:

$$R^2 = \frac{m^2_{xy}}{s^2_x s^2_y} \quad (32)$$

$$R^2 = \frac{S^2_{ay}}{S^2_y} \quad (33)$$

$$R^2 = 1 - \frac{S^2_{yx}}{S^2_y} \quad (34)$$

A continuación en la Tabla 12. se presenta un resumen para algunos tipos de regresión simple.[31], [32]

Tabla 12. Resumen de ecuaciones para regresión y Correlación Simple

Tipo de Función	Ecuación General	Ecuaciones Normales	Coefficiente de Correlación
Función Lineal	$\hat{y} = bx + c$	$\sum y_i = b\sum x_i + nc$ $\sum y_i x_i = b\sum x_i^2 + c\sum x_i$	$R^2 = \frac{m^2_{xy}}{S^2_x S^2_y}$
Función Parabólica	$\hat{y} = ax^2 + bx + c$	$\sum y_i = a\sum x_i^2 + b\sum x_i + nc$ $\sum x_i y_i = a\sum x_i^3 + b\sum x_i^2 + c\sum x_i$ $\sum x_i^2 y_i = a\sum x_i^4 + b\sum x_i^3 + c\sum x_i^2$	$R^2 = 1 - \frac{S^2_{yx}}{S^2_y}$
Función Exponencial	$\hat{y} = cb^x$ se puede transformar a $\log \hat{y} = \log c + (x)\log b$	$\sum \log y_i = n \log c + (\sum x_i) \log b$ $\sum (x_i \log y_i) = (\sum x_i) \log c + (\sum x_i^2) \log b$	$R^2 = 1 - \frac{S^2_{x \log y}}{S^2_{\log y}}$
Función Potencial	$\hat{y} = cx^b$ se puede transformar a $\log \hat{y} = \log c + (b)\log x$	$\sum \log y_i = n \log c + b(\sum \log x_i)$ $\sum (\log x_i \log y_i) = (\sum \log x_i) \log c + b(\sum (\log x_i)^2)$	$R^2 = 1 - \frac{S^2_{\log x \log y}}{S^2_{\log y}}$

Elaborado por: Patricio David Mera Parra Fuente: C. Martínez. Estadística y Muestreo & M. Spiegel, L. Stephens. Estadística

## Regresión y Correlación Múltiple

Llamamos regresión múltiple al análisis que involucra más de dos variables independientes, de tal manera que se puede expresar a través de la siguiente función:

$$\hat{Y} = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots \quad (35)$$

Donde Y es la variable dependiente y  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  son las variables independientes; los coeficientes  $a, b_1, b_2, b_3 \dots b_n$  se denominan coeficientes de regresión y al igual que en una regresión simple, el objetivo del análisis es encontrar los valores para estos coeficientes que minimicen la variación de los Y observados y los  $\hat{Y}$  calculados. [31]

Con dicho objetivo el procedimiento utilizado es análogo al de una regresión simple; a través del método de los mínimos cuadrados se encuentra un sistema de ecuaciones normales por medio de las cuales se encuentran los coeficientes de regresión.

De la misma manera, las funciones de tipo potencial, exponencial, polinómica o logarítmica se pueden expresar de forma lineal con el uso de logaritmos, para una vez culminado el cálculo transformar las variables a su expresión original.

Para un sistema lineal con dos variables independientes la ecuación general está definida de la siguiente manera:

$$\hat{Y} = a + b_1x_1 + b_2x_2 \quad (36)$$

Y su sistema de ecuaciones normales será:

$$\sum y_i = na + b_1\sum x_1 + b_2\sum x_2 \quad (37)$$

$$\sum y_ix_1 = a\sum x_1 + b_1\sum x_1^2 + b_2\sum x_1x_2 \quad (38)$$

$$\sum y_ix_2 = a\sum x_2 + b_1\sum x_1x_2 + b_2\sum x_2^2 \quad (39)$$

### **Coefficiente de Correlación Múltiple**

Su definición y análisis es análogo al coeficiente de correlación para una regresión simple. Analiza las varianzas producidas por los valores estimados y los valores observados, para entregar un valor R o R<sup>2</sup> que determine el grado de ajuste de los mismos. [31]

El coeficiente de regresión múltiple se calculará de la siguiente forma:

$$R^2_{yx_1x_2} = 1 - \frac{s^2_{y_{x_1x_2}}}{s_y^2} \quad (41)$$

Donde  $s^2_{y_{x_1x_2}}$  es la varianza residual para dos variables independientes y se calcula como se detalla a continuación:

$$s^2_{y_{x_1x_2}} = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \quad (40)$$

#### **1.1.4. Hipótesis**

La resistividad eléctrica puede estimar mediante correlaciones numéricas las propiedades índice y el valor de CBR de los suelos granulares de la zona 4 de la ciudad de Ambato.

### **1.2. OBJETIVOS**

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

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

#### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Realizar un estudio de las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares de Ambato
- Determinar la correlación entre el contenido de humedad con la resistividad eléctrica
- Determinar la correlación entre la granulometría con la resistividad eléctrica
- Determinar la correlación entre los límites de Attemberg con la resistividad eléctrica
- Determinar la correlación entre la densidad de campo con la resistividad eléctrica
- Determinar la correlación entre Proctor modificado con la resistividad eléctrica
- Determinar la correlación entre el valor de CBR con la resistividad eléctrica

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

#### **Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo experimental con un enfoque cuantitativo dado que, demanda de la medición objetiva de la resistividad eléctrica y el resto de propiedades de los suelos; para posteriormente, en base al uso de métodos estadísticos, confirmar la hipótesis planteada.

Los niveles correspondientes a una investigación cuantitativa son: [33]

#### **Nivel Exploratorio**

Dentro de la ciudad de Ambato no existen valores determinados de resistividad eléctrica para los tipos de suelos estudiados, tampoco existe bibliografía específica para la zona; por lo que la medición de los valores de resistividad se considera una investigación de nivel exploratorio.

#### **Nivel Descriptivo**

La investigación pretende caracterizar los suelos en estudio a través de la determinación y explicación de sus propiedades físicas y mecánicas. Además hace uso de investigaciones previas y mapas geológicos para profundizar en cuanto a su origen y formación.

#### **Nivel Correlacional**

A partir de la información encontrada en el nivel exploratorio y descriptivo, se pretende medir el grado de asociación entre las variables estudiadas, estableciendo cual es el tipo de regresión que mejor se ajusta a su comportamiento. Para esto se hará uso del coeficiente Pearson.

## Población

La ciudad de Ambato está dividida, según su Plan de Ordenamiento Territorial, en 5 plataformas que corresponden a límites naturales y jurisdiccionales, entre estas la Plataforma 3 corresponde a la Altiplanicie Sur-Occidental. Esta plataforma es la de mayor extensión geográfica y está considerada como la zona con mayor posibilidad de expansión residencial y de densificación poblacional. [34]

La geología de dicha plataforma está conformada predominantemente por cangaguas y flujos piroclásticos del Chimborazo y Carihuairazo[35], [36] (ver Anexo 2) lo que se traduce en suelos predominantemente granulares.

En consideración de lo expuesto, la población de esta investigación corresponde al universo de los suelos granulares de la Plataforma 3 de la ciudad de Ambato.

## Muestra

Dentro de la Plataforma 3 de la ciudad de Ambato y en base a la división política de las parroquias urbanas se establecerán aleatoriamente 10 puntos para los ensayos de campo y la toma de muestras. Estos puntos corresponderán a las parroquias urbanas Huachi Loreto, Celiano Monge y Pishilata.

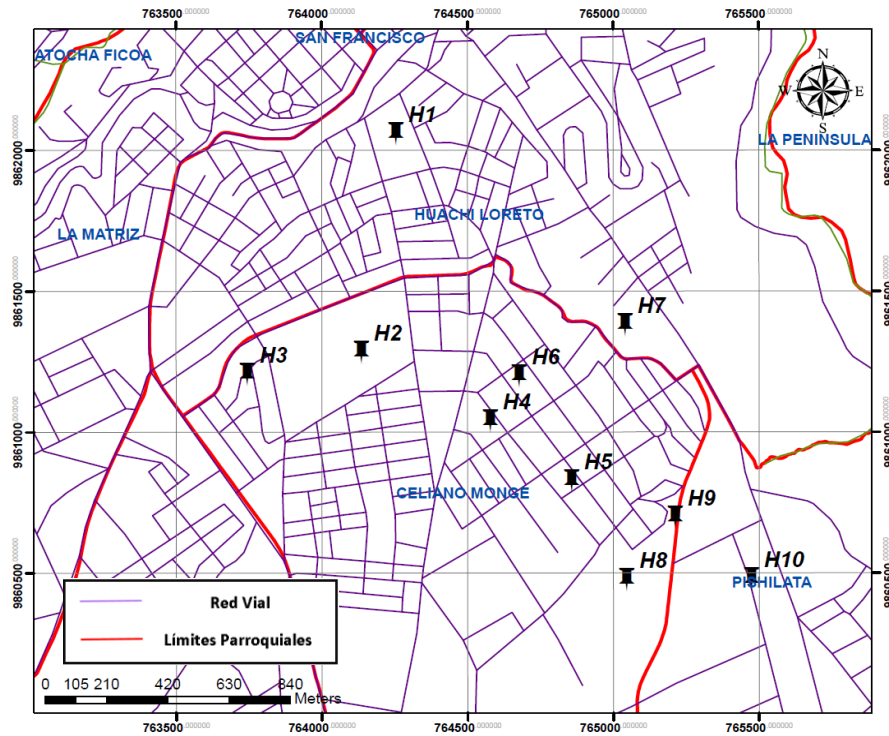
A continuación se muestran las coordenadas de los puntos determinados:

Tabla 13. Coordenadas de los puntos de estudio (UTM WGS84 17S)

Punto	Elevación	Norte (m)	Este (m)	Ubicación
H1	2637	9862057	764254	Av. Pichincha y Av. De los Incas
H2	2675	9861282	764135	Av. Rumiñahui y Av. Pichincha
H3	2666	9861204	763743	Av. Los Shirisy Quinga Lumba
H4	2706	9861039	764577	Cacique Álvarez y Psje. Borja
H5	2684	9860826	764856	José García entre Isidro Víteri y Los Héroes
H6	2690	9861198	764677	Eusebio Barrera, entre José García y José Mires
H7	2647	9861379	765040	Las 3 Carabelas y 27 de Febrero
H8	2706	9860475	765045	Cacique Álvarez y Francisco Navarrete
H9	2675	9860697	765211	Final calle Nepalí Sancho y Las 3 Carabelas
H10	2657	9860477	765473	Batalla de Pichincha entre Víctor Hugo y Morales

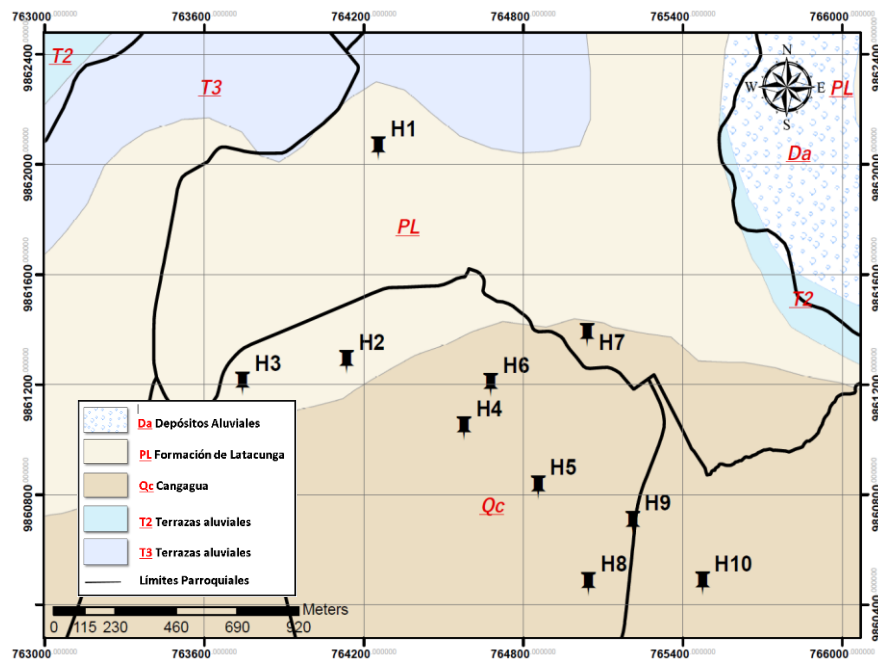
Elaborado por: Patricio David Mera Parra

Figura 18. Puntos de estudio sobre red vial



Elaborado por: Patricio David Mera Parra

Figura 19. Puntos de estudio sobre mapa geológico



Elaborado por: Patricio David Mera Parra



## 2.1. Materiales y equipos

A continuación en la Tabla 14 se muestra los materiales y equipos necesarios para la elaboración de cada uno de los ensayos considerados.

Tabla 14. Materiales y Equipo para cada Ensayo

<b>ENSAYOS DE CAMPO</b>			
<b>ENSAYOS</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>EQUIPOS</b>	<b>NORMA</b>
<b>Resistividad Eléctrica</b>	Muestra in situ	Resistivímetro de 4 electrodos DUOYI DY4300B	ASTM G57
<b>Pozo a Cielo Abierto</b>	Muestras in situ	Herramientas menores	AASHTO T 87-70
<b>Densidad de Campo (Método del Cono y Arena de Ottawa)</b>	Muestras in situ	Cono	AASHTO T 191 2014
		Cinzel	
		Cuchareta	
		Placa metálica	
		Balanza	
		Herramientas menores	
<b>ENSAYOS DE LABORATORIO</b>			
<b>Gravedad específica de sólidos</b>	50 gr de suelo que pasa tamiz # 40	Tamiz #40	AASHTO T 100 2015
		Mortero de porcelana	
		Pistillo de caucho	
		Picnómetro	
		Embudo	
		Termómetro	
		Recipiente metálico	
		Pipeta	
		Baño María	
<b>Granulometría</b>	Muestra cuarteada	Tamizadora	AASHTO T 88 2013
		Tamices #8 #10 #16 #30 #40 #50 #60 #100 #200	

		Brocha	
		Recipiente	
<b>Límite Líquido (Copa Casa Grande)</b>	150 gr de suelo que pasa tamiz # 40	Copa Casagrande	AASHTO T 89 2013
		Espátula	
		Acanalador	
		Recipientes de aluminio	
<b>Límite Plástico</b>	150 gr de suelo que pasa tamiz # 40	Placa de vidrio	AASHTO T 90 2016
		Fuente de mezclado	
		Calibrador pie de rey	
<b>Proctor Modificado Tipo B</b>	18 kg de suelo que pasa el tamiz # 4	Martillo de compactación	AASHTO T 180 2018
		Molde con collarín y base	
		Probeta graduada	
		Herramientas menores	
<b>California Bearing Ratio CBR</b>	18 kg de suelo que pasa el tamiz # 4	Máquina de compresión MULTISPEED 34-V1172	AASHTO T 193 2013

Elaborado por: Patricio David Mera Parra

### **Descripción del ensayo de resistividad eléctrica**

Con el objetivo de descartar valores erróneos se realizaron 3 mediciones manteniendo el punto central y rotando los electrodos de 0° a 60° y 120°. En el caso de existir variaciones grandes entre estas mediciones, se realizaron otras adicionales, para promediar los 3 valores más cercanos.

Para verificar esta penetración y disminuir la influencia de la materia orgánica en la medición, se levantó preliminarmente una capa de suelo de entre 15 y 20 cm.

Figura 20. Preparación del terreno para la medición de resistividades



Fuente: Patricio David Mera Parra

Una vez preparado el terreno se procede a colocar los electrodos y conectar los cables en el siguiente orden: E (verde) ES (negro) S (amarillo) H (rojo) como se ve en la Figura 21.

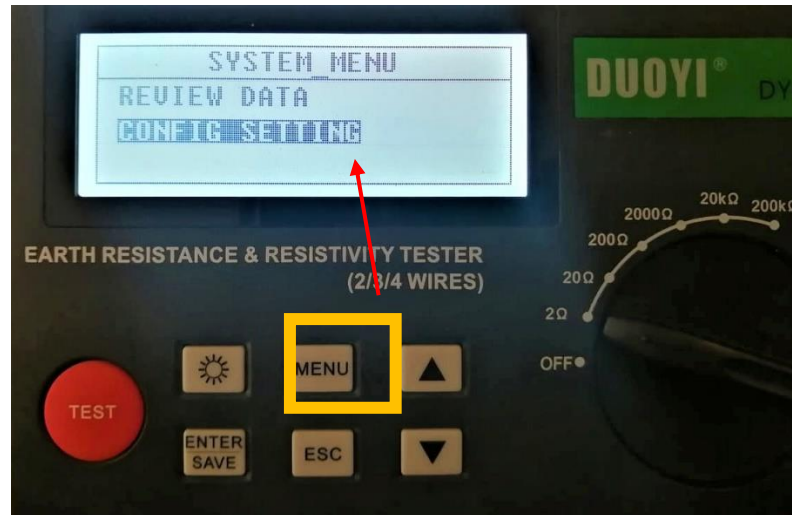
Figura 21. Conexión del cableado en el equipo



Fuente: Patricio David Mera Parra

Para la configuración del equipo es necesario ingresar a la opción “MENU” y posteriormente a “CONFIG SETTINGS”

Figura 22. Ingreso a la configuración del equipo

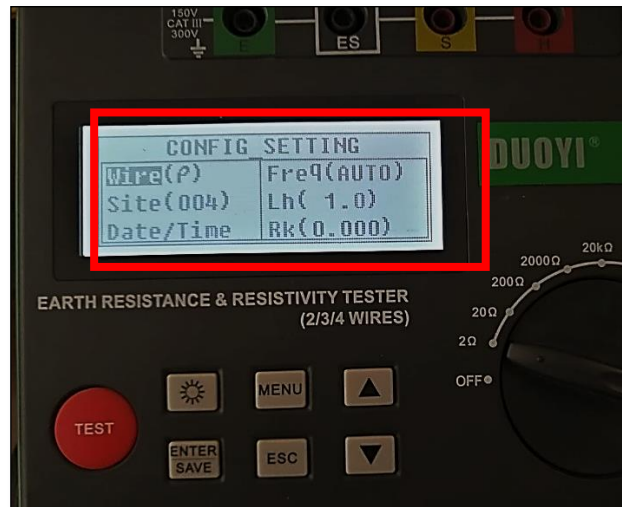


Fuente: Patricio David Mera Parra

Dentro del menú de configuración, podemos modificar:

- a) Wire. Corresponde al tipo de medición que vamos a realizar, para nuestro caso escogemos  $\rho$  wire (resistividad).
- b) Site. Se puede asignar un código al sitio para el almacenamiento de datos.
- c) Date/Time. Corresponde a la configuración de hora y tiempo.
- d) Freq. Frecuencia de medición (Se recomienda dejarlo en automático).
- e) Lh. Es la separación entre los electrodos, 1 m. en el caso del proyecto.
- f) Rk. Es el valor de resistencia residual de los electrodos (no aplica para mediciones de resistividad)

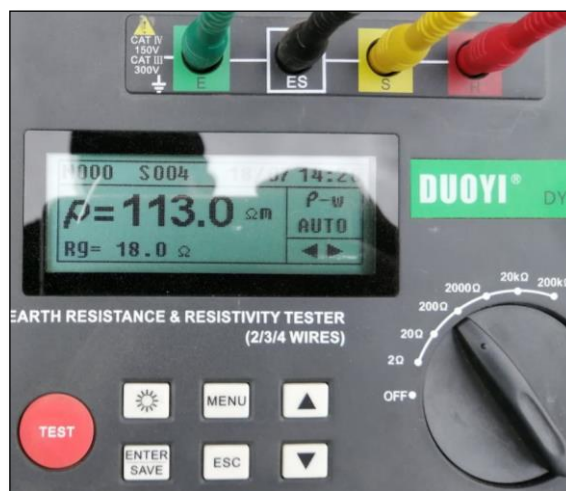
Figura 23. Valores de configuración del equipo



Fuente: Patricio David Mera Parra

Una vez configurado el equipo se debe seleccionar el rango de resistencia, donde para rangos menores la precisión es mayor y viceversa. Sin embargo en el caso de escogerse un rango menor al valor medido, el equipo no podrá mostrar los valores. Una vez escogido el rango se presiona el botón “TEST” y se visualizan los resultados.

Figura 24. Visualización de resultados



Fuente: Patricio David Mera Parra

## Ilustraciones de los ensayos de suelos

Tabla 15. Ilustraciones de los ensayos de suelos

Figura 25. Pozo a cielo abierto



Fuente: Patricio David Mera Parra

Figura 26. Densidad de Campo



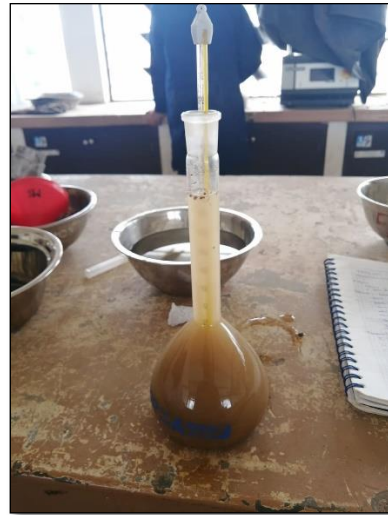
Fuente: Patricio David Mera Parra

Figura 27. Granulometría



Fuente: Patricio David Mera Parra

Figura 28. Gravedad Específica



Fuente: Patricio David Mera Parra



Figura 29. Muestra para Límite Líquido



Fuente: Patricio David Mera Parra

Figura 30. Límite Líquido



Fuente: Patricio David Mera Parra

Figura 31. Compactación Proctor tipo B



Fuente: Patricio David Mera Parra

Figura 32. CBR de Laboratorio



Fuente: Patricio David Mera Parra

Elaborado por: Patricio David Mera Parra

## 2.2.Métodos

### 2.2.1. Plan de recolección de datos

Para la recolección de datos se analizó los resultados concernientes a tipos de suelo de estudios efectuados en la ciudad de Ambato para verificar la presencia de suelos granulares, [37] una vez determinados estos puntos se realizó una inspección visual para confirmar si es posible realizar los ensayos requeridos y se elaboró una zonificación de la ciudad, correspondiendo a esta investigación la Zona 4 (Ver Anexo 1). La necesidad de elaborar una zonificación se da debido a que la presente investigación es parte de un Proyecto Macro al que pertenecen otras investigaciones con distintas zonas.

Tabla 16. Plan de Recolección de Datos

<b>PREGUNTAS BÁSICAS</b>	<b>EXPLICACIÓN</b>
<b>¿Para qué?</b>	Correlacionar la resistividad eléctrica con las propiedades índice y el CBR de los suelos granulares de la zona 4 de la ciudad de Ambato
<b>¿A quiénes?</b>	Estudiantes, docentes y comunidad de ingenieros civiles
<b>¿Sobre qué aspectos?</b>	Grado de correlación entre la resistividad eléctrica y las propiedades índice, así como el valor CBR de los suelos en estudio
<b>¿Quién?</b>	El autor
<b>¿Cuándo?</b>	En el periodo comprendido entre mayo 2019 – Octubre 2019
<b>¿Dónde?</b>	Ciudad de Ambato, parroquias: Huachi Lotero, Celiano Monge y Pishilata. (Zona 4)  Laboratorio de Ensayos de Materiales y Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



<b>¿Qué técnicas de recolección?</b>	<p>Normativa AASHTO, ASTM especificadas para cada ensayo de campo y laboratorio.</p> <p>Análisis de Regresión y Correlación de variables en la herramienta Excel</p>
--------------------------------------	--

Elaborado por: Patricio David Mera Parra

### **2.2.2. Plan de procesamiento y análisis de información**

El procesamiento y análisis de la información se hará en el siguiente orden:

- Ensayos de campo en base a las normas establecidas en la Tabla 13
  - Resistividad Eléctrica
  - Pozo a cielo abierto
  - Densidad de Campo
- Muestreo y transporte de suelos
- Ensayos de laboratorio en base a las normas establecidas en la Tabla 13
  - Gravedad específica de suelos menores al tamiz #4
  - Granulometría
  - Límite Plástico
  - Límite Líquido
  - Compactación por Proctor Modificado Tipo B (AASHTO)
  - Relación de Soporte California CBR
- Procesamiento de datos obtenidos de los ensayos
  - Cálculo de resultados
  - Elaboración de Gráficas
- Tabulación de resultados
  - Tabla general de propiedades de los suelos estudiados
- Análisis de regresión y correlación para dos y tres variables
  - Detección y análisis de valores atípicos
  - Uso de la herramienta Excel para regresiones de 2 variables

- Aplicación manual del método de los mínimos cuadrados para regresiones de tres variables (Lineal, Potencial, Exponencial, Logarítmica)
- Determinación del Coeficiente de Pearson para cada regresión
- Graficación de Diagramas de Dispersión y ecuaciones de regresión de dos variables
- Graficación de ábacos para regresiones de tres variables
  - Discusión de resultados
- Análisis de los coeficientes de Pearson y determinación de las variables que cumplen con un grado aceptable de correlación
  - Verificación de la Hipótesis
  - Elaboración de Conclusiones

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Análisis y discusión de los resultados

##### 3.1.1. Caracterización general de los suelos estudiados

A continuación se presentan los rangos de resultados obtenidos para cada tipo de ensayo:

Tabla 17. Rango de resultados por propiedad

<b>Rango de resultados por propiedad</b>			
<b>Propiedad</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rango</b>
Resistencia eléctrica	$\Omega$	Ohm.	8.5 - 40.1
Resistividad eléctrica	$\rho$	Ohm. m.	53.1 - 252.1
Porcentaje de arena	%arena	Porcentaje %	64.25 - 98.95
Porcentajes de finos	%pasa200	Porcentaje %	1.05 - 35.75
Diámetro efectivo	D10	mm	0.035 - 0.13
Diámetro equiparable	D30	mm	0.065 - 0.21
Diámetro dimensional	D60	mm	0.18 - 0.41
Coefficiente de curvatura	Cc	Adimensional	0.67 - 1.68
Coefficiente de uniformidad	Cu	Adimensional	2.2 - 7.8
Límite Líquido	LL	Porcentaje %	20.67% - 24.61%
Límite Plástico	LP	Porcentaje %	17.45% - 26.67%
Índice Plástico	IP	Porcentaje %	No Plástico - 5.3%
Clasificación	-	SUCS	SM, SP-SM, SC-SM
	-	AASHTO	A-2-4(0), A-3(0), A-4(0)
Gravedad Específica	Gs	Adimensional	2.4 - 2.74
Contenido de Humedad natural	w% nat	Porcentaje %	6.26 - 16.46
Densidad Húmeda en campo	$\gamma_{m \text{ in situ}}$	gr/cm <sup>3</sup>	1.44 - 1.86
Densidad Seca en campo	$\gamma_{d \text{ in situ}}$	gr/cm <sup>3</sup>	1.26 - 1.65
Relación de vacíos	e	Adimensional	0.5 - 0.88
Porosidad	n	Porcentaje %	33.42 - 47.41

Grado de Saturación del Agua	Gw	Porcentaje %	23 - 65
Grado de Saturación del Aire	Ga	Porcentaje %	35 - 77
Densidad máxima	$\gamma_{d \max}$	gr/cm <sup>3</sup>	1.66 – 1.76
Grado de compactación	Gc	Porcentaje %	75 - 97
Contenido de humedad óptimo	w%opt	Porcentaje %	14.7 – 18.7
CBR para 0.1 in. y el 95% de densidad seca máxima	CBR 0.1	Porcentaje %	8 - 36
CBR para 0.2 in. y el 95% de densidad seca máxima	CBR 0.2	Porcentaje %	11 - 42
CBR mayor	CBR may	Porcentaje %	11-42
Número de Golpes SPT	NSPT	-	28 - 61
Velocidad de onda de corte	VS <sub>30</sub>	(m/s)	276.6 - 422

**Elaborado por: Patricio David Mera Parra**

Tabla 18. Resultados obtenidos para cada muestra de suelo

Punto	Resistividad		GRANULOMETRÍA							
	Resistencia (Ω)	Resistividad (Ω.m)	% Grava	% Arena	% Finos	Diámetro Efectivo (D10)	Diámetro Equiparable (D30)	Diámetro Dimensional (D60)	Coficiente de curvatura (Cc)	Coficiente de Uniformidad (Cu)
H1	20.2	127.1	0	75.55	24.45	0.05	0.09	0.22	0.73	4.4
H2	16.9	106.7	0	64.25	35.75	0.035	0.065	0.18	0.67	5.14
H3	40.1	252.1	0	98.95	1.05	0.13	0.21	0.29	1.68	7.25
H4	12.4	77.9	0	76.63	23.37	0.058	0.09	0.19	1.16	2.2
H5	30.1	189.3	0	94.89	5.11	0.09	0.18	0.41	0.87	4.55
H6	8.5	53.1	0	91.67	8.33	0.08	0.12	0.26	1.08	3.25
H7	16.4	103.2	0	91.28	8.72	0.08	0.18	0.4	0.82	6.12
H8	28.4	178.6	0	91.68	8.32	0.088	0.19	0.35	1.01	3.97
H9	29.4	184.5	0	79.3	20.7	0.059	0.095	0.22	0.69	5
H10	27.4	171.9	0	84.34	15.66	0.05	0.18	0.39	1.66	7.8

Fuente: Patricio David Mera Parra

Tabla 18. Resultados obtenidos para cada muestra de suelo

Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	CLASIFICACIÓN		Gravedad Específica	Contenido de humedad natural W% nat	Densidad de Campo	
			SUCS	AASHTO			$\gamma_m$ in situ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ in situ (gr/cm <sup>3</sup> )
21.65	19.16	2.54	SM	A-2-4(0)	2.74	9.81	1.815	1.653
22.75	17.45	5.3	SC-SM	A-4(0)	2.61	14.26	1.704	1.491
23.19	19.29	3.9	SP-SM	A-2-4(0)	2.58	10.35	1.866	1.637
24.61	20.43	4.18	SC-SM	A-2-4(0)	2.69	16.46	1.856	1.593
24.07	19.19	4.88	SP-SM	A-2-4(0)	2.68	8.55	1.732	1.596
23.9	26.67		SP-SM	A-3(0)	2.4	13.85	1.441	1.265
20.67	19.27	1.39	SP-SM	A-2-4(0)	2.44	9.03	1.53	1.4
22.07	19.51	2.56	SP-SM	A-2-4(0)	2.44	7.34	1.742	1.623
21.38	19.36	2.02	SM	A-2-4(0)	2.69	6.26	1.645	1.548
22.75	21.7	1.05	SM	A-2-4(0)	2.61	12.16	1.797	1.603

Fuente: Patricio David Mera Parra

Tabla 18. Resultados obtenidos para cada muestra de suelo

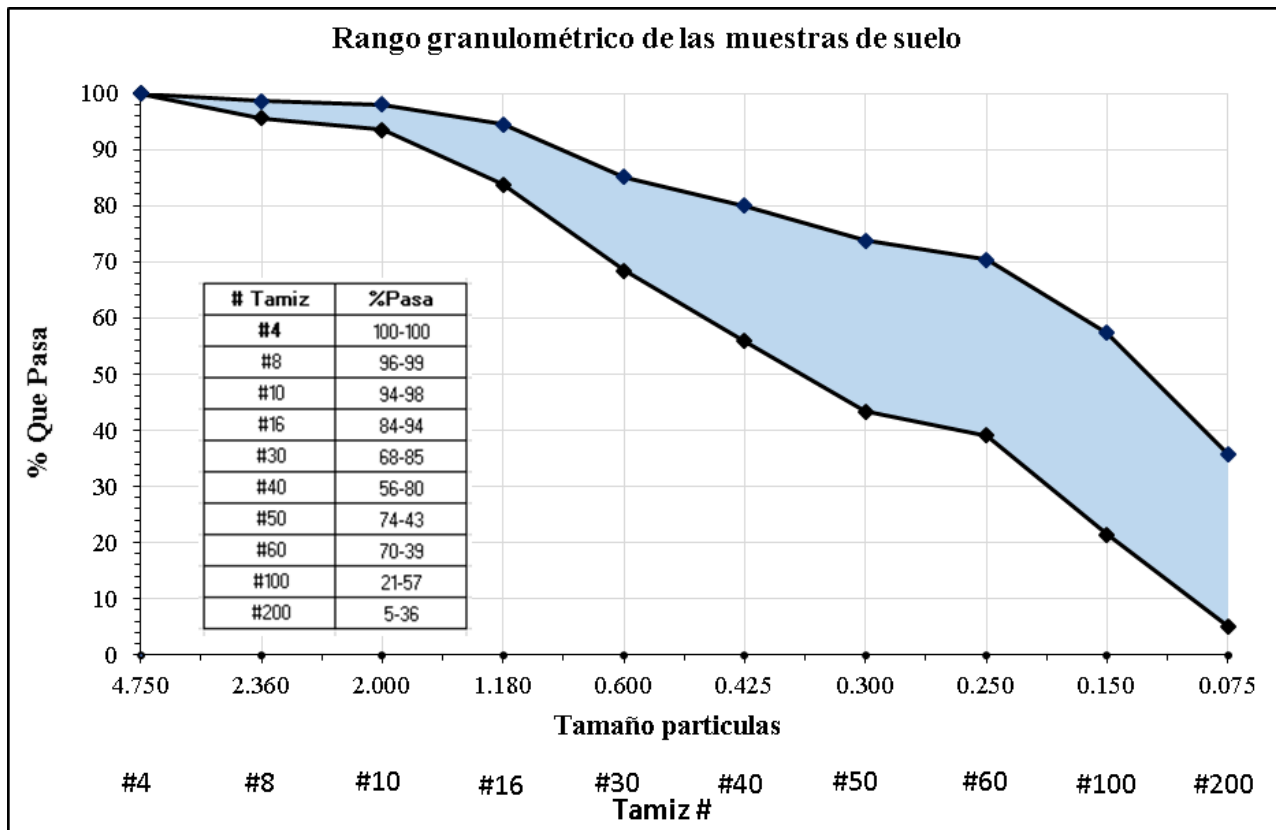
Relación de vacíos (e)	Porosidad (n%)	Grado de Saturación del Agua (Gw%)	Grado de Saturación del Aire (Ga%)	Compactación			CBR			SPT	
				$\gamma_d$ max (gr/cm <sup>3</sup> )	Gc%	W% opt	0.1"	0.2"	Mayor	NSPT	VS30 (m/s)
0.66	39.8	42	58	1.76	93.9%	14.7	13	17	17	61	422
0.75	42.95	50	50	1.726	86.4%	17.1	8	11	11	48	394
0.59	37.04	49	51	1.684	97.2%	16.2	18	27	27	52	420
0.69	40.86	65	35	1.734	91.9%	15.3	12	13	13	28	276.6
0.68	40.54	33	67	1.717	93.0%	18.3	12	13	13	28	278.3
0.9	47.41	37	63	1.694	74.7%	17.7	15	23	23	35	287.1
0.73	42	30	70	1.668	83.9%	17.8	21	23	23	32	353.3
0.5	33.42	35	65	1.677	96.8%	17.6	23	26	26	28	357.2
0.74	42.57	23	77	1.692	91.5%	15.7	36	42	42	29	346.6
0.64	38.89	51	49	1.702	94.2%	18.7	18	27	27	30	357.6

Fuente: Patricio David Mera Parra

NOTA: Los valores de NSPT Y VS<sub>30</sub> fueron tomados de investigaciones anteriores [37] realizadas en los mismos puntos de muestreo.

En la Figura 33 se muestra, para las 10 muestras ensayadas, el rango de porcentajes que pasa cada tamiz. Los análisis granulométricos se muestran en el Anexo C.

Figura 33. Rango granulométrico de las muestras

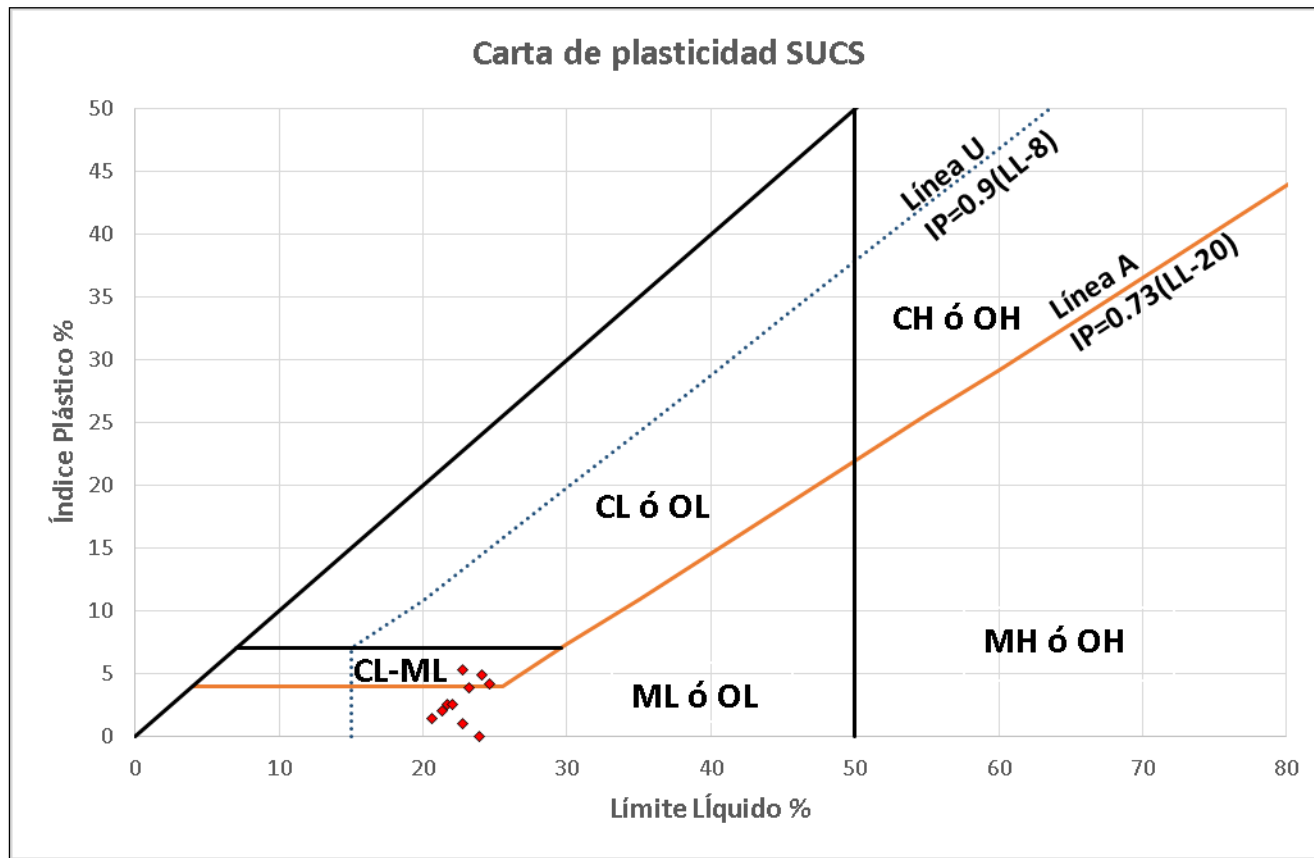


Elaborado por: Patricio David Mera Parra



En la Figura 33 se muestra, para las 10 muestras ensayadas, su ubicación en la Carta de Plasticidad de la SUCS, el cálculo de los valores de Límite Líquido e Índice Plástico se encuentran en el Anexo C.

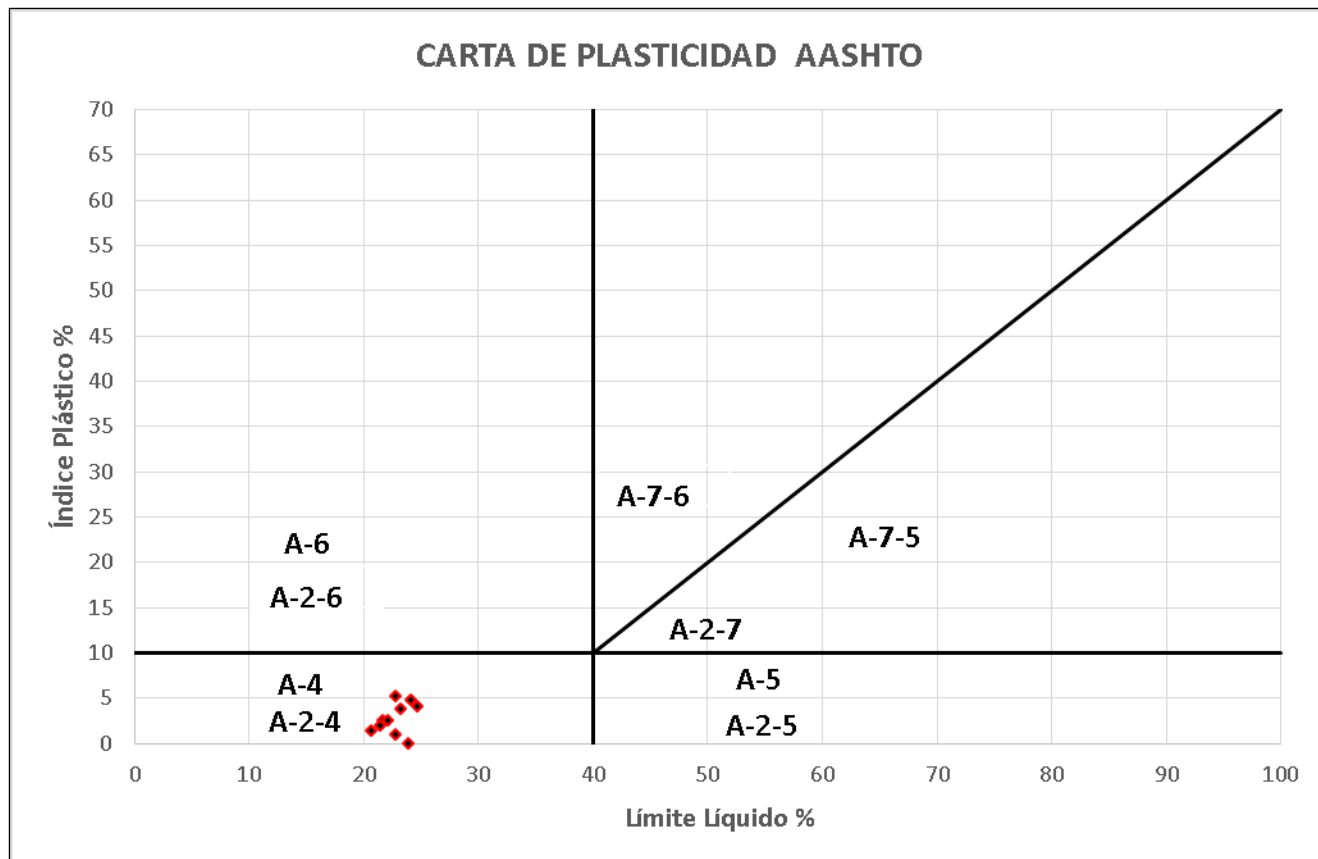
Figura 34. Ubicación de las muestras en la carta de plasticidad de la SUCS



Elaborado por: Patricio David Mera Parra

En la Figura 33 se muestra, para las 10 muestras ensayadas, su ubicación en la Carta de Plasticidad de la AASHTO, el cálculo de los valores de Límite Líquido e Índice Plástico se encuentran en el Anexo C.

Figura 35. Ubicación de las muestras en la carta de Plasticidad de la AASHTO



Elaborado por: Patricio David Mera Parra

### 3.1.2. Correlaciones

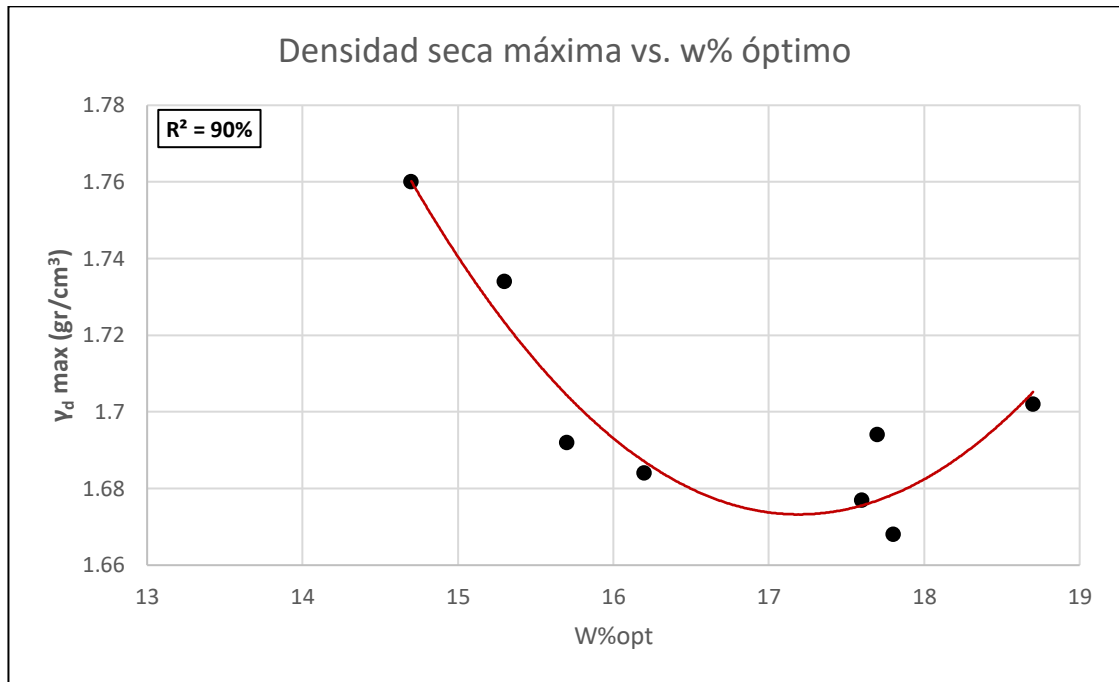
Tabla 19. Ecuaciones de correlación entre 2 y 3 variables

No.	Ecuación	Tipo de regresión	Coefficiente Correlación (r <sup>2</sup> )	No. Muestras	Figura
<b>Correlaciones entre Propiedades Índice</b>					
1.	$\gamma_{d\ max} = 0.014 * w\%opt^2 - 0.4817 * w\%opt + 5.814$	Polinómica simple	90%	8	36
2.	$\gamma_{d\ max} = 0.638 + 0.848 * \log(LL) - 0.004 * LP$	Logarítmica múltiple	82%	8	37
3.	$G_s = 0.0012 * (\#pasa200)^2 - 0.0213 * (\#pasa200) + 2.559$	Polinómica simple	84%	8	38
4.	$G_s = 1.271 + 0.09 * \log(\#pasa200) + 0.807 * \gamma_d$	Logarítmica múltiple	88%	9	39
5.	$\gamma_{d\ max} = 1.432 - 0.008 * w\%opt + 0.161 * G_s$	Lineal múltiple	88%	8	40
<b>Correlaciones Resistividad Eléctrica vs. Propiedades Índice y Mecánicas</b>					
6.	$w\%nat = \frac{20.933}{e^{0.006 * \rho}}$	Exponencial simple	73%	8	41
7.	$LL = 27.319 - 5.959 * \log(\rho) + 0.396 * LP$	Logarítmica múltiple	70%	8	42
8.	$G_s = 2.212 + 0.001 * \rho + 0.015 * (pasa\#200)$	Lineal múltiple	85%	8	43
9.	$\gamma_{d\ in\ situ} = 0.085 + 0.635 * \log(\rho) + 0.007 * w\%nat$	Logarítmica múltiple	94%	8	44
10.	$G_w = 0.0033 * \rho^2 - 1.1341 * \rho + 128.481$	Polinómica simple	66%	8	45
11.	$W\%opt = -31.065 + 19.209 * \log(\rho) + 0.61 * w\%nat$	Logarítmica múltiple	83%	8	46
12.	$\gamma_{d\ max} = 2.097 - 0.0002 * \rho - 0.022 * w\%opt$	Lineal múltiple	76%	8	47
13.	$G_w = -85.996 + 36.452 * \log(\rho) + 4.649 * W\%nat$	Logarítmica múltiple	90%	10	48
14.	$D_{10} = 0.000005 * \rho^2 - 0.0011 * \rho + 0.1231$	Polinómica simple	80%	8	49
15.	$NSPT = 0.0017 * \rho^2 - 0.4558 * \rho + 55.256$	Polinómica simple	89%	8	50
16.	$VS_{30} = -0.0436 * \rho^2 + 11.9121 * \rho - 391.964$	Polinómica simple	89%	8	51
17.	$NSPT = 200.339 - 1.126 * \log(\rho) - 9.193 * W\%opt$	Logarítmica múltiple	86%	8	52
18.	$G_c = 23.248 + 33.3 * \log(\rho) - 0.205 * LP$	Logarítmica múltiple	89%	8	53
19.	$W\%opt = 20.99 - 0.00032 * \rho - 0.094 * NSPT$	Lineal múltiple	86%	8	54
20.	$CBR_{may} = 0.0035 * \rho^2 - 0.7648 * \rho + 56.233$	Polinómica simple	71%	8	55
<b>Correlaciones CBR mayor vs. Propiedades Índice</b>					
21.	$CBR_{may} = \frac{623.228}{\gamma_{d\ in\ situ}^{1.7725} * W\%nat^{1.1218}}$	Potencial múltiple	70%	8	56

22.	$CBR_{may} = 18.938 + 57.017 * \gamma_{d \text{ in situ}} - 4.982 * w\%_{opt}$	Linear múltiple	70%	8	57
23.	$CBR_{may} = \frac{3711.01}{e^{0.234*LL} * e^{0.029*(pasa\#200)}}$	Exponencial múltiple	67%	8	58
24.	$CBR_{may} = \frac{102.201}{e^{0.2121*IP} * e^{0.0453*LL}}$	Exponencial múltiple	70%	8	59

Elaborado por: Patricio David Mera Parra

Figura 36. Densidad seca máxima vs. w% óptimo

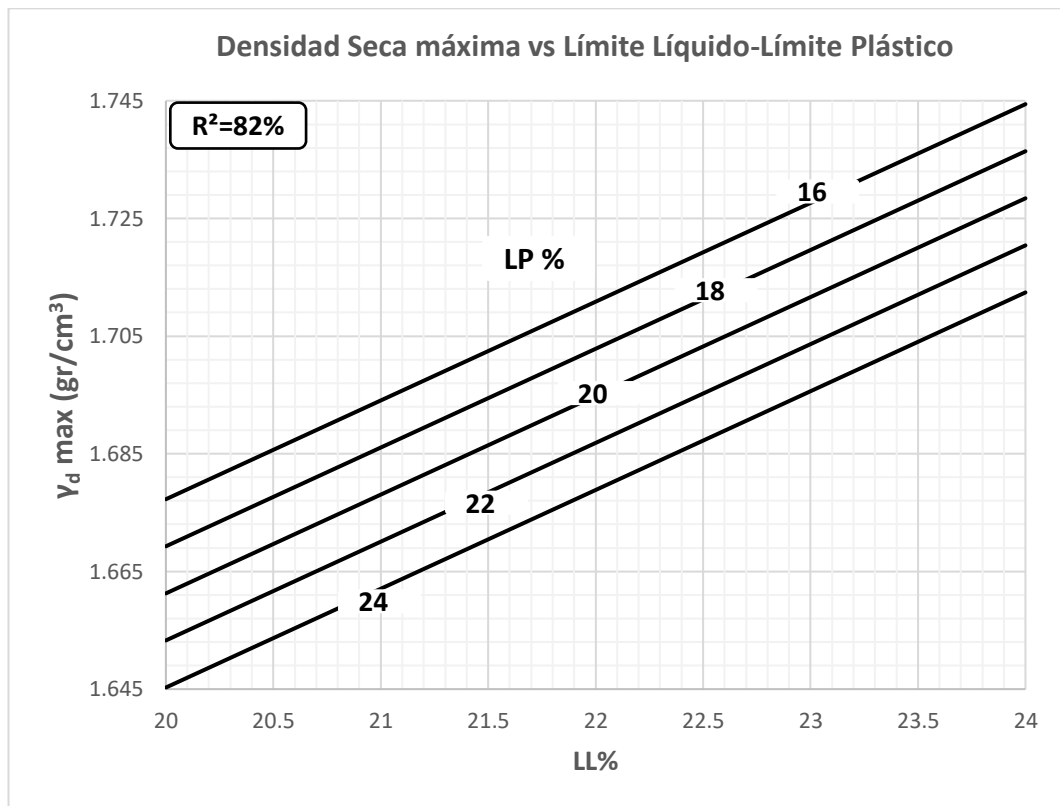


Elaborado por: Patricio David Mera Parra

#### Análisis y Discusión:

El análisis de regresión sugiere un ajuste polinómico con ecuación:  $\gamma_{dmax} = 0.014 * w\%_{opt}^2 - 0.4817 * w\%_{opt} + 5.814$  y coeficiente de correlación  $R^2 = 90\%$  (muy alto) para 8 muestras. Los valores obtenidos de Densidad Máxima y Contenido de Humedad Óptima están dentro de los rangos esperados para suelos arenosos. De forma general se puede observar que para la misma energía de compactación los suelos con mayor contenido de humedad alcanzan menores densidades máximas, este comportamiento obtiene su explicación en la granulometría de las muestras dado que arenas mal graduadas alcanzan densidades secas más bajas con contenidos de humedad más altos como se describe en [38]. Suelos Granulares mal graduados tendrán por lo tanto mayor volumen de vacíos lo que permitirá una mayor absorción de agua sin incrementar su densidad seca máxima.

Figura 37. Densidad Seca máxima vs Límite Líquido-Límite Plástico

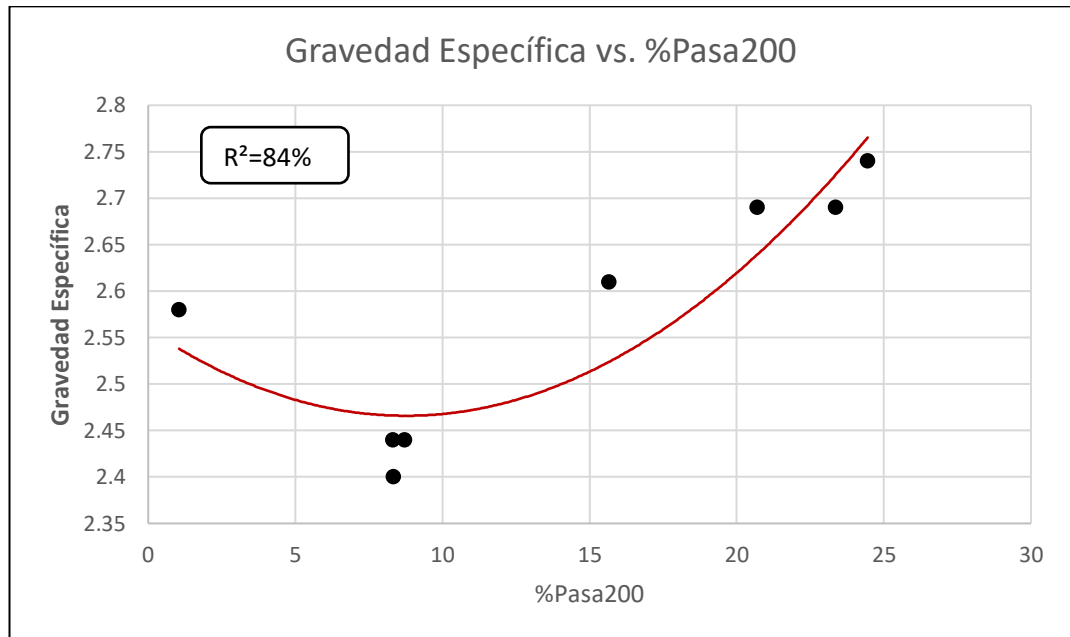


Elaborado por: Patricio David Mera Parra

### Análisis y Discusión:

El análisis estadístico sugiere una regresión de tipo Logarítmica de ecuación  $\gamma_{dmax} = 0.638 + 0.848 * \log(LL) - 0.004 * LP$  y coeficiente de correlación  $R^2 = 82\%$  (alta) para muestras 8. Los valores de plasticidad obtenidos para los suelos son relativamente bajos, sin embargo son valores esperados para el tipo de suelo estudiado. La plasticidad es una propiedad cuya relación con la compresibilidad del suelo es ampliamente conocida, dado que la deformación permite expulsar de mejor manera el aire y agua incluidos en la masa del suelo, aumentando así la densidad por lo que a mayor plasticidad el suelo es más compresible. Esto se puede ver reflejado en el ábaco propuesto en la Figura 35 donde al ir aumentando el Límite Líquido aumenta también la densidad máxima para un mismo Límite Plástico. Por otro lado para un mismo Límite Líquido la variación en Límite Plástico implica que para un mayor Índice Plástico la compresibilidad también aumenta, lo cual como ya se expuso, es ampliamente aceptado en la literatura ingenieril.

Figura 38. Gravedad Específica vs. %Pasa200

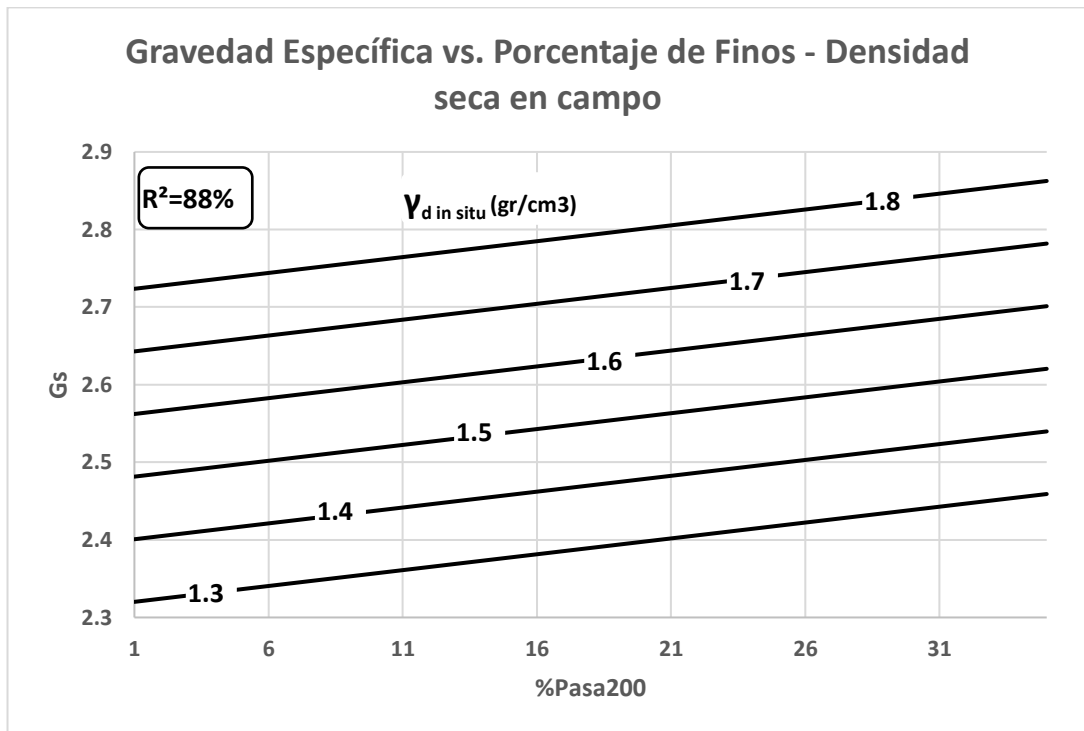


Elaborado por: Patricio David Mera Parra

#### Análisis y Discusión:

La correlación propuesta presenta una ecuación de tipo polinómica  $G_s = 0.0012 * (\#pasa200)^2 - 0.0213 * (\#pasa200) + 2.559$  con un coeficiente de correlación de  $R^2= 84\%$  (alta) para 8 muestras. El comportamiento de la curva se puede explicar en base al hecho de que los suelos finos tienden a presentar gravedades específicas mayores que aquellos de mayor diámetro, por lo que un suelo arenoso (como los investigados) aumentará su gravedad específica a medida que aumente el aporte de su fracción fina, en este caso los limos. Esta variación entre suelos gruesos y finos se da porque mientras más grandes sean las partículas de suelo, estas van a contener un mayor porcentaje de poros impermeables de donde no se pueda eliminar el aire atrapado, a través de los métodos comunes de desaireación utilizados en los ensayos.

Figura 39. Gravedad Específica vs. Porcentaje de Finos - Densidad seca en campo



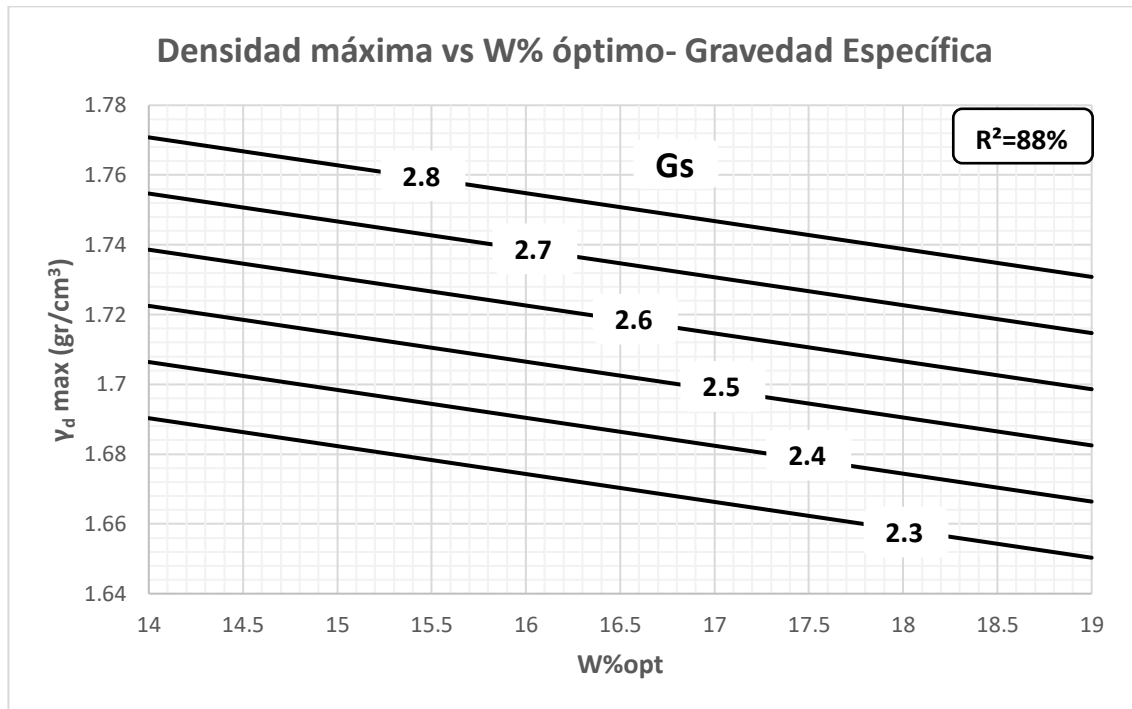
Elaborado por: Patricio David Mera Parra

### Análisis y Discusión:

La presente correlación cuenta con un coeficiente  $R^2= 88\%$  para 9 muestras, muestra una regresión de tipo logarítmica múltiple descrita por la siguiente ecuación:  $G_s = 1.271 + 0.09 * \log(\#pasa200) + 0.807 * \gamma_d$ . Como se explicó en la Correlación No. 3, suelos finos cuentan con mayores gravedades específicas por lo que al ir aumentando el porcentaje de suelo que pasa el tamiz No. 200 también irá aumentando el aporte que el material fino haga al cómputo de la Gravedad Específica. Por otro lado, podemos observar como para un mismo porcentaje de finos si aumentamos la densidad seca en campo, la gravedad específica también aumenta, esto puede deberse a que el mientras más denso es el material posiblemente tenga menos porosidad lo que se traducirá en partículas más densas una vez se haya completado la desaireación.



Figura 40. Densidad máxima vs W% óptimo- Gravedad Específica

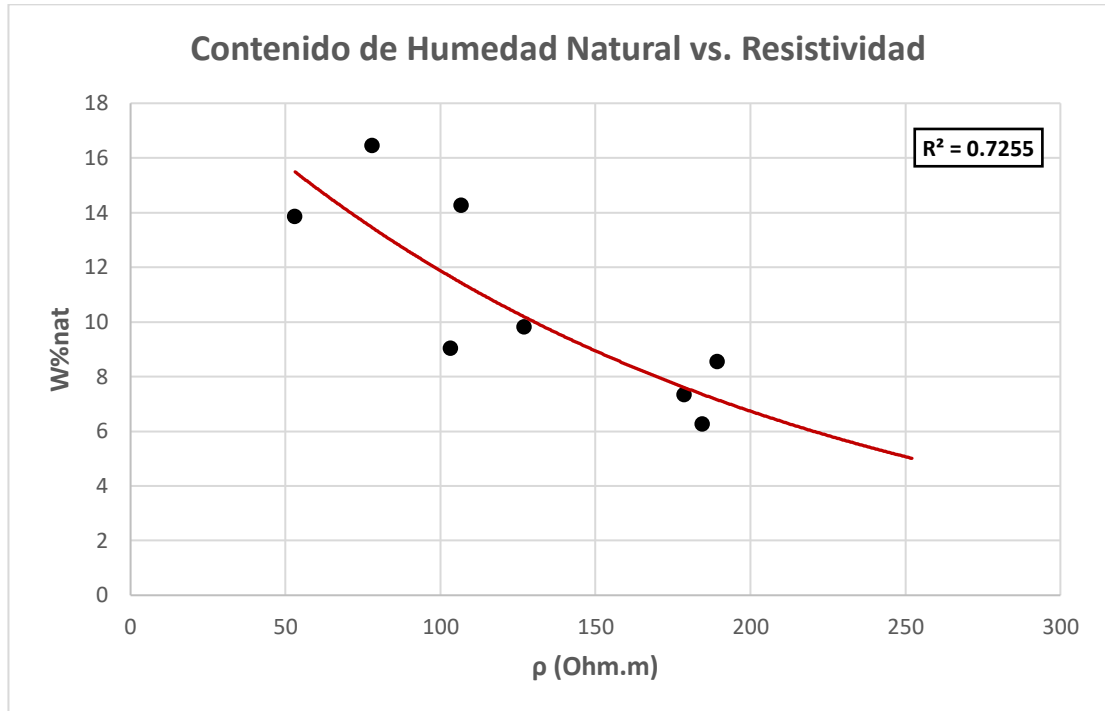


Elaborado por: Patricio David Mera Parra

### Análisis y Discusión:

El presente ábaco muestra una regresión de tipo lineal múltiple con ecuación  $\gamma_{dmax} = 1.432 - 0.008 * w\%_{opt} + 0.161 * Gs$  y coeficiente de correlación  $R^2=88\%$  (alta). Como se analizó en la Correlación No. 1, el contenido de humedad óptimo de un suelo va a depender en gran parte del volumen de vacíos presente en el suelo, de forma que a mayor volumen de vacíos será mayor el contenido de humedad óptimo requerido y menor la densidad seca máxima alcanzada. De la misma manera, en la Correlación No. 3 se discutió la influencia de poros impermeables en la gravedad específica del suelo, teniendo mayores gravedades específicas los suelos que tienen menores porosidades. De estos dos análisis podemos deducir y verificar el comportamiento del ábaco propuesto en la Figura 38, donde la combinación que entrega valores más altos de Densidad Seca Máxima (DSM) es precisamente para W%opt más bajo y Gs más alto. En contraste, el valor más bajo de DSM se puede encontrar para un W%opt alto y Gs más bajo.

Figura 41. Contenido de Humedad Natural vs. Resistividad

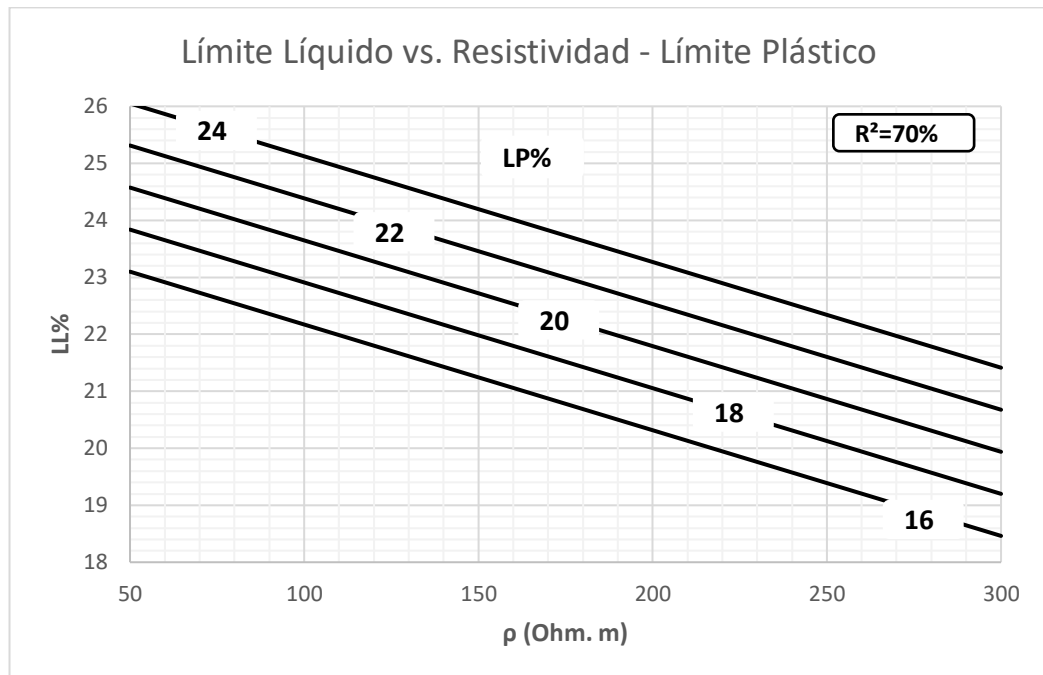


Elaborado por: Patricio David Mera Parra

#### Análisis y Discusión:

La gráfica muestra una relación no lineal entre el contenido de humedad natural y el valor de resistividad en campo, la regresión obtenida es de tipo exponencial con ecuación  $w\%nat = \frac{20.933}{e^{0.006*\rho}}$  y un coeficiente de correlación  $R^2=73\%$  para 8 muestras. La relación muestra que para un mayor contenido de humedad la resistividad decrece rápidamente, lo que es análogo a lo descrito en investigaciones previas [1], [2], [4], [39]. Esto se debe a que un mayor grado de saturación permite la conducción eléctrica a través del agua cargada de iones, presente en el suelo. Este contenido de humedad incluye tanto el agua gravitacional como capilar; cabe mencionar, que en suelos gruesos el contenido de humedad es el principal factor que interviene en la resistividad eléctrica, dado que el suelo como material es intrínsecamente un aislante; a diferencia de ciertos suelos finos que por su composición química son capaces de conducir por si mismos la electricidad, esto se puede ver reflejado en la Tabla 1.

Figura 42. Límite Líquido vs. Resistividad - Límite Plástico

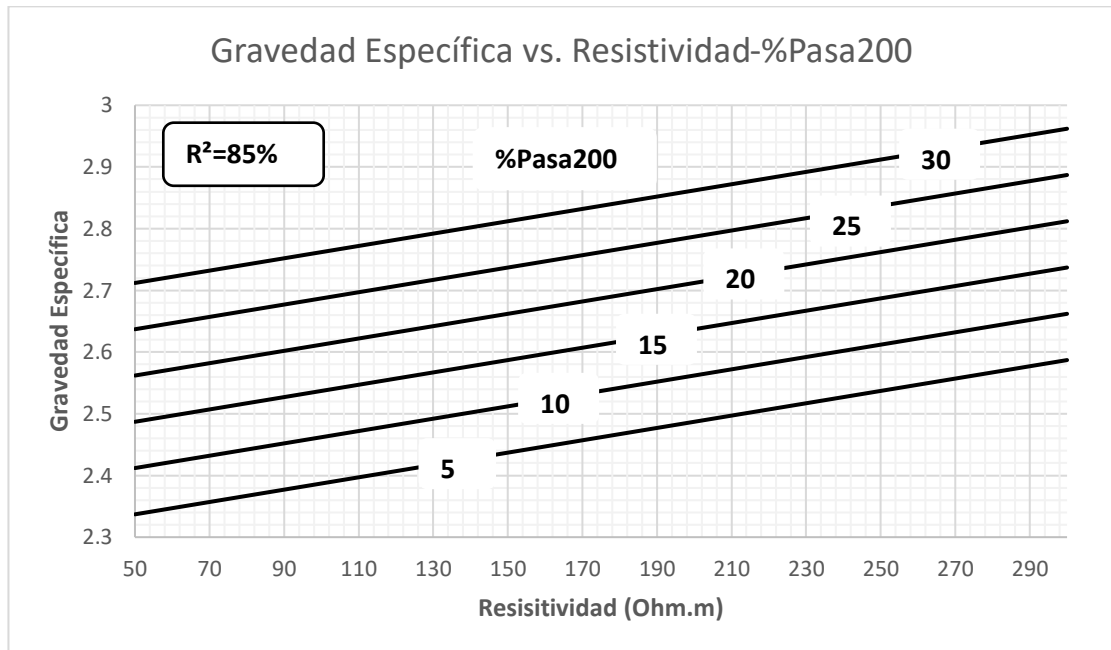


Elaborado por: Patricio David Mera Parra

#### Análisis y Discusión:

El análisis estadístico nos otorga un ajuste de tipo lineal  $LL = 10.072 + 0.013 * \rho + 0.489 * LP$  con un coeficiente  $R^2=89\%$  considerado alto. Para comprender el comportamiento del ábaco presentado hay que empezar por establecer la influencia que tiene la plasticidad en la transmisión de electrones. Como se presentó en la Tabla 1, las suelos finos tienden a presentar resistividades relativamente bajas, comparadas con las arenas y gravas; esto se debe a que por su composición química, estos suelos tienen una mayor capacidad de intercambio catiónico [40] es decir, que tienen la capacidad de retener y liberar iones positivos. Es por esto que una mayor presencia de finos en el suelo va verse reflejado en una reducción de la resistividad eléctrica. En el caso de la Figura 40 podemos observar como los valores de resistividad más bajos para un mismo límite plástico, implican límites líquidos más altos y por lo tanto tienen mayor plasticidad, lo que coincide con el comportamiento esperado.

Figura 43. Gravedad Específica vs. Resistividad-%Pasa200

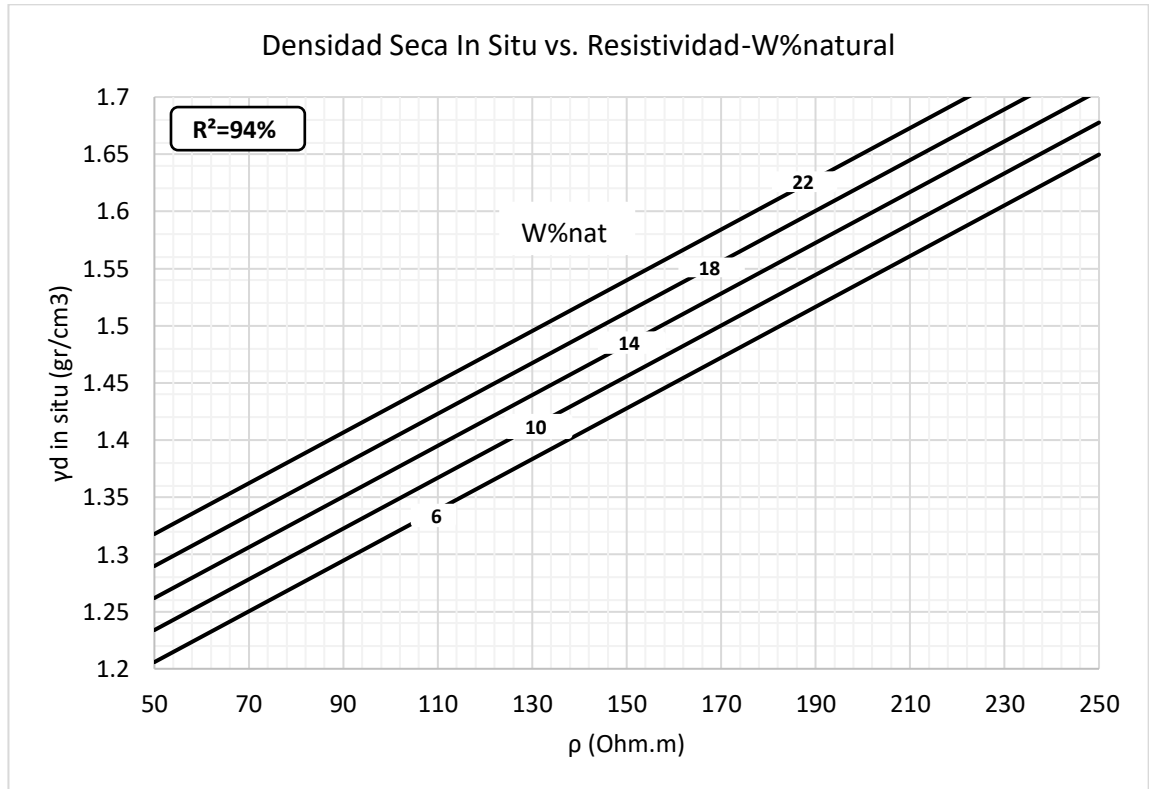


Elaborado por: Patricio David Mera Parra

#### Análisis y Discusión:

El ajuste de los datos presenta un coeficiente de correlación de  $R^2=85\%$  para una ecuación lineal múltiple  $G_s=2.212+0.001*\rho+0.015*(\text{pasa}\#200)$ . Como se analizó en la Correlación 3, la gravedad específica incrementará su valor conforme se tenga un mayor porcentaje de finos; este comportamiento queda explicado por la reducción de porosidades conforme se reduce el tamaño de las partículas. Esta reducción en el volumen de vacíos presentes en el suelo influye de forma directa en su resistividad dado que se reduce la capacidad del suelo de albergar agua en sus poros y por lo tanto la resistividad aumenta. Es así, como valores bajos de resistividad y porcentaje de finos se traducen en valores bajos de Gravedad Específica; en contraste, valores altos de resistividad y porcentaje de finos se ven reflejados en Gravedades Específicas altas. Los valores propuestos en la gráfica para porcentaje de finos, consideran los valores máximos y mínimos encontrados en las muestras. Suelos con mayor porcentaje de finos, como arcillas, posiblemente presenten comportamientos distintos dado que las arcillas tienen resistividades bajas, por lo que este ábaco deberá ser válido para suelos similares, es decir, arenas limosas.

Figura 44. Densidad Seca In Situ vs. Resistividad-W% natural

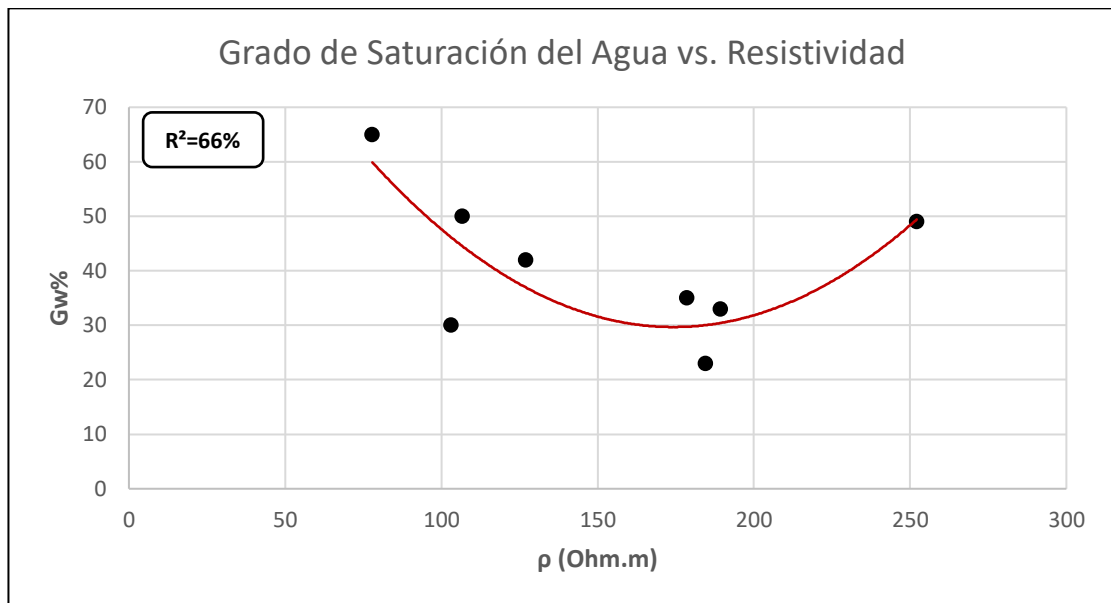


Elaborado por: Patricio David Mera Parra

### Análisis y Discusión:

La presente correlación muestra un coeficiente  $R^2= 94\%$  lo cual se considera como muy alta, el tipo de ajuste obtenido es una ecuación logarítmica  $\gamma d = 0.085 + 0.635 * \log(\rho) + 0.007 * w\%nat$ . De la ecuación podemos deducir que el ajuste minimiza la influencia del contenido de humedad, sin embargo de la gráfica se puede explicar que para un mismo contenido de humedad si incrementamos la resistividad aumenta también la densidad seca in situ, esto significa que el suelo tiene menos poros por los cuales transmitir electrones incrementando la resistividad independientemente del contenido de humedad. De la misma manera, valores más altos de contenido de humedad para una misma resistividad, implican que a pesar de la influencia del agua existe otro factor que influye en la resistividad, siendo en este caso la reducción de vacíos y consiguiente aumento en la densidad seca.

Figura 45. Grado de Saturación del Agua vs. Resistividad

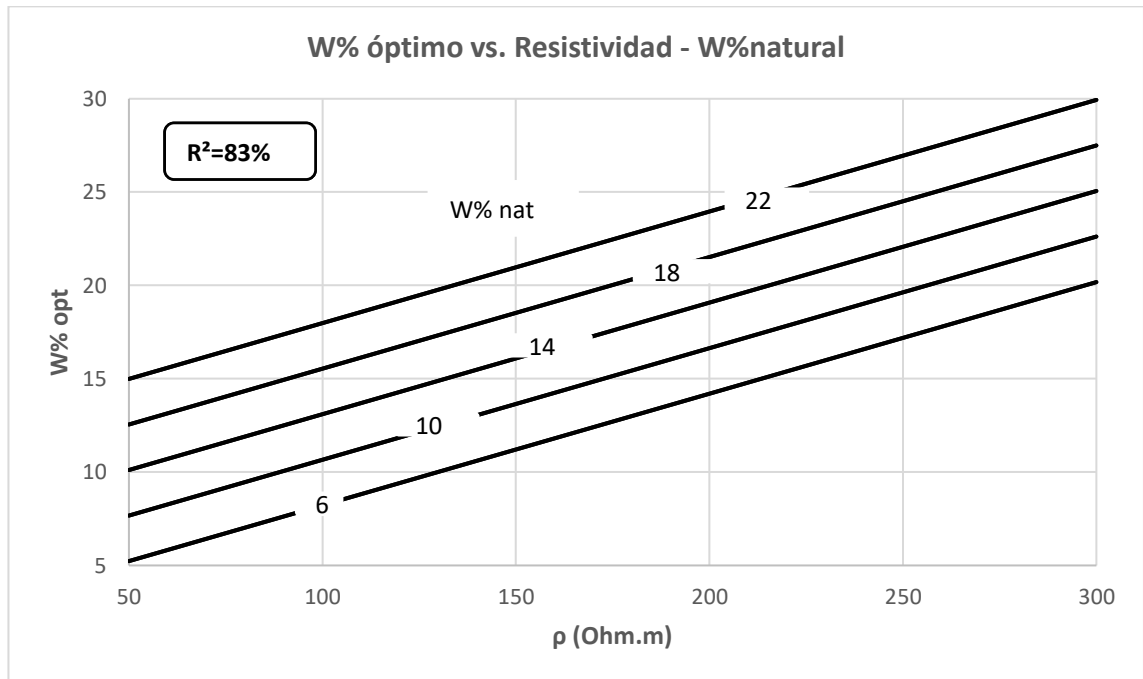


Elaborado por: Patricio David Mera Parra

#### **Análisis y Discusión:**

El grado de saturación del agua es un factor de importancia en la medición de la resistividad eléctrica, debido a que una mayor presencia de agua en los vacíos del suelo, permite la transmisión de electrones gracias a las sales presentes en el agua. La ecuación planteada es de tipo polinomial  $Gw = 0.0033 * \rho^2 - 1.1341 * \rho + 128.481$  y tiene un coeficiente de ajuste  $R^2 = 66\%$  para 8 muestras. En la gráfica se puede observar como la resistividad aumenta a medida que el grado de saturación de agua disminuye; sin embargo, se puede observar un valor atípico que contrasta el comportamiento descrito. Este valor inusualmente alto de resistividad podría quedar explicado analizando el resto de factores que influyen en su medición, sin embargo, a excepción del dato descrito se puede decir que el comportamiento de los valores es el esperado.

Figura 46. W% óptimo vs. Resistividad - W%natural



Elaborado por: Patricio David Mera Parra

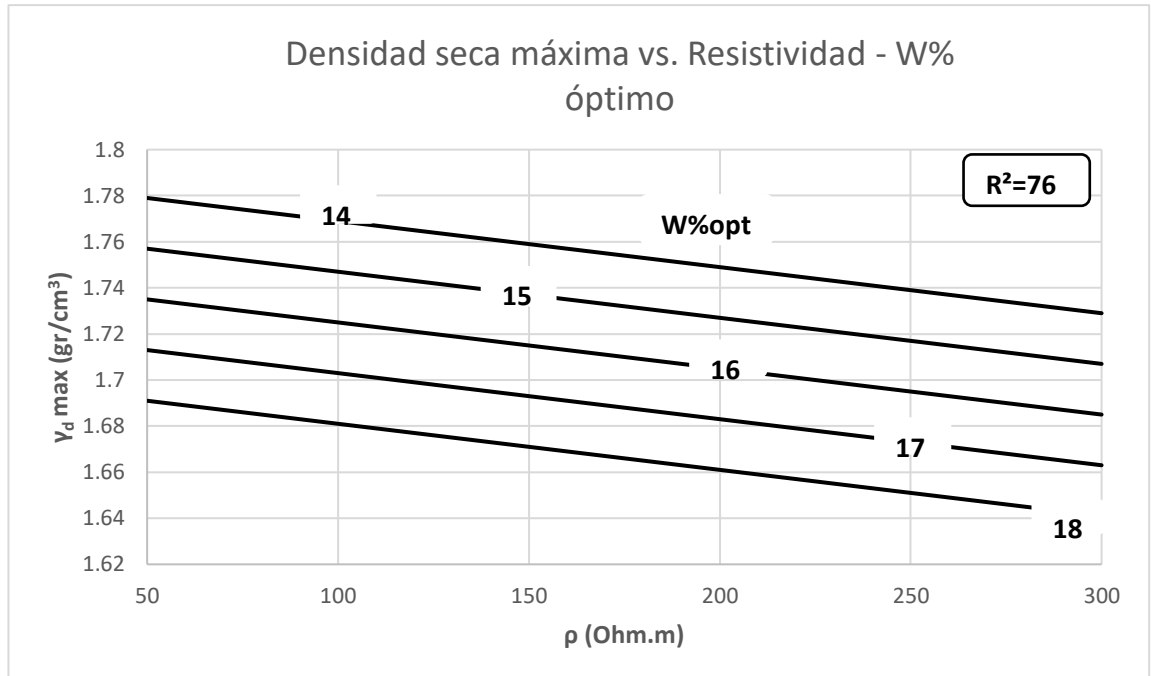
#### Análisis y Discusión:

El ábaco propuesto representa un ajuste de tipo logarítmico y ecuación:  $W\%opt = -31.065 + 19.209 * \log(\rho) + 0.61 * w\%nat$  con un coeficiente de correlación  $R^2=83\%$ . La concepción del contenido de humedad óptimo es encontrar la cantidad de agua necesaria para permitir una máxima lubricación entre partículas del suelo que facilite el reacomodo sin desplazar material en el proceso, es por esto que suelos con mayor cantidad de vacíos presentan mayores contenidos de humedad óptimos. Considerando esta premisa, se deberían encontrar resistividades más altas para los suelos que requieran mayor contenido de humedad para lograr su reacomodo; esto es precisamente lo que se muestra en la figura.

El contenido de humedad natural se incluye para abarcar el efecto que este tiene en la medición de la resistividad en campo, como se mostró en la Correlación No. 6. Sin embargo el ábaco permite simultáneamente, al menos teóricamente, suelos con valores altos de resistividad y de contenido de humedad natural, aunque esto en la práctica resultaría poco probable; sin embargo, implicaría la presencia un suelo que a pesar de su contenido de humedad alto no ha llegado a saturar la mayoría de sus vacíos

y por lo tanto requieren también de altos contenidos de humedad óptimos para su reacomodo y compactación.

Figura 47. Densidad seca máxima vs. Resistividad - W%



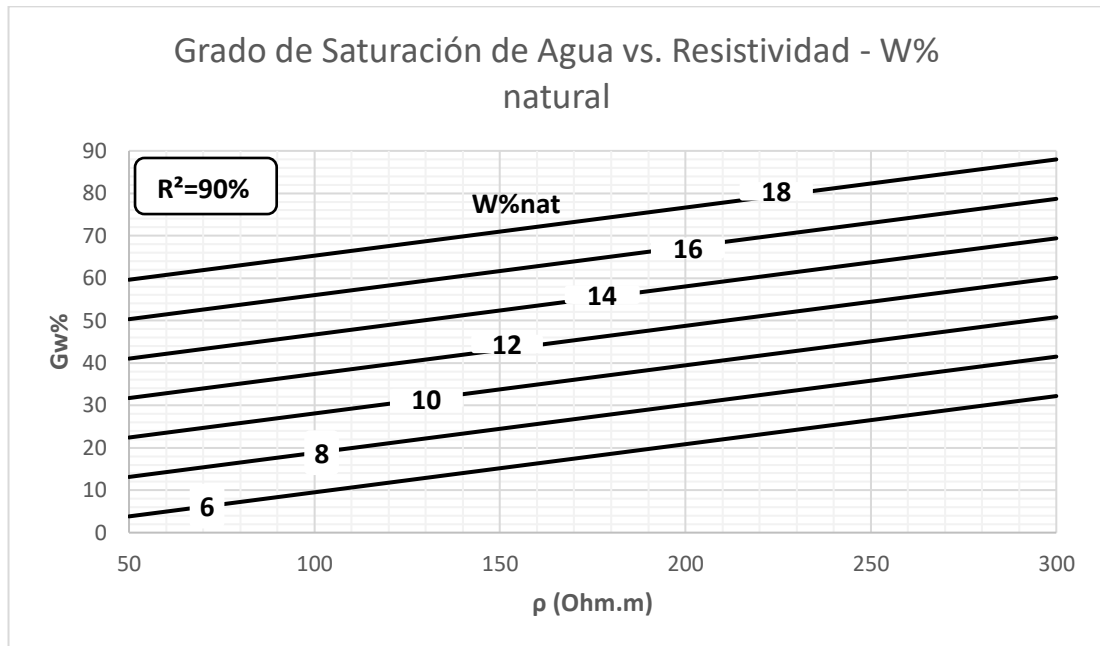
Elaborado por: Patricio David Mera Parra

#### Análisis y Discusión:

La presente correlación presenta un coeficiente  $R^2=76\%$  para 8 muestras y la siguiente ecuación lineal:  $\gamma_{dmax} = 2.097 - 0.0002 * \rho - 0.022 * w\%opt$ . Del ábaco presentado en la Figura 45 podemos deducir que los valores más altos de densidad seca máxima están asociados a contenidos de humedad óptimos más bajos, lo cual coincide con la Correlación No. 5. En el caso de la resistividad podemos observar que para un mismo valor de  $\rho$ , una reducción en el contenido de humedad óptimo implica un aumento de la densidad seca máxima. Esto se da debido a que si  $W\%opt$  es menor, consecuentemente habrá una menor cantidad de poros presentes en el suelo lo que se traduce en una mayor densidad seca máxima y una medida baja de la resistividad en campo dado que los vacíos del suelo podrían saturarse con mayor facilidad y permitir una mejor transmisión de electricidad.



Figura 48. Grado de Saturación de Agua vs. Resistividad - W% natural

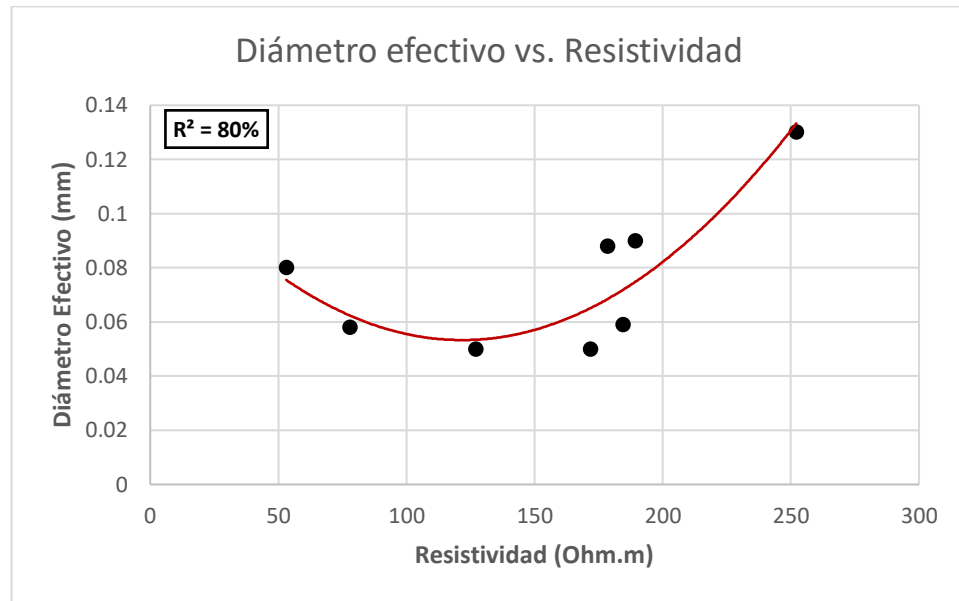


Elaborado por: Patricio David Mera Parra

#### Análisis y Discusión:

El presente ábaco muestra un ajuste logarítmico de ecuación  $Gw = -85.996 + 36.452 * \log(\rho) + 4.649 * W\%nat$  con un coeficiente de correlación  $R^2=90\%$  para 10 muestras. Este análisis incluye tanto la influencia del contenido de humedad natural tanto en la resistividad medida en campo como en el grado de saturación de los poros presentes en el suelo. Si bien es conocida la importancia que tienen estos factores en la medición de la resistividad en campo, por si solos no presentaron, en el caso de esta investigación, correlaciones altas como se puede observar en las Correlaciones No. 6 y 10. En el presente caso el ábaco muestra como al ir aumentando el contenido de humedad natural, para una misma resistividad, aumenta también el grado de saturación de agua.

Figura 49. Diámetro efectivo vs. Resistividad

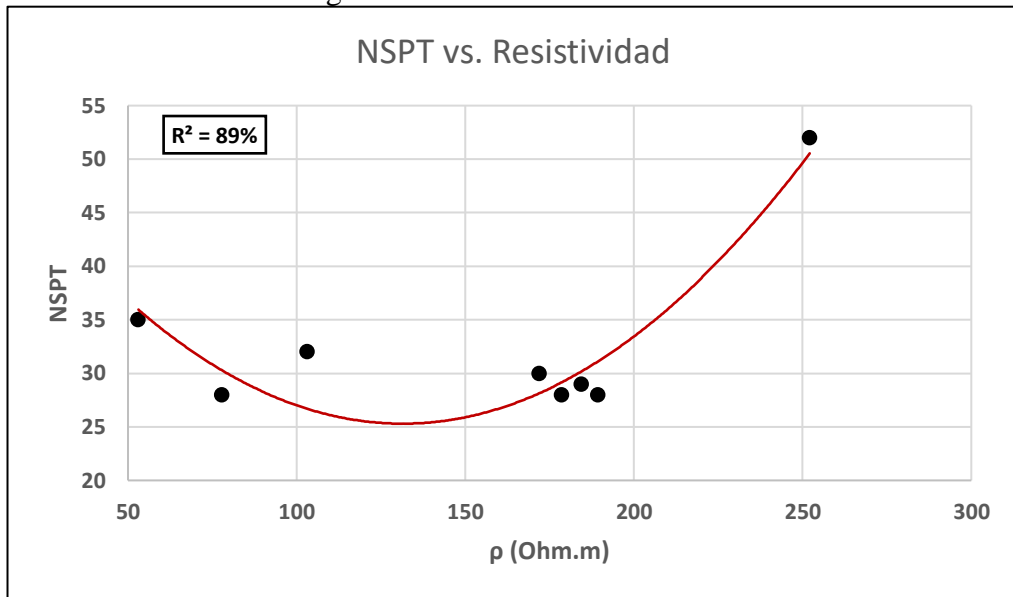


Elaborado por: Patricio David Mera Parra

#### Análisis y Discusión:

El diámetro efectivo es una medida que nos permite saber de cierta forma que tan fino es el suelo con el que estamos trabajando, valores altos de D10 se traducen en menor fracción fina y por lo tanto el suelo tendrá mayores espacios vacíos entre partículas gruesas, lo que evita un mejor contacto del material y obstruye la transmisión de electricidad; lo se ve reflejado en un aumento de la resistividad eléctrica que para este caso está definido por la ecuación polinómica  $D_{10} = 0.000005 * \rho^2 - 0.0011 * \rho + 0.1231$  cuyo coeficiente  $R^2= 80\%$  para 8 muestras.

Figura 50. NSPT vs. Resistividad

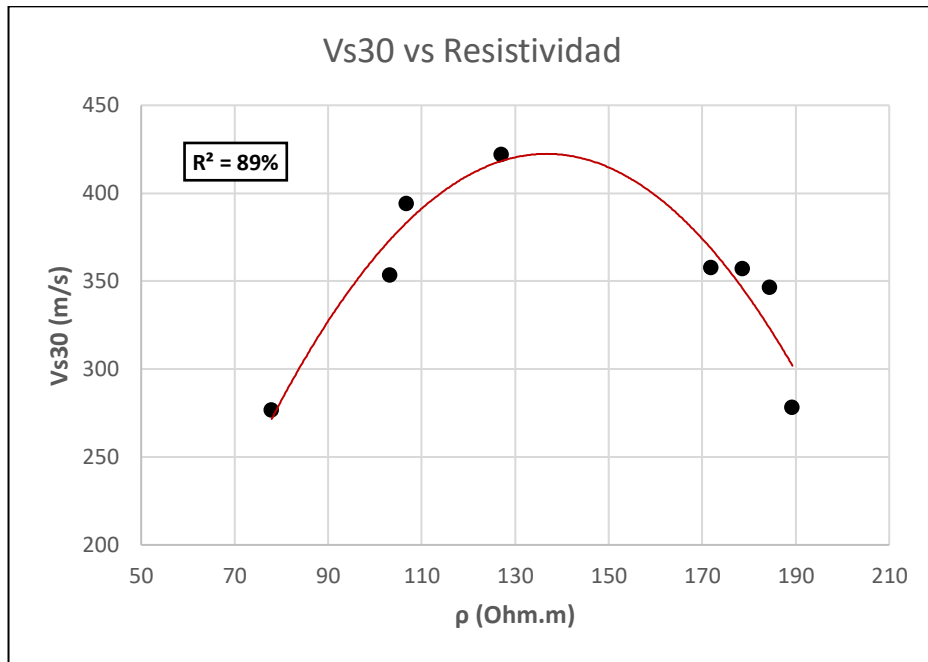


Elaborado por: Patricio David Mera Parra

#### Análisis y Discusión:

La presente correlación muestra un ajuste polinómico de ecuación  $NSPT = 0.0017 * \rho^2 - 0.4558 * \rho + 55.256$  con un coeficiente  $R^2=89\%$  para 8 muestras. De forma general se puede observar en la gráfica que la resistividad aumenta conforme aumenta también el valor de NSPT, este comportamiento coincide con el reportado por [2]. Esto se debe a que los valores de NSPT son directamente proporcionales a la compacidad del suelo, es decir mientras mayor es el valor de NSPT más compacto es el suelo. Esta compacidad reduce permeabilidad y la capacidad del suelo de albergar poros saturados, lo que en el caso de suelos granulares incrementa su resistividad eléctrica tal como se muestra en la figura. Si bien en un principio se muestra un valor relativamente alto de NSPT para su correspondiente resistividad, esto podría quedar explicado posiblemente por un valor alto de contenido de humedad que facilite el flujo de electrones.

Figura 51. Vs30 vs Resistividad

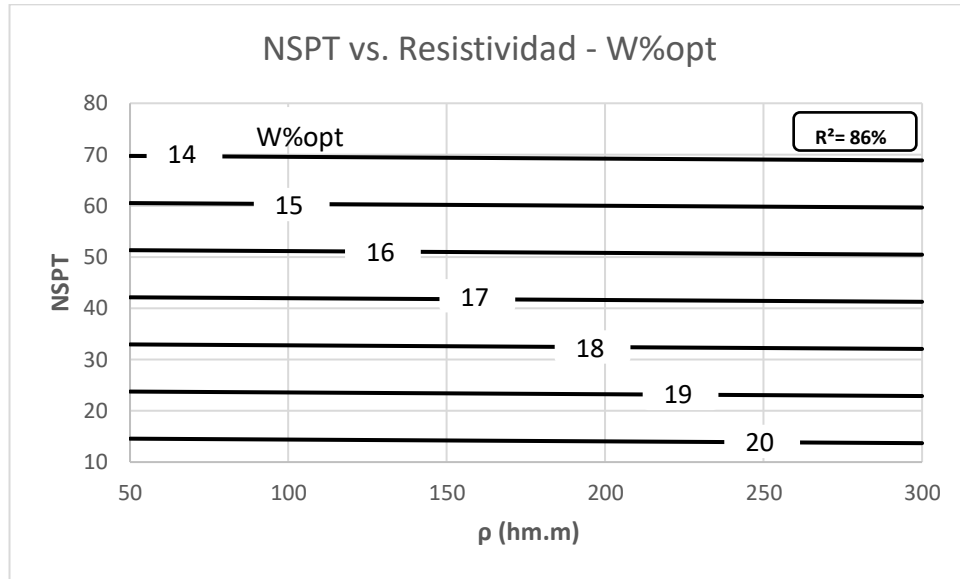


Elaborado por: Patricio David Mera Parra

#### Análisis y Discusión:

La presente correlación muestra el comportamiento de las resistividades frente a las velocidades de onda de corte para los primeros 30 m de profundidad, se presenta un ajuste polinómico de ecuación:  $Vs30 = -0.0436 * \rho^2 + 11.9121 * \rho - 391.964$  y coeficiente de correlación  $R^2=89\%$  para 8 muestras. Es conocido y ampliamente aceptado que la velocidad de onda de corte es proporcional a la densidad y grado de consolidación del suelo a través del cual se desplaza, es por esto que las correlaciones entre NSPT y Vs30 son directamente proporcionales entre si. En cuanto su relación con la resistividad, generalmente un aumento en la resistividad implica una disminución de la porosidad y un aumento en la densidad del material, por otro lado suelos muy porosos saturados de aire tampoco permiten una buena transmisión de electricidad por lo que en ambos extremos se presentarían resistividades altas. Esto podría explicar el comportamiento parabólico del ajuste, dado que si bien en un principio la resistividad incrementa con la velocidad de onda de corte, después esta velocidad decrece posiblemente debido a un material considerablemente poroso e insaturado.

Figura 52. NSPT vs. Resistividad - W%opt

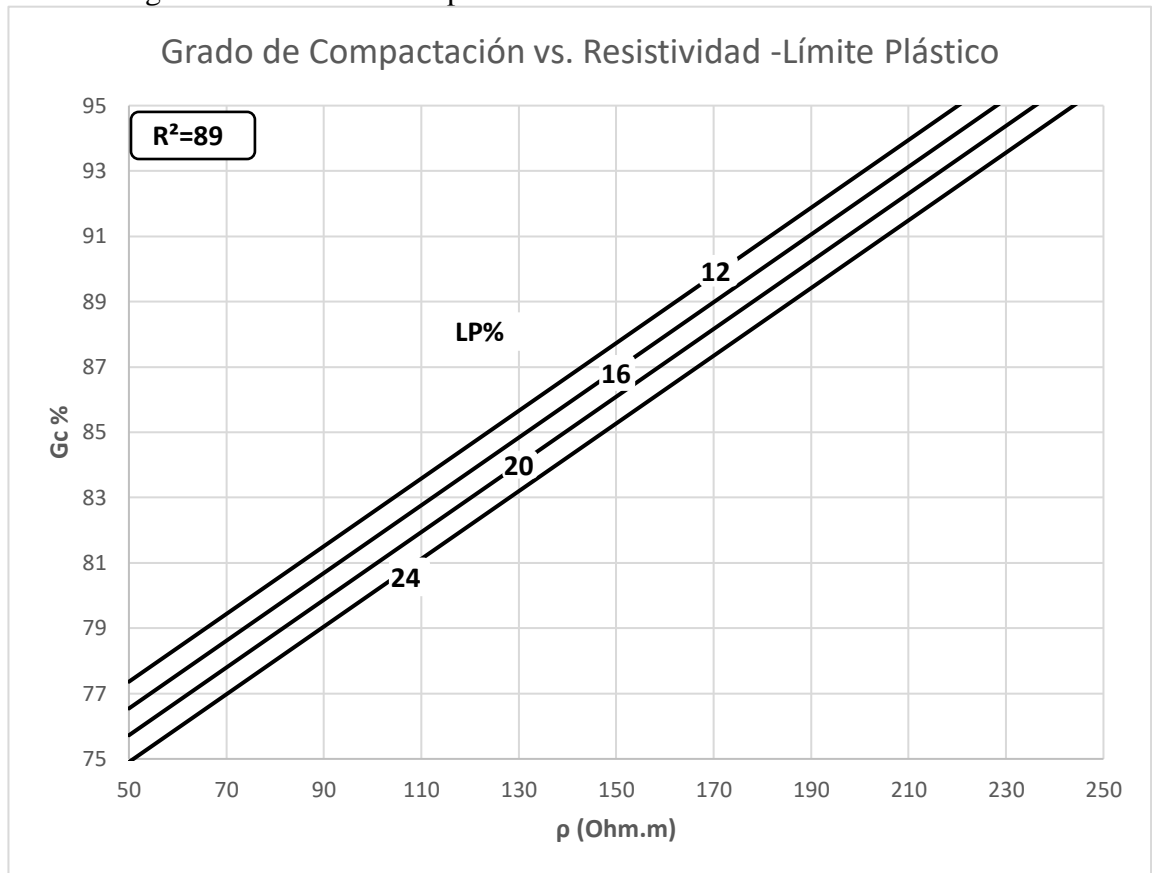


Elaborado por: Patricio David Mera Parra

**Análisis y Discusión:**

El presente ábaco muestra un ajuste logarítmico de ecuación  $NSPT = 200.339 - 1.126 * \text{Log}(\rho) - 9.193 * W\%opt$  y coeficiente de correlación  $R^2=86\%$  para 8 muestras. Como se analizó en la Correlación No. 5, valores altos de contenido de humedad óptimo generalmente implican suelos con mayores vacíos, esto se ve directamente reflejado en la densidad del material y por consiguiente en su resistencia a deformaciones. Indirectamente se puede decir que suelos con valores altos de contenido de humedad óptimo deberían presentar valores bajos de NSPT y es esto lo que se observa en la Figura 50. Se muestra a demás como para un mismo valor de W%opt si variamos el valor de resistividad, el NSPT alcanzado se mantiene casi constante; esto podría explicarse porque la regresión prioriza la influencia del contenido de humedad óptimo en el valor NSPT antes que el valor de resistividad.

Figura 53. Grado de Compactación vs. Resistividad -Límite Plástico

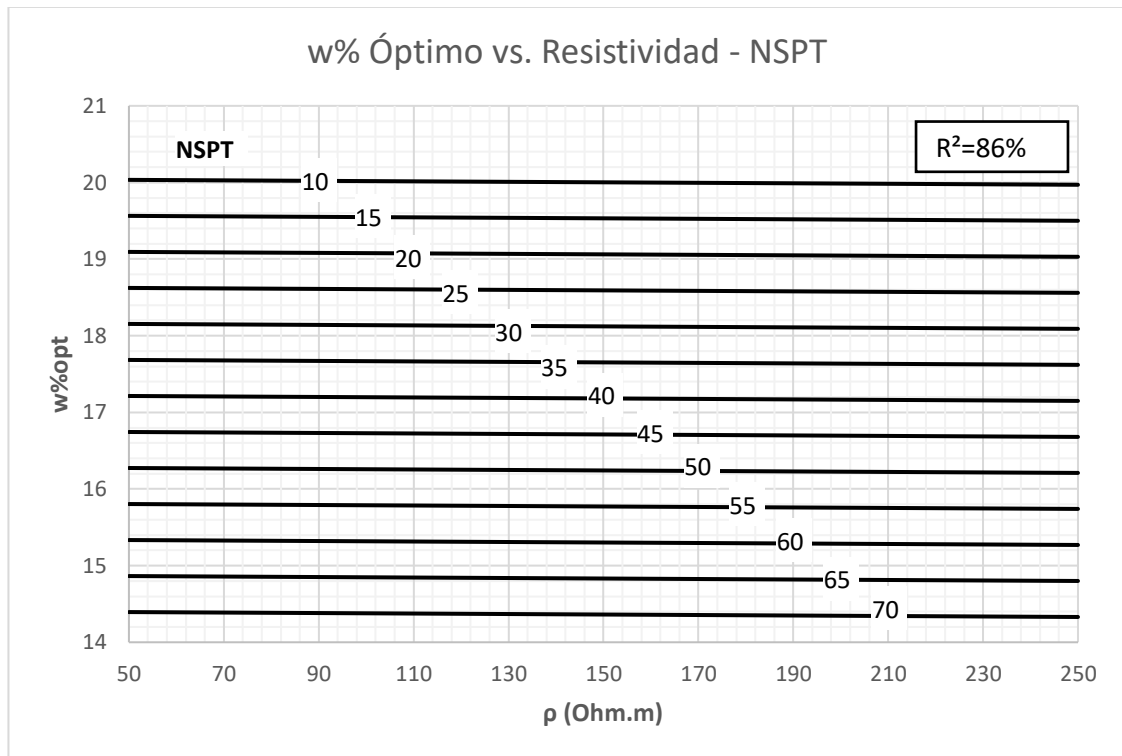


Elaborado por: Patricio David Mera Parra

### Análisis y Discusión:

El presente ábaco presenta una correlación logarítmica de ecuación  $G_c = 23.248 + 33.3 * \log(\rho) - 0.205 * LP$  y coeficiente de correlación  $R^2=89\%$  considerado como alto. La resistividad es un buen indicador del grado de compactación de un suelo, dado que un alto grado de compactación supone una reducción de la porosidad del suelo dejando así menos espacios para la presencia de agua con sales disueltas a través de la cual se pueda transmitir electricidad. Precisamente este comportamiento es evidenciado en la Figura 51 donde para un mismo Límite Plástico, un incremento en la resistividad implica un incremento en el grado de compactación. Por otro lado, se observa que suelos con un límite plástico menor tienen mayores grados de compactación, esto se puede explicar debido a que, si el contenido de humedad en dichos suelos supera su límite plástico (lo cual resulta más probable cuando LP es menor), esto conlleva a una reducción en la cohesión del suelo por lo que puede deformarse bajo su propio peso y acomodarse de forma tal que se reduzca el volumen de vacíos.

Figura 54. w% Óptimo vs. Resistividad - NSPT

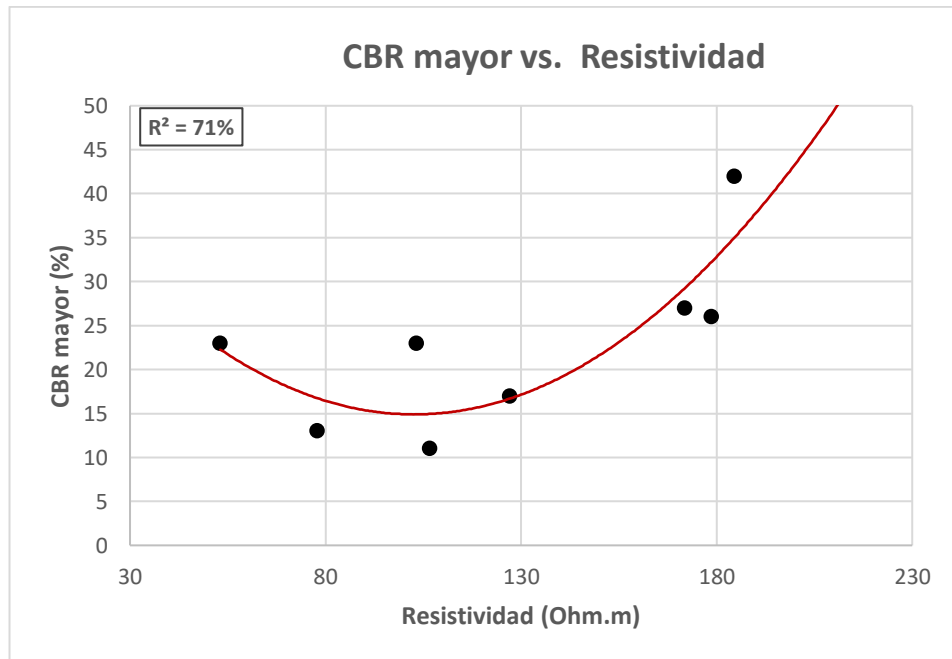


Elaborado por: Patricio David Mera Parra

### Análisis y Discusión:

La figura 52 muestra una correlación con coeficiente  $R^2=86\%$  para un ajuste de tipo lineal con ecuación:  $W\%opt = 20.99 - 0.00032 * \rho - 0.094 * NSPT$ . Podemos observar como un incremento en el valor NSPT implica una reducción del contenido de humedad óptimo. Esto se da debido a que si el suelo necesita menor cantidad de agua para permitir un reacomodo, significa que tiene menos vacíos por saturar lo que lo que incrementa su capacidad de soportar carga y dificulta el hincado de del muestreador tubular. Se puede analizar también que el modelo reduce la influencia de la resistividad, al otorgarle un factor cercano a cero, y esto es visualmente comprobable en el ábaco, dado que para un mismo número de golpes, si variamos la resistividad, el contenido de humedad óptimo permanece casi constante.

Figura 55. CBR mayor vs. Resistividad



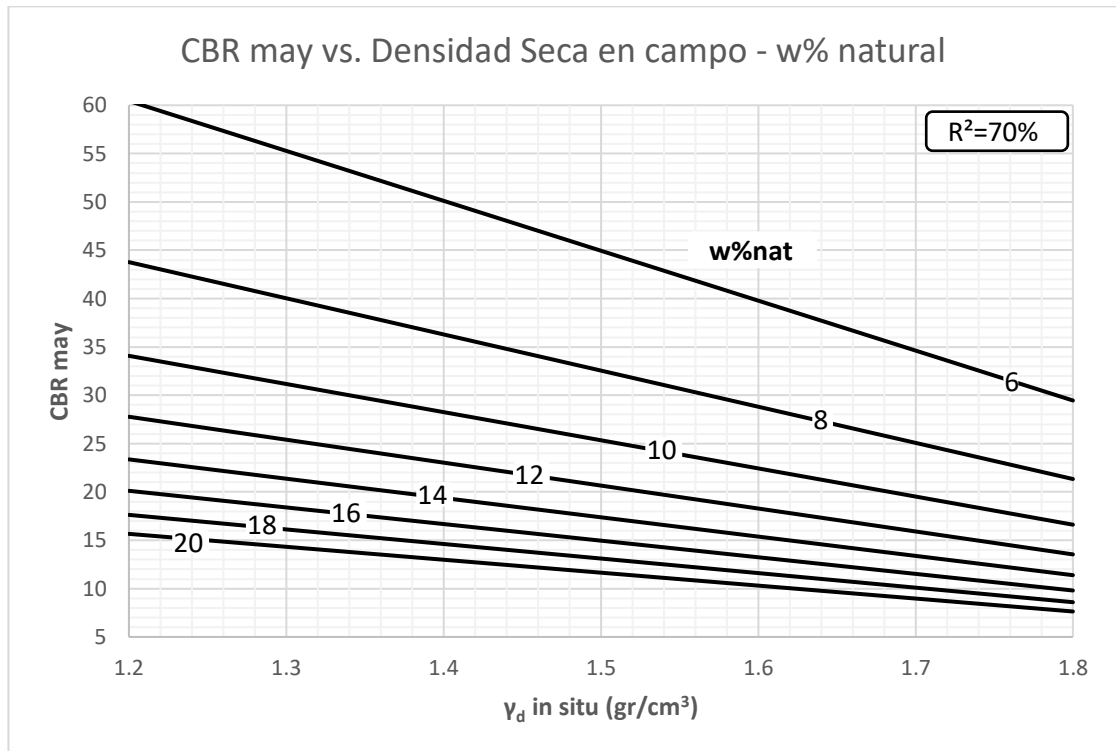
Elaborado por: Patricio David Mera Parra

#### Análisis y Discusión:

La presente correlación muestra un comportamiento de tipo polinómico con un coeficiente  $R^2 = 71\%$  y 8 muestras, la ecuación que describe el comportamiento de la curva es  $CBR_{may} = 0.0035 * \rho^2 - 0.7648 * \rho + 56.233$ . Se puede observar como suelos con valores bajos de resistividad eléctrica conducen a una pobre capacidad de soporte, esto se debe a que un suelo poco consolidado tiene mayores vacíos lo que permite una mayor deformación ante la presencia de cargas. A medida que el suelo alcanza un mayor grado de consolidación va disminuyendo su volumen, esta reducción de volumen se da debido a la expulsión del agua y aire presentes en los vacíos del suelo, entonces la resistividad eléctrica también incrementa. Es visible, en la gráfica, un valor de CBR inusualmente alto para una resistividad baja; eso se puede deber a la influencia de un alto contenido de humedad en campo que reduzca la resistividad eléctrica.



Figura 56. CBR may vs. Densidad Seca en campo - w% natural



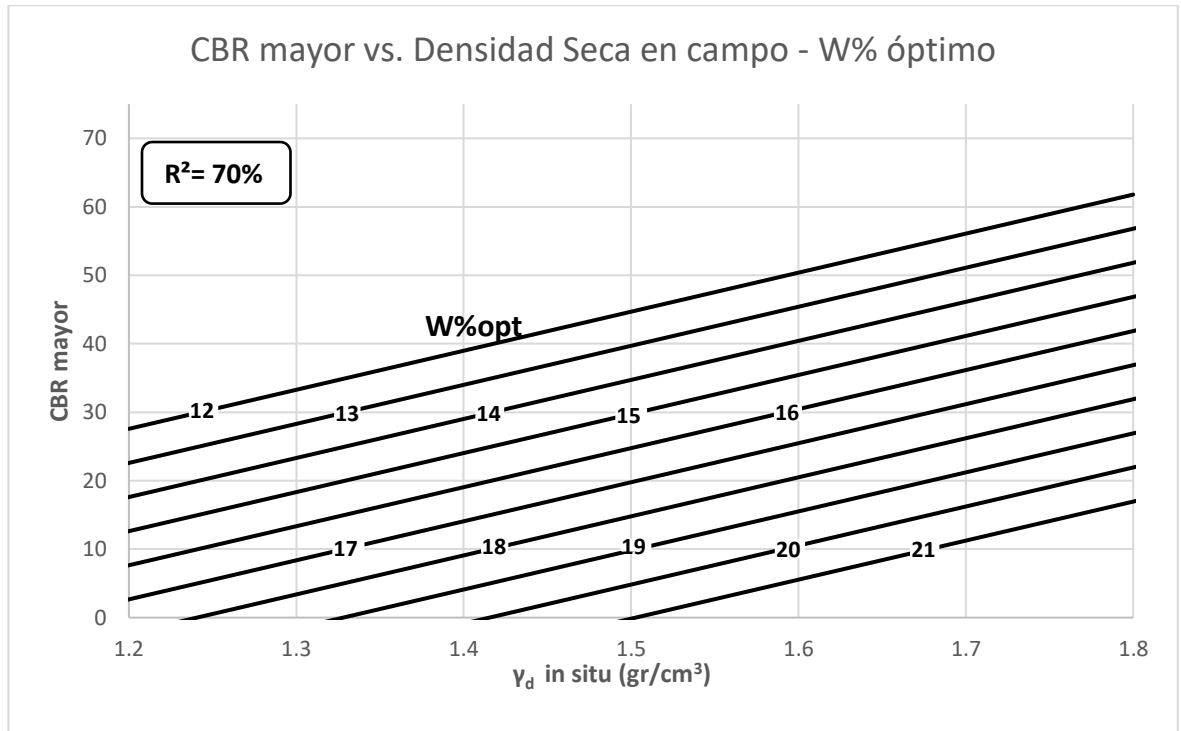
Elaborado por: Patricio David Mera Parra

#### Análisis y Discusión:

El presente ábaco muestra una correlación potencial con un coeficiente  $R^2 = 70\%$  para 8 muestras cuya ecuación es:  $CBR_{may} = \frac{623.228}{\gamma_d^{1.7725} * W\%nat^{1.1218}}$ . A simple vista analizando la ecuación podemos ver como cualquier incremento tanto en densidad seca en campo como en contenido de humedad natural implica un decrecimiento en el valor de CBR alcanzado. Analizando para un valor constante de densidad seca podemos observar que al incrementar el contenido de humedad natural, el valor de CBR disminuye, esto se da posiblemente porque al ir incrementando el contenido de humedad probablemente se estén superando los valores correspondientes a límites de consistencia por lo que el suelo pasaría de comportarse como un sólido a un semisólido y en el peor de los casos superaría el límite plástico, con lo cual perdería cohesión y obviamente su capacidad de soporte. Si por otro lado, analizamos para un mismo valor de contenido de humedad, el incremento de la densidad disminuye el valor de CBR, esto puede deberse a que un suelo con mayor densidad al tener menos poros se saturará más fácilmente por lo que al aplicarle una carga, la presión de poros, que se ejerce en todas las direcciones contrarrestará los esfuerzos normales aplicados y a su vez tratará

de separar las partículas, reduciendo la tensión efectiva y disminuyendo al mismo tiempo su resistencia.

Figura 57. CBR mayor vs. Densidad Seca en campo - W% óptimo



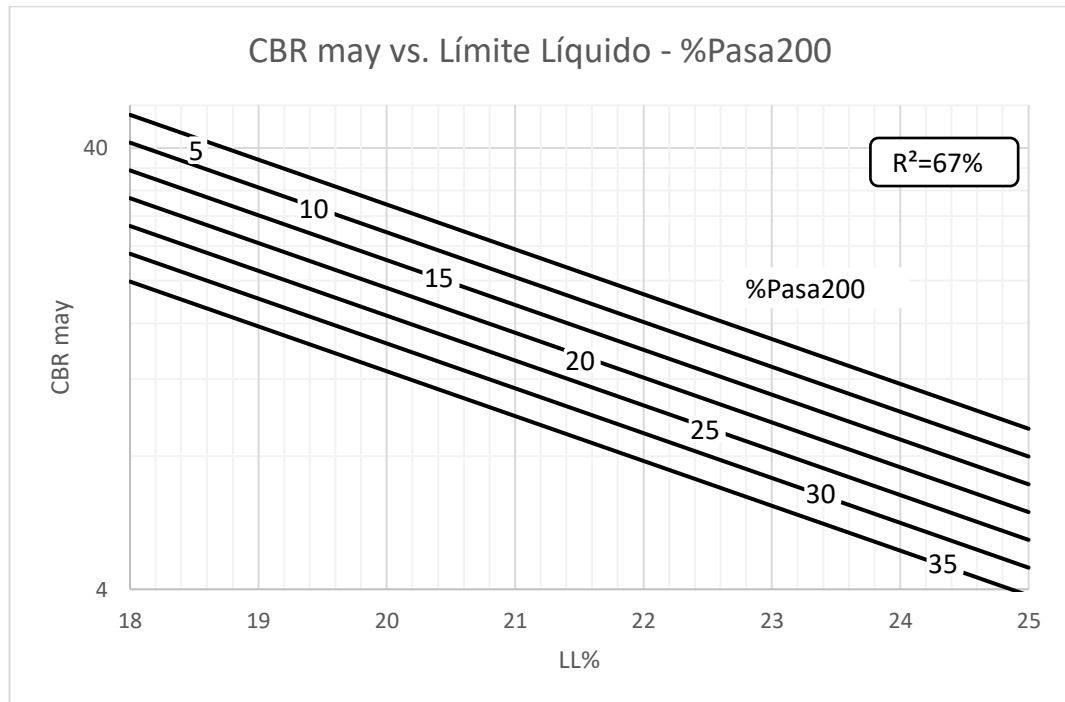
Elaborado por: Patricio David Mera Parra

Análisis y Discusión:

En la presente figura se muestra una regresión múltiple de tipo lineal de ecuación:  $CBR_{may} = 18.938 + 57.017 * \gamma_d - 4.982 * w\%opt$  y coeficiente de correlación  $R^2=70\%$ . Como se puede observar, el valor de capacidad de soporte del suelo incrementa a medida que lo hace su densidad seca en campo, esto indica que suelos más consolidados y con un mayor grado de compactación van a tener valores de CBR más altos, lo que ciertamente sucede en campo, suelos con menores vacíos van a tener menor capacidad de deformación y por lo tanto un mejor soporte. Por otro lado, se puede también observar como suelos que necesitan un mayor contenido de humedad óptimo para su compactación, alcanzan valores menores de CBR. Esto se da debido que son los suelos finos los que generalmente tienen mayor capacidad de absorción de agua y requieren de mayor contenido de humedad para permitir una reestructuración de sus partículas, sin embargo como se muestra en la Correlación No.

1, suelos que requieren mayor contenido de humedad óptimo, alcanzan menores densidades. Este comportamiento es en parte descrito en [38] y es análogo al establecido en [20].

Figura 58. CBR may vs. Límite Líquido - %Pasa200

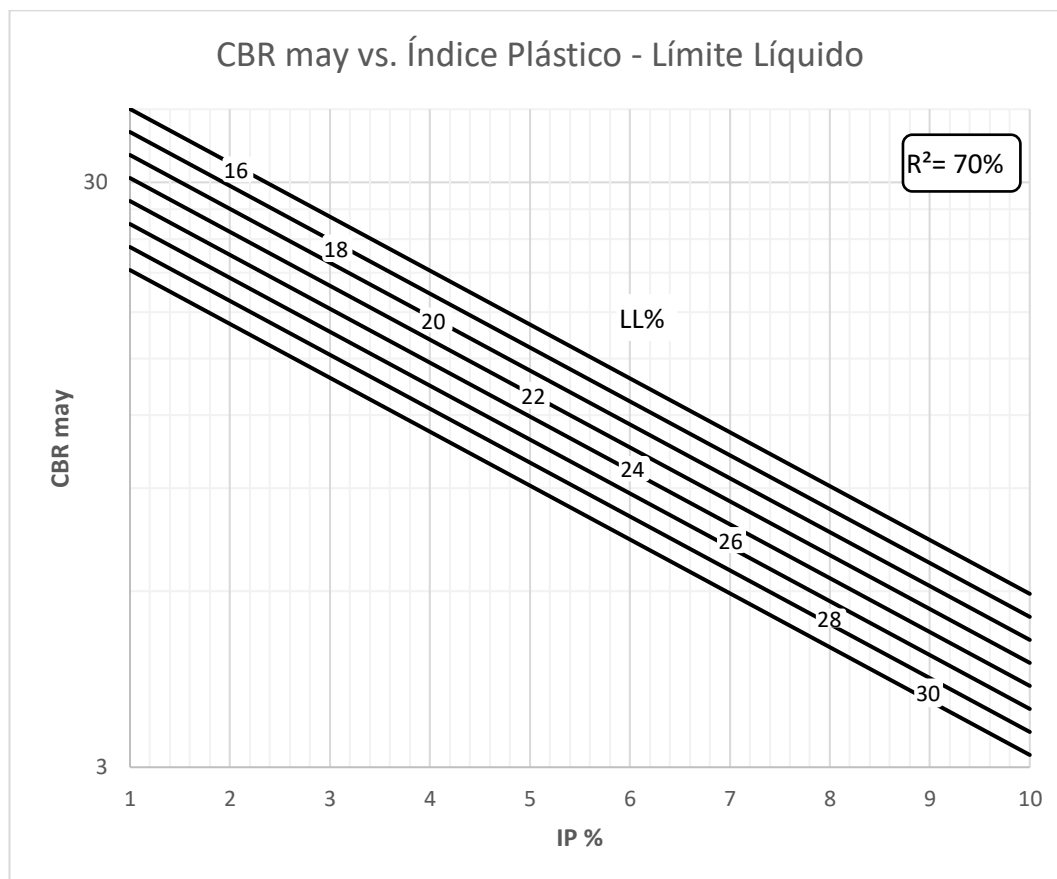


Elaborado por: Patricio David Mera Parra

### Análisis y Discusión:

La figura 56 muestra una correlación de tipo exponencial con un coeficiente de correlación  $R^2=67\%$  para 8 muestras y ecuación  $CBR_{may} = \frac{3711.01}{e^{0.234 \cdot LL} \cdot e^{0.029 \cdot (\text{pasa} \#200)}}$ , donde se observa que para suelos que contienen mayor porcentaje de finos, el CBR alcanzado disminuye, esto coincide con el comportamiento de los suelos finos dado que usualmente estos alcanzan relaciones de soporte bajas a diferencia de los suelos granulares. La compresibilidad, es decir, la capacidad de un suelo de reducir su volumen ante una carga, aumenta con forme incrementa el límite líquido, esta relación es bien conocida dentro de la ingeniería civil y puede visualizarse como por ejemplo en la carta de plasticidad de la SUCS. Es así como se puede explicar el comportamiento exponencial de la correlación, dado que tanto el porcentaje de finos como su límite líquido afectan el valor de soporte alcanzado, por lo que al aumentar estos dos valores, el CBR decae rápidamente.

Figura 59. CBR may vs. Índice Plástico - Límite Líquido



Elaborado por: Patricio David Mera Parra

**Análisis y Discusión:**

La presente correlación, con coeficiente R²= 70%, muestra una regresión exponencial de ecuación  $CBR_{may} = \frac{102.201}{e^{0.2121 \cdot IP + 0.0453 \cdot LL}}$  para 8 muestras. Al igual que en la Correlación No.23 el comportamiento del ábaco se puede explicar en base a la tendencia de los suelos plásticos a presentar compresibilidades altas. Si analizamos la carta de plasticidad de la SUCS observaremos que valores altos de límite líquido e índice de plasticidad conllevan a suelos mucho más compresibles, lo que en otras palabras significa valores de CBR bajos y este es precisamente el comportamiento mostrado en el ábaco.

### 3.2.Verificación de la Hipótesis

El análisis de la resistividad eléctrica del suelo está influenciada por varios factores físicos presentes en el mismo, entre los cuales: la porosidad, el contenido de humedad, la plasticidad, porcentaje de finos y densidad son los más influyentes.

Las ecuaciones presentadas muestran un coeficiente de correlación  $R^2$  que varía entre 66% (considerado como aceptable), hasta un 94%. De forma general, el promedio de los 24 coeficientes de correlación presentados es de 81% lo que muestra un grado de ajuste alto.

El contenido de humedad y la resistividad eléctrica presentan un ajuste con  $R^2=73%$  para un comportamiento exponencial característico y reportado por otros autores.

Las correlaciones que incluyen factores granulométricos como el diámetro efectivo (D10) o el porcentaje que pasa el tamiz # 200, tanto como variables dependientes o independientes presentan coeficientes  $R^2$  de hasta 85%.

El análisis de los límites de consistencia mostró que un suelo más plástico presentará menores valores de resistividad, sin embargo la naturaleza de los suelos analizados impidió tener rangos amplios de plasticidad al ser suelos granulares.

La estimación de la densidad seca en campo a través de la resistividad eléctrica y el contenido de humedad natural, presentó el coeficiente de correlación más alto,  $R^2=94%$  por lo que su estimación a través de la ecuación propuesta resulta altamente confiable.

Las correlaciones que incluyen los valores de contenido de humedad óptimo y densidad máxima, producto de la compactación en laboratorio presentaron correlaciones con un  $R^2$  entre 76% y 86%, por lo que se consideran como correlaciones aceptables.

En cuanto a CBR, este valor crece junto con el valor de resistividad eléctrica. El coeficiente de correlación  $R^2$  encontrado para estas variables es de 71% considerado como aceptable.

Ya sea por si sola o en conjunto con otra variable independiente, la resistividad eléctrica se puede utilizar como un método confiable para estimar ciertas propiedades de los suelos granulares de la zona 4 de la ciudad de Ambato.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Las muestras estudiadas son arenas limosas de tipo SM, SC-SM Y SP-SM (SUCS) Y A-2-4(0), A-4(0) y A-3(0) (AASHTO). Estos suelos contienen cantidades mínimas de grava, una gran proporción de arena y una porción fina de hasta el 35% que presentó plasticidades bajas o nulas. Estos son valores típicos de este tipo de suelos y su clasificación coincide con los mapas geológicos analizados. (Ver Anexo 2)
- El contenido de humedad en campo, es el principal factor que influye en la medición de la resistividad eléctrica independientemente de su conformación por lo que su determinación debe ser esencial. Estas dos variables presentaron un comportamiento exponencial donde la resistividad aumenta rápidamente conforme cae el contenido de humedad.
- El análisis granulométrico de los suelos nos muestra que suelos con un mayor diámetro efectivo D<sub>10</sub> van a presentar mayores resistividades, dado que un valor mayor de D<sub>10</sub> representa un suelo con menor fracción fina y mayores vacíos posiblemente insaturados.
- La presencia de suelo fino puede disminuir la resistividad a medida que su plasticidad aumente, esto se da debido a que la plasticidad se le atribuye a la capacidad de intercambio catiónico de los suelos finos, la misma que facilita la conducción eléctrica. Por lo que un suelo con mayor Índice Plástico tendrá menor resistividad eléctrica y viceversa.
- La resistividad eléctrica junto con el contenido de humedad natural ha demostrado ser eficaz al momento de predecir densidades secas en campo debido a que la capacidad de un suelo de transmitir electrones disminuye conforme este es más denso.

- El proceso de compactación en laboratorio modifica las condiciones para las cuales fue medida la resistividad eléctrica en campo, por lo que su comportamiento puede ser independiente; sin embargo, los ábacos propuestos presentan correlaciones con coeficiente  $R^2$  de hasta 76% para densidad seca máxima y 86% para contenido de humedad óptimo.
- La presencia de macro y micro poros en el suelo, y su relación con propiedades como la capacidad de soporte de un suelo, permiten establecer correlaciones múltiples confiables entre la resistividad eléctrica y propiedades mecánicas como el NSPT y valor de CBR, donde una mayor resistividad es sinónimo de un suelo más consolidado y con mejores características mecánicas. Estas correlaciones obtuvieron coeficientes  $R^2$  entre 71% y 89% siendo el NSPT el valor más alto.
- Las regresiones que mayor coeficiente de correlación obtuvieron fueron aquellas que involucran el contenido de humedad natural, el porcentaje de suelos que pasa el tamiz #200, el grado de compactación y la densidad seca en campo.
- La resistividad eléctrica se puede utilizar como un método rápido y confiable para la estimación de las propiedades índice y mecánicas estudiadas de suelos granulares. Sin embargo no está en la capacidad de reemplazar la determinación de dichas propiedades por métodos tradicionales.

## **5.2.Recomendaciones**

- Debido que suelos gruesos y finos tienen comportamientos distintos frente a la resistividad eléctrica, se recomienda realizar la misma investigación enfocada únicamente en suelos de grano fino.
- Se debe descartar valores atípicos durante la medición de la resistividad en campo, dado que este valor puede estar distorsionado por la presencia de tuberías cercanas o metales enterrados.

- El equipo utilizado en la presente investigación mide resistividades en 1 sola dimensión, sea esta vertical u horizontal, lo que limita la interpretación de datos considerando la naturaleza anisotrópica del suelo. Existen equipos que permiten hacer mediciones en dos o tres dimensiones, por lo que se recomienda para un estudio más acertado, la utilización de estos equipos.
- Se recomienda en futuras investigaciones, hacer mediciones de resistividad en laboratorio para condiciones controladas de compactación y humedad, con la finalidad de establecer correlaciones que describan acertadamente la relación entre estas variables.
- Debido a que el presente trabajo pertenece a un proyecto macro, el número final de suelos muestreados se eleva de 10 a 40 lo que permite obtener correlaciones más confiables; sin embargo, para robustecer los modelos matemáticos propuestos se recomienda realizar futuras investigaciones que incrementen el número de muestras analizadas y minimicen el error de estimación.



## C. MATERIALES DE REFERENCIA

### Referencias Bibliográficas

- [1] F. I. Siddiqui, “Simple and multiple regression models for relationship between electrical resistivity and various soil properties for soil characterization,” *Env. Earth Sci*, pp. 259–267, 2013.
- [2] A. H. Khairul and S. O. Syed, “Correlation of Electrical Resistivity and SPT-N value from Standard Penetration Test ( SPT ) of Sandy Soil,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 785, pp. 702–706, 2015.
- [3] S. Iskandar, “Relationship of Plasticity Index of Soil with Laboratory and Field Electrical Resistivity Values Syed Baharom Syed Osman , Fahad Irfan Siddiqui , Mohammad Yaakob Behan,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 356, pp. 719–724, 2013.
- [4] M. Hazreek *et al.*, “Soil Resistivity Measurements to Predict Moisture Content and Density in Loose and Dense Soil,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 356, pp. 911–917, 2013.
- [5] NEC, *Geotécnia y Cimentaciones*. ECUADOR: NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, 2015.
- [6] NEC, *Peligro sísmico*. ECUADOR: NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, 2015.
- [7] M. Ruiz and S. Gonzales, *Geología Aplicada a la Ingeniería Civil*. Ciudad de México: LIMUSA, 2010.
- [8] L. Gonzales, M. Ferrer, L. Ortuño, and C. Oteo, *Ingeniería Geológica*. Madrid: PEARSON PRENTICE HALL, 2004.
- [9] A. Sarria, *Métodos Geofísicos con Aplicaciones a la Ingeniería Civil*, Primera Ed. BOGOTÁ: Ediciones Uniandes, 1996.
- [10] M. J. Orgeira, C. A. Vásquez, and H. Ostera, “Relevamiento magnetométrico terrestre de rellenos sanitarios : Estudio piloto en Gualeguaychú , Entre Ríos,” *Rev. la Asoc. Geológica Argentina*, vol. 59, no. 3, pp. 501–505, 2004.
- [11] J. Cantos, *Tratado de Geofísica Aplicada*, Segunda Ed. Litoprint, 1974.

- [12] M. Gussow, *Fundamentos de Electricidad*. México: McGraw-Hill, 1985.
- [13] R. Fowler, *Electricidad Principios y Aplicaciones*. Barcelona: Editorial Reverté S.A., 1994.
- [14] M. Auge, “Métodos Geoeléctricos para la Prospección de Agua Subterránea,” Buenos Aires, 2008.
- [15] I. M. Evjeni, “Depth factors and resolving power of electrical measurements,” *Geophysics*, vol. 3, no. 2, pp. 78–95, 1938.
- [16] A. Roy and A. Apparao, “Depth of investigation in direct current methods,” *Geophysics*, vol. 36, no. 5, pp. 943–959, 1971.
- [17] B. Banerjee and B. Prosad, “A simple method for determination of depth of investigation characteristics in resistivity prospecting,” *Explor. Geophys.*, vol. 17, no. 2, pp. 93–95, 1986.
- [18] ASTM, “G57 Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method 1.” American Society for Testing and Materials, pp. 2–6, 2001.
- [19] C. Crespo, *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, 6a ed. México: LIMUSA, 2017.
- [20] F. Portilla and A. Pillajo, “Determinación del CBR de laboratorio en suelos granulares y su correlación con el DCP para la aplicación en el diseño de pavimentos vecinales.” Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2001.
- [21] K. Terzaghi and R. Peck, *Soil Mechanics in engineering practice*, 3rd ed. New York: Wiley, 1996.
- [22] E. Juárez and A. Rico, *Mecánica de Suelos Tomo 1 Fundamentos de la Mecánica de Suelos*, 3ra ed. Mexico: LIMUSA, 1970.
- [23] ASTM, “D1556 Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by Sand-Cone.” American Society for Testing and Materials, pp. 1–8, 2016.
- [24] ASTM, “D 2487 Método de Ensayo Estándar para la Clasificación de Suelos

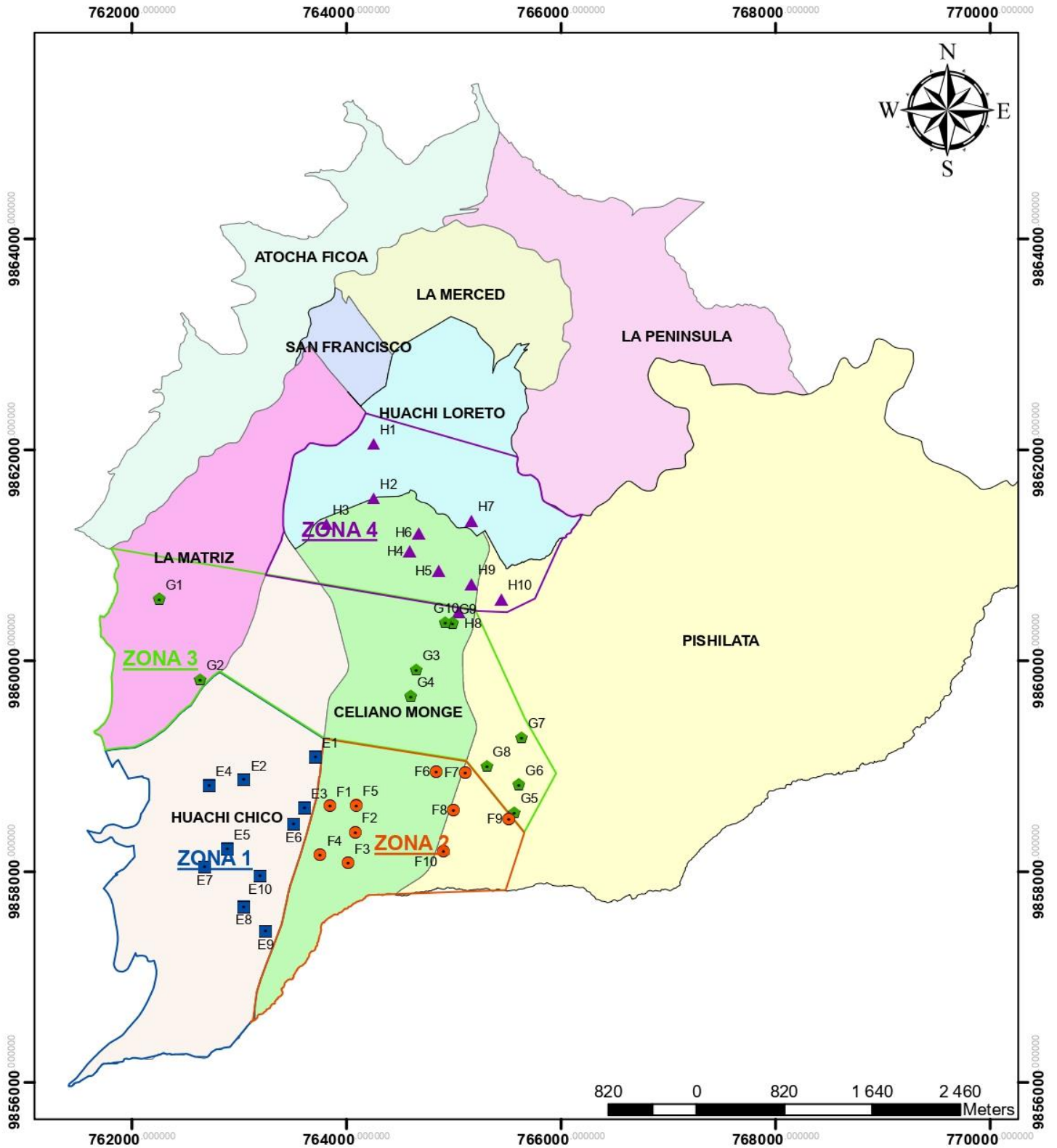
- con Propósitos de Ingeniería ( Sistema de Clasificación Unificado de Suelos).” American Society for Testing and Materials, pp. 1–17, 2011.
- [25] ASTM, “D 3282 Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.” American Society for Testing and Materials, 2004.
- [26] WAQTC, “MOISTURE-DENSITY RELATIONS OF SOILS: USING A 2.5 kg (5.5 lb) RAMMER AND A 305 mm (12 in.) DROP FOP FOR AASHTO T 99 USING A 4.54 kg (10 lb) RAMMER AND A 457 mm (18 in.) DROP FOP FOR AASHTO T 180.” Western Alliance for Quality Transportation Construction, pp. 1–18, 2018.
- [27] ASTM, “D 1557 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort ( 56 , 000 ft-lbf / ft<sup>3</sup> ( 2 , 700 kN-m / m<sup>3</sup> ) ) 1.” American Society for Testing and Materials, 2012.
- [28] ASTM, “D 1883 Standard Test Method for CBR ( California Bearing Ratio ) of Laboratory-Compacted.” American Society for Testing and Materials, 2009.
- [29] AASHTO, “The California Bearing Ratio,” vol. 99. American Association of State Highway and Transportation Officials, pp. 1–11, 2003.
- [30] J. Devore, *Probabilidad y Estadística para Ingenierías y Ciencias*, 7ma ed. Brooks/Cole, 2008.
- [31] C. Martínez, *Estadística y Muestreo*, 13ra ed. BOGOTÁ: Ecoe Ediciones, 2012.
- [32] M. Spiegel and L. Stephens, *Estadística*, 4ta ed. México: McGraw-Hill, 2009.
- [33] C. Fernández and P. Baptista, *Metodología de la Investigación*, 6ta ed. México: McGraw-Hill, 2014.
- [34] GADMA, *Plan de Ordenamiento Territorial reforma y codificación de la ordenanza general del Plan de Ordenamiento Territorial*. 2018.
- [35] SENAGUA, “Mapa Hidrogeológico de Ambato.” Secretaria Nacional del Agua, 2014.
- [36] IGM, “Hoja Geológica Ambato.” Instituto Geográfico Militar, 1978.

- [37] J. Taipe *et al.*, “Estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras del cantón Ambato,” Universidad Técnica de Ambato, 2018.
- [38] P. Sagüés, “Propiedades de los suelos compactados,” Buenos Aires.
- [39] C. Park, “Experimental Study on Electrode Method for Electrical Resistivity Survey to Detect Cavities under Road Pavements,” *Sustainability*, pp. 1–22, 2017.
- [40] J. Vázquez, G. Reposo, J. Guecaimburú, V. Rojo, C. Giacobone, and M. Matínez, “Uso de conductividad eléctrica del suelo para determinar la profundidad al horizonte petrocálcico,” pp. 1–8, 2012.

## **Anexos**

### **Anexo A. Zonificación del Proyecto**

# ZONAS DE TRABAJO PARA LAS PARROQUIAS URBANAS DEL CANTÓN AMBATO



Zona	Parroquia	Investigador	Nº Puntos	Id. Puntos
1	°Huachi Chico	Jimmy Macas	10	E1-E2-E3-E4-E5 E6-E7-E8-E9-E10
2	°Celiano Monge °Pishilata	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

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil	
<b>ZONAS DE TRABAJO EN LAS ZONAS URBANAS DEL CANTÓN AMBATO</b>	
Investigadores: Jimmy Macas • Christian Pérez Esteban Tenecota • Patricio Mera	
Escala: 1:50000	Fecha: Noviembre/2019
Lamina: L1	

## **Anexo B. Mapa geológico de Ambato**



# HOJA AMBATO MAPA HIDROGEOLÓGICO

ECUADOR - ESCALA 1:250.000

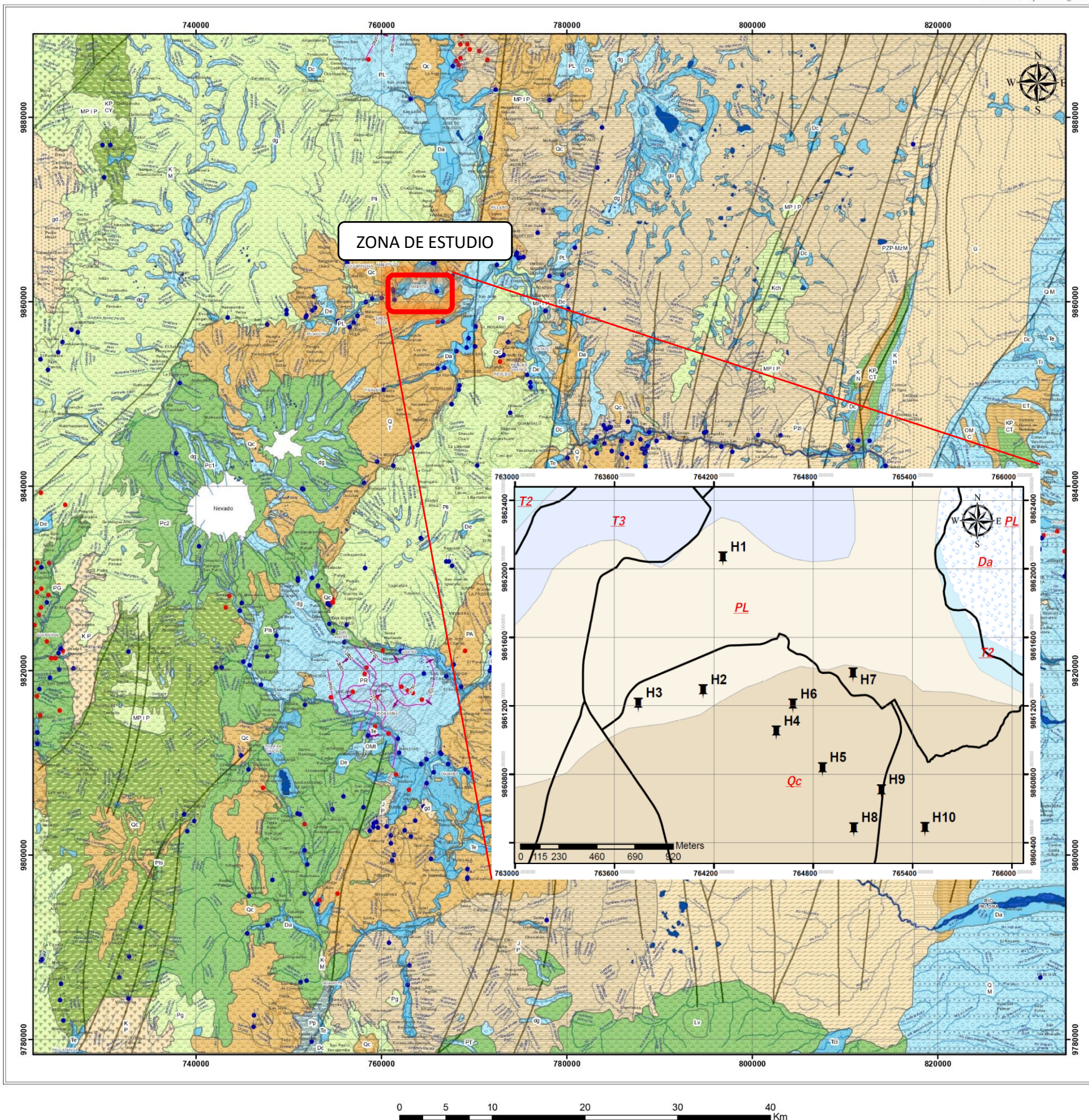
SENAGUA - ESPOL TECH E.P.  
EDICIÓN 1; MAPA\_H D3

## UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

ERATEMA	SISTEMA	SUBSISTEMA	UNIDADES GEOLÓGICAS	UNIDADES	
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENO	Da	DEPÓSITOS ALUVIALES	1
			Dc	DEPÓSITOS COLUVIALES	2
			De	DERRUMBES	3
			Tu, Ti	TERRAZAS ALUVIALES	4
			gu	DEPÓSITOS FLUVIOGLACIAR	5
		dg	DEPÓSITOS GLACIARES	6	
		Lh	DEPÓSITOS LAHARTICOS	7	
		Qvs	VOLCÁNICOS DEL SANGAY	8	
		Qc	CANGAGUA	9	
		QT	LAVAS DEL TUNGURAHUA	10	
		QM	FM. MERA	11	
		Pc2	LAVAS JÓVENES DEL CHIMBORAZO	12	
		Pc1	LAVAS DEL CARIHUARAZO Y DEL CHIMBORAZO	13	
		PT	FM. TARDÍH	14	
		Pp	FM. PALMIRA	15	
PA	VOLCÁNICOS ALTAR	16			
PG	VOLCÁNICOS GUARANDA	17			
PL	FM. LATACUNGA	18			
PR	FM. RIOBAMBA	19			
PCH	SEDIMENTOS DEL RÍO CHAMBO	20			
TERCIARIO	PLIOCENO	PH	VOLCÁNICOS DEL IGUALATA, MUMULU Y HUISLA	21	
		Pls	VOLCÁNICOS DE SICALPA	22	
		MP I P	VOLCÁNICOS DE PISAYAMBO	23	
	OLIGOCENO-MIOCENO	M A	FM. ABALINO	24	
		OMt	FM. YARUQUÍES	25	
	PALEOCENO	OM C	FM. CHALCANA	26	
		ET	FM. TIYUACO	27	
		Pg	FM. ALAUI	28	
		J P	SERIE PAUTE	29	
		Kch	SEDIMENTOS CERRO HERMOSO	30	
MESOZOICA	CRETÁCICO	L	ROCAS METAMÓRFICAS	31	
		KP CY	FM. YUNGULLA	32	
		KP CT	FM. TENA	33	
		K N	FM. NAPO	34	
		K H	FM. HOLLIN	35	
		K M	FM. MACUCHI	36	
		K P	FM. PIÑÓN	37	
		Pl-Pzm-Pz	FM. CURUJA	38	
		Pa	SERIE LLANGANATES	39	
		PZP, PZM, MZM	FM. PUMBUIZA	40	
PALEOZOICA		PMZM	FM. MARGAITAS	41	
		G	GRANITO DE ABITAGUA	42	
		gd	ROCAS PLUTÓNICAS GRANODIORITAS	43	

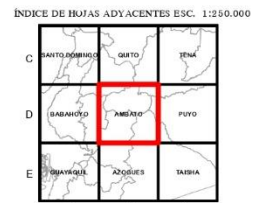
## CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

Deposito aluvial - Gravas, arenas y limos. Están en las riberas de los principales ríos del área. Son terrenos no consolidados que constituyen buenas estructuras acuíferas.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad muy alta por porosidad. Extensión local.	Volcánicos Altar - Lavas, piedra pómez y fragmentos andesíticos con intercalaciones de tobas arenosas. Las lavas son intermedias y básicas.	Permeabilidad baja a muy baja. Características de un acuífero.	Cerro Hermoso - Arcilla calcárea bituminosa y calizas que desecan horizontalmente sobre un acuífero de esquistos cristalinos.	Permeabilidad baja. Extensión muy local. Sin pozos confirmados.
Depositos coluviales - Acumulaciones al pie de laderas de fuerte pendiente sobre áreas graníticas. Constituidos por lavas angulosas, granos y vicisimbros. Terrenos que por su posición son de fácil descarga.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad muy alta por porosidad. Extensión local y discontinua. Sin pozos confirmados.	Volcánicos Guaranda - Rocas ígneas intrusivas de grano fino y andesíticas porfíticas, porfíricas y tobas. Por sectores ocurren intercalaciones de aglomerados estratificados.	Acuífero potencial Guaranda. Permeabilidad alta por fracturación. Extensión local. Baja productividad del nivel de agua. De 5 a 20 m. Datos de pozos muestran para más detalles del acuífero.	Rocas Metamórficas - Esquistos y calcáreas. En determinados lugares aparecen afloramientos volcánicos. Aumentan al metamorfismo ocasionado por la orogénesis andina.	Acuífero.
Derrumbes - Materiales producto de desprendimiento gravitacional de acumulación temporal próximos al área fuente sujetos a espasmos por acción de la sismicidad superficial sobre las laderas de fuerte pendiente.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad muy alta por porosidad. Discontinuos. Sin pozos confirmados.	FM. Latacunga - Piedra pómez, tobas aglomeradas, depósitos fluvo-lacustres, y materiales que forman el relieve plano de la depresión Latacunga-Ambato. La historia geológica, como tal, constituye una buena estructura hidrogeológica de la región, da lugar a un acuífero alimentado principalmente por infiltración de ríos (Cajuma).	Acuífero potencial Latacunga. Permeabilidad alta a media. Sin pozos confirmados.	FM. Yungulla - Arcillas limosas y calizas cruzadas con vetas de calcita. Ocurren también arenosas y conglomerados.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad media. Extensión local. Sin pozos confirmados.
Terrazas aluviales - Estructuras levantadas en relación al nivel de los depósitos aluviales actuales. Constituidas por gravas y arenas. Sin de alta porosidad y permeabilidad y por su posición son de fácil descarga de las aguas de infiltración.	Acuíferos Yaruquíes y Puzo. Permeabilidad muy alta. Extensión local. Baja productividad del nivel de agua. Entre 2 y 35 m. Pozos profundos, hasta 250 m. Productividad de pozos media a baja. Caudales entre 3 y 10 l/s. Calidad de agua regular. C.C. 5000 u.s.m. gal entre 7 y 9.	Formación Riobamba - Fases volcánicas intrusivas del Chimborazo. Gravas de cantos redondeados y angulosos. En algunos sectores presenta estratificación por vacuación.	Acuífero Riobamba. Permeabilidad alta a media por porosidad. Extensión local. Nivel de agua entre los 2 y 40 m. Productividad de pozos media a alta. Caudales de hasta 30 l/s. Calidad química de agua regular. C.C. 5000 u.s.m. gal entre 7 y 9.	FM. Tena - Arcillas aligeradas. Arcillas limosas ocurren en la cuenca Tena-Puerto Napo.	Permeabilidad baja a muy baja. Acuífero.
Depositos Fluvio-glaciarios - Brechas y arenas y limos producto de la deposición al Tínd de las corrientes glaciares en los de las cordilleras Andinas.	Acuíferos potenciales. Muy alta permeabilidad. Extensión local. Sin pozos confirmados.	Sedimento del río Chambo - Conglomerados, areniscas y arcillas finas con bancos de ceniza fino interstratificados. En las cercanías del Chambo existe una amplia exposición potencialmente acuífera.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta a media por porosidad. Sin pozos confirmados.	FM. Napo - Serie variada de calizas fosilíferas grises a negras con areniscas calcáreas y abundantes lavas negras y tobas.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta. Sin pozos confirmados.
Depositos Glaciares - Brechas y clastos heterométricos subredondeados y arred. Ocurren en una serie de valles en el suroeste en el área, indicativos de actividad glacial.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta a media. Discontinuos. Sin pozos confirmados.	Volcánicos del Guabala Mismi y Huisla - Materiales productivos, el más común de estos centros volcánicos y lava de tobas de grano fino a grueso gruesa, y abundante andesita.	Permeabilidad baja. Sin pozos confirmados.	FM. Hollin - Areniscas cuarzosas blancas porosa de grano medio a grueso con estratificación cruzada. Capas gruesas de lavas e intercaladas de lavas arenosas corales, localmente micáceas y lavas carbonáceas negras.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta a media. Sin pozos confirmados.
Deposito Laharítico - Fragmentos de rocas volcánicas redondeadas y angulosas, con matriz arenosa.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta a media por porosidad. Extensión local y discontinua. Sin pozos confirmados.	FM. Sicapa - Secuencia dominante porfítica de toba y aglomerados. Las lavas son raras y son de naturaleza andesítica.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta. Extensión local. Sin pozos confirmados.	FM. Tiyuaco - Andesitas verdes homogéneas, estratos de sedimentos volcánicos, vetas de cuarzo y en muchos casos altamente fracturadas, en proceso de meteorización. Se observan también areniscas básicas.	Permeabilidad baja. Extensión discontinua. Sin pozos confirmados.
Volcánicos del Sangay - Lavas, brechas volcánicas, porfíricas y tobas.	Acuífero potencial. Permeabilidad alta por fracturación. Extensión local. Sin pozos confirmados.	FM. Píñon - Manto de aglomerados y lavas andesíticas en posición horizontal e inclinadas.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad baja. Extensión local y discontinua. Sin pozos confirmados.	FM. Piñón - Está constituida por areniscas porfíticas.	Acuífero.
Canagua - La canagua generalmente presentan tobas cubiertas por cenizas, porfíricas, lavas.	Permeabilidad baja a muy baja. Extensión local. Sin pozos confirmados.	FM. Argano - Areniscas de grano fino a grueso conglomerado de intercalaciones discontinuas de arcillas aligeradas.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta a media. Extensión local. Sin pozos confirmados.	FM. Curuja - Esquistos azules a intermedios con intercalaciones de esquistos verdes y filitas grafitosas, fósforos con grandes esquistos cristalinizados, gneises y cuarcitas en menor cantidad.	Acuífero.
Lavas de Tungurahua - Fajas de coladas de basalto en estructura columnar y tobas.	Permeabilidad baja a muy baja. Sin pozos confirmados. Detectar la ocurrencia de aguas subterráneas en profundidad.	FM. Yungulla - Areniscas finas, sobre las que descansan conglomerados de granos medios.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta a media. Extensión local. Sin pozos confirmados.	Serie Llanganates - Metaconglomerados graníticos, areniscas homogéneas cristalinas, vetas de cuarzo y filamentos filitas de bandas de mármol. Lo que hace de este grupo una estructura favorable para el almacenamiento de agua subterránea.	Acuífero.
Formación Mera - Potentes depósitos de pie de monte volcánico - Esquistos arenosos desde las cordilleras orientales de los Andes. Depósitos en abanico comprenden por lo menos 5 niveles de terrazas. Arcillas, areniscas fosilíferas, con horizontes de conglomerados gruesos.	Acuífero potencial Puzo. Permeabilidad alta a media. Extensión local. Nivel de agua bajo, entre 1 y 5 m. Sin pozos confirmados.	FM. Chalcan - Lavas aligeradas conyes.	Permeabilidad baja a muy baja. Características de acuífero.	FM. Pumbuiza - Constituido por pizarras arenosas en capas finas de color gris oscuro a negro, pasan lentamente a areniscas duras cuarcíticas de grano fino.	Acuífero.
Lavas jóvenes de Chimborazo - Andesitas porfíticas, porfíricas vesiculares de grano fino.	Acuífero de Lío - San Pablo. Permeabilidad alta por fracturación. Extensión local. Baja productividad del nivel de agua. 20m. Productividad de pozos varía entre 10 y 225 m. Productividad de pozos elevada a muy elevada, caudales de hasta 300 l/s. Buena calidad química, con agua dulce con menos de 500 u.s.m. gal y pH de 7.	FM. Tiyuaco - Conglomerado de guijeros y cantos de cuarzo, sílica, y otros redondeados hasta angulosos, en un matriz arenosa, arenosa de grano variable con intercalaciones de filitas.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta a media por porosidad. Sin pozos confirmados.	FM. Margaitas - Filitas negras compactas, filitas calcáreas y cuarcitas.	Acuífero.
Lavas de Carihuarazo y antiguas del Chimborazo - Andesitas porfíticas porfíticas.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta por fracturación. Sin pozos confirmados.	FM. Alaui - Lavas intermedias y ácidas compactas y densas. Conglomerados arenosos porfíticos, areniscas turbiditas, porfíricas y filitas. Ocurren también tobas porfíticas y aglomerados andesíticos. Están altamente por fracturadas, fracturadas que han estado sujetas a la presencia de ácido y gases.	Permeabilidad baja. Sin pozos confirmados.	Granitos de Abitagua - Constituyen uno de los batolitos más grandes del país, distribuido a lo largo del flanco oriental de la cordillera real. Ocurre como una masa de granito monocrístico, constituida de cuarzo, feldespato potásico y mica biotita.	Acuífero.
Formación Tarca - Rocas porfíticas de composición media y ácida, tobas y aglomerados rídicos a andesíticos.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta por fracturación. Sin pozos confirmados.	Serie Pauté - Serie compleja de esquistos verdes, filitas, cuarcitas y areniscas metamórficas.	Acuífero.	Granodioritas - Afloramiento de rocas intrusivas (granodioríticas) presentes en una estructura de grano grueso.	Acuífero.
Formación Palma - Tobas diatomeas y areniscas fosilíferas bien estratificadas.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad media a baja. Extensión local. Sin pozos confirmados.				



Simbología	
	Pozo
	Ríos
	Cuerpos de Agua
	Pozo Termal
	Manantial
	Fallas Geológicas
	Manantial Termal
	Curvas isopiezas
	Sentido de Flujo
	Vías

FUENTE:  
 - INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (IGM), CARTOGRAFÍA BASE 1:250.000, 2013  
 - SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA (SENAGUA), PUNTOS DE AGUA, 2012  
 - INSTITUTO NACIONAL GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO (INGEMM), GEOLÓGIA BASE 1:100.000, 1969 - 2010  
 - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INAMHI), INVENTARIO DE POZOS, 2000 - 2011  
 - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INAMHI), CENSO HIDRICO, 2011 - 2013  
 - PETRUECUDOR, INVENTARIO DE POZOS, PROYECTO MAPA HIDROGEOLOGICO GUAYAS, 2005



Logo of SENAGUA and ESPOL TECH. **EMPRESA PÚBLICA ESPOL TECH**

ELABORACIÓN DEL MAPA HIDROGEOLOGICO A ESCALA 1:250.000  
 Mapa Hidrogeológico Ambato

Revisión SENAGUA: -Ing. Marco Padilla -Ing. María José Pozo Proaño -Ing. Iván Moreno -Ing. Mauricio Rivadeneira -Ing. Miguel Ángel Cacedo

C:\MAPA HIDROGEOLOGICO DEL ECUADOR 1:250000\AMBATO\Proyectos\Ambato-hidrogeologico.mxd

ENERO DEL 2014 ESCALA 1:250.000



**Anexo C. Resumen de ensayos por puntos.**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
RESUMEN DE ENSAYOS POR PUNTO**

**Punto:** H1

**Profundidad:** 1 m

**Elaborado por:** Patricio David Mera Parra

**Revisado por:** Ing. Mg. Favio Portilla Yandún

**Fecha:** 03/10/19

**Coordenadas (UTM WGS 86, 17 S)**

COORDENADAS	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
	9862057	764254	2637

**Resistividad eléctrica en campo**

Norma ASTM

G57

ENSAYO DE RESISTIVIDAD				
# Medición	R( $\Omega$ )		$\rho(\Omega.m)$	
1	23.0	<b>PROMEDIO 20.2</b>	144.5	<b>PROMEDIO 127.1</b>
2	20.4		128.1	
3	17.3		108.6	

**Contenido de humedad natural**

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL						
Peso Recipiente (gr)	Peso Rec+Suelo Húmedo (gr)	Peso Rec+Suelo seco (gr)	Ww (gr)	Ws (gr)	W%	W%(Prom)
26.7	123.4	114.6	8.8	87.9	10.10%	9.81%
24.8	113.8	106.0	7.8	81.2	9.61%	

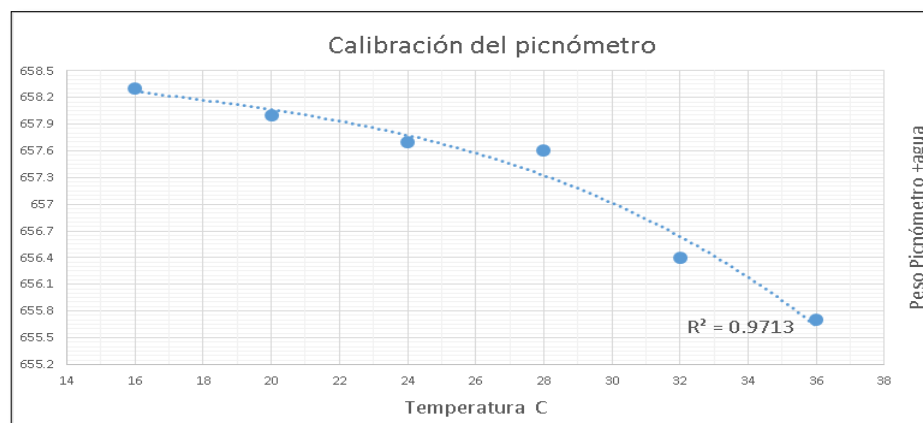
## Densidad en campo

Norma AASHTO T 191 2014

DENSIDAD EN CAMPO			
<b>Datos de calibración del cono</b>			
Peso de arena en el cono (gr)	343.00	<b>Peso Específico de la arena <math>\gamma_s</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.64
Volumen de la arena en el cono (cm <sup>3</sup> )	209.44		
<b>Datos de ensayo</b>			
Contenido de humedad natural w%	9.81%	<b>Peso específico de la masa de suelo <math>\gamma_m = W_m/V_m</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.815
Peso del suelo extraído $W_m$ (gr)	789.60		
Peso arena en el hueco $W_s$ (gr)	712.40	<b>Peso específico del suelo seco <math>\gamma_d = \gamma_m / (1+W)</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.653
Volumen del hueco $V_m = W_s * \gamma_s$ (cm <sup>3</sup> )	435.00		

## Gravedad Específica

Norma AASHTO T 100 2015



GRAVEDAD ESPECÍFICA			
TEMPERATURA DEL AGUA °C	23.5	$G_s = \frac{M_s * k}{M_s + M_{mw} - M_{mws}}$	2.741
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA $M_{mw}$ (gr)	657.811		
MASA MUESTRA DE SUELO $W_m$ (gr)	50		
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO $M_{mws}$ (gr)	689.2		
MASA MUESTRA SECA $M_s$ (gr)	49.4		
FACTOR DE CORRECCIÓN K	0.9992		

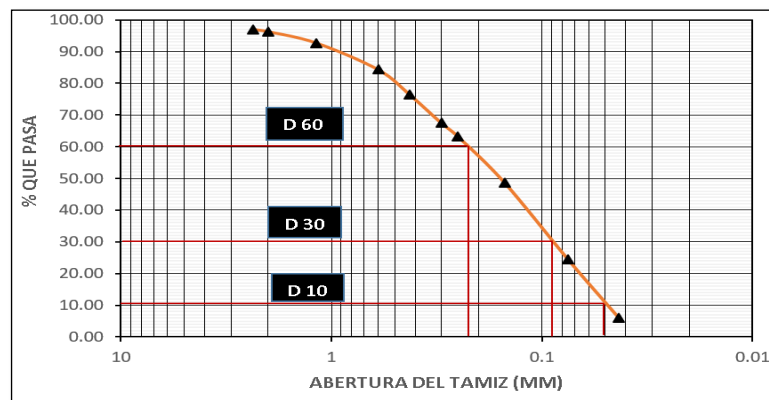
## Relaciones Volumétricas

RELACIONES VOLUMÉTRICAS			
<b>Relación de vacíos</b>			
Volumen de Agua Vw (cm3)	8.8		
Peso del suelo seco Ws (gr)	87.9	Volumen solidos (cm3) Vs=Ws/(Gs*γ <sub>s</sub> )	32.07
Gravedad Específica Gs	2.74		
Peso de la muestra Wm (gr)	96.7	Volumen de la muestra (cm3) Vm=Wm/γ <sub>m</sub>	53.28
Peso Volumétrico de la muestra γ <sub>m</sub> (gr/cm3)	1.815		
Volumen de vacíos (cm3) Vv=Vm-Vd	21.21	Relación de vacíos e=Vv/Vs	0.66
<b>Porosidad</b>			
n%=Vv/Vm		39.8%	
<b>Grado de saturación de Agua</b>			
Gw%=Vw/Vv		42.0%	
<b>Grado de saturación del Aire</b>			
Ga%=(Vv-Vw)/Vv		58.00%	

## Granulometría

Norma AASHTO T 88 2013

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
8	2.36	7.4	7.4	2.99	97.01
10	2	1.7	9.1	3.67	96.33
16	1.18	8.9	18	7.26	92.74
30	0.6	20.8	38.8	15.65	84.35
40	0.425	19.6	58.4	23.56	76.44
50	0.3	22.3	80.7	32.55	67.45
60	0.25	10.6	91.3	36.83	63.17
100	0.15	36.1	127.4	51.39	48.61
200	0.075	59.9	187.3	75.55	24.45
BANDEJA		60.6	247.9	100.00	0.00
<b>Diámetro Efectivo (D10) mm</b>	<b>Diámetro Equiparable (D30) mm</b>	<b>Diámetro dimensional (D60) mm</b>	<b>Coefficiente de Uniformidad</b>	<b>Coefficiente de Curvatura</b>	-
0.05	0.09	0.22	4.4	0.73	-



## Límite Plástico

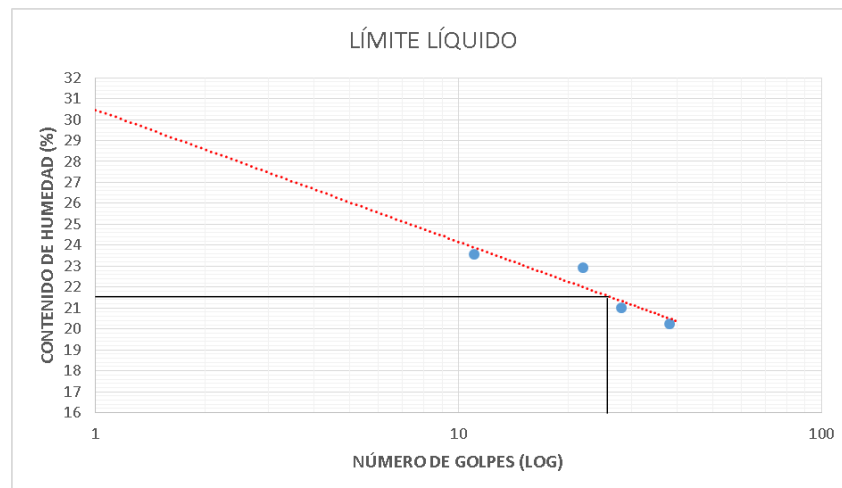
Norma AASHTO T 90 2016

RECIPIENTE #	45	61	17	9	47
PESO RECIPIENTE (gr)	15	6.2	6.1	6	6.1
PESO RECIPIENTE + MUESTRAS HUMEDAS (gr)	16.5	7.7	7.5	7.6	7.6
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	16.3	7.4	7.3	7.3	7.4
PESO MUESTRA SECA (gr)	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	1.5	1.5	1.4	1.6	1.5
PESO AGUA (gr)	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	15.38	25.00	16.67	23.08	15.38
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	19.10				

## Límite Líquido

Norma AASHTO T 89 2013

LÍMITE LÍQUIDO								
NUMERO DE GOLPES	11		22		28		38	
RECIPIENTE NUMERO	P5	P6	P1	P2	74	13	P3	P4
PESO RECIPIENTES (gr)	10.7	10.5	10.7	10.5	10.7	10.6	10.7	10.6
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	17.2	17.1	16.3	16.2	16.6	16.8	16.4	16.8
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	16	15.8	15.4	15	15.7	15.6	15.4	15.8
PESO MUESTRA SECA (gr)	5.3	5.3	4.7	4.5	5	5	4.7	5.2
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	6.5	6.6	5.6	5.7	5.9	6.2	5.7	6.2
PESO AGUA (gr)	1.2	1.3	0.9	1.2	0.9	1.2	1	1
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	22.64	24.53	19.15	26.67	18.00	24.00	21.28	19.23
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	23.58		22.91		21.00		20.25	
LÍMITE LÍQUIDO (25 GOLPES) (%)	21.65							



## Índice Plástico y Clasificación

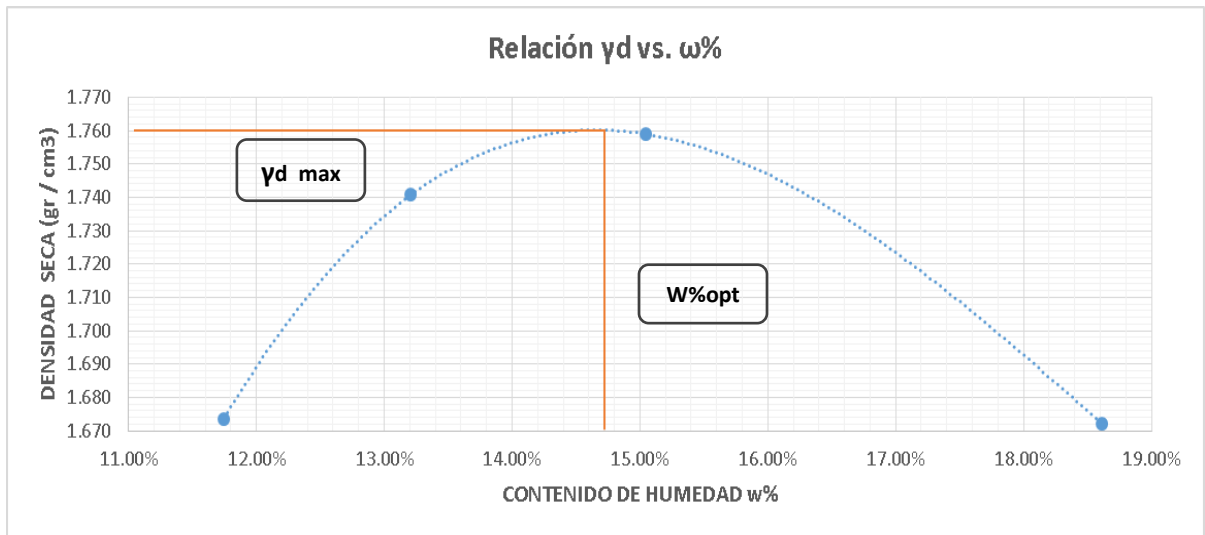
ÍNDICE PLÁSTICO	
LÍMITE LÍQUIDO LL%	21.65
LÍMITE PLÁSTICO LP%	19.10
ÍNDICE PLÁSTICO	
IP%=LL%-LP%	2.549

CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO
SM	A-2-4(0)

**Compactación Proctor Modificado B**  
2018

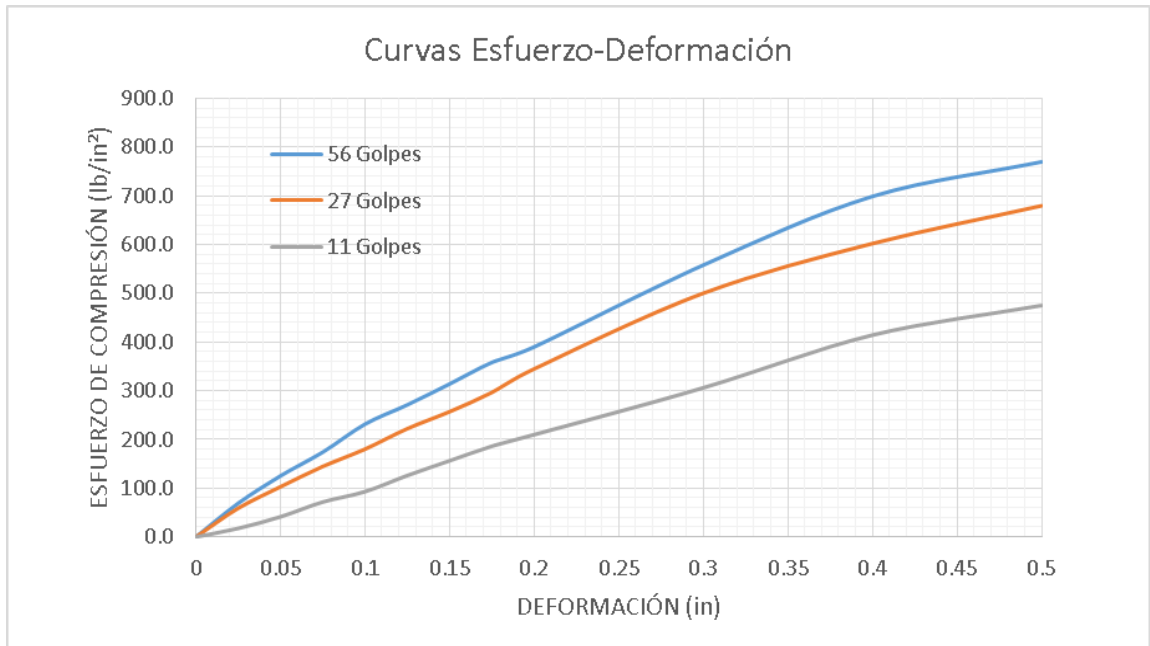
Norma AASHTO T 180

PROCTOR MODIFICADO TIPO B (AASHTO)								
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10	lb
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	14079	gr	Volumen molde:	2208.94	cm3
Energía de compactación:	55986	lb/ft/ft3	Diámetro:	15	cm	Altura:	12.5	cm
Ensayo número	1		2			3		4
Peso inicial deseado (gr)	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial añadida	6		9		12		15	
P. molde + suelo húmedo (gr)	18210		18432		18549		18460	
Peso suelo húmedo (gr)	4131		4353		4470		4381	
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (gr/cm3)	1.870		1.971		2.024		1.983	
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	14	13	20	21	18	22	17	19
Peso R. + Suelo húmedo (gr)	111.3	119.5	134.9	168.9	138.1	111.5	145.2	146
Peso R. + Suelo seco (gr)	102.3	109.8	122.7	151.5	123.5	101.4	127	128.2
Peso agua (gr)	9	9.7	12.2	17.4	14.6	10.1	18.2	17.8
Peso recipiente (gr)	27.8	24.8	24.9	26.7	31.1	30.7	30.6	31.2
Peso suelo seco (gr)	74.5	85	97.8	124.8	92.4	70.7	96.4	97
Contenido húmeda $\omega\%$	12.08%	11.41%	12.47%	13.94%	15.80%	14.29%	18.88%	18.35%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	11.75%		13.21%		15.04%		18.62%	
Densidad seca $\gamma_d$ (gr/cm3)	1.674		1.741		1.759		1.672	
Cont. de humedad óptimo (%)	14.7							
Densidad seca max. (gr/cm3)	1.76							
Grado de compactación (%)	94%							

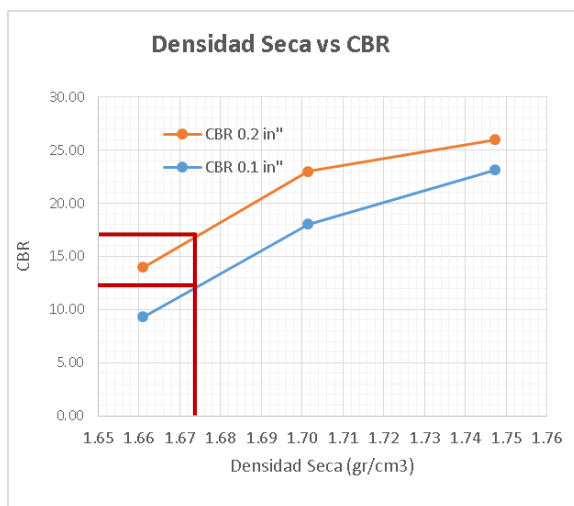


CBR DE LABORATORIO						
MOLDE	A2		M1		6A	
DIMENSIONES	Diámetro	15.1	Diámetro	15.2	Diámetro	15
	Altura	12.8	Altura	12.8	Altura	12.8
N° de golpes	10		25		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	13658		13210		13171	
Masa Molde (gr)	9295		8740		8635	
Masa muestra húmeda (gr)	4363		4470		4536	
Volumen muestra (cm3)	2292.20		2292.20		2261.94	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.90		1.95		2.01	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	21	73	42	63	14	68
Masa del recipiente	9.3	24.9	24.8	16.4	14.1	15.3
Masa suelo hum+recip. (gr)	104.3	101.4	101.2	107.8	92.3	98.6
Masa suelo seco+recip. (gr)	91.9	91.9	91.5	96.1	82.3	87.8
Masa de agua (gr)	12.4	9.5	9.7	11.7	10	10.8
Masa suelo seco (gr)	82.6	67	66.7	79.7	68.2	72.5
Contenido de humedad W%	15.01	14.18	14.54	14.68	14.66	14.90
Promedio W%	14.60		14.61		14.78	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.661		1.701		1.747	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	13698		13239		13208.00	
Masa Molde (gr)	9295		8740		8635.00	
Masa muestra húmeda (gr)	4403		4499		4573.00	
Volumen muestra (cm3)	2292.20		2292.205		2261.94	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.921		1.963		2.022	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	73	68	42	63	14	21
Masa del recipiente	24.9	15.3	24.8	15.3	14.1	9.3
Masa suelo hum+recip. (gr)	101.2	90.5	98.7	89.5	103.2	91.7
Masa suelo seco+recip. (gr)	91.1	79.8	88.9	79.4	91.2	80.5
Masa de agua (gr)	10.1	10.7	9.8	10.1	12	11.2
Masa suelo seco (gr)	66.3	64.5	64.1	64.1	77.1	71.2
Contenido de humedad W%	15.23	16.59	15.29	15.76	15.56	15.73
Promedio W%	15.91		15.52		15.65	

VALORES DE PRESIÓN						
MOLDE	A2		M1		6A	
Penetración (in.)	Dial (Lbf)	Presión (Psi)	Dial (Lbf)	Presión (Psi)	Dial (Lbf)	Presión (Psi)
0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
0.025	55.6	17.7	185.3	59.0	217.3	69.2
0.05	130.3	41.5	323.5	103.0	393.5	125.3
0.075	225.5	71.8	454.4	144.6	546.9	174.1
0.1	292.3	93.0	566.3	180.3	727.5	231.6
0.125	396.5	126.2	698.3	222.3	851.6	271.1
0.15	491.6	156.5	807.7	257.1	986.3	313.9
0.175	585.3	186.3	931.5	296.5	1125.3	358.2
0.2	659.73	210.0	1083.8	345.0	1225.22	390.0
0.3	961.6	306.1	1571.3	500.2	1752.6	557.9
0.4	1301.9	414.4	1891.7	602.1	2195.7	698.9
0.5	1492.7	475.1	2135.3	679.7	2418.3	769.8



<b>VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (corregidos)</b>					
<b>MOLDE (No. Golpes)</b>	<b>ESFUERZO (lb /in²)</b>	<b>CBR (0.1 in.)</b>	<b>Densidad Seca</b>	<b>ESFUERZO (lb /in²)</b>	<b>CBR (0.2 in.)</b>
6A (10 Golpes)	93.0	9.30	1.66	210.0	14.00
A2 (25 Golpes)	180.3	18.03	1.70	345.0	23.00
M1 (56 Golpes)	231.6	23.16	1.75	390.0	26.00



<b>CBR ESTIMADO PARA EL 95% DE LA DENSIDAD</b>	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (DSM)	1.76
95% DSM	1.672
<b>CBR</b>	
CBR 0.1 in "	13%
CBR 0.2 in "	17%

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

**RESUMEN DE ENSAYOS POR PUNTO**

**Punto:** H2

**Profundidad:** 1 m

**Elaborado por:** Patricio David Mera Parra

**Revisado por:** Ing. Mg. Favio Portilla Yandún

**Fecha:** 03/10/19

**Coordenadas (UTM WGS 86, 17 S)**

COORDENADAS	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
	9861282	764135	2675

**Resistividad eléctrica en campo**

Norma ASTM

G57

ENSAYO DE RESISTIVIDAD				
# Medición	R( $\Omega$ )		$\rho(\Omega.m)$	
1	18.0	<b>PROMEDIO</b> <b>16.9</b>	113.0	<b>PROMEDIO</b> <b>106.7</b>
2	16.5		103.6	
3	16.3		103.4	

**Contenido de humedad natural**

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL						
Peso Recipiente (gr)	Peso Rec+Suelo Húmedo (gr)	Peso Rec+Suelo seco (gr)	Ww (gr)	Ws (gr)	W%	W%(Prom)
30.6	84.0	77.3	6.7	46.7	14.3%	14.26%
31.2	106.1	96.8	9.3	65.6	14.2%	



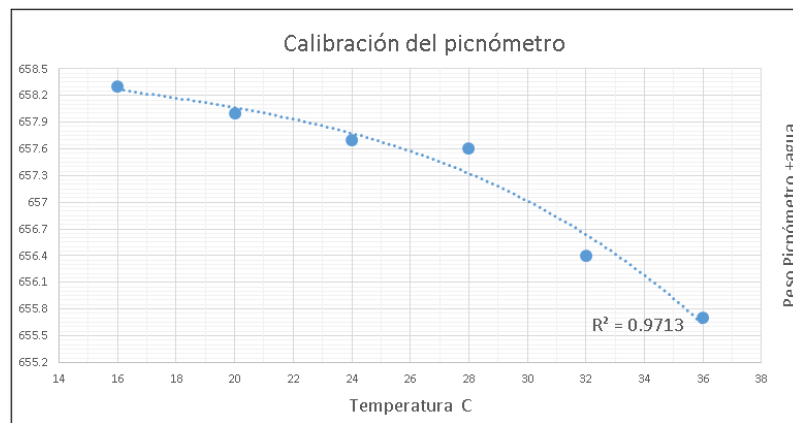
Densidad en campo

AASHTO T 191 2014

DENSIDAD EN CAMPO			
Datos de calibración del cono			
Peso de arena en el cono (gr)	343.00	Peso Específico de la arena $\gamma_s$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.64
Volumen de la arena en el cono (cm <sup>3</sup> )	209.44		
Datos de ensayo			
Contenido de humedad natural w%	14.26%	Peso específico de la masa de suelo $\gamma_m = W_m/V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.704
Peso del suelo extraído $W_m$ (gr)	646.10		
Peso arena en el hueco $W_s$ (gr)	621.00	Peso específico del suelo seco $\gamma_d = \gamma_m / (1+W)$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.491
Volumen del hueco $V_m = W_s * \gamma_s$ (cm <sup>3</sup> )	379.19		

Gravedad Específica

AASHTO T 100 2015



GRAVEDAD ESPECÍFICA			
TEMPERATURA DEL AGUA °C	21	$G_s = \frac{M_s * k}{M_s + M_{mw} - M_{mws}}$	2.612
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA $M_{mw}$ (gr)	657.994		
MASA MUESTRA DE SUELO $W_m$ (gr)	50		
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO $M_{mws}$ (gr)	688.8		
MASA MUESTRA SECA $M_s$ (gr)	49.9		
FACTOR DE CORRECCIÓN K	0.9998		

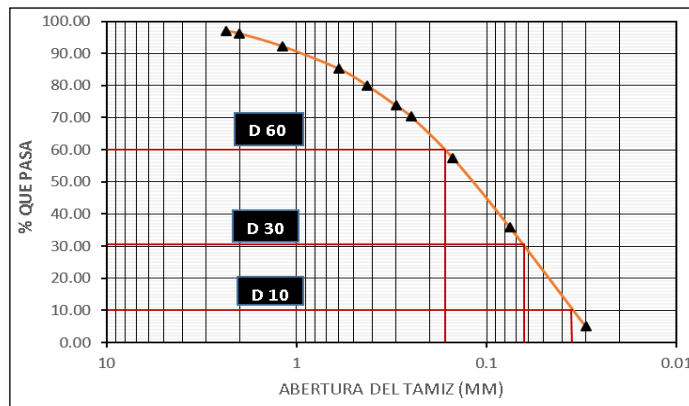
## Relaciones Volumétricas

RELACIONES VOLUMÉTRICAS			
<b>Relación de vacíos</b>			
Volumen de Agua Vw (cm3)	6.7		
Peso del suelo seco Ws (gr)	46.7	Volumen solidos (cm3)	17.87
Gravedad Específica Gs	2.612	$V_s = W_s / (G_s \cdot \gamma_w)$	
Peso de la muestra Wm (gr)	53.4	Volumen de la muestra (cm3)	31.34
Peso Volumétrico de la muestra $\gamma_m$ (gr/cm3)	1.704	$V_m = W_m / \gamma_m$	
Volumen de vacíos (cm3) $V_v = V_m - V_d$	13.47	Relación de vacíos $e = V_v / V_s$	0.75
<b>Porosidad</b>			
$n\% = V_v / V_m$		43.0%	
<b>Grado de saturación de Agua</b>			
$G_w\% = V_w / V_v$		50.0%	
<b>Grado de saturación del Aire</b>			
$G_a\% = (V_v - V_w) / V_v$		50.00%	

## Granulometría

AASHTO T 88 2013

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
8	2.36	7.5	7.5	3.03	96.97
10	2	2.2	9.7	3.92	96.08
16	1.18	10	19.7	7.95	92.05
30	0.6	17.1	36.8	14.86	85.14
40	0.425	12.9	49.7	20.06	79.94
50	0.3	15.4	65.1	26.28	73.72
60	0.25	8.4	73.5	29.67	70.33
100	0.15	32.2	105.7	42.67	57.33
200	0.075	53.5	159.2	64.27	35.73
BANDEJA		88.5	247.7	100.00	0.00
<b>Diámetro Efectivo (D10) mm</b>	<b>Diámetro Equiparable (D30) mm</b>	<b>Diámetro dimensional (D60) mm</b>	<b>Coefficiente de Uniformidad</b>	<b>Coefficiente de Curvatura</b>	-
0.035	0.065	0.18	5.14	0.67	-



## Límite Plástico

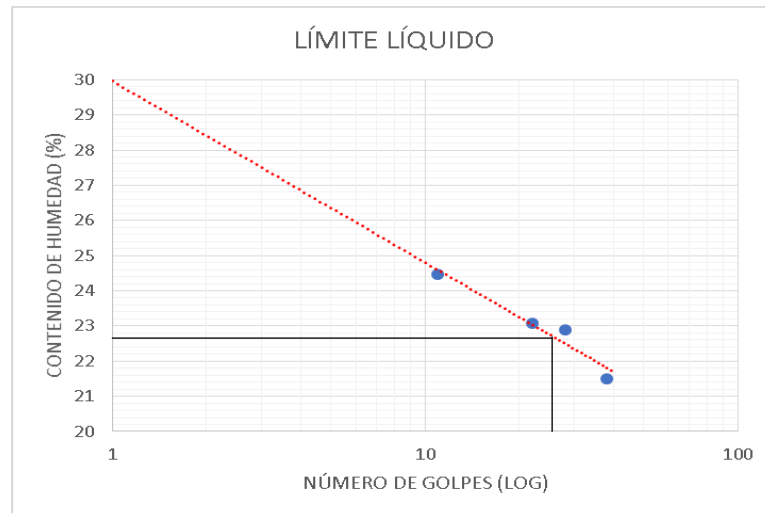
Norma AASHTO T 90 2016

LÍMITE PLÁSTICO					
RECIPIENTE #	p7	p6	p5	10	43
PESO RECIPIENTE (gr)	10.6	10.6	10.7	6	6
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	11.7	11.5	11.9	7.7	7
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	11.5	11.4	11.7	7.4	6.9
PESO MUESTRA SECA (gr)	0.9	0.8	1	1.4	0.9
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	1.1	0.9	1.2	1.7	1
PESO AGUA (gr)	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	22.22	12.50	20.00	21.43	11.11
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	17.45				

## Límite Líquido

Norma AASHTO T 89 2013

LÍMITE LÍQUIDO								
NUMERO DE GOLPES	11		22		28		38	
RECIPIENTE NUMERO	P1	P6	P5	P7	P3	P4	P2	76
PESO RECIPIENTES (gr)	10.7	10.5	10.7	10.6	10.7	10.6	10.5	10.6
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	18.2	16.8	18	16.6	15.9	15.6	15.5	15.2
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	16.8	15.5	16.6	15.5	14.9	14.7	14.6	14.4
PESO MUESRA SECA (gr)	6.1	5	5.9	4.9	4.2	4.1	4.1	3.8
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	7.5	6.3	7.3	6	5.2	5	5	4.6
PESO AGUA (gr)	1.4	1.3	1.4	1.1	1	0.9	0.9	0.8
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	22.95	26.00	23.73	22.45	23.81	21.95	21.95	21.05
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	24.48		23.09		22.88		21.50	
LÍMITE LIQUIDO (25 GOLPES) (%)	22.75							



## Índice Plástico y Clasificación

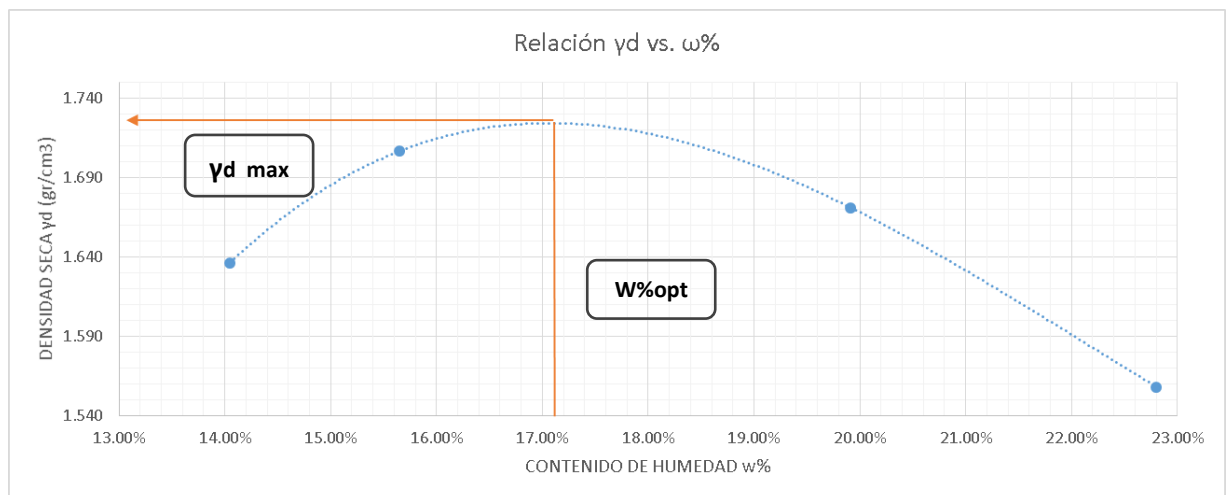
ÍNDICE PLÁSTICO	
LÍMITE LÍQUIDO LL%	22.75
LÍMITE PLÁSTICO LP%	17.45
ÍNDICE PLÁSTICO	5.300

CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO
SC-SM	A-4(0)

## Compactación Proctor Modificado B

Norma AASHTO T 180 2018

PROCTOR MODIFICADO TIPO B								
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10	lb
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	14079	gr	Volumen molde:	2208.94	cm <sup>3</sup>
Energía de compactación:	55986	lb/ft/ft <sup>3</sup>	Diámetro:	15	cm	Altura:	12.5	cm
Ensayo número	1		2		3		4	
Peso inicial deseado (gr)	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial añadida (%)	6		9		12		15	
P. molde + suelo húmedo (gr)	18201		18439		18505		18305	
Peso suelo húmedo (gr)	4122		4360		4426		4226	
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.866		1.974		2.004		1.913	
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	73	35	68	14	21	63	42	74
Peso R. + Suelo húmedo (gr)	98.9	86.8	104.4	86.4	99.6	83.2	91.4	78.4
Peso R. + Suelo seco (gr)	90.1	79.2	93.8	78.2	88.2	74.5	79.9	69.8
Peso agua (gr)	8.8	7.6	10.6	8.2	11.4	8.7	11.5	8.6
Peso recipiente (gr)	27.8	24.8	24.9	26.7	31.1	30.7	30.6	31.2
Peso suelo seco (gr)	62.3	54.4	68.9	51.5	57.1	43.8	49.3	38.6
Contenido húmeda $\omega\%$	14.13%	13.97%	15.38%	15.92%	19.96%	19.86%	23.33%	22.28%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	14.05%		15.65%		19.91%		22.80%	
Densidad seca $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.636		1.707		1.671		1.558	
Cont. Humedad opt. $w\%$	17.1							
Densidad seca máx. $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.726							
Grado de Compactación (%)	86%							

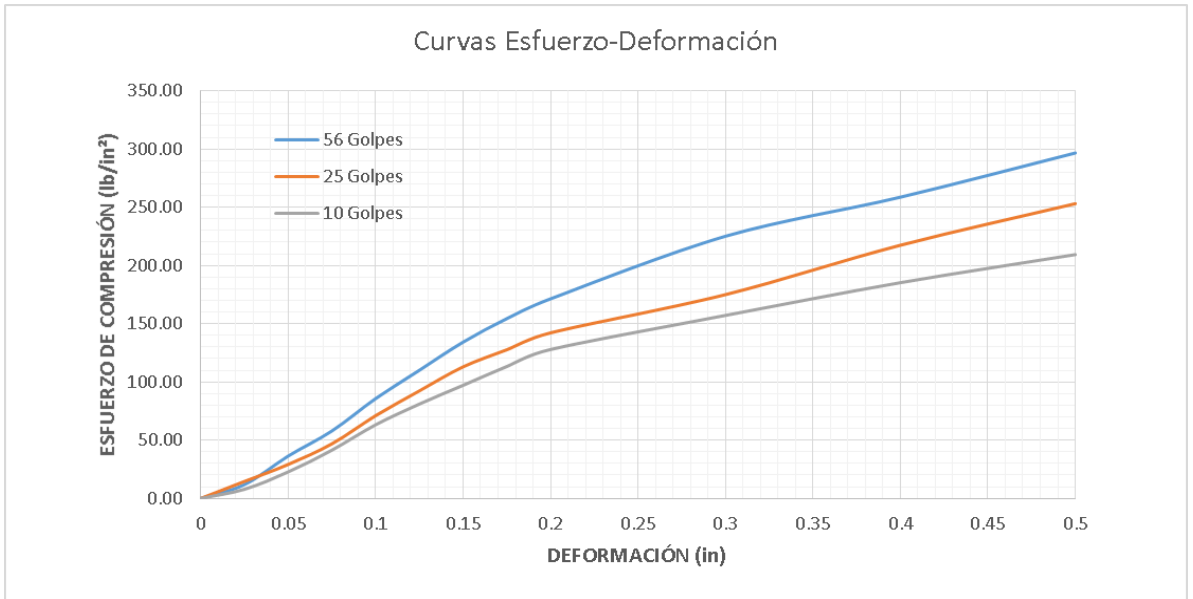


**CBR de laboratorio**

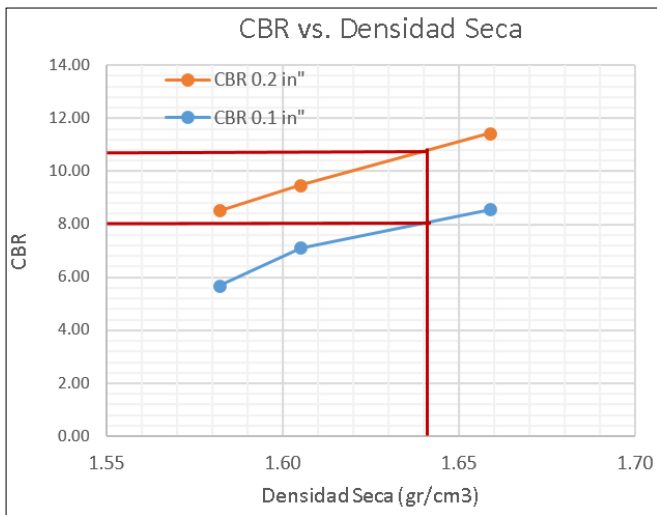
**Norma AASHTO T 193 2015**

<b>CBR DE LABORATORIO</b>						
<b>MOLDE</b>	<b>A2</b>		<b>M1</b>		<b>6A</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15.1	Diámetro	15.2	Diámetro	15
	Altura	12.8	Altura	12.8	Altura	12.8
N° de golpes	10		25		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	11682		10095		10171	
Masa Molde (gr)	7739		6110		6070	
Masa muestra húmeda (gr)	3943		3985		4101	
Volumen muestra (cm3)	2112.18		2112.18		2112.18	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.87		1.89		1.94	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	21	73	42	63	14	68
Masa del recipiente	9.3	24.9	24.8	16.4	14.1	15.3
Masa suelo hum+recip. (gr)	50.2	53.4	76.1	53.2	58.8	57.1
Masa suelo seco+recip. (gr)	43.9	49.1	68.6	47.6	52.1	51.2
Masa de agua (gr)	6.3	4.3	7.5	5.6	6.7	5.9
Masa suelo seco (gr)	34.6	24.2	43.8	31.2	38	35.9
Contenido de humedad W%	18.21	17.77	17.12	17.95	17.63	16.43
Promedio W%	17.99		17.54		17.03	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.58		1.61		1.66	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	11632		10047		10498.00	
Masa Molde (gr)	7739		6110		6070.00	
Masa muestra húmeda (gr)	3893		3937		4428.00	
Volumen muestra (cm3)	2112.18		2112.180		2112.18	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.843		1.864		2.096	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	73	68	42	63	14	21
Masa del recipiente	10.3	15.3	21.8	16.4	14.1	9.3
Masa suelo hum+recip. (gr)	59.5	60.9	60.1	63.2	60.9	71.8
Masa suelo seco+recip. (gr)	52.3	52.5	52.7	54.5	51.9	59.8
Masa de agua (gr)	7.2	8.4	7.4	8.7	9	12
Masa suelo seco (gr)	30.5	36.1	30.9	38.1	37.8	50.5
Contenido de humedad W%	23.61	23.27	23.95	22.83	23.81	23.76
Promedio W%	23.44		23.39		23.79	

<b>VALORES DE PRESIÓN</b>						
<b>MOLDE</b>	<b>A2</b>		<b>M1</b>		<b>6A</b>	
<b>Penetración (in.)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>
<b>0</b>	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
<b>0.025</b>	24.7	7.86	45.8	14.58	37.3	11.87
<b>0.05</b>	71.5	22.76	91.7	29.19	114.3	36.38
<b>0.075</b>	130.2	41.44	147.5	46.95	182.1	57.96
<b>0.1</b>	198.8	63.28	223.3	71.08	269.3	85.72
<b>0.125</b>	254.6	81.04	290.2	92.37	345.8	110.07
<b>0.15</b>	305.3	97.18	355.1	113.03	421.9	134.29
<b>0.175</b>	356.1	113.35	401.2	127.71	485.1	154.41
<b>0.2</b>	401.9	127.93	446.8	142.22	538.6	171.44
<b>0.3</b>	493.8	157.18	550.0	175.07	707.3	225.14
<b>0.4</b>	582.1	185.29	683.2	217.47	812.9	258.75
<b>0.5</b>	657.9	209.42	795.3	253.15	932.1	296.70



VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (corregidos)					
MOLDE (No. Golpes)	ESFUERZO (lb /in²)	CBR (0.1 in.)	Densidad Seca	ESFUERZO (lb /in²)	CBR (0.2 in.)
A2 (10 Golpes)	56.9	5.69	1.58	128.0	8.53
M1 (25 Golpes)	71.1	7.11	1.61	142.2	9.48
6A (56 Golpes)	85.7	8.57	1.66	171.5	11.43



CBR ESTIMADO PARA EL 95% DE LA DENSIDAD	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (DSM)	1.726
95% DSM	1.6397
<b>CBR</b>	
CBR 0.1 in "	8%
CBR 0.2 in "	11%

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

**RESUMEN DE ENSAYOS POR PUNTO**

**Punto:** H3

**Profundidad:** 1 m

**Elaborado por:** Patricio David Mera Parra

**Revisado por:** Ing. Mg. Favio Portilla Yandún

**Fecha:** 03/10/19

**Coordenadas (UTM WGS 86, 17 S)**

COORDENADAS	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
	9861198	764677	2690

**Resistividad eléctrica en campo**

Norma ASTM

G57

ENSAYO DE RESISTIVIDAD				
# Medición	R( $\Omega$ )		$\rho(\Omega.m)$	
1	40.2	<b>PROMEDIO</b> <b>40.1</b>	252.5	<b>PROMEDIO</b> <b>252.1</b>
2	40.1		251.9	
3	40.1		251.9	

**Contenido de humedad natural**

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL						
Peso Recipiente (gr)	Peso Rec+Suelo Húmedo (gr)	Peso Rec+Suelo seco (gr)	Ww (gr)	Ws (gr)	W%	W%(Prom)
30.6	101.6	94.5	7.1	63.9	11.1%	10.35%
31.2	102.1	95.9	6.2	64.7	9.6%	

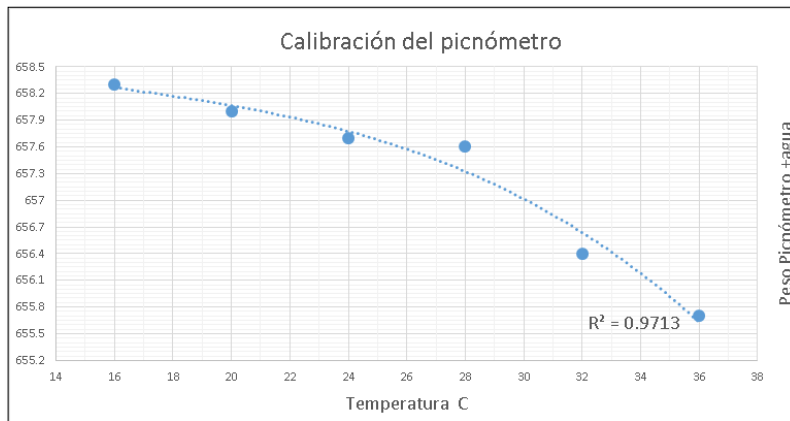
## Densidad en campo

AASHTO T 191 2014

DENSIDAD EN CAMPO			
<b>Datos de calibración del cono</b>			
Peso de arena en el cono (gr)	343.00	Peso Específico de la arena $\gamma_s$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.64
Volumen de la arena en el cono (cm <sup>3</sup> )	209.44		
<b>Datos de ensayo</b>			
Contenido de humedad natural w%	10.35%	Peso específico de la masa de suelo $\gamma_m = W_m/V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.806
Peso del suelo extraído $W_m$ (gr)	908.60		
Peso arena en el hueco $W_s$ (gr)	824.00	Peso específico del suelo seco $\gamma_d = \gamma_m / (1+W)$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.637
Volumen del hueco $V_m = W_s * \gamma_s$ (cm <sup>3</sup> )	503.14		

## Gravedad Específica

AASHTO T 100 2015



GRAVEDAD ESPECÍFICA			
TEMPERATURA DEL AGUA °C	23.5	$G_s = \frac{M_s * k}{M_s + M_{mw} - M_{mws}}$	2.581
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA $M_{mw}$ (gr)	657.814		
MASA MUESTRA DE SUELO $W_m$ (gr)	50		
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO $M_{mws}$ (gr)	686.8		
MASA MUESTRA SECA $M_s$ (gr)	47.3		
FACTOR DE CORRECCIÓN K	0.9992		



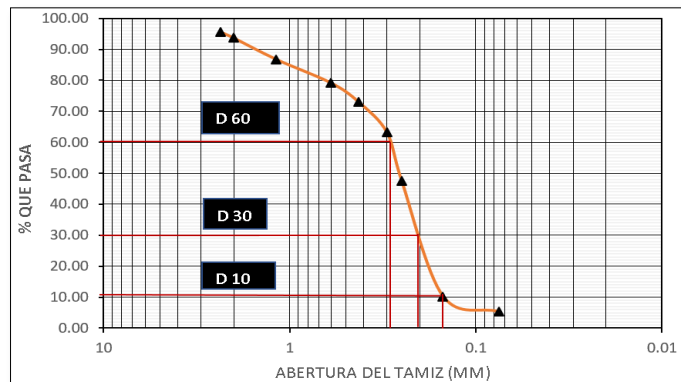
## Relaciones Volumétricas

RELACIONES VOLUMÉTRICAS			
<b>Relación de vacíos</b>			
Volumen de Agua Vw (cm3)	7.1		
Peso del suelo seco Ws (gr)	63.9	Volumen solidos (cm3)	24.75
Gravedad Específica Gs	2.581	$V_s = W_s / (G_s \cdot \gamma_w)$	
Peso de la muestra Wm (gr)	71	Volumen de la muestra (cm3)	39.32
Peso Volumétrico de la muestra $\gamma_m$ (gr/cm3)	1.806	$V_m = W_m / \gamma_m$	
Volumen de vacíos (cm3) Vv=Vm-Vd	14.57	Relación de vacíos $e = V_v / V_s$	0.59
<b>Porosidad</b>			
$n\% = V_v / V_m$			37.0%
<b>Grado de saturación de Agua</b>			
$G_w\% = V_w / V_v$			49.0%
<b>Grado de saturación del Aire</b>			
$G_a\% = (V_v - V_w) / V_v$			51.00%

## Granulometría

AASHTO T 88 2013

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
8	2.36	10.7	10.7	4.30	95.70
10	2	4.9	15.6	6.28	93.72
16	1.18	17.2	32.8	13.19	86.81
30	0.6	18.9	51.7	20.80	79.20
40	0.425	15.5	67.2	27.03	72.97
50	0.3	24.3	91.5	36.81	63.19
60	0.25	39.1	130.6	52.53	47.47
100	0.15	92.6	223.2	89.78	10.22
200	0.075	12.4	235.6	94.77	5.23
BANDEJA		13	248.6	100.00	
<b>Diámetro Efectivo (D10) mm</b>	<b>Diámetro Equiparable (D30) mm</b>	<b>Diámetro dimensional (D60) mm</b>	<b>Coficiente de Uniformidad</b>	<b>Coficiente de Curvatura</b>	-
0.13	0.2	0.29	2.23	1.06	-



## Límite Plástico

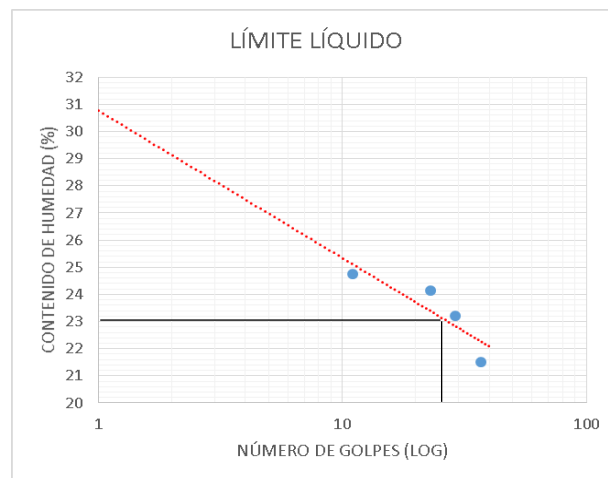
Norma AASHTO T 90 2016

LÍMITE PLÁSTICO						
RECIPIENTE #	p5	p6	p7	42	29	
PESO RECIPIENTE (gr)	10.7	10.5	10.6	6	7.4	
PESO RECIPIENTE + MUEUSTRAS HUMEDAS (gr)	13.1	12.3	12.1	8.4	9.7	
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	12.7	12	11.9	8	9.3	
PESO MUESTRA SECA (gr)	2	1.5	1.3	2	1.9	
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	2.4	1.8	1.5	2.4	2.3	
PESO AGUA (gr)	0.4	0.3	0.2	0.4	0.4	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	20.00	20.00	15.38	20.00	21.05	
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)						19.29

## Límite Líquido

Norma AASHTO T 89 2013

LÍMITE LÍQUIDO									
NUMERO DE GOLPES	11		23		29		37		
RECIPIENTE NUMERO	9	11	10	47	37	17	9	18	
PESO RECIPIENTES (gr)	6	6	6.1	6.1	6.2	6.1	10.7	10.8	
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	12.1	11.5	11.6	11.9	11.2	11.7	15.6	15.5	
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	10.9	10.4	10.6	10.7	10.3	10.6	14.7	14.7	
PESO MUESTRA SECA (gr)	4.9	4.4	4.5	4.6	4.1	4.5	4	3.9	
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	6.1	5.5	5.5	5.8	5	5.6	4.9	4.7	
PESO AGUA (gr)	1.2	1.1	1	1.2	0.9	1.1	0.9	0.8	
CONTENIDO DE HUMEDAD	24.49	25.00	22.22	26.09	21.95	24.44	22.50	20.51	
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	24.74		24.15		23.20		21.51		
LÍMITE LÍQUIDO (25 GOLPES)						23.19			



## Índice Plástico y Clasificación

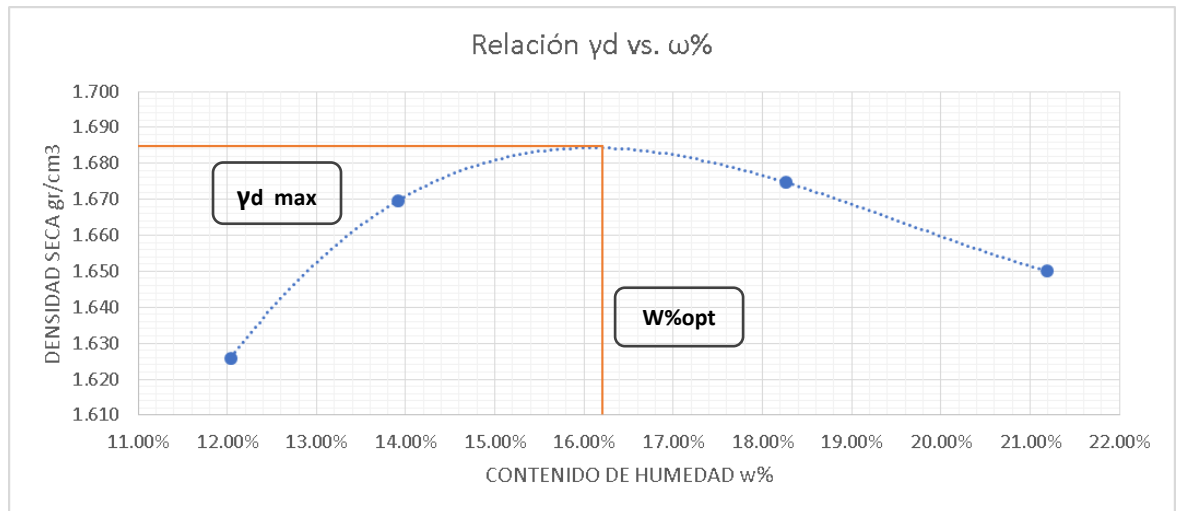
ÍNDICE PLÁSTICO	
LÍMITE LÍQUIDO LL%	23.19
LÍMITE PLÁSTICO LP%	19.29
ÍNDICE PLÁSTICO	3.900

CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO
SP-SM	A-2-4(0)

**Compactación Proctor Modificado B (AASHTO)**  
2018

Norma AASHTO T 180

PROCTOR MODIFICADO TIPO B								
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10 lb	
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	14079 gr		Volumen molde:	2208.94 cm <sup>3</sup>	
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft <sup>3</sup>		Diámetro:	15 cm		Altura:	12.5 cm	
Ensayo número	1		2		3		4	
Peso inicial deseado (gr)	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial añadida (%)	6		9		12		15	
P. molde + suelo húmedo (gr)	18103		18280		18454		18496	
Peso suelo húmedo (gr)	4024		4201		4375		4417	
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.822		1.902		1.981		2.000	
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	63	68	73	74	21	42	14	35
Peso R. + Suelo húmedo (gr)	111.8	127.9	126.4	125	134.4	131.4	124	122
Peso R. + Suelo seco (gr)	103.2	116.3	114	113	118.7	115.6	107.6	106.2
Peso agua (gr)	8.6	11.6	12.4	12	15.7	15.8	16.4	15.8
Peso recipiente (gr)	27.8	24.8	24.9	26.7	31.1	30.7	30.6	31.2
Peso suelo seco (gr)	75.4	91.5	89.1	86.3	87.6	84.9	77	75
Contenido húmeda $\omega\%$	11.41%	12.68%	13.92%	13.90%	17.92%	18.61%	21.30%	21.07%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	12.04%		13.91%		18.27%		21.18%	
Densidad seca $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.626		1.670		1.675		1.650	
Cont. Humedad optm (%)	16.2							
Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	1.684							
Grado de compactación Gc%	97%							

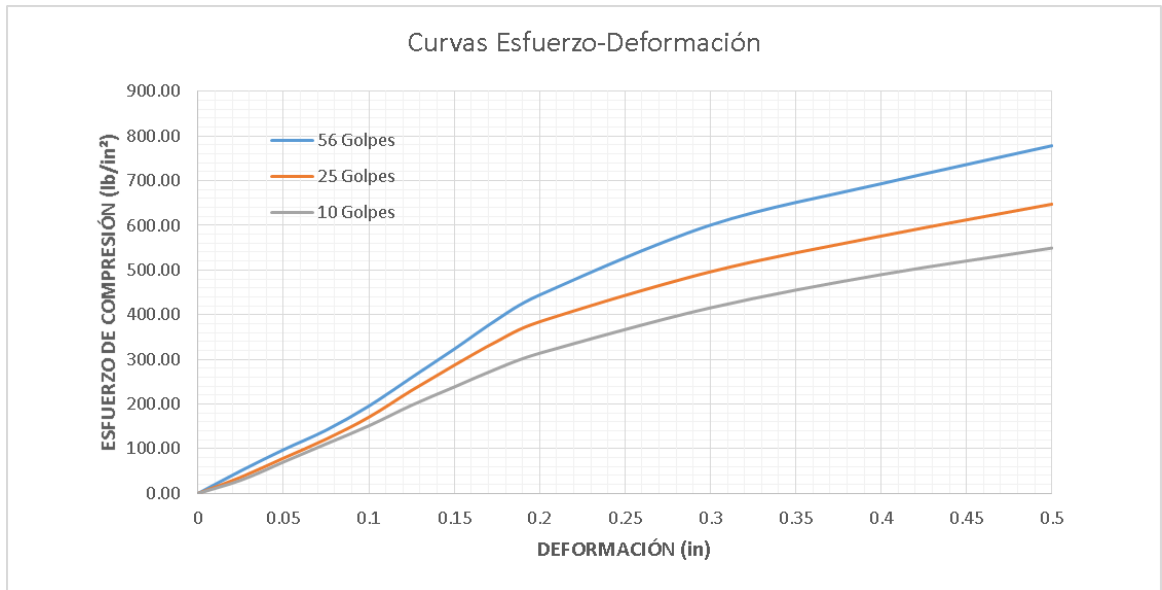


**CBR de laboratorio**

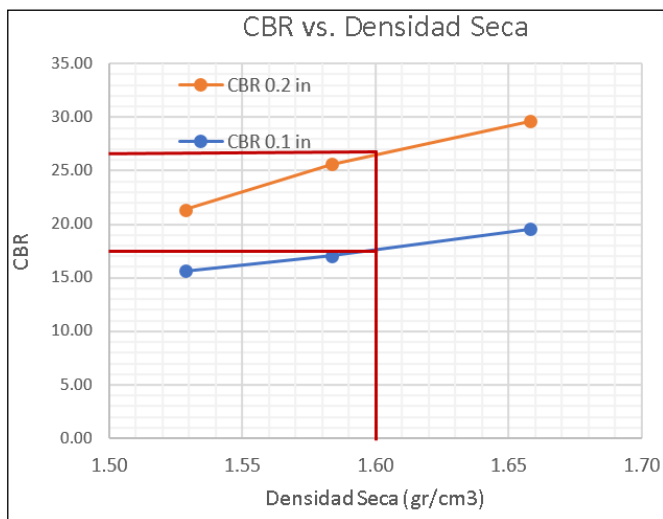
Norma AASHTO T 193 2015

CBR DE LABORATORIO						
MOLDE	A2		M1		6A	
DIMENSIONES	Diámetro	15.1	Diámetro	15.2	Diámetro	15
	Altura	12.8	Altura	12.8	Altura	12.8
N° de golpes	10		25		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	11475		11635		11695	
Masa Molde (gr)	7700		7730		7610	
Masa muestra húmeda (gr)	3775		3905		4085	
Volumen muestra (cm3)	2112.18		2112.18		2112.18	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.79		1.85		1.93	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	21	73	42	63	14	68
Masa del recipiente	9.3	24.9	24.8	16.4	14.1	15.3
Masa suelo hum+recip. (gr)	60.1	72.3	77.2	62.8	61.4	52.3
Masa suelo seco+recip. (gr)	52.9	65.3	69.5	56.3	54.3	47.3
Masa de agua (gr)	7.2	7	7.7	6.5	7.1	5
Masa suelo seco (gr)	43.6	40.4	44.7	39.9	40.2	32
Contenido de humedad W%	16.51	17.33	17.23	16.29	17.66	15.63
Promedio W%	16.92		16.76		16.64	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.53		1.58		1.66	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	11635		11678		12098.00	
Masa Molde (gr)	7700		7730		7610.00	
Masa muestra húmeda (gr)	3935		3948		4488.00	
Volumen muestra (cm3)	2112.18		2112.180		2112.18	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.863		1.869		2.125	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	73	68	42	63	14	21
Masa del recipiente	24.9	15.3	24.8	16.4	14.1	9.3
Masa suelo hum+recip. (gr)	72.3	61.2	75.6	62.8	58.7	61.4
Masa suelo seco+recip. (gr)	64.8	53.9	67.7	55.4	51.9	52.8
Masa de agua (gr)	7.5	7.3	7.9	7.4	6.8	8.6
Masa suelo seco (gr)	40	37.5	42.9	39	37.8	43.5
Contenido de humedad W%	18.75	19.47	18.41	18.97	17.99	19.77
Promedio W%	19.11		18.69		18.88	

VALORES DE PRESIÓN						
MOLDE	A2		M1		6A	
Penetración (in.)	Dial (Lbf)	Presión (Psi)	Dial (Lbf)	Presión (Psi)	Dial (Lbf)	Presión (Psi)
0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
0.025	92.8	29.54	114.1	36.32	158.7	50.52
0.05	220.7	70.25	248.2	79.00	307.4	97.85
0.075	348.5	110.93	382.2	121.66	445.1	141.68
0.1	475.8	151.45	536.3	170.71	614.8	195.70
0.125	620.3	197.45	724.1	230.49	815.1	259.45
0.15	748.7	238.32	901.9	287.08	1015.4	323.21
0.175	877.2	279.22	1069.7	340.50	1222.7	389.20
0.2	985.7	313.76	1207.5	384.36	1396.0	444.36
0.3	1305.3	415.49	1558.8	496.18	1887.2	600.71
0.4	1538.8	489.81	1810.0	576.14	2178.2	693.34
0.5	1726.1	549.43	2034.7	647.66	2445.5	778.43



VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (corregidos)					
MOLDE (No. Golpes)	ESFUERZO (lb /in²)	CBR (0.1 in.)	Densidad Seca	ESFUERZO (lb /in²)	CBR (0.2 in.)
A2 (10 Golpes)	156.6	15.65	1.53	320.1	21.34
M1 (25 Golpes)	170.7	17.07	1.58	384.4	25.62
6A (56 Golpes)	195.7	19.57	1.66	444.4	29.62



CBR ESTIMADO PARA EL 95% DE LA DENSIDAD	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (DSM)	1.684
95% DSM	1.5998
<b>CBR</b>	
CBR 0.1 in "	18%
CBR 0.2 in "	27%

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

**RESUMEN DE ENSAYOS POR PUNTO**

**Punto:** H4

**Profundidad:** 1 m

**Elaborado por:** Patricio David Mera Parra

**Revisado por:** Ing. Mg. Favio Portilla Yandún

**Fecha:** 03/10/19

**Coordenadas (UTM WGS 86, 17 S)**

COORDENADAS	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
	9861039	764577	2706

**Resistividad eléctrica en campo**

Norma ASTM G57

ENSAYO DE RESISTIVIDAD				
# Medición	R( $\Omega$ )		$\rho(\Omega.m)$	
1	12.4	<b>PROMEDIO</b> <b>12.4</b>	77.9	<b>PROMEDIO</b> <b>77.9</b>
2	11.9		74.7	
3	12.9		81.0	

**Contenido de humedad natural**

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL						
Peso Recipiente (gr)	Peso Rec+Suelo Húmedo (gr)	Peso Rec+Suelo seco (gr)	Ww (gr)	Ws (gr)	W%	W%(Prom)
30.6	102.8	92.5	10.3	61.9	16.6%	16.46%
31.2	101.2	91.4	9.8	60.2	16.3%	

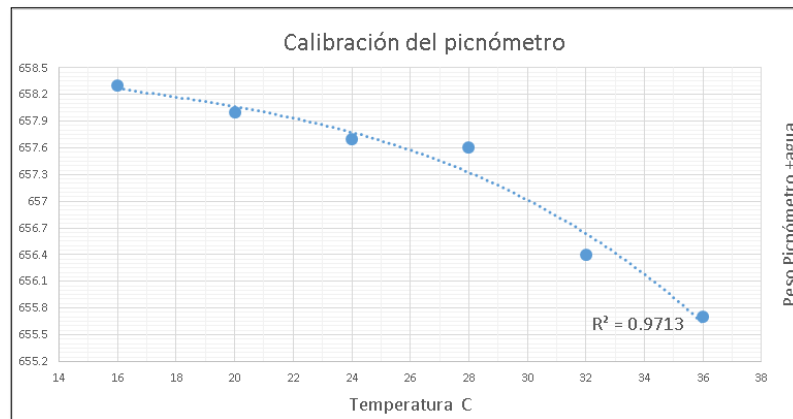
## Densidad en campo

AASHTO T 191 2014

DENSIDAD EN CAMPO			
Datos de calibración del cono			
Peso de arena en el cono (gr)	343.00	Peso Específico de la arena $\gamma_s$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.64
Volumen de la arena en el cono (cm <sup>3</sup> )	209.44		
Datos de ensayo			
Contenido de humedad natural w%	16.46%	Peso específico de la masa de suelo $\gamma_m = W_m/V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.856
Peso del suelo extraído $W_m$ (gr)	700.20		
Peso arena en el hueco $W_s$ (gr)	618.00	Peso específico del suelo seco $\gamma_d = \gamma_m / (1+W)$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.593
Volumen del hueco $V_m = W_s * \gamma_s$ (cm <sup>3</sup> )	377.36		

## Gravedad Específica

AASHTO T 100 2015



GRAVEDAD ESPECÍFICA			
TEMPERATURA DEL AGUA °C	23	$G_s = \frac{M_s * k}{M_s + M_{mw} - M_{mws}}$	2.690
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA $M_{mw}$ (gr)	657.849		
MASA MUESTRA DE SUELO $W_m$ (gr)	50		
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO $M_{mws}$ (gr)	688.9		
MASA MUESTRA SECA $M_s$ (gr)	49.4		
FACTOR DE CORRECCIÓN K	0.9993		

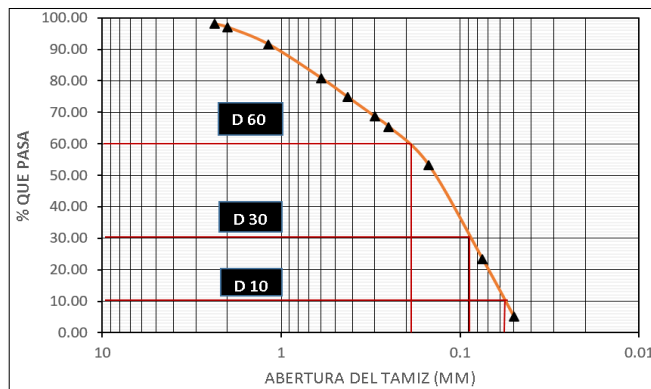
## Relaciones Volumétricas

RELACIONES VOLUMÉTRICAS			
<b>Relación de vacíos</b>			
Volumen de Agua Vw (cm3)	10.3		
Peso del suelo seco Ws (gr)	61.9	Volumen solidos (cm3) Vs=Ws/(Gs* $\gamma_s$ )	23.01
Gravedad Especifica Gs	2.690		
Peso de la muestra Wm (gr)	72.2	Volumen de la muestra (cm3) Vm=Wm/ $\gamma_m$	38.91
Peso Volumétrico de la muestra $\gamma_m$ (gr/cm3)	1.856		
Volumen de vacíos (cm3) Vv=Vm-Vd	15.90	Relación de vacíos e=Vv/Vs	0.69
<b>Porosidad</b>			
n%=Vv/Vm		41.0%	
<b>Grado de saturación de Agua</b>			
Gw%= Vw/Vv		65.0%	
<b>Grado de saturación del Aire</b>			
Ga%=(Vv-Vw)/Vv		35.00%	

## Granulometría

Norma AASHTO T 88 2013

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
8	2.36	4.9	4.9	1.98	98.02
10	2	2.6	7.5	3.03	96.97
16	1.18	13.4	20.9	8.43	91.57
30	0.6	26.5	47.4	19.13	80.87
40	0.425	15.1	62.5	25.22	74.78
50	0.3	15.3	77.8	31.40	68.60
60	0.25	8.1	85.9	34.67	65.33
100	0.15	29.9	115.8	46.73	53.27
200	0.075	74.1	189.9	76.63	23.37
BANDEJA		57.9	247.8	100.00	0.00
<b>Diámetro Efectivo (D10) mm</b>	<b>Diámetro Equiparable (D30) mm</b>	<b>Diámetro dimensional (D60) mm</b>	<b>Coficiente de Uniformidad</b>	<b>Coficiente de Curvatura</b>	-
0.058	0.09	0.19	3.27	0.73	-





## Límite Plástico

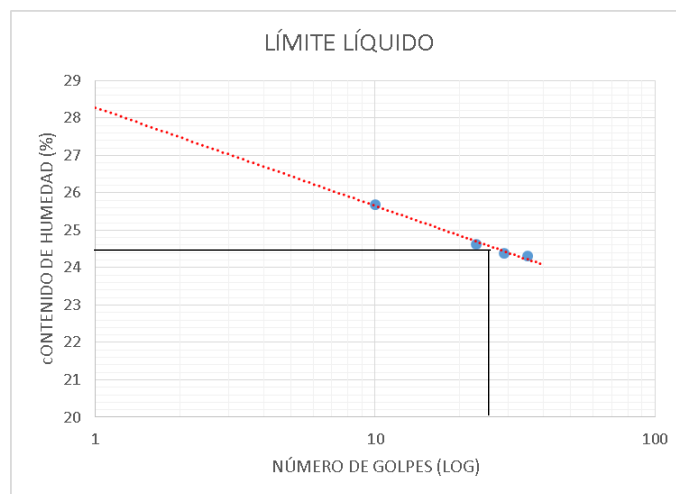
Norma AASHTO T 90 2016

LÍMITE PLÁSTICO					
RECIPIENTE #	43	58	32	59	38
PESO RECIPIENTE (gr)	5.9	6	5.4	6.2	6.3
PESO RECIPIENTE + MUESTRAS HUMEDAS (gr)	8.8	7.5	7	8.8	8.8
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	8.3	7.3	6.7	8.3	8.4
PESO MUESTRA SECA (gr)	2.4	1.3	1.3	2.1	2.1
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	2.9	1.5	1.6	2.6	2.5
PESO AGUA (gr)	0.5	0.2	0.3	0.5	0.4
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	20.83	15.38	23.08	23.81	19.05
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	20.43				

## Límite Líquido

Norma AASHTO T 89 2013

LÍMITE LÍQUIDO								
NUMERO DE GOLPES	10		23		29		35	
RECIPIENTE NUMERO	P2	P5	P6	P7	43	10	P3	P4
PESO RECIPIENTES (gr)	10.6	10.8	10.5	10.6	5.9	6	10.7	10.6
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	17.2	16.4	15.8	17	13.1	14.1	16.9	19.2
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	15.8	15.3	14.7	15.8	11.7	12.5	15.7	17.5
PESO MUESTRA SECA (gr)	5.2	4.5	4.2	5.2	5.8	6.5	5	6.9
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	6.6	5.6	5.3	6.4	7.2	8.1	6.2	8.6
PESO AGUA (gr)	1.4	1.1	1.1	1.2	1.4	1.6	1.2	1.7
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	26.92	24.44	26.19	23.08	24.14	24.62	24.00	24.64
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	25.68		24.63		24.38		24.32	
LÍMITE LÍQUIDO (25 GOLPES)	24.61							



## Índice Plástico y Clasificación

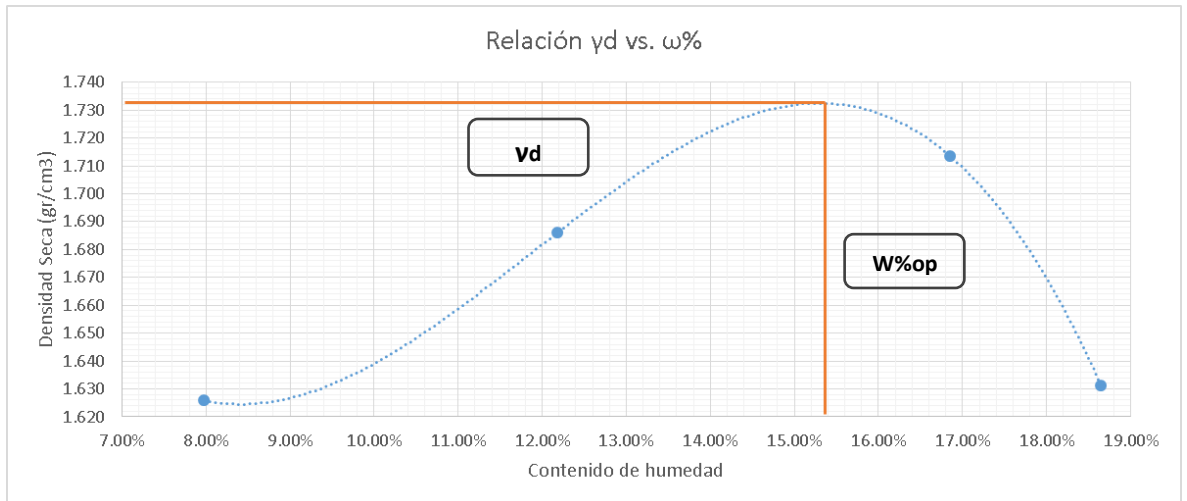
ÍNDICE PLÁSTICO	
LÍMITE LÍQUIDO LL%	24.61
LÍMITE PLÁSTICO LP%	20.43
ÍNDICE PLÁSTICO	4.180

CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO
SC-SM	A-2-4(0)

# Compactación Proctor Modificado B 2018

Norma AASHTO T 180

PROCTOR MODIFICADO TIPO B (AASHTO)								
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10	lb
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	14079	gr	Volumen molde:	2208.94	cm <sup>3</sup>
Energía de compactación:	55986	lb/ft <sup>3</sup>	Diámetro:	15	cm	Altura:	12.5	cm
Ensayo número	1	2	3	4				
Peso inicial deseado (gr)	6000	6000	6000	6000				
Humedad inicial añadida (%)	6	9	12	15				
P. molde + suelo húmedo (gr)	17957	18257	18502	18354				
Peso suelo húmedo (gr)	3878	4178	4423	4275				
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (gr/d	1.756	1.891	2.002	1.935				
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	14	21	18	22	17	13	20	19
Peso R. + Suelo húmedo (gr)	146	127	201	138.7	157	116.4	158.5	148.7
Peso R. + Suelo seco (gr)	139	118	182.1	126.4	139.2	103.8	138	130.6
Peso agua (gr)	7	9	18.9	12.3	17.8	12.6	20.5	18.1
Peso recipiente (gr)	27.8	24.8	24.9	26.7	31.1	30.7	30.6	31.2
Peso suelo seco (gr)	111.2	93.2	157.2	99.7	108.1	73.1	107.4	99.4
Contenido humeda $\omega\%$	6.29%	9.66%	12.02%	12.34%	16.47%	17.24%	19.09%	18.21%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	7.98%		12.18%		16.85%		18.65%	
Densidad seca $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.626		1.686		1.714		1.631	
Cont. Humedad óptimo (%)	15.3							
Densidad seca máx. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.734							
Grado de compactación (%)	92%							

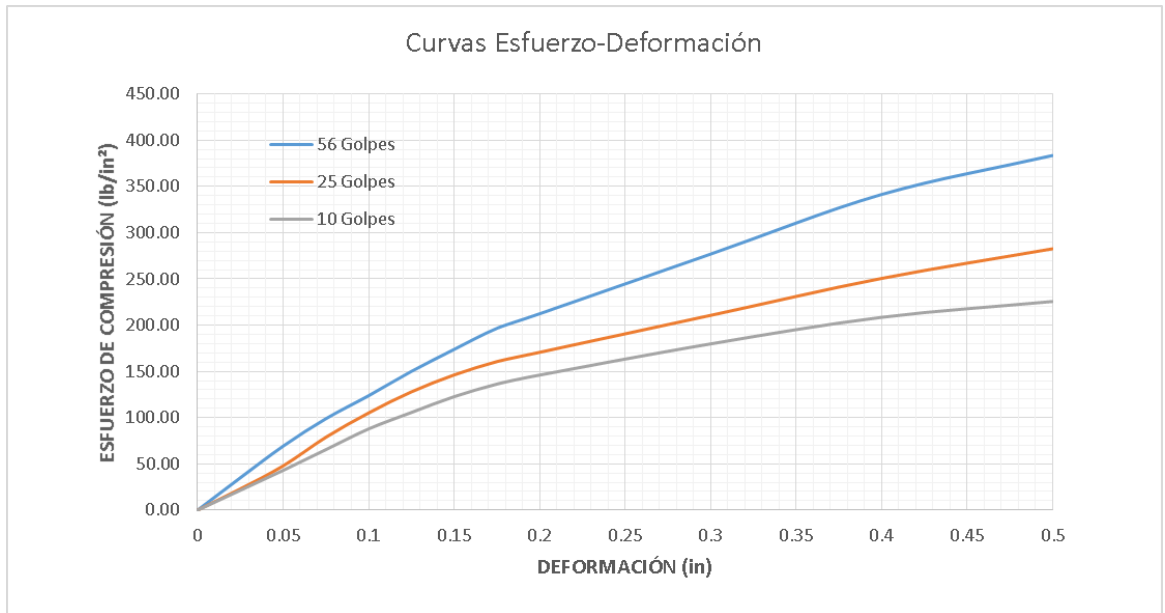


**CBR de laboratorio**

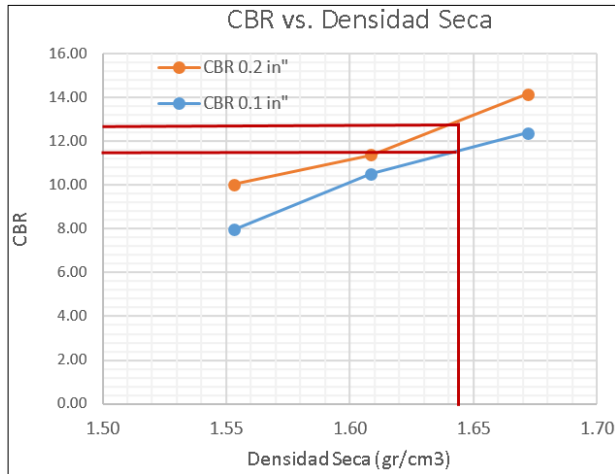
**Norma AASHTO T 193 2015**

<b>CBR DE LABORATORIO</b>						
<b>MOLDE</b>	<b>A2</b>		<b>M1</b>		<b>6A</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15.1	Diámetro	15.2	Diámetro	15
	Altura	12.8	Altura	12.8	Altura	12.8
N° de golpes	10		25		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	9911		10223		11961	
Masa Molde (gr)	6110		6255		7885	
Masa muestra húmeda (gr)	3801		3968		4076	
Volumen muestra (cm3)	2112.18		2112.18		2112.18	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.80		1.88		1.93	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	21	73	42	63	14	68
Masa del recipiente	9.3	24.9	24.8	16.4	14.1	15.3
Masa suelo hum+recip. (gr)	53.2	61.2	72.1	67.3	51.8	63.4
Masa suelo seco+recip. (gr)	47.1	56.3	65.1	60.2	46.9	56.8
Masa de agua (gr)	6.1	4.9	7	7.1	4.9	6.6
Masa suelo seco (gr)	37.8	31.4	40.3	43.8	32.8	41.5
Contenido de humedad W%	16.14	15.61	17.37	16.21	14.94	15.90
Promedio W%	15.87		16.79		15.42	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.55		1.61		1.67	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	9936		10157		12098.00	
Masa Molde (gr)	6110		6255		7885.00	
Masa muestra húmeda (gr)	3826		3902		4213.00	
Volumen muestra (cm3)	2112.18		2112.180		2112.18	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.811		1.847		1.995	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	73	68	42	63	14	21
Masa del recipiente	10.3	15.3	21.8	16.4	14.1	9.3
Masa suelo hum+recip. (gr)	62.3	52.7	72.5	64.5	59.8	51.5
Masa suelo seco+recip. (gr)	56.7	47.2	65.1	57.5	53.4	45.5
Masa de agua (gr)	5.6	5.5	7.4	7	6.4	6
Masa suelo seco (gr)	34.9	30.8	43.3	41.1	39.3	36.2
Contenido de humedad W%	16.05	17.86	17.09	17.03	16.28	16.57
Promedio W%	16.95		17.06		16.43	

<b>VALORES DE PRESIÓN</b>						
<b>MOLDE</b>	<b>A2</b>		<b>M1</b>		<b>6A</b>	
<b>Penetración (in.)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>
<b>0</b>	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
<b>0.025</b>	67.5	21.49	72.6	23.11	110.2	35.08
<b>0.05</b>	135.1	43.00	150.2	47.81	217.4	69.20
<b>0.075</b>	205.6	65.44	247.7	78.85	310.7	98.90
<b>0.1</b>	276.1	87.89	330.3	105.14	388.9	123.79
<b>0.125</b>	331.8	105.61	401.8	127.90	471.5	150.08
<b>0.15</b>	385.5	122.71	459.3	146.20	546.1	173.83
<b>0.175</b>	428.2	136.30	504.8	160.68	617.7	196.62
<b>0.2</b>	458.9	146.07	536.3	170.71	667.3	212.41
<b>0.3</b>	564.9	179.80	661.8	210.66	869.9	276.90
<b>0.4</b>	655.2	208.56	787.4	250.64	1072.5	341.39
<b>0.5</b>	708.9	225.65	887.9	282.63	1205.1	383.59



<b>VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (corregidos)</b>					
<b>MOLDE (No. Golpes)</b>	<b>ESFUERZO (lb /in<sup>2</sup>)</b>	<b>CBR (0.1 in.)</b>	<b>Densidad Seca</b>	<b>ESFUERZO (lb /in<sup>2</sup>)</b>	<b>CBR (0.2 in.)</b>
A2 (10 Golpes)	79.6	7.96	1.55	150.5	10.03
M1 (25 Golpes)	105.1	10.51	1.61	170.7	11.38
6A (56 Golpes)	123.8	12.38	1.67	212.4	14.16



<b>CBR ESTIMADO PARA EL 95% DE LA DENSIDAD</b>	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (DSM)	1.734
95% DSM	1.6473
<b>CBR</b>	
CBR 0.1 in "	12%
CBR 0.2 in "	13%

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

**RESUMEN DE ENSAYOS POR PUNTO**

**Punto:** H5

**Profundidad:** 1 m

**Elaborado por:** Patricio David Mera Parra

**Revisado por:** Ing. Mg. Favio Portilla Yandún

**Fecha:** 03/10/19

**Coordenadas (UTM WGS 86, 17 S)**

COORDENADAS	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
	9860826	764856	2684

**Resistividad eléctrica en campo**

Norma ASTM G57

ENSAYO DE RESISTIVIDAD				
# Medición	R( $\Omega$ )		$\rho(\Omega.m)$	
1	31.0	<b>PROMEDIO</b> 30.1	194.7	<b>PROMEDIO</b> 189.3
2	28.1		176.5	
3	31.3		196.6	

**Contenido de humedad natural**

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL						
Peso Recipiente (gr)	Peso Rec+Suelo Húmedo (gr)	Peso Rec+Suelo seco (gr)	Ww (gr)	Ws (gr)	W%	W%(Prom)
31.2	149.9	140.7	9.2	109.5	8.4%	8.55%
30.6	123.1	115.7	7.4	85.1	8.7%	

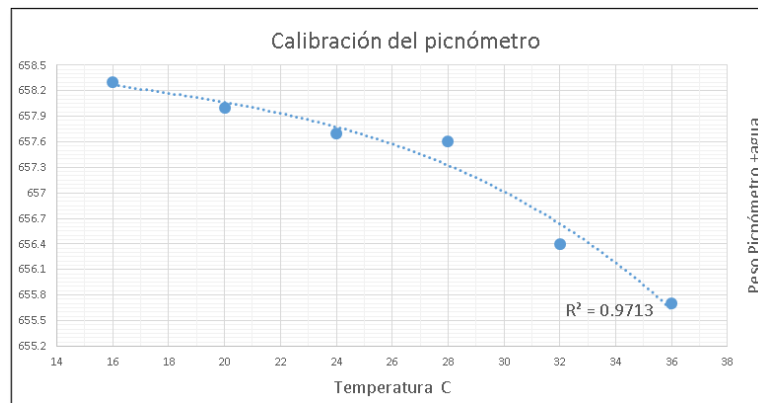
Densidad en campo

Norma AASHTO T 191 2014

DENSIDAD EN CAMPO			
Datos de calibración del cono			
Peso de arena en el cono (gr)	1492.00	Peso Especifico de la arena $\gamma_s$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.61
Volumen de la arena en el cono (cm <sup>3</sup> )	926.58		
Datos de ensayo			
Contenido de humedad natural w%	8.55%	Peso especifico de la masa de suelo $\gamma_m = W_m/V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.732
Peso del suelo extraído $W_m$ (gr)	2414.50		
Peso arena en el hueco $W_s$ (gr)	2244.80	Peso especifico del suelo seco $\gamma_d = \gamma_m / (1+W)$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.596
Volumen del hueco $V_m = W_s / \gamma_s$ (cm <sup>3</sup> )	1394.09		

Gravedad Específica

Norma AASHTO T 100 2015



GRAVEDAD ESPECÍFICA			
TEMPERATURA DEL AGUA °C	22	$G_s = \frac{M_s * k}{M_s + M_{mw} - M_{mws}}$	2.687
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA $M_{mw}$ (gr)	657.928		
MASA MUESTRA DE SUELO $W_m$ (gr)	50		
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO $M_{mws}$ (gr)	688.2		
MASA MUESTRA SECA $M_s$ (gr)	48.2		
FACTOR DE CORRECCIÓN K	0.9996		

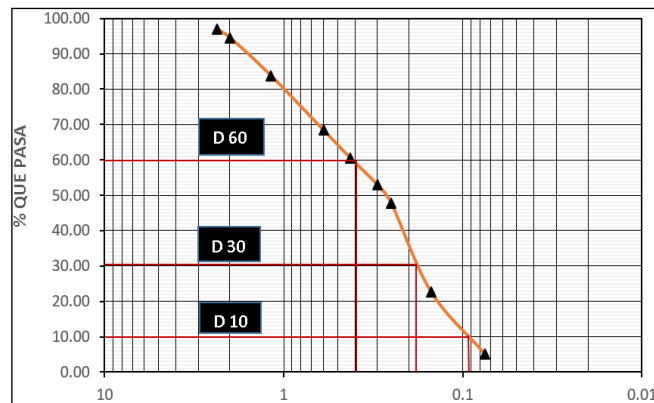
## Relaciones Volumétricas

RELACIONES VOLUMÉTRICAS			
<b>Relación de vacíos</b>			
Volumen de Agua Vw (cm3)	9.2		
Peso del suelo seco Ws (gr)	109.5	Volumen solidos (cm3)	40.75
Gravedad Especifica Gs	2.687	$V_s = W_s / (G_s \cdot \gamma_w)$	
Peso de la muestra Wm (gr)	118.7	Volumen de la muestra (cm3)	68.54
Peso Volumétrico de la muestra $\gamma_m$ (gr/cm3)	1.732	$V_m = W_m / \gamma_m$	
Volumen de vacíos (cm3) $V_v = V_m - V_d$	27.79	Relación de vacíos $e = V_v / V_s$	0.68
<b>Porosidad</b>			
$n\% = V_v / V_m$			40.5%
<b>Grado de saturación de Agua</b>			
$G_w\% = V_w / V_v$			33.0%
<b>Grado de saturación del Aire</b>			
$G_a\% = (V_v - V_w) / V_v$			67.00%

## Granulometría

Norma AASHTO T 88 2013

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
8	2.36	7.7	7.7	3.10	96.90
10	2	5.8	13.5	5.43	94.57
16	1.18	26.7	40.2	16.18	83.82
30	0.6	38.3	78.5	31.60	68.40
40	0.425	19.5	98	39.45	60.55
50	0.3	18.8	116.8	47.02	52.98
60	0.25	13.3	130.1	52.38	47.62
100	0.15	62	192.1	77.33	22.67
200	0.075	43.6	235.7	94.89	5.11
BANDEJA		12.7	248.4	100.00	0.00
<b>Diámetro Efectivo (D10) mm</b>	<b>Diámetro Equiparable (D30) mm</b>	<b>Diámetro dimensional (D60) mm</b>	<b>Coficiente de Uniformidad</b>	<b>Coficiente de Curvatura</b>	-
0.09	0.18	0.41	4.55	0.878	-



## Límite Plástico

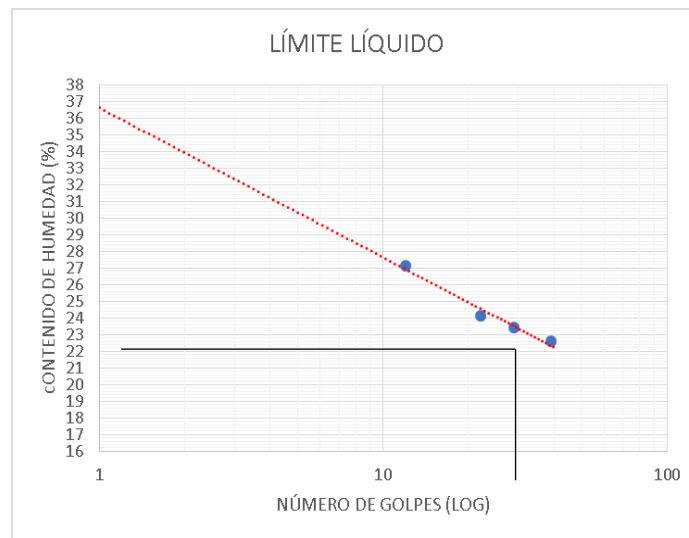
Norma AASHTO T90 2016

LÍMITE PLÁSTICO					
RECIPIENTE #	P1	P5	P2	P3	P4
PESO RECIPIENTE (gr)	10.7	10.5	10.6	10.7	10.6
PESO RECIPIENTE + MUESTRAS HUMEDAS (gr)	12.3	12.2	12.2	11.4	11.5
PESO RECIPIENTE + MUESTRAS SECAS (gr)	12.1	12	11.9	11.3	11.3
PESO MUESTRA SECA (gr)	1.4	1.5	1.3	0.6	0.7
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	1.6	1.7	1.6	0.7	0.9
PESO AGUA (gr)	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	14.29	13.33	23.08	16.67	28.57
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	19.19				

## Límite Líquido

Norma AASHTO T 89 2013

LÍMITE LÍQUIDO									
NUMERO DE GOLPES	12			22		29		39	
RECIPIENTE NUMERO	A	37	61	11	9	47	45	17	
PESO RECIPIENTES (gr)	6.1	6.2	6.2	6	6	6.1	15	6.1	
PESO RECIPIENTE + MUESTRAS HUMEDAS (gr)	13	12.9	12.4	15.2	15.3	13.1	21.1	13	
PESO RECIPIENTE + MUESTRAS SECAS (gr)	11.6	11.4	11.2	13.4	13.5	11.8	20	11.7	
PESO MUESTRA SECA (gr)	5.5	5.2	5	7.4	7.5	5.7	5	5.6	
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	6.9	6.7	6.2	9.2	9.3	7	6.1	6.9	
PESO AGUA (gr)	1.4	1.5	1.2	1.8	1.8	1.3	1.1	1.3	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	25.45	28.85	24.00	24.32	24.00	22.81	22.00	23.21	
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	27.15		24.16		23.40		22.61		
LÍMITE LÍQUIDO (25 GOLPES) (%)	24.07								



## Índice Plástico y Clasificación

ÍNDICE PLÁSTICO	
LÍMITE LÍQUIDO LL%	24.07
LÍMITE PLÁSTICO LP%	19.19
ÍNDICE PLÁSTICO	4.880

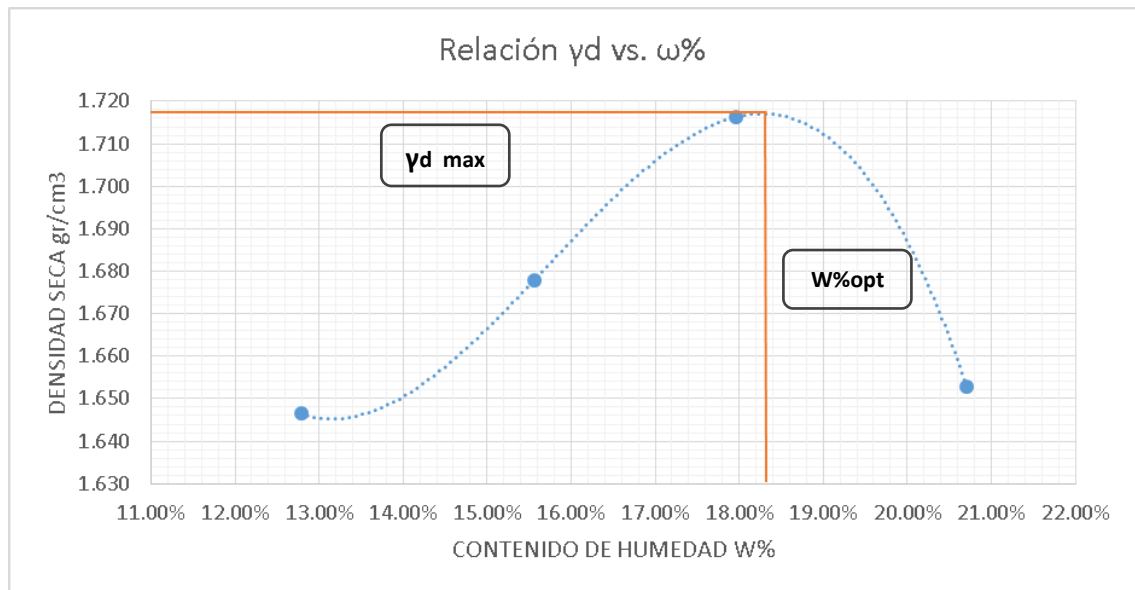
CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO
SP-SM	A-2-4 (0)



# Compactación Proctor Modificado B

Norma AASHTO T 180 2018

PROCTOR MODIFICADO TIPO B (AASHTO)								
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10	lb
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	14079	gr	Volumen molde:	2208.94	cm <sup>3</sup>
Energía de compactación:	55986	lb/ft/ft <sup>3</sup>	Diámetro:	15	cm	Altura:	12.5	cm
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	20	19	22	21	18	17	13	14
Peso R. + Suelo húmedo (gr)	142.9	155.2	159.4	194.5	168.3	143.6	120.7	147.8
Peso R. + Suelo seco (gr)	132.2	142.2	144.2	174.1	148.9	129	106	128.9
Peso agua (gr)	10.7	13	15.2	20.4	19.4	14.6	14.7	18.9
Peso recipiente (gr)	44.2	45.3	45.2	44.7	44.6	44.7	36.1	36.2
Peso suelo seco (gr)	88	96.9	99	129.4	104.3	84.3	69.9	92.7
Contenido húmeda ω%	12.16%	13.42%	15.35%	15.77%	18.60%	17.32%	21.03%	20.39%
Cont. Humedad prom. ω%	12.79%		15.56%		17.96%		20.71%	
Densidad Seca γ <sub>d</sub> (gr)	1.646		1.678		1.716		1.653	
Cont. Humedad óptimo w%	18.3							
Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	1.717							
Grado de compactación(%)	92.95%							

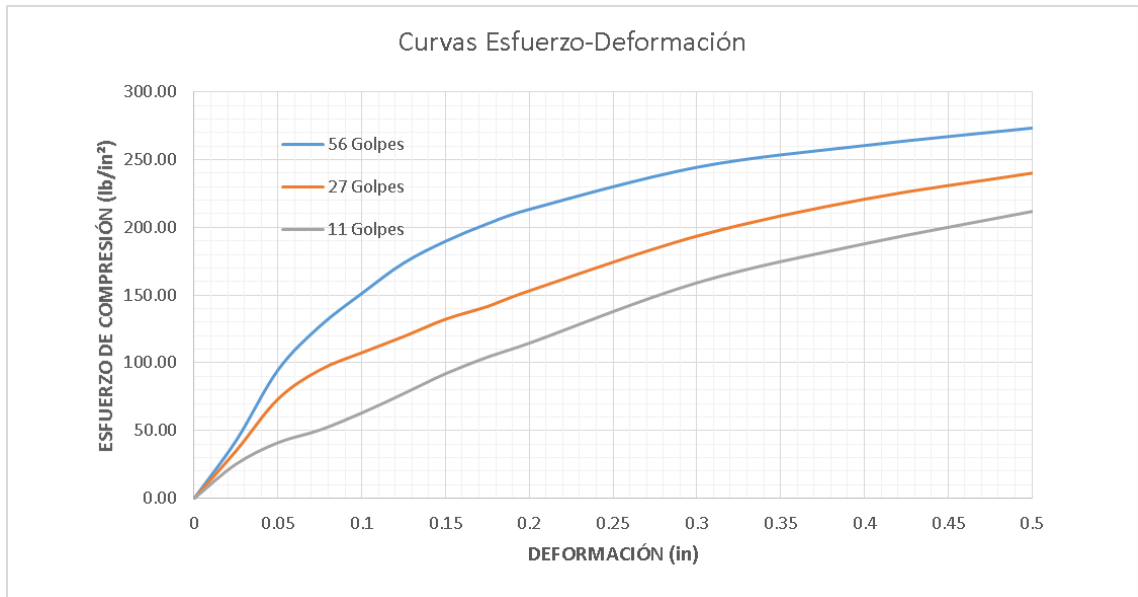


**CBR de laboratorio**

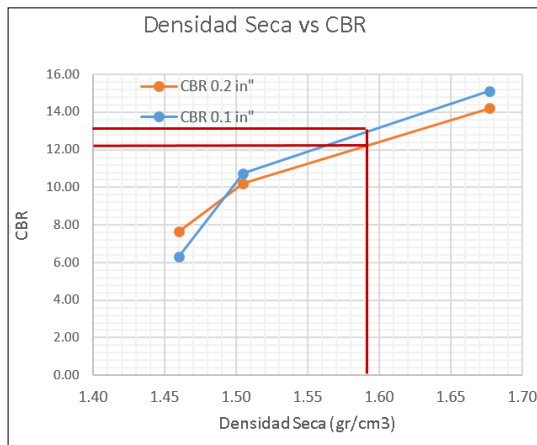
**Norma AASHTO T 193 2015**

<b>CBR DE LABORATORIO</b>						
<b>MOLDE</b>	<b>A2</b>		<b>M1</b>		<b>6A</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15.1	Diámetro	15.2	Diámetro	15
	Altura	12.8	Altura	12.8	Altura	12.8
N° de golpes	10		25		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	11590		10040		10480	
Masa Molde (gr)	7745		6110		6070	
Masa muestra húmeda (gr)	3845		3930		4410	
Volumen muestra (cm3)	2112.18		2112.18		2112.18	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.82		1.86		2.09	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	21	73	42	63	14	68
Masa del recipiente	21.15	22.17	21.43	20.52	21.72	22.15
Masa suelo hum+recip. (gr)	51.8	53.5	56.72	54.65	58.82	53.5
Masa suelo seco+recip. (gr)	45.73	47.3	49.9	48.2	51.57	47.3
Masa de agua (gr)	6.07	6.2	6.82	6.45	7.25	6.2
Masa suelo seco (gr)	24.58	25.13	28.47	27.68	29.85	25.15
Contenido de humedad W%	24.69	24.67	23.96	23.30	24.29	24.65
Promedio W%	24.68		23.63		24.47	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.46		1.51		1.68	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	11675		10080		10568.00	
Masa Molde (gr)	7745		6110		6070.00	
Masa muestra húmeda (gr)	3930		3970		4498.00	
Volumen muestra (cm3)	2112.18		2112.180		2112.18	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.861		1.880		2.130	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	73	68	42	63	14	21
Masa del recipiente	21.62	21.62	21.57	21.57	20.96	20.96
Masa suelo hum+recip. (gr)	59.62	60.62	60.13	61.13	60.98	61.98
Masa suelo seco+recip. (gr)	52.38	52.38	52.71	52.71	52.96	52.96
Masa de agua (gr)	7.24	8.24	7.42	8.42	8.02	9.02
Masa suelo seco (gr)	30.81	30.81	31.14	31.14	32	32
Contenido de humedad W%	23.50	26.74	23.83	27.04	25.06	28.19
Promedio W%	25.12		25.43		26.63	

<b>VALORES DE PRESIÓN</b>						
<b>MOLDE</b>	<b>A2</b>		<b>M1</b>		<b>6A</b>	
<b>Penetración (in.)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>
<b>0</b>	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
<b>0.025</b>	79.5	25.31	110.1	35.05	133.8	42.59
<b>0.05</b>	129.1	41.09	230.2	73.27	297.6	94.73
<b>0.075</b>	158.5	50.45	297.8	94.79	399.3	127.10
<b>0.1</b>	198.0	63.03	337.8	107.52	475.1	151.23
<b>0.125</b>	242.8	77.29	375.2	119.43	545.7	173.70
<b>0.15</b>	289.1	92.02	415.5	132.26	596.2	189.78
<b>0.175</b>	327.5	104.25	444.9	141.62	636.7	202.67
<b>0.2</b>	360.0	114.59	481.3	153.20	670.3	213.36
<b>0.3</b>	499.8	159.09	608.1	193.56	767.8	244.40
<b>0.4</b>	590.3	187.90	693.8	220.84	818.3	260.47
<b>0.5</b>	665.3	211.77	754.2	240.07	858.8	273.36



VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (corregidos)					
MOLDE (No. Golpes)	ESFUERZO (lb /in <sup>2</sup> )	CBR (0.1 in.)	Densidad Seca	ESFUERZO (lb /in <sup>2</sup> )	CBR (0.2 in.)
A2 (10 Golpes)	63.0	6.30	1.46	114.6	7.64
M1 (25 Golpes)	107.5	10.75	1.51	153.2	10.21
6A (56 Golpes)	151.2	15.12	1.68	213.4	14.22



CBR ESTIMADO PARA EL 95% DE LA DENSIDAD	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (DSM)	1.717
95% DSM	1.63115
<b>CBR</b>	
CBR 0.1 in "	12%
CBR 0.2 in "	13%

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

**RESUMEN DE ENSAYOS POR PUNTO**

**Punto:** H6

**Profundidad:** 1 m

**Elaborado por:** Patricio David Mera Parra

**Revisado por:** Ing. Mg. Favio Portilla Yandún

**Fecha:** 03/10/19

**Coordenadas (UTM WGS 86, 17 S)**

COORDENADAS	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
	9861198	764677	2690

**Resistividad eléctrica en campo**

Norma ASTM G57

ENSAYO DE RESISTIVIDAD				
# Medición	R( $\Omega$ )		$\rho(\Omega.m)$	
1	7.0	<b>PROMEDIO 8.5</b>	43.9	<b>PROMEDIO 53.1</b>
2	10.3		64.7	
3	8.1		50.8	

**Contenido de humedad natural**

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL						
Peso Recipiente (gr)	Peso Rec+Suelo Húmedo (gr)	Peso Rec+Suelo seco (gr)	Ww (gr)	Ws (gr)	W%	W%(Prom)
31.2	101.3	92.8	8.5	61.6	13.8%	13.85%
31.2	99.2	90.9	8.3	59.7	13.9%	

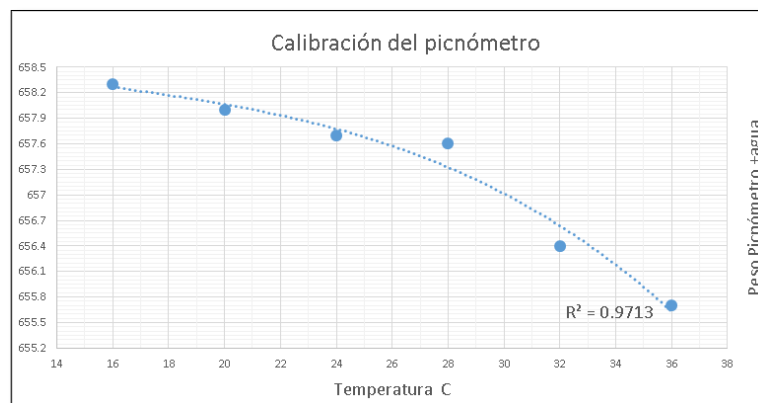
## Densidad en campo

Norma AASHTO T 191 2014

DENSIDAD EN CAMPO			
Datos de calibración del cono			
Peso de arena en el cono (gr)	1492.00	Peso Específico de la arena $\gamma_s$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.61
Volumen de la arena en el cono (cm <sup>3</sup> )	926.58		
Datos de ensayo			
Contenido de humedad natural w%	13.85%	Peso específico de la masa de suelo $\gamma_m = W_m/V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.441
Peso del suelo extraído $W_m$ (gr)	789.60		
Peso arena en el hueco $W_s$ (gr)	712.40	Peso específico del suelo seco $\gamma_d = \gamma_m / (1+W)$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.266
Volumen del hueco $V_m = W_s * \gamma_s$ (cm <sup>3</sup> )	1510.20		

## Gravedad Específica

Norma AASHTO T 100 2015



GRAVEDAD ESPECÍFICA			
TEMPERATURA DEL AGUA °C	24	$G_s = \frac{M_s * k}{M_s + M_{mw} - M_{mws}}$ <p>Gravedad Específica <math>G_s</math></p>	2.407
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA $M_{mw}$ (gr)	657.762		
MASA MUESTRA DE SUELO $W_m$ (gr)	50		
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO $M_{mws}$ (gr)	685.9		
MASA MUESTRA SECA $M_s$ (gr)	48.1		
FACTOR DE CORRECCIÓN K	0.9991		

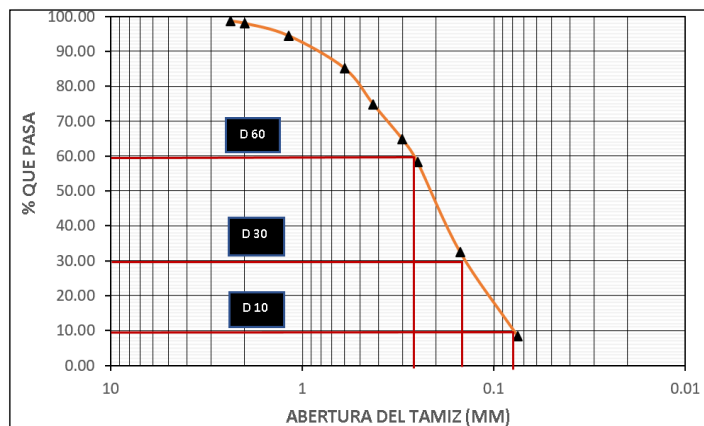
## Relaciones Volumétricas

RELACIONES VOLUMÉTRICAS			
<b>Relación de vacíos</b>			
Volumen de Agua Vw (cm3)	8.5		
Peso del suelo seco Ws (gr)	61.6	Volumen solidos (cm3)	25.59
Gravedad Específica Gs	2.41	$V_s = W_s / (G_s \cdot \gamma_w)$	
Peso de la muestra Wm (gr)	70.1		48.65
Peso Volumétrico de la muestra $\gamma_m$ (gr/cm3)	1.441	Volumen de la muestra (cm3) $V_m = W_m / \gamma_m$	
Volumen de vacíos (cm3) $V_v = V_m - V_d$	23.06	Relación de vacíos $e = V_v / V_s$	0.90
<b>Porosidad</b>			
$n\% = V_v / V_m$		47.4%	
<b>Grado de saturación de Agua</b>			
$G_w\% = V_w / V_v$		37.0%	
<b>Grado de saturación del Aire</b>			
$G_a\% = (V_v - V_w) / V_v$		63.00%	

## Granulometría

Norma AASHTO T 88 2013

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
8	2.36	3.4	3.4	1.37	98.63
10	2	1.5	4.9	1.97	98.03
16	1.18	8.8	13.7	5.51	94.49
30	0.6	23.3	37	14.88	85.12
40	0.425	25.7	62.7	25.22	74.78
50	0.3	24.8	87.5	35.20	64.80
60	0.25	16.5	104	41.83	58.17
100	0.15	63.9	167.9	67.54	32.46
200	0.075	60	227.9	91.67	8.33
BANDEJA		20.7	248.6	100.00	
<b>Diámetro Efectivo (D10) mm</b>	<b>Diámetro Equiparable (D30) mm</b>	<b>Diámetro dimensional (D60) mm</b>	<b>Coficiente de Uniformidad</b>	<b>Coficiente de Curvatura</b>	-
0.08	0.12	0.26	3.25	0.69	-



## Límite Plástico

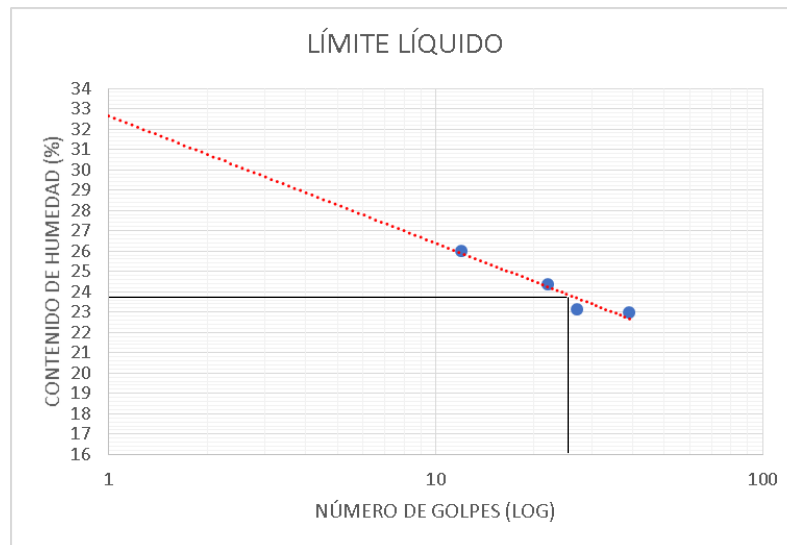
Norma AASHTO T 90 2016

LÍMITE PLÁSTICO					
RECIPIENTE #	76	18	9	13	74
PESO RECIPIENTE (gr)	10.6	10.8	10.7	10.5	10.7
PESO RECIPIENTE + MUESTRAS HUMEDAS (gr)	11.6	11.6	12.1	11.9	11.9
PESO RECIPIENTE + MUESTRAS SECAS (gr)	11.4	11.4	11.8	11.6	11.7
PESO MUESTRA SECA (gr)	0.8	0.6	1.1	1.1	1
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	1	0.8	1.4	1.4	1.2
PESO AGUA (gr)	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	25.00	33.33	27.27	27.27	20.00
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	26.58				

## Límite Líquido

Norma AASHTO T 89 2013

LÍMITE LÍQUIDO									
NUMERO DE GOLPES	12		22		27		39		
RECIPIENTE NUMERO	17	47	37	10	74	18	13	9	
PESO RECIPIENTES (gr)	6	6	6.2	6.1	10.7	10.8	10.5	10.7	
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	13	14	12.1	11.4	17.3	17.5	16.5	17	
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	11.6	12.3	10.9	10.4	16.1	16.2	15.4	15.8	
PESO MUESTRA SECA (gr)	5.6	6.3	4.7	4.3	5.4	5.4	4.9	5.1	
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	7	8	5.9	5.3	6.6	6.7	6	6.3	
PESO AGUA (gr)	1.4	1.7	1.2	1	1.2	1.3	1.1	1.2	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	25.00	26.98	25.53	23.26	22.22	24.07	22.45	23.53	
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	25.99		24.39		23.15		22.99		
LÍMITE LÍQUIDO (25 GOLPES) (%)	23.9								



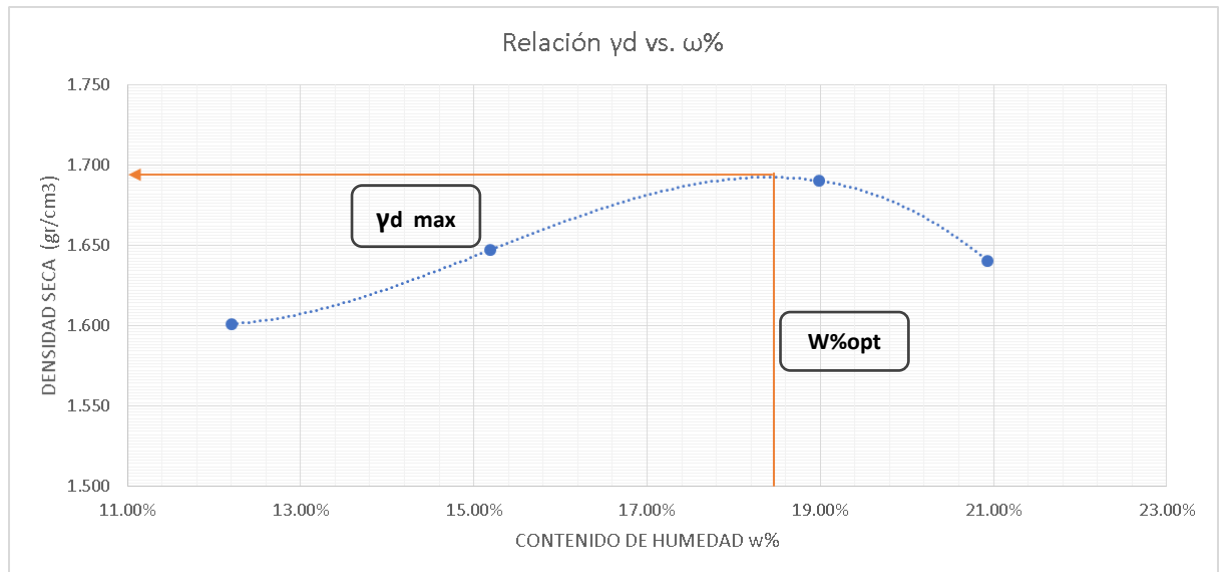
## Índice Plástico y Clasificación

ÍNDICE PLÁSTICO		CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO
LÍMITE LÍQUIDO LL%	23.90	SP-SM	A-3 (0)
LÍMITE PLÁSTICO LP%	26.58		
ÍNDICE PLÁSTICO	-2.68 (NP)		

# Compactación Proctor Modificado B 2018

Norma AASHTO T 180

PROCTOR MODIFICADO TIPO B (AASHTO)								
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10	lb
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	14079	gr	Volumen molde:	2208.94	cm3
Energía de compactación:	55986	lb/ft/ft3	Diámetro:	15	cm	Altura:	12.5	cm
Ensayo número	1		2		3		4	
Peso inicial deseado (gr)	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial añadida (%)	6		9		12		15	
P. molde + suelo húmedo (gr)	18047		18270		18521		18460	
Peso suelo húmedo (gr)	3968		4191		4442		4381	
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (gr/cm3)	1.796		1.897		2.011		1.983	
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	73	74	21	42	35	14	63	68
Peso R. + Suelo húmedo (gr)	117.6	111.7	131.2	134.2	102.7	114.3	113.7	135
Peso R. + Suelo seco (gr)	108.2	101.9	117.7	119.5	90.9	101.4	100	116.2
Peso agua (gr)	9.4	9.8	13.5	14.7	11.8	12.9	13.7	18.8
Peso recipiente (gr)	27.8	24.8	24.9	26.7	31.1	30.7	30.6	31.2
Peso suelo seco (gr)	80.4	77.1	92.8	92.8	59.8	70.7	69.4	85
Contenido humeda $\omega\%$	11.69%	12.71%	14.55%	15.84%	19.73%	18.25%	19.74%	22.12%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	12.20%		15.19%		18.99%		20.93%	
Densidad seca $\gamma_d$ (gr/cm3)	1.601		1.647		1.690		1.640	
<b>Cont. Humedad opt. <math>\omega\%</math></b>	17.7							
<b>Densidad seca max. <math>\gamma_d</math> (gr/cm3)</b>	1.694							
<b>Grado de Compactación (%)</b>	75%							



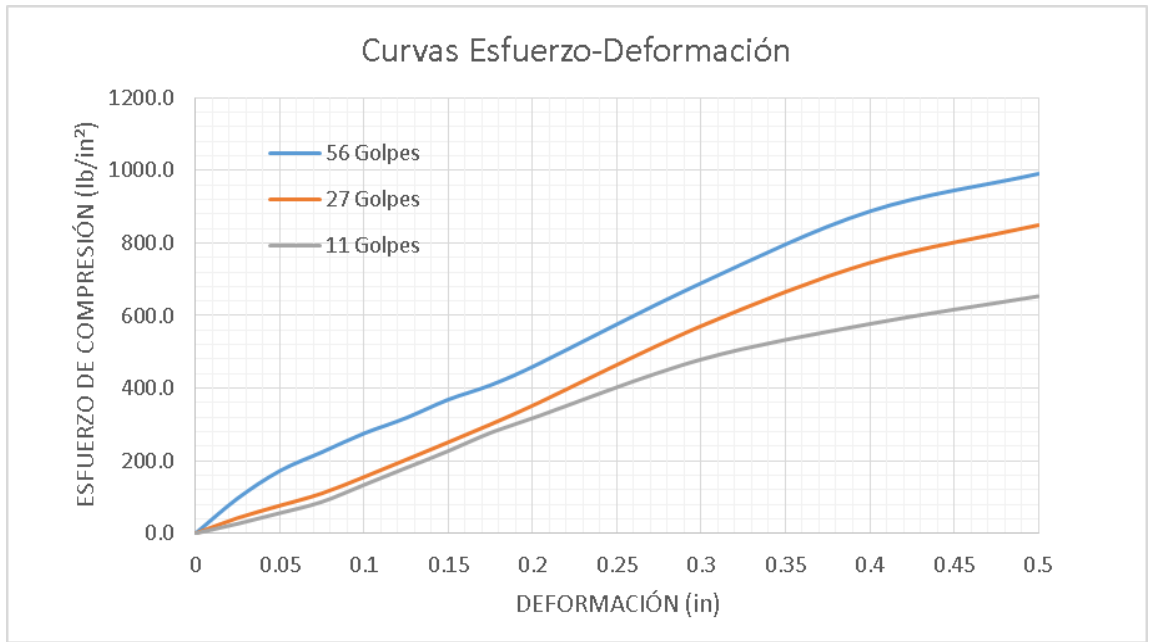


**CBR de laboratorio**

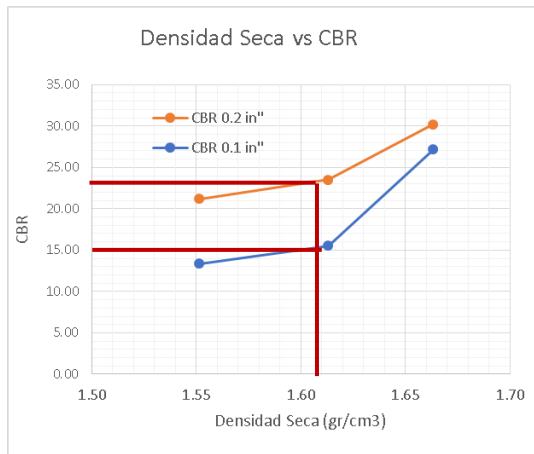
**Norma AASHTO T 193 2015**

<b>CBR DE LABORATORIO</b>						
<b>MOLDE</b>	<b>A2</b>		<b>M1</b>		<b>6A</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15.1	Diámetro	15.2	Diámetro	15
	Altura	12.8	Altura	12.8	Altura	12.8
N° de golpes	10		25		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	13438		13075		13021	
Masa Molde (gr)	9295		8740		8635	
Masa muestra húmeda (gr)	4143		4335		4386	
Volumen muestra (cm3)	2292.20		2292.20		2261.94	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.81		1.89		1.94	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	21	73	42	63	14	68
Masa del recipiente	9.3	24.9	24.8	16.4	14.1	15.3
Masa suelo hum+recip. (gr)	117.4	99.8	105.2	111.9	86.8	93.6
Masa suelo seco+recip. (gr)	102.8	88.7	92.2	99.3	77	81.9
Masa de agua (gr)	14.6	11.1	13	12.6	9.8	11.7
Masa suelo seco (gr)	93.5	63.8	67.4	82.9	62.9	66.6
Contenido de humedad W%	15.61	17.40	19.29	15.20	15.58	17.57
Promedio W%	16.51		17.24		16.57	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.55		1.61		1.66	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	13630		13174		13042.00	
Masa Molde (gr)	9295		8740		8635.00	
Masa muestra húmeda (gr)	4335		4434		4407.00	
Volumen muestra (cm3)	2292.20		2292.205		2261.94	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.891		1.934		1.948	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	73	68	42	63	14	21
Masa del recipiente	24.9	15.3	24.8	15.3	14.1	9.3
Masa suelo hum+recip. (gr)	86.6	80.7	113.5	94.6	73.7	94.3
Masa suelo seco+recip. (gr)	76.1	72.4	98.8	84.4	65.2	81.9
Masa de agua (gr)	10.5	8.3	14.7	10.2	8.5	12.4
Masa suelo seco (gr)	51.3	57.1	74	69.1	51.1	72.6
Contenido de humedad W%	20.47	14.54	19.86	14.76	16.63	17.08
Promedio W%	17.50		17.31		16.86	

<b>VALORES DE PRESIÓN</b>						
<b>MOLDE</b>	<b>A2</b>		<b>M1</b>		<b>6A</b>	
<b>Penetración (in.)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>
<b>0</b>	0	0.0	0	0.0	0	0.0
<b>0.025</b>	83.8	26.7	133.3	42.4	303.3	96.5
<b>0.05</b>	175.8	56.0	240.3	76.5	540.8	172.1
<b>0.075</b>	273.3	87.0	346.3	110.2	703.3	223.9
<b>0.1</b>	420.25	133.8	488.1	155.4	865.8	275.6
<b>0.125</b>	567.2	180.5	638.1	203.1	999.8	318.2
<b>0.15</b>	714.15	227.3	789.8	251.4	1158.8	368.9
<b>0.175</b>	871.1	277.3	943.6	300.4	1283.5	408.6
<b>0.2</b>	998.05	317.7	1106.8	352.3	1443.2	459.4
<b>0.3</b>	1505.85	479.3	1795.3	571.5	2167.3	689.9
<b>0.4</b>	1813.8	577.4	2342.5	745.6	2788.6	887.6
<b>0.5</b>	2053.3	653.6	2668.8	849.5	3113.6	991.1



<b>VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (corregidos)</b>					
<b>MOLDE (No. Golpes)</b>	<b>ESFUERZO (lb /in²)</b>	<b>CBR (0.1 in.)</b>	<b>Densidad Seca</b>	<b>ESFUERZO (lb /in²)</b>	<b>CBR (0.2 in.)</b>
6A (10 Golpes)	133.8	13.38	1.55	317.7	21.18
A2 (25 Golpes)	155.4	15.54	1.61	352.3	23.49
M1 (56 Golpes)	275.6	27.56	1.66	459.4	30.63



<b>CBR ESTIMADO PARA EL 95% DE LA DENSIDAD</b>	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (DSM)	1.694
95% DSM	1.6093
<b>CBR</b>	
CBR 0.1 in "	15%
CBR 0.2 in "	23%

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

**RESUMEN DE ENSAYOS POR PUNTO**

**Punto:** H7

**Profundidad:** 1 m

**Elaborado por:** Patricio David Mera Parra

**Revisado por:** Ing. Mg. Favio Portilla Yandún

**Fecha:** 03/10/19

**Coordenadas (UTM WGS 86, 17 S)**

COORDENADAS	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
	9861379	765040	2647

**Resistividad eléctrica en campo**

Norma ASTM G57

ENSAYO DE RESISTIVIDAD				
# Medición	R( $\Omega$ )		$\rho$ ( $\Omega.m$ )	
1	16.8	<b>PROMEDIO</b> <b>16.4</b>	105.5	<b>PROMEDIO</b> <b>103.2</b>
2	15.4		96.7	
3	17.1		107.4	

**Contenido de humedad natural**

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL						
Peso Recipiente (gr)	Peso Rec+Suelo Húmedo (gr)	Peso Rec+Suelo seco (gr)	Ww (gr)	Ws (gr)	W%	W%(Prom)
38.0	138.8	130.5	8.3	92.5	9.0%	9.03%
26.0	135.2	126.1	9.1	100.1	9.1%	

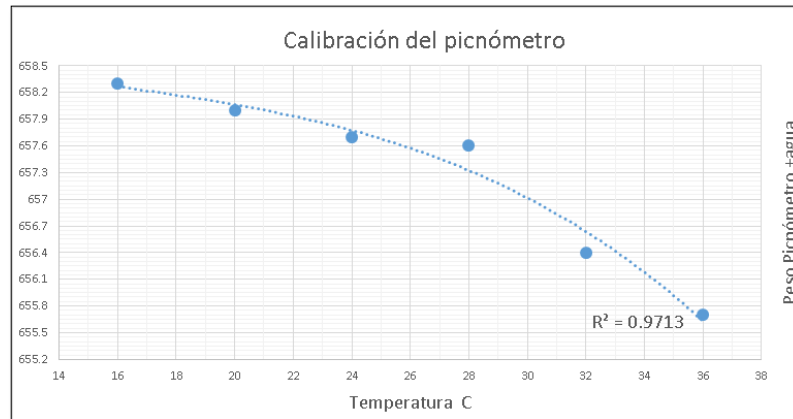
**Densidad en campo**

Norma AASHTO T 191 2014

DENSIDAD EN CAMPO			
<b>Datos de calibración del cono</b>			
Peso de arena en el cono (gr)	1492.00	Peso Específico de la arena $\gamma_s$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.61
Volumen de la arena en el cono (cm <sup>3</sup> )	926.58		
<b>Datos de ensayo</b>			
Contenido de humedad natural w%	9.03%	Peso específico de la masa de suelo $\gamma_m = W_m/V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.533
Peso del suelo extraído $W_m$ (gr)	1892.70		
Peso arena en el hueco $W_s$ (gr)	1988.20	Peso específico del suelo seco $\gamma_d = \gamma_m / (1+W)$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.406
Volumen del hueco $V_m = W_s * \gamma_s$ (cm <sup>3</sup> )	1234.73		

**Gravedad Específica**

Norma AASHTO T 100 2015



GRAVEDAD ESPECÍFICA			
TEMPERATURA DEL AGUA °C	24	$G_s = \frac{M_s * k}{M_s + M_{mw} - M_{mws}}$	2.446
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA $M_{mw}$ (gr)	657.762		
MASA MUESTRA DE SUELO $W_m$ (gr)	50		
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO $M_{mws}$ (gr)	686.1		
MASA MUESTRA SECA $M_s$ (gr)	47.9		
FACTOR DE CORRECIÓN K	0.9991		

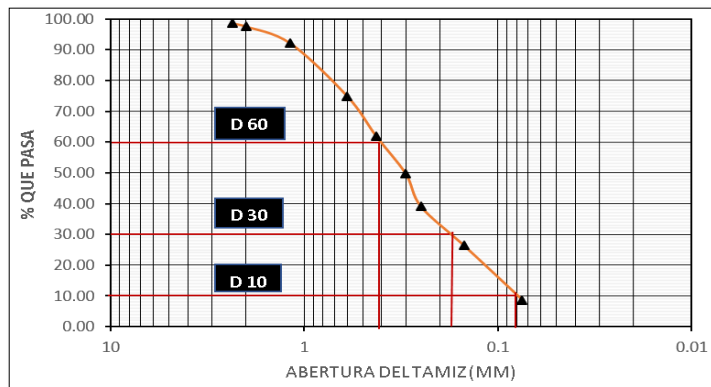
## Relaciones Volumétricas

RELACIONES VOLUMÉTRICAS			
<b>Relación de vacíos</b>			
Volumen de Agua Vw (cm3)	8.3		
Peso del suelo seco Ws (gr)	92.5	Volumen solidos (cm3) Vs=Ws/(Gs* $\gamma_s$ )	37.81
Gravedad Específica Gs	2.446		
Peso de la muestra Wm (gr)	100.8	Volumen de la muestra (cm3) Vm=Wm/ $\gamma_m$	65.76
Peso Volumétrico de la muestra $\gamma_m$ (gr/cm3)	1.533		
Volumen de vacíos (cm3) Vv=Vm-Vd	27.94	Relación de vacíos e=Vv/Vs	0.74
<b>Porosidad</b>			
n%=Vv/Vm		42.0%	
<b>Grado de saturación de Agua</b>			
Gw%= Vw/Vv		29.0%	
<b>Grado de saturación del Aire</b>			
Ga%=(Vv-Vw)/Vv		71.00%	

## Granulometría

Norma AASHTO T 88 2013

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
8	2.36	3.6	3.6	1.45	98.55
10	2	2.5	6.1	2.45	97.55
16	1.18	13.6	19.7	7.92	92.08
30	0.6	42.8	62.5	25.12	74.88
40	0.425	32.4	94.9	38.14	61.86
50	0.3	30.1	125	50.24	49.76
60	0.25	26.7	151.7	60.97	39.03
100	0.15	31.5	183.2	73.63	26.37
200	0.075	43.9	227.1	91.28	8.72
BANDEJA		21.7	248.8	100.00	
<b>Diámetro Efectivo (D10) mm</b>	<b>Diámetro Equiparable (D30) mm</b>	<b>Diámetro dimensional (D60) mm</b>	<b>Coefficiente de Uniformidad</b>	<b>Coefficiente de Curvatura</b>	-
0.08	0.18	0.4	5	1.01	-



## Límite Plástico

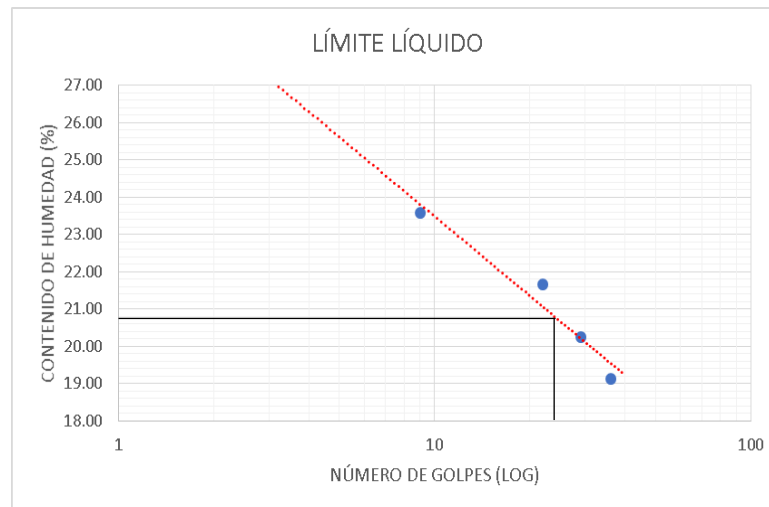
Norma AASHTO T 90 2016

LÍMITE PLÁSTICO					
RECIPIENTE #	58	32	59	38	42
PESO RECIPIENTE (gr)	6	5.3	6.1	6.2	6.1
PESO RECIPIENTE + MUESTRAS HUMEDAS (gr)	7.9	6.9	7.4	7.5	7.4
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	7.6	6.6	7.2	7.3	7.2
PESO MUESTRA SECA (gr)	1.6	1.3	1.1	1.1	1.1
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	1.9	1.6	1.3	1.3	1.3
PESO AGUA (gr)	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	18.75%	23.08%	18.18%	18.18%	18.18%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	19.27%				

## Límite Líquido

AASHTO T 89 2013

LÍMITE LÍQUIDO								
NUMERO DE GOLPES	9		22		29		36	
RECIPIENTE NUMERO	74	13	9	45	18	9	11	61
PESO RECIPIENTES (gr)	10.7	10.6	6	15	10.08	10.7	6.1	6.2
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	16.1	17.1	15.1	22.5	17.1	18	12.8	13.1
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	14.8	15.6	13.1	20.9	15.7	16.5	11.5	11.8
PESO MUESTRA SECA (gr)	4.1	5	7.1	5.9	5.62	5.8	5.4	5.6
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	5.4	6.5	9.1	7.5	7.02	7.3	6.7	6.9
PESO AGUA (gr)	1.3	1.5	2	1.6	1.4	1.5	1.3	1.3
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	24.07%	23.08%	21.98%	21.33%	19.94%	20.55%	19.40%	18.84%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	23.58%		21.66%		20.25%		19.12%	
LÍMITE LÍQUIDO (25 GOLPES)	20.67							



## Índice Plástico y Clasificación

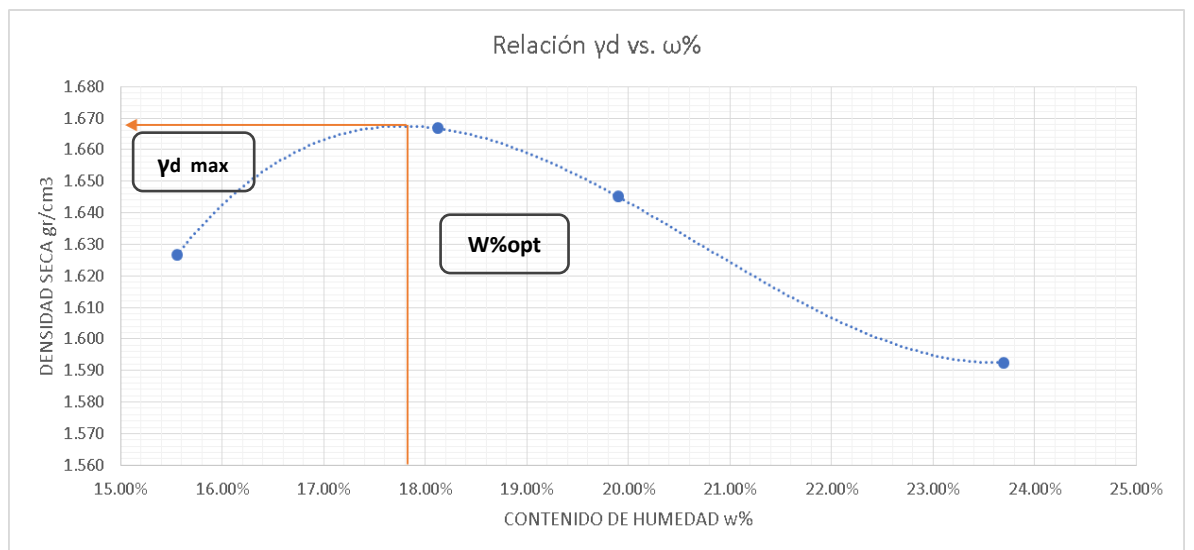
ÍNDICE PLÁSTICO	
LÍMITE LÍQUIDO LL%	20.67
LÍMITE PLÁSTICO LP%	19.27
ÍNDICE PLÁSTICO	
IP%=LL%-LP%	1.390

CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO
SP-SM	A-2-4(0)

# Compactación Proctor Modificado B 2018

Norma AASHTO T 180

PROCTOR MODIFICADO TIPO B (AASHTO)								
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10 lb	
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	14079 gr		Volumen molde:	2208.94 cm <sup>3</sup>	
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft <sup>3</sup>		Diámetro:	15 cm		Altura:	12.5 cm	
Ensayo número	1		2		3		4	
Peso inicial deseado (gr)	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial añadida (%)	12		15		18		21	
P. molde + suelo húmedo (gr)	18231		18428		18436		18430	
Peso suelo húmedo (gr)	4152		4349		4357		4351	
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.880		1.969		1.972		1.970	
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	21		42		35		14	
Peso R. + Suelo húmedo (gr)	119.4		114.5		126		128.3	
Peso R. + Suelo seco (gr)	107.2		102.3		111		112.2	
Peso agua (gr)	12.2		12.2		15		16.1	
Peso recipiente (gr)	27.8		24.8		24.9		26.7	
Peso suelo seco (gr)	79.4		77.5		86.1		85.5	
Contenido humedad (%)	15.37%		15.74%		17.42%		18.83%	
Cont. Humedad prom. (%)	15.55%		18.13%		19.90%		23.69%	
Densidad seca $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.627		1.667		1.645		1.592	
Cont. Humedad optm. (%)					17.8			
Densidad seca max. (gr/cm <sup>3</sup> )					1.668			
Grado de compactación (%)					84%			



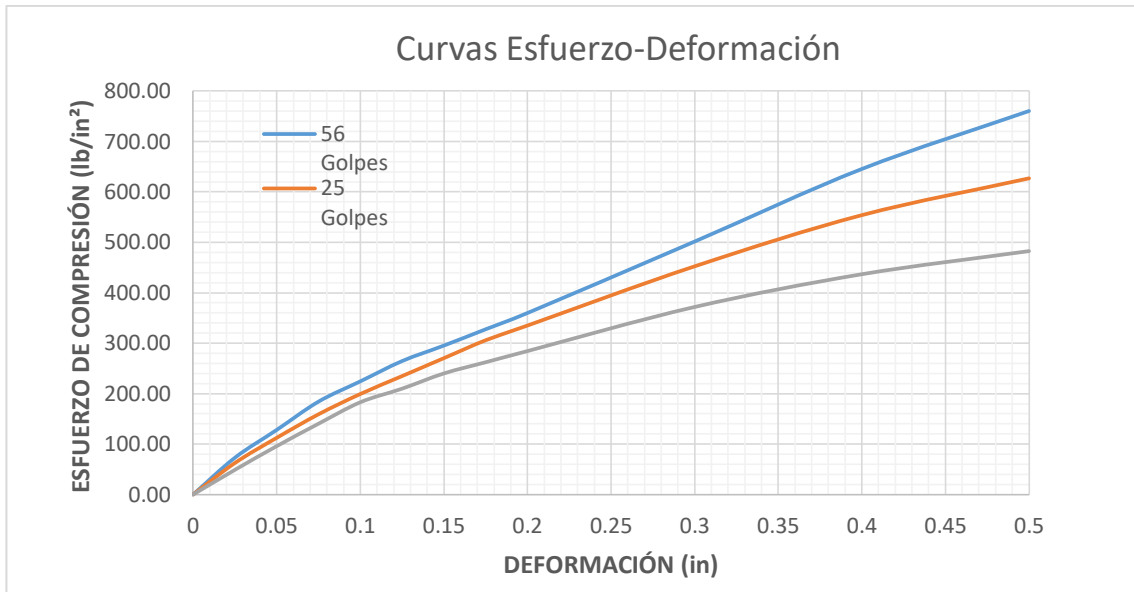
**CBR de laboratorio**

**Norma AASHTO T 193 2015**

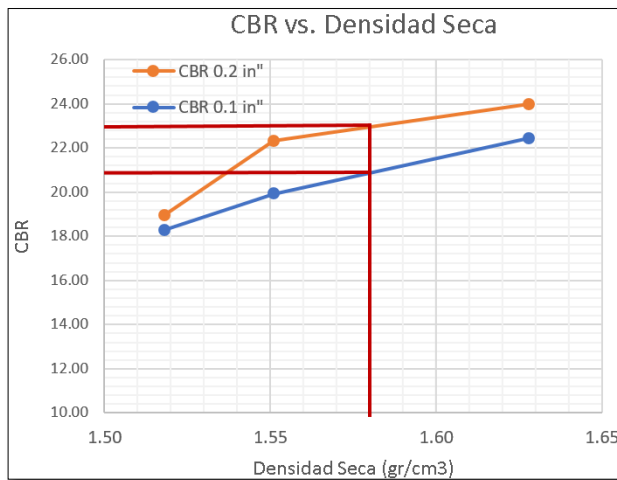
<b>CBR DE LABORATORIO</b>						
<b>MOLDE</b>	<b>A2</b>		<b>M1</b>		<b>6A</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro (cm)	15.1	Diámetro (cm)	15.2	Diámetro (cm)	15
	Altura (cm)	12.8	Altura (cm)	12.8	Altura (cm)	12.8
N° de golpes	10		25		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	11081		11592		10040	
Masa Molde (gr)	7303		7747		6025	
Masa muestra húmeda (gr)	3778		3845		4015	
Volumen muestra (cm3)	2112.18		2112.18		2112.18	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.79		1.82		1.90	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	21	73	42	63	14	68
Masa del recipiente	9.3	24.9	24.8	16.4	14.1	15.3
Masa suelo hum+recip. (gr)	61.3	54.9	71.2	59.2	70.1	59.5
Masa suelo seco+recip. (gr)	53.2	50.5	64.3	52.9	62	53.2
Masa de agua (gr)	8.1	4.4	6.9	6.3	8.1	6.3
Masa suelo seco (gr)	43.9	25.6	39.5	36.5	47.9	37.9
Contenido de humedad W%	18.45	17.19	17.47	17.26	16.91	16.62
Promedio W%	17.82		17.36		16.77	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.52		1.55		1.63	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	11297		11753		10248.00	
Masa Molde (gr)	7303		7747		6025.00	
Masa muestra húmeda (gr)	3994		4006		4223.00	
Volumen muestra (cm3)	2112.18		2112.180		2112.18	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.891		1.897		1.999	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	42	63	73	68	21	14
Masa del recipiente	21.8	16.4	10.3	15.3	9.3	14.1
Masa suelo hum+recip. (gr)	72.3	59.5	61.2	69.7	52.4	68.4
Masa suelo seco+recip. (gr)	62.7	52.1	53.4	60.7	45.8	60.5
Masa de agua (gr)	9.6	7.4	7.8	9	6.6	7.9
Masa suelo seco (gr)	52.4	36.8	43.1	45.4	36.5	46.4
Contenido de humedad W%	18.32	20.11	18.10	19.82	18.08	17.03
Promedio W%	19.21		18.96		17.55	

<b>VALORES DE PRESIÓN</b>						
<b>MOLDE</b>	<b>A2</b>		<b>M1</b>		<b>6A</b>	
<b>Penetración (in.)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>
<b>0</b>	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
<b>0.025</b>	153.7	48.92	196.5	62.55	229.2	72.96
<b>0.05</b>	301.3	95.91	353.1	112.39	402.4	128.09
<b>0.075</b>	441.0	140.37	499.6	159.03	578.6	184.17
<b>0.1</b>	574.6	182.91	626.1	199.30	704.8	224.34
<b>0.125</b>	659.4	209.89	737.7	234.82	831.2	264.58
<b>0.15</b>	754.1	240.04	849.4	270.37	927.7	295.30
<b>0.175</b>	823.9	262.25	961.0	305.90	1029.2	327.60
<b>0.2</b>	893.6	284.44	1052.6	335.05	1130.6	359.88
<b>0.3</b>	1168.2	371.85	1421.3	452.41	1575.6	501.53
<b>0.4</b>	1372.0	436.72	1740.0	553.86	2027.5	645.37
<b>0.5</b>	1516.1	482.59	1969.3	626.85	2388.6	760.31





VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (corregido)					
MOLDE (No. Golpes)	ESFUERZO (lb /in <sup>2</sup> )	CBR (0.1 in.)	Densidad Seca	ESFUERZO (lb /in <sup>2</sup> )	CBR (0.2 in.)
A2 (10 Golpes)	182.9	18.29	1.52	284.4	18.96
M1 (25 Golpes)	199.3	19.93	1.55	335.1	22.34
6A (56 Golpes)	224.3	22.43	1.63	359.9	23.99



CBR ESTIMADO PARA EL 95% DE LA DENSIDAD	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (DSM)	1.668
95% DSM	1.5846
<b>CBR</b>	
CBR 0.1 in "	21%
CBR 0.2 in "	23%

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

**RESUMEN DE ENSAYOS POR PUNTO**

**Punto:** H8

**Profundidad:** 1 m

**Elaborado por:** Patricio David Mera Parra

**Revisado por:** Ing. Mg. Favio Portilla Yandún

**Fecha:** 03/10/19

**Coordenadas (UTM WGS 86, 17 S)**

COORDENADAS	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
	9860475	765045	2706

**Resistividad eléctrica en campo**

Norma ASTM G57

ENSAYO DE RESISTIVIDAD					
# Medición	R( $\Omega$ )		$\rho(\Omega.m)$		
1	28.8	<b>PROMEDIO</b> <b>28.4</b>	180.9	<b>PROMEDIO</b> <b>178.6</b>	
2	29.0		182.2		
3	27.5		172.7		

**Contenido de humedad natural**

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL						
Peso Recipiente (gr)	Peso Rec+Suelo Húmedo (gr)	Peso Rec+Suelo seco (gr)	Ww (gr)	Ws (gr)	W%	W%(Prom)
31.1	109.3	104.0	5.3	72.9	7.3%	7.34%
30.8	93.1	88.8	4.3	58.0	7.4%	

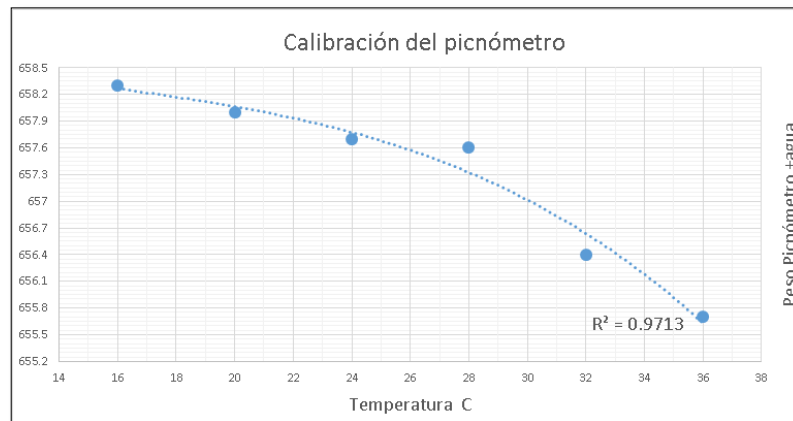
## Densidad en campo

Norma AASHTO T 191 2014

DENSIDAD EN CAMPO			
Datos de calibración del cono			
Peso de arena en el cono (gr)	343.00	Peso Específico de la arena $\gamma_s$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.64
Volumen de la arena en el cono (cm <sup>3</sup> )	209.44		
Datos de ensayo			
Contenido de humedad natural w%	7.34%	Peso específico de la masa de suelo $\gamma_m = W_m/V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.742
Peso del suelo extraído $W_m$ (gr)	895.70		
Peso arena en el hueco $W_s$ (gr)	842.00	Peso específico del suelo seco $\gamma_d = \gamma_m/(1+W)$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.623
Volumen del hueco $V_m = W_s * \gamma_s$ (cm <sup>3</sup> )	514.14		

## Gravedad Específica

Norma AASHTO T 100 2015



GRAVEDAD ESPECÍFICA			
TEMPERATURA DEL AGUA °C	24	$G_s = \frac{M_s * k}{M_s + M_{mw} - M_{mws}}$	2.440
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA $M_{mw}$ (gr)	657.762		
MASA MUESTRA DE SUELO $W_m$ (gr)	50		
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO $M_{mws}$ (gr)	687		
MASA MUESTRA SECA $M_s$ (gr)	49.5		
FACTOR DE CORRECCIÓN K	0.9991		

## Relaciones Volumétricas

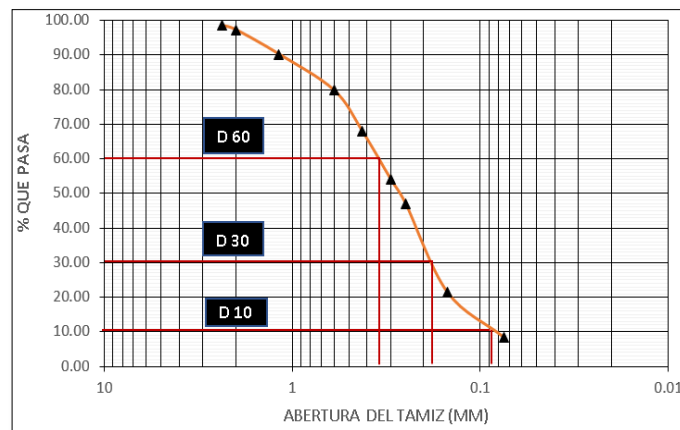
RELACIONES VOLUMÉTRICAS			
<b>Relación de vacíos</b>			
Volumen de Agua Vw (cm3)	5.3		
Peso del suelo seco Ws (gr)	72.9	Volumen solidos (cm3)	29.8698545
Gravedad Específica Gs	2.44		
Peso de la muestra Wm (gr)	78.2	Volumen de la muestra (cm3)	44.89
Peso Volumétrico de la muestra $\gamma_m$ (gr/cm3)	1.742	$V_m = W_m / \gamma_m$	
Volumen de vacíos (cm3) $V_v = V_m - V_d$	15.02	Relación de vacíos $e = V_v / V_s$	0.50
<b>Porosidad</b>			
$n\% = V_v / V_m$		33.5%	
<b>Grado de saturación de Agua</b>			
$G_w\% = V_w / V_v$		35.0%	
<b>Grado de saturación del Aire</b>			
$G_a\% = (V_v - V_w) / V_v$		65.00%	

## Granulometría

Norma AASHTO T 88

2013

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
8	2.36	3.6	3.6	1.45	98.55
10	2	3	6.6	2.66	97.34
16	1.18	17.5	24.1	9.73	90.27
30	0.6	25.9	50	20.19	79.81
40	0.425	29.2	79.2	31.97	68.03
50	0.3	34.5	113.7	45.90	54.10
60	0.25	17.4	131.1	52.93	47.07
100	0.15	63.6	194.7	78.60	21.40
200	0.075	32.4	227.1	91.68	8.32
BANDEJA		20.6	247.7	100.00	0.00
<b>Diámetro Efectivo (D10) mm</b>	<b>Diámetro Equiparable (D30) mm</b>	<b>Diámetro dimensional (D60) mm</b>	<b>Coefficiente de Uniformidad</b>	<b>Coefficiente de Curvatura</b>	-
0.088	0.19	0.35	3.97	1.17	-



## Límite Plástico

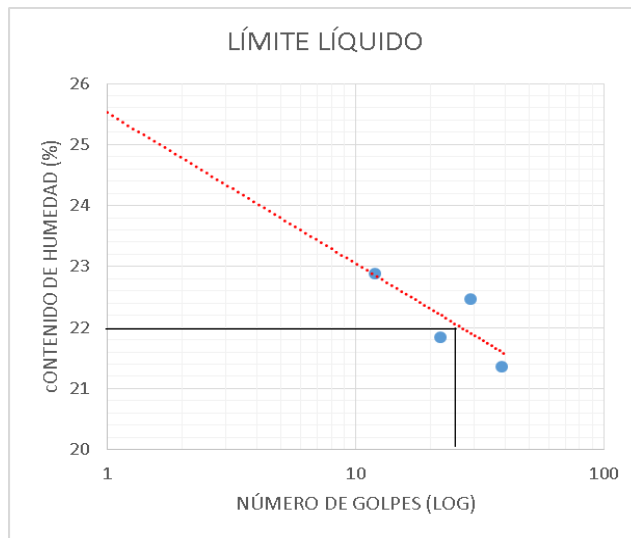
Norma AASHTO T 90 2016

LÍMITE PLÁSTICO					
RECIPIENTE #	P1	5	P2	P4	P3
PESO RECIPIENTE (gr)	10.7	10.5	10.5	10.6	10.7
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	12.1	12.2	12.1	11.9	12
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	11.9	11.9	11.8	11.7	11.8
PESO MUESTRA SECA (gr)	1.2	1.4	1.3	1.1	1.1
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	1.4	1.7	1.6	1.3	1.3
PESO AGUA (gr)	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	16.67	21.43	23.08	18.18	18.18
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	19.51				

## Límite Líquido

Norma AASHTO T 89 2013

LÍMITE LÍQUIDO								
NUMERO DE GOLPES	11		24		36		29	
RECIPIENTE NUMERO	P5	P4	P7	P2	43	10	P3	P1
PESO RECIPIENTES (gr)	10.7	10.6	10.6	10.6	5.9	6.1	10.6	10.7
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	18	18.9	20.6	19	16.4	14.7	17.6	17.9
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	16.6	17.4	18.8	17.5	14.5	13.1	16.4	16.6
PESO MUESRA SECA (gr)	5.9	6.8	8.2	6.9	8.6	7	5.8	5.9
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	7.3	8.3	10	8.4	10.5	8.6	7	7.2
PESO AGUA (gr)	1.4	1.5	1.8	1.5	1.9	1.6	1.2	1.3
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	23.73	22.06	21.95	21.74	22.09	22.86	20.69	22.03
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	22.89		21.85		22.48		21.36	
LÍMITE LÍQUIDO (25 GOLPES) (%)	22.07							



## Índice Plástico y Clasificación

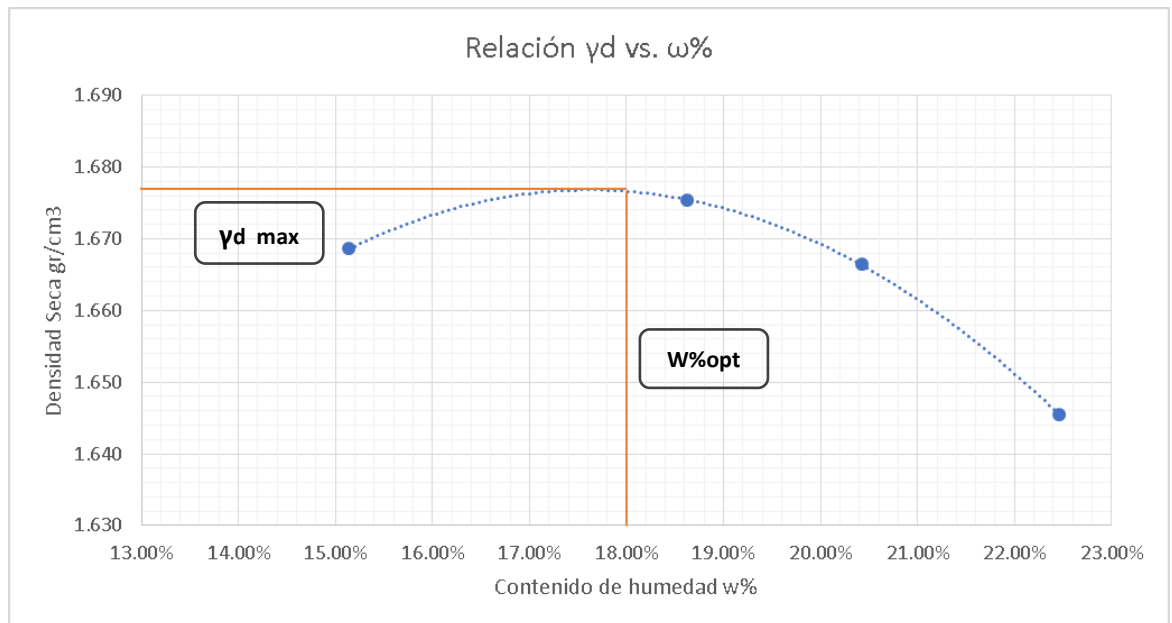
ÍNDICE PLÁSTICO	
LÍMITE LÍQUIDO LL%	22.07
LÍMITE PLÁSTICO LP%	19.51
ÍNDICE PLÁSTICO	2.570

CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO
SP-SM	A-2-4(0)

## Compactación Proctor Modificado B

Norma AASHTO T 180 2018

PROCTOR MODIFICADO TIPO B (AASHTO)									
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO									
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10 lb		
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	14079	gr	Volumen molde:	2208.94 cm <sup>3</sup>		
Energía de compactación:	55986	lb/ft <sup>3</sup>	Diámetro:	15	cm	Altura:	12.5 cm		
Ensayo número	1		2		3		4		
Peso inicial deseado (gr)	6000		6000		6000		6000		
Humedad inicial añadida (%)	9		12		15		18		
P. molde + suelo húmedo (gr)	18323		18469		18512		18530		
Peso suelo húmedo (gr)	4244		4390		4433		4451		
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.921		1.987		2.007		2.015		
CONTENIDO DE HUMEDAD									
# Recipiente	<b>21</b>	<b>42</b>	<b>35</b>	<b>14</b>	<b>63</b>	<b>68</b>	<b>73</b>	<b>74</b>	
R. + Suelo húmedo (gr)	115.3	121	118.1	122.5	119.8	137.7	191.8	148.5	
R. + Suelo seco (gr)	104.3	107.8	102.2	108.8	104.8	119.5	163.2	126.3	
Peso agua (gr)	11	13.2	15.9	13.7	15	18.2	28.6	22.2	
Peso recipiente (gr)	27.8	24.8	24.9	26.7	31.1	30.7	30.6	31.2	
Peso suelo seco (gr)	76.5	83	77.3	82.1	73.7	88.8	132.6	95.1	
Contenido húmeda $\omega\%$	14.38%	15.90%	20.57%	16.69%	20.35%	20.50%	21.57%	23.34%	
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	15.14%		18.63%		20.42%		22.46%		
Densidad seca $\gamma_d$ (gr)	1.669		1.675		1.666		1.645		
Cont. Humedad Óptimo (gr)						17.6			
Densidad seca Max (gr/cm <sup>3</sup> )						1.677			
Grado de Compactación (%)						96.8%			

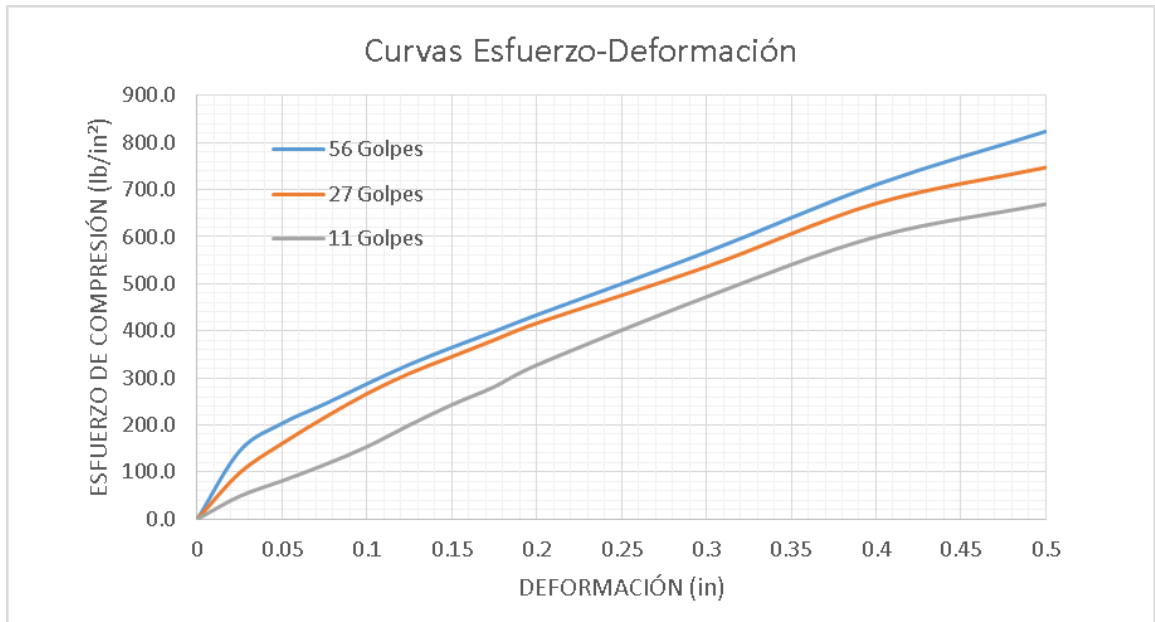


**CBR de laboratorio**

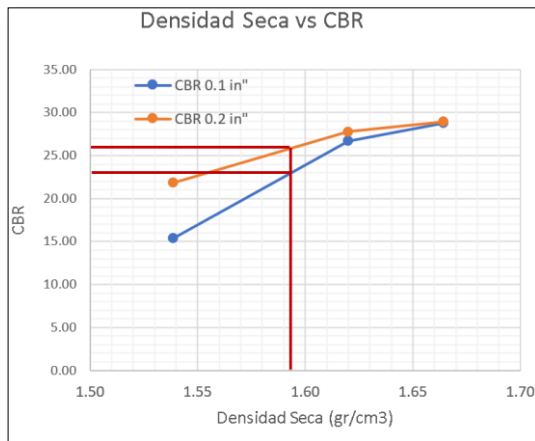
**Norma AASHTO T 193 2015**

<b>CBR DE LABORATORIO</b>						
<b>MOLDE</b>	<b>M1</b>		<b>A2</b>		<b>6A</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro	15.2	Diámetro	15.1	Diámetro	15
	Altura	12.8	Altura	12.8	Altura	12.8
N° de golpes	10		25		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	13826		12432		12706	
Masa Molde (gr)	9637		8032		8270	
Masa muestra húmeda (gr)	4189		4400		4436	
Volumen muestra (cm3)	2322.67		2322.67		2261.94	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.80		1.89		1.96	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	73	21	63	68	42	14
Masa del recipiente	24.9	9.3	16.4	15.3	24.8	14.1
Masa suelo hum+recip. (gr)	118.4	103	75.2	96.8	57.2	86.9
Masa suelo seco+recip. (gr)	104.4	89.5	66.9	84.7	52.2	76.1
Masa de agua (gr)	14	13.5	8.3	12.1	5	10.8
Masa suelo seco (gr)	79.5	80.2	50.5	69.4	27.4	62
Contenido de humedad W%	17.61	16.83	16.44	17.44	18.25	17.42
Promedio W%	17.22		16.94		17.83	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.539		1.620		1.664	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	13988		12761		13012.00	
Masa Molde (gr)	9637		8032		8270.00	
Masa muestra húmeda (gr)	4351		4729		4742.00	
Volumen muestra (cm3)	2322.67		2322.665		2261.94	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.873		2.036		2.10	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	42	68	21	63	14	73
Masa del recipiente	24.8	15.3	9.3	16.4	14.1	24.9
Masa suelo hum+recip. (gr)	89.2	79.9	72.6	103.3	68.4	90.3
Masa suelo seco+recip. (gr)	79	71.2	64.2	90.9	61	80.7
Masa de agua (gr)	10.2	8.7	8.4	12.4	7.4	9.6
Masa suelo seco (gr)	54.2	55.9	54.9	74.5	46.9	55.8
Contenido de humedad W%	18.82	15.56	15.30	16.64	15.78	17.20
Promedio W%	17.19		15.97		16.49	

<b>VALORES DE PRESIÓN</b>						
<b>MOLDE</b>	<b>M1</b>		<b>A2</b>		<b>6A</b>	
<b>Penetración (in.)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>
<b>0</b>	0	0.0	0	0.0	0	0.0
<b>0.025</b>	153.3	48.8	309.9	98.6	456.3	145.2
<b>0.05</b>	255.8	81.4	505.3	160.8	639.2	203.5
<b>0.075</b>	363.3	115.6	678.8	216.1	768.8	244.7
<b>0.1</b>	483.8	154.0	838.2	266.8	903.6	287.6
<b>0.125</b>	628.3	200.0	973.3	309.8	1033	328.8
<b>0.15</b>	763.8	243.1	1085.0	345.4	1146.3	364.9
<b>0.175</b>	883.6	281.3	1196.6	380.9	1253.6	399.0
<b>0.2</b>	1028.9	327.5	1308.3	416.4	1363	433.9
<b>0.3</b>	1483.9	472.3	1684.9	536.3	1783.3	567.6
<b>0.4</b>	1885.3	600.1	2108.1	671.0	2233.8	711.0
<b>0.5</b>	2103.3	669.5	2348.2	747.5	2588.8	824.0



VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (corregidos)					
MOLDE (No. Golpes)	ESFUERZO (lb /in²)	CBR (0.1 in.)	Densidad Seca	ESFUERZO (lb /in²)	CBR (0.2 in.)
6A (10 Golpes)	154.0	15.40	1.54	327.5	21.83
A2 (25 Golpes)	266.8	26.68	1.62	416.4	27.76
M1 (56 Golpes)	287.6	28.76	1.66	433.9	28.92



CBR ESTIMADO PARA EL 95% DE LA DENSIDAD	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (DSM)	0.96779964
95% DSM	0.91940966
CBR REPORTADO	
CBR 0.1 in "	23%
CBR 0.2 in "	26%



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

**RESUMEN DE ENSAYOS POR PUNTO**

**Punto:** H9

**Profundidad:** 1 m

**Elaborado por:** Patricio David Mera Parra

**Revisado por:** Ing. Mg. Favio Portilla Yandún

**Fecha:** 03/10/19

**Coordenadas (UTM WGS 86, 17 S)**

COORDENADAS	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
	9860697	765211	2675

**Resistividad eléctrica en campo**

Norma ASTM G57

ENSAYO DE RESISTIVIDAD				
# Medición	R ( $\Omega$ )		P ( $\Omega/m$ )	
1	26.6	29.4	167.1	184.5
2	31.9		200.4	
3	29.6		185.9	

**Contenido de humedad natural**

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL						
Peso Recipiente (gr)	Peso Rec+Suelo Húmedo (gr)	Peso Rec+Suelo seco (gr)	Ww (gr)	Ws (gr)	W%	W%(Prom)
30.6	127.7	122.0	5.7	91.4	6.24%	6.26%
31.0	124.0	118.5	5.5	87.5	6.29%	

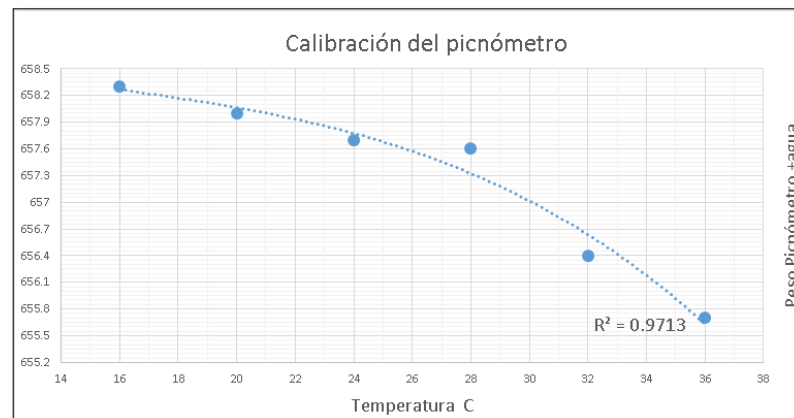
## Densidad en campo

Norma AASHTO T 191 2014

DENSIDAD EN CAMPO			
<b>Datos de calibración del cono</b>			
Peso de arena en el cono (gr)	1492.00	<b>Peso Específico de la arena <math>\gamma_s</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.6102
Volumen de la arena en el cono (cm <sup>3</sup> )	926.57		
<b>Datos de ensayo</b>			
Contenido de humedad natural w%	6.26%	<b>Peso específico de la masa de suelo <math>\gamma_m = W_m/V_m</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.6455
Peso del suelo extraído $W_m$ (gr)	2546.30		
Peso arena en el hueco $W_s$ (gr)	2491.60	<b>Peso específico del suelo seco <math>\gamma_d = \gamma_m/(1+W)</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.5486
Volumen del hueco $V_m = W_s * \gamma_s$ (cm <sup>3</sup> )	1547.35		

## Gravedad Específica

Norma AASHTO T 100 2015



GRAVEDAD ESPECÍFICA			
TEMPERATURA DEL AGUA °C	20	$G_s = \frac{M_s * k}{M_s + M_{mw} - M_{mws}}$	2.446
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA $M_{mw}$ (gr)	658.064		
MASA MUESTRA DE SUELO $W_m$ (gr)	50		
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO $M_{mws}$ (gr)	689.4		
MASA MUESTRA SECA $M_s$ (gr)	49.8		
FACTOR DE CORRECCIÓN K	1		

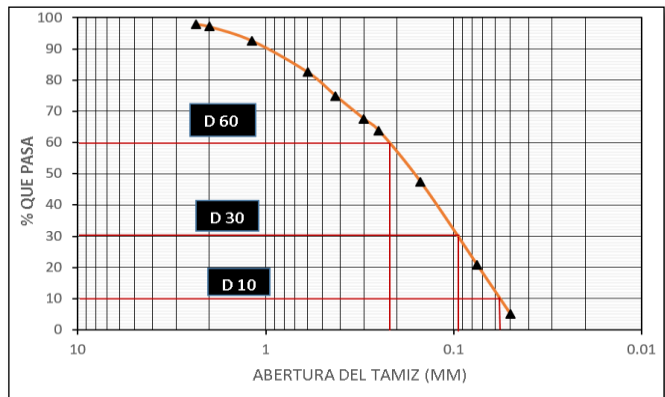
## Relaciones Volumétricas

RELACIONES VOLUMÉTRICAS			
<b>Relación de vacíos</b>			
<b>Volumen de Agua Vw (cm<sup>3</sup>)</b>	5.7		
Peso del suelo seco Ws (gr)	91.4	<b>Volumen solidos (cm<sup>3</sup>)</b>	33.88
Gravedad Especifica Gs	2.697	$V_s = W_s / (G_s \cdot \gamma_s)$	
Peso de la muestra Wm (gr)	97.1	<b>Volumen de la muestra (cm<sup>3</sup>)</b>	59.01
Peso Volumétrico de la muestra $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.6455	$V_m = W_m / \gamma_m$	
<b>Volumen de vacíos (cm<sup>3</sup>) Vv=Vm-Vd</b>	25.13	<b>Relación de vacíos e=Vv/Vs</b>	0.74171841
<b>Porosidad</b>			
$n\% = V_v / V_m$		42.59%	
<b>Grado de saturación de Agua</b>			
$G_w\% = V_w / V_v$		22.68%	
<b>Grado de saturación del Aire</b>			
$G_a\% = (V_v - V_w) / V_v$		77.32%	

## Granulometría

Norma AASHTO T 88 2013

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
8	2.36	5.1	5.1	2.05	97.95
10	2	2	7.1	2.86	97.14
16	1.18	11.4	18.5	7.45	92.55
30	0.6	24.8	43.3	17.44	82.56
40	0.425	18.9	62.2	25.05	74.95
50	0.3	18.4	80.6	32.46	67.54
60	0.25	9.3	89.9	36.21	63.79
100	0.15	40.9	130.8	52.68	47.32
200	0.075	66.1	196.9	79.30	20.70
BANDEJA	-	51.4	248.3	100.00	0.00
Diámetro Efectivo (D10) mm	Diámetro Equiparable (D30) mm	Diámetro dimensional (D60) mm	Coficiente de Uniformidad	Coficiente de Curvatura	-
0.059	0.095	0.22	3.72	0.695	-



## Límite Plástico

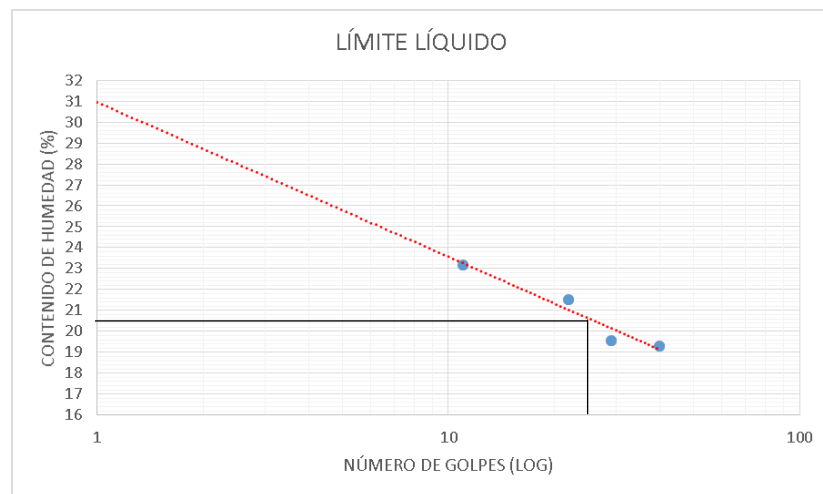
Norma AASHTO T 90 2016

LÍMITE PLÁSTICO					
RECIPIENTE #	76	18	9	70	13
PESO RECIPIENTE (gr)	10.6	10.7	10.7	10.7	10.6
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	11.3	12	12.3	11.8	12
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	11.2	11.8	12	11.6	11.8
PESO MUESTRA SECA (gr)	0.6	1.1	1.3	0.9	1.2
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	0.7	1.3	1.6	1.1	1.4
PESO AGUA (gr)	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	16.67%	18.18%	23.08%	22.22%	16.67%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	19.36%				

## Límite Líquido

Norma AASHTO T 89 2013

LÍMITE LÍQUIDO									
NUMERO DE GOLPES	11		22		29		40		
RECIPIENTE NUMERO	51	29	9	18	P1	76	13	79	
PESO RECIPIENTES (gr)	6	7.5	10.7	10.8	10.7	10.6	10.6	10.7	
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	13.6	15	18.5	18.8	18.9	20.8	19.3	21.2	
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	11.8	13.3	16.8	17	17.1	18.7	17.6	19.1	
PESO MUESRA SECA (gr)	5.8	5.8	6.1	6.2	6.4	8.1	7	8.4	
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	7.6	7.5	7.8	8	8.2	10.2	8.7	10.5	
PESO AGUA (gr)	1.8	1.7	1.7	1.8	1.8	2.1	1.7	2.1	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	23.68%	22.67%	21.79%	22.50%	21.95%	20.59%	19.54%	20.00%	
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	23.18%		22.15%		21.27%		19.77%		
LÍMITE LÍQUIDO (25 GOLPES)	21.38								



## Índice Plástico y Clasificación

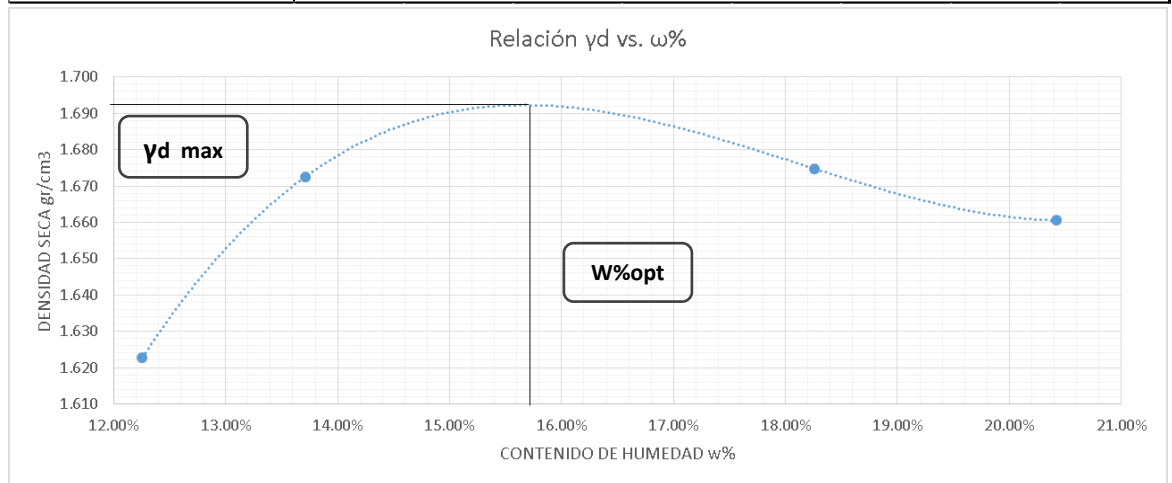
ÍNDICE PLÁSTICO IP	
LÍMITE LÍQUIDO LL	20.62
LÍMITE PLÁSTICO LP	19.36
IP=LL-LP	1.26

CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO
SM	A-2-4 (0)

# Compactación Proctor Modificado B

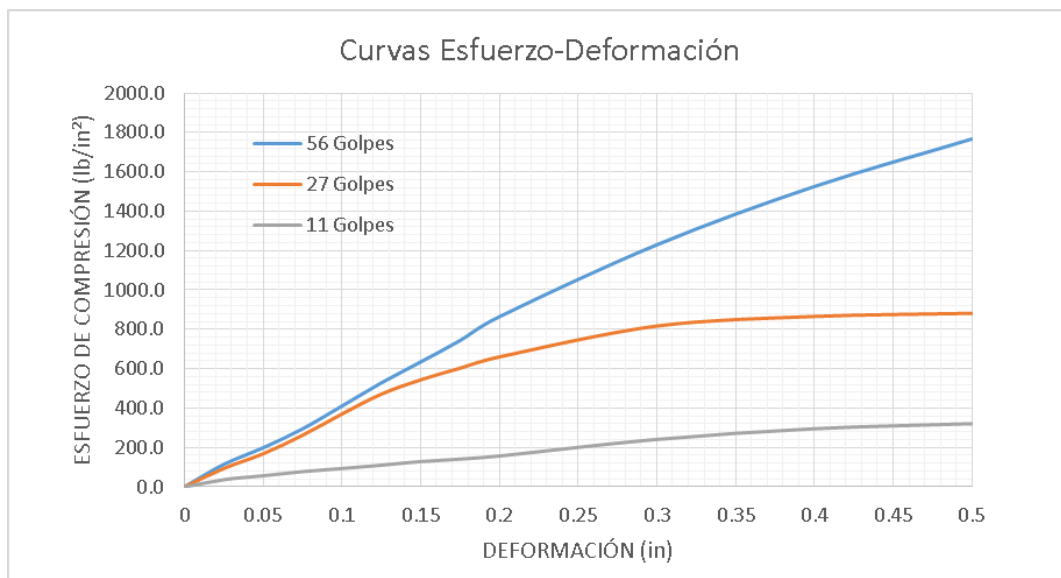
Norma AASHTO T 180 2018

PROCTOR MODIFICADO TIPO B (AASHTO)								
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10	lb
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	14079	gr	Volumen molde:	2208.94	cm <sup>3</sup>
Energía de compactación:	55986	lb/ft/ft <sup>3</sup>	Diámetro:	15	cm	Altura:	12.5	cm
Ensayo número	1		2			3		4
Peso inicial deseado (gr)	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial añadida (%)	6		9		12		15	
P. molde + suelo húmedo (gr)	18103		18280		18454		18496	
Peso suelo húmedo (gr)	4024		4201		4375		4417	
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.822		1.902		1.981		2.000	
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	21	42	73	74	14	35	63	68
Peso R. + Suelo húmedo (gr)	115.5	120.1	109.6	120.4	123.8	102.8	129.6	119.4
Peso R. + Suelo seco (gr)	106.2	109.4	99.3	109.2	109.7	91.5	113.2	104.1
Peso agua (gr)	9.3	10.7	10.3	11.2	14.1	11.3	16.4	15.3
Peso recipiente (gr)	27.8	24.8	24.9	26.7	31.1	30.7	30.6	31.2
Peso suelo seco (gr)	78.4	84.6	74.4	82.5	78.6	60.8	82.6	72.9
Contenido humedad (%)	11.86%	12.65%	13.84%	13.58%	17.94%	18.59%	19.85%	20.99%
Cont. Humedad prom. (%)	12.25%		13.71%		18.26%		20.42%	
Densidad seca $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.623		1.673		1.675		1.661	
Cont. Humedad optm. (%)					15.7			
Densidad seca max. (gr/cm <sup>3</sup> )					1.692			
Grado de compactación (%)					92%			

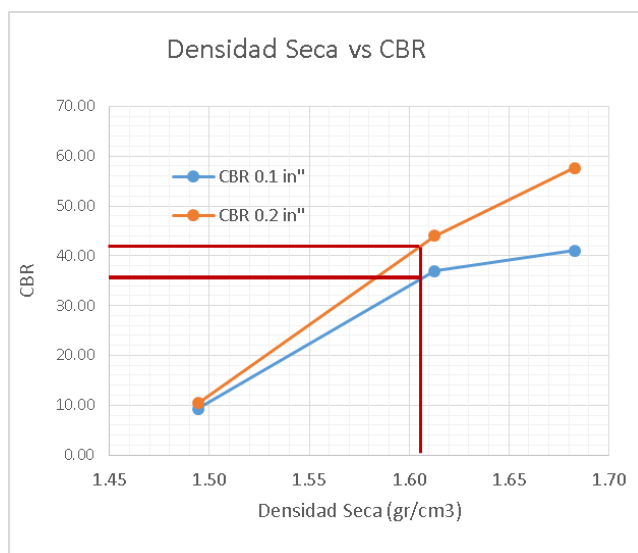


CBR DE LABORATORIO						
MOLDE	6A		A2		M1	
DIMENSIONES	Diámetro	15	Diámetro	15.1	Diámetro	15.2
	Altura	12.8	Altura	12.8	Altura	12.8
N° de golpes	10		25		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10891		12527		13892	
Masa Molde (gr)	6968		8390		9633	
Masa muestra húmeda (gr)	3923		4137		4259	
Volumen muestra (cm3)	2261.94		2261.94		2322.67	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.73		1.83		1.83	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	42	73	63	14	21	68
Masa del recipiente	24.8	24.9	16.4	14.1	9.3	15.3
Masa suelo hum+recip. (gr)	73.3	84.6	94.5	105.6	62.1	78.2
Masa suelo seco+recip. (gr)	66.3	76.7	85.6	94.4	57.7	73.1
Masa de agua (gr)	7	7.9	8.9	11.2	4.4	5.1
Masa suelo seco (gr)	41.5	51.8	69.2	80.3	48.4	57.8
Contenido de humedad W%	16.87	15.25	12.86	13.95	9.09	8.82
Promedio W%	16.06		13.40		8.96	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.494		1.613		1.683	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	11264		12781		14237.00	
Masa Molde (gr)	6968		8390		9633.00	
Masa muestra húmeda (gr)	4296		4391		4604.00	
Volumen muestra (cm3)	2261.94		2261.945		2322.67	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.899		1.941		1.98	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	63	42	14	73	21	68
Masa del recipiente	16.4	24.8	14.1	10.3	9.3	15.3
Masa suelo hum+recip. (gr)	65.4	73.2	78.1	70.3	67.1	85.5
Masa suelo seco+recip. (gr)	59.4	64.6	69.9	64.3	61.4	77.4
Masa de agua (gr)	6	8.6	8.2	6	5.7	8.1
Masa suelo seco (gr)	43	39.8	55.8	54	52.1	62.1
Contenido de humedad W%	13.95	21.61	14.70	11.11	10.94	13.04
Promedio W%	17.78		12.90		11.99	

VALORES DE PRESIÓN						
MOLDE	6A		A2		M1	
Penetración (in.)	Dial (Lbf)	Presión (Psi)	Dial (Lbf)	Presión (Psi)	Dial (Lbf)	Presión (Psi)
0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
0.025	115.2	36.7	293.8	93.5	359.1	114.3
0.05	176.9	56.3	528.3	168.2	623.5	198.5
0.075	243.3	77.4	823.5	262.1	925.6	294.6
0.1	293.4	93.4	1162.3	370.0	1289.3	410.4
0.125	346.3	110.2	1479.2	470.8	1659.5	528.2
0.15	403.6	128.5	1708.3	543.8	1993.8	634.6
0.175	443.3	141.1	1893.9	602.8	2334.3	743.0
0.2	493	156.9	2073.5	660.0	2715.9	864.5
0.3	697.8	222.1	2566.1	816.8	3863	1229.6
0.4	898.4	286.0	2718.6	865.4	4793.3	1525.8
0.5	1128.3	359.1	2768.6	881.3	5550.3	1766.7



<b>VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (corregidos)</b>					
<b>MOLDE (No. Golpes)</b>	<b>ESFUERZO (lb /in²)</b>	<b>CBR (0.1 in.)</b>	<b>Densidad Seca</b>	<b>ESFUERZO (lb /in²)</b>	<b>CBR (0.2 in.)</b>
6A (10 Golpes)	93.4	9.34	1.49	156.9	10.46
A2 (25 Golpes)	370.0	37.00	1.61	660.0	44.00
M1 (56 Golpes)	410.4	41.04	1.68	864.5	57.63



<b>CBR ESTIMADO PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA</b>	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (DSM)	1.692
95% DSM	1.6074
<b>CBR REPORTADO</b>	
CBR 0.1 in "	36%
CBR 0.2 in "	42%

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

**RESUMEN DE ENSAYOS POR PUNTO**

**Punto:** H10

**Profundidad:** 1 m

**Elaborado por:** Patricio David Mera Parra

**Revisado por:** Ing. Mg. Favio Portilla Yandún

**Fecha:** 03/10/19

**Coordenadas (UTM WGS 86, 17 S)**

COORDENADAS	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
	9860477	765473	2657

**Resistividad eléctrica en campo**

Norma ASTM G57

ENSAYO DE RESISTIVIDAD				
# Medición	R( $\Omega$ )		$\rho(\Omega.m)$	
1	27.1	<b>PROMEDIO</b> <b>27.4</b>	170.2	<b>PROMEDIO</b> <b>171.9</b>
2	29.4		184.7	
3	25.6		160.8	

**Contenido de humedad natural**

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL						
Peso Recipiente (gr)	Peso Rec+Suelo Húmedo (gr)	Peso Rec+Suelo seco (gr)	Ww (gr)	Ws (gr)	W%	W%(Prom)
30.6	103.9	95.8	8.1	65.2	12.4%	12.16%
31.2	106.5	98.5	8.0	67.3	11.9%	



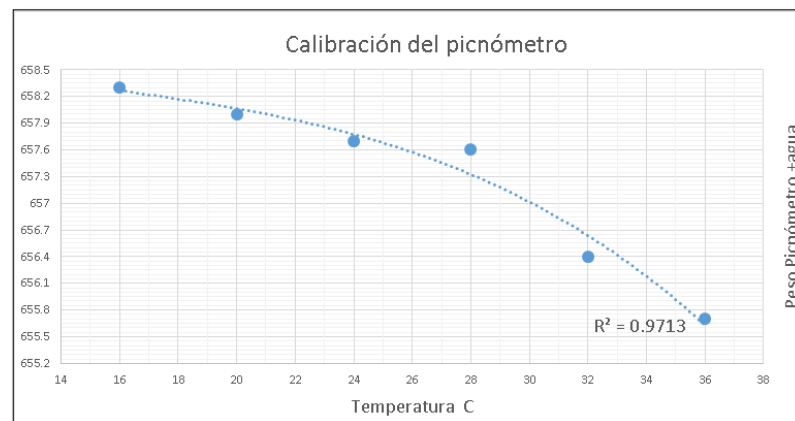
## Densidad en campo

Norma AASHTO T 191 2014

DENSIDAD EN CAMPO			
Datos de calibración del cono			
Peso de arena en el cono (gr)	343.00	Peso Especifico de la arena $\gamma_s$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.64
Volumen de la arena en el cono (cm <sup>3</sup> )	209.44		
Datos de ensayo			
Contenido de humedad natural w%	12.16%	Peso especifico de la masa de suelo $\gamma_m = W_m/V_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.797
Peso del suelo extraído $W_m$ (gr)	767.20		
Peso arena en el hueco $W_s$ (gr)	699.00	Peso especifico del suelo seco $\gamma_d = \gamma_m / (1 + W)$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.603
Volumen del hueco $V_m = W_s * \gamma_s$ (cm <sup>3</sup> )	426.82		

## Gravedad Específica

Norma AASHTO T 100 2015



GRAVEDAD ESPECÍFICA			
TEMPERATURA DEL AGUA °C	24	$G_s = \frac{M_s * k}{M_s + M_{mw} - M_{mws}}$	2.616
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA $M_{mw}$ (gr)	657.762		
MASA MUESTRA DE SUELO $W_m$ (gr)	50		
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO $M_{mws}$ (gr)	688.3		
MASA MUESTRA SECA $M_s$ (gr)	49.4		
FACTOR DE CORRECIÓN K	0.9991		

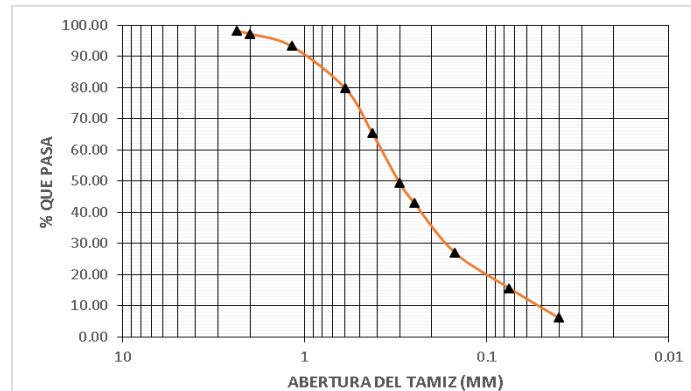
## Relaciones Volumétricas

RELACIONES VOLUMÉTRICAS			
<b>Relación de vacíos</b>			
Volumen de Agua Vw (cm3)	8.1		
Peso del suelo seco Ws (gr)	65.2	Volumen solidos (cm3) Vs=Ws/(Gs*γ)	24.92
Gravedad Especifica Gs	2.616		
Peso de la muestra Wm (gr)	73.3	Volumen de la muestra (cm3) Vm=Wm/γm	40.78
Peso Volumétrico de la muestra γm (gr/cm3)	1.797		
Volumen de vacíos (cm3) Vv=Vm-Vd	15.86	Relación de vacíos e=Vv/Vs	0.64
<b>Porosidad</b>			
n%=Vv/Vm		39.0%	
<b>Grado de saturación de Agua</b>			
Gw%= Vw/Vv		51.0%	
<b>Grado de saturación del Aire</b>			
Ga%=(Vv-Vw)/Vv		49.00%	

## Granulometría

Norma AASHTO T 88 2013

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
8	2.36	4.7	4.7	1.90	98.10
10	2	2.2	6.9	2.78	97.22
16	1.18	9.8	16.7	6.74	93.26
30	0.6	33.4	50.1	20.22	79.78
40	0.425	35.7	85.8	34.62	65.38
50	0.3	39.9	125.7	50.73	49.27
60	0.25	15.5	141.2	56.98	43.02
100	0.15	39.4	180.6	72.88	27.12
200	0.075	28.4	209	84.34	15.66
BANDEJA		38.8	247.8	100.00	0.00
<b>Diámetro Efectivo (D10) mm</b>	<b>Diámetro Equiparable (D30) mm</b>	<b>Diámetro dimensional (D60) mm</b>	<b>Coficiente de Uniformidad</b>	<b>Coficiente de Curvatura</b>	-
0.05	0.18	0.39	7.8	1.66	-



## Límite Plástico

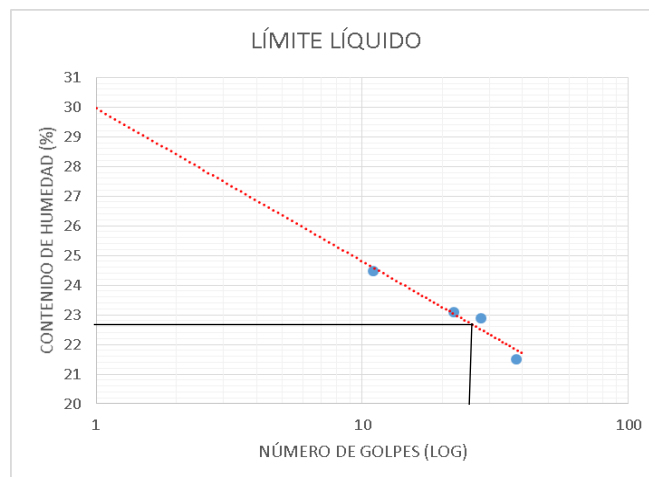
Norma AASHTO T 90 2016

LÍMITE PLÁSTICO						
RECIPIENTE #		29	51	37	11	A
PESO RECIPIENTE (gr)		7.5	6	6.1	6	6.1
PESO RECIPIENTE + MUESTRAS HUMEDAS (gr)		8.6	8	7.4	7.8	7.7
PESO RECIPIENTE + MUESTRAS SECAS (gr)		8.4	7.6	7.2	7.5	7.4
PESO MUESTRA SECA (gr)		0.9	1.6	1.1	1.5	1.3
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)		1.1	2	1.3	1.8	1.6
PESO AGUA (gr)		0.2	0.4	0.2	0.3	0.3
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		22.22	25.00	18.18	20.00	23.08
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)		21.70				

## Límite Líquido

Norma AASHTO T 89 2013

LÍMITE LÍQUIDO									
NUMERO DE GOLPES		10		23		29		36	
RECIPIENTE NUMERO		76	P6	51	29	37	A	17	47
PESO RECIPIENTES (gr)		10.6	10.5	6.1	7.5	6.1	6.1	6.1	6.1
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)		17.6	19.6	12.9	13.9	13.7	14.5	11.9	13.3
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)		16.3	17.8	11.7	12.7	12.4	12.9	10.9	12
PESO MUESTRA SECA (gr)		5.7	7.3	5.6	5.2	6.3	6.8	4.8	5.9
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)		7	9.1	6.8	6.4	7.6	8.4	5.8	7.2
PESO AGUA (gr)		1.3	1.8	1.2	1.2	1.3	1.6	1	1.3
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		22.81	24.66	21.43	23.08	20.63	23.53	20.83	22.03
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)		23.73		22.25		22.08		21.43	
LÍMITE LÍQUIDO (25 GOLPES) (%)		22.75							



## Índice Plástico y Clasificación

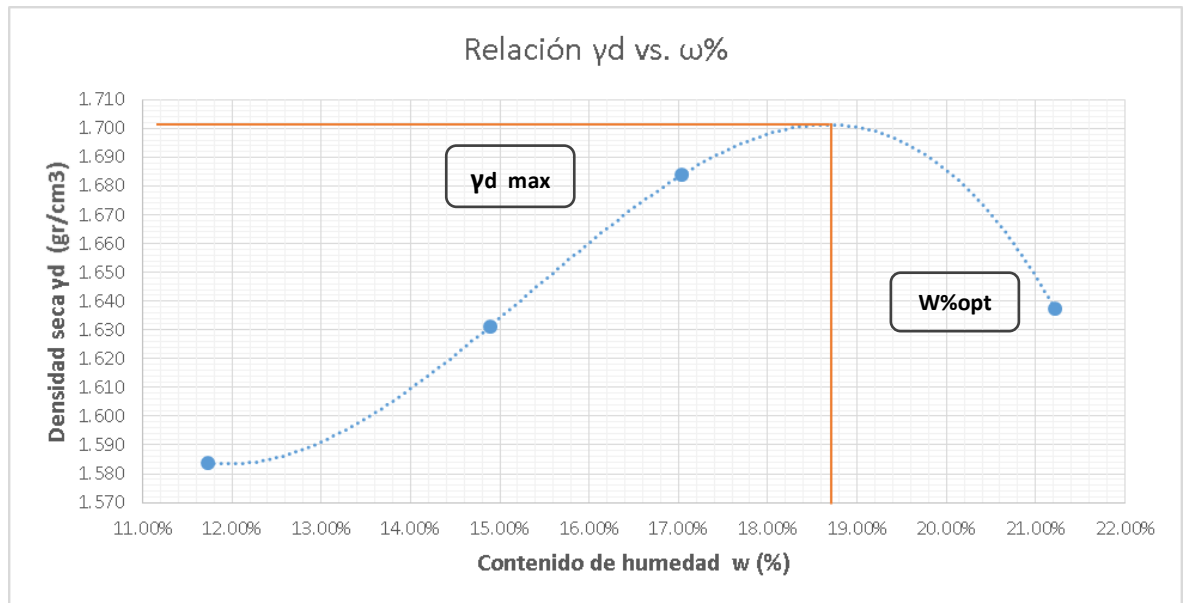
ÍNDICE PLÁSTICO	
LÍMITE LÍQUIDO LL%	22.75
LÍMITE PLÁSTICO LP%	21.70
ÍNDICE PLÁSTICO IP%=LL%-LP%	1.060

CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO
SM	A-2-4(0)

## Compactación Proctor Modificado B

Norma AASHTO T 180 2018

PROCTOR MODIFICADO TIPO B (AASHTO)								
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10	lb
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	14079	gr	Volumen molde:	2208.94	cm <sup>3</sup>
Energía de compactación:	55986	lb/ft/ft <sup>3</sup>	Diámetro:	15	cm	Altura:	12.5	cm
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	<b>21</b>	<b>42</b>	<b>68</b>	<b>73</b>	<b>63</b>	<b>74</b>	<b>14</b>	<b>35</b>
Peso R. + Suelo húmedo (gr)	104.7	101.3	120.5	99.1	109.1	102.4	104.4	104.8
Peso R. + Suelo seco (gr)	96.4	93.5	108	89.8	97.6	92.1	91.5	91.9
Peso agua (gr)	8.3	7.8	12.5	9.3	11.5	10.3	12.9	12.9
Peso recipiente (gr)	27.8	24.8	24.9	26.7	31.1	30.7	30.6	31.2
Peso suelo seco (gr)	68.6	68.7	83.1	63.1	66.5	61.4	60.9	60.7
Contenido humedad (%)	12.10%	11.35%	15.04%	14.74%	17.29%	16.78%	21.18%	21.25%
Cont. Humedad prom. (%)	11.73%		14.89%		17.03%		21.22%	
Densidad seca yd (gr/cm <sup>3</sup> )	1.584		1.631		1.684		1.637	
Contenido de humedad óptimo (%)	18.7							
Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	1.702							
Grado de compactación (%)	94%							

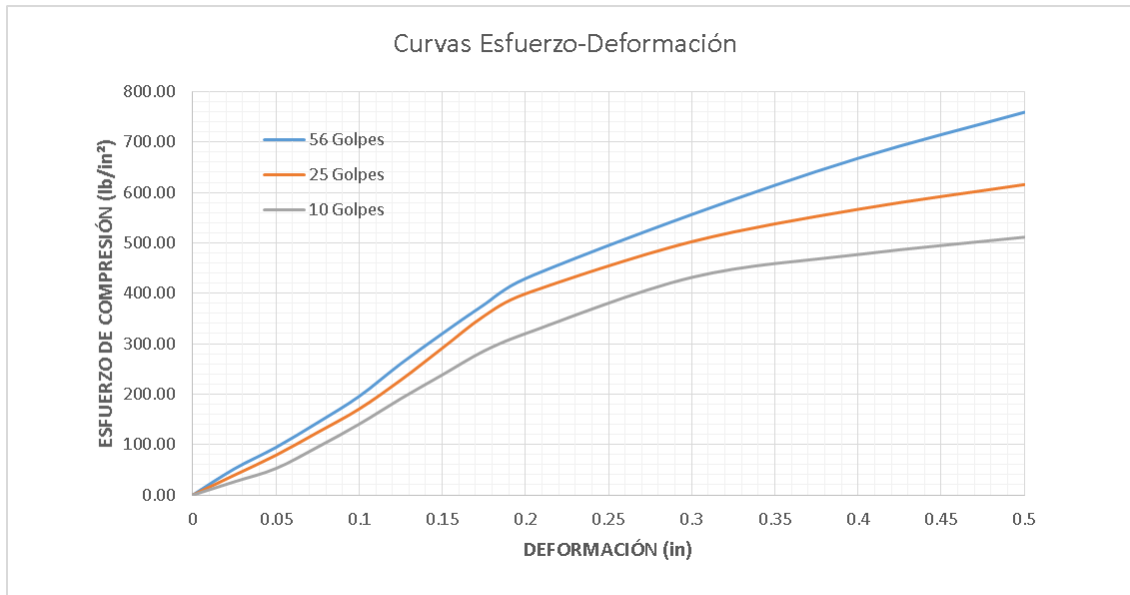


**CBR de laboratorio**

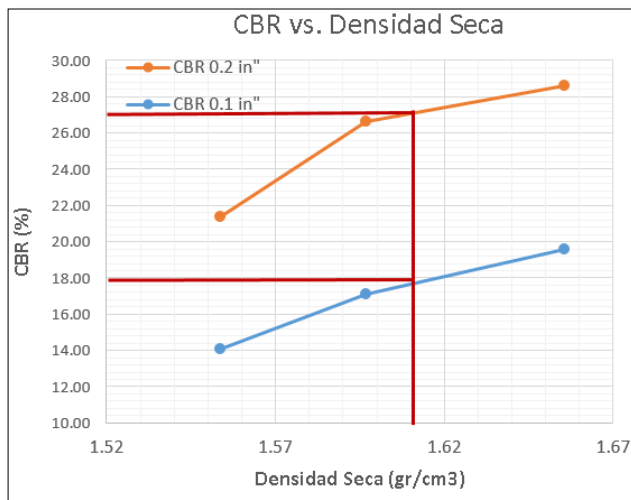
**Norma AASHTO T 193 2015**

<b>CBR DE LABORATORIO</b>						
<b>MOLDE</b>	<b>A2</b>		<b>M1</b>		<b>6A</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	Diámetro (cm)	15.1	Diámetro (cm)	15.2	Diámetro (cm)	15
	Altura (cm)	12.8	Altura (cm)	12.8	Altura (cm)	12.8
N° de golpes	10		25		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	11525		11755		10195	
Masa Molde (gr)	7619		7747		6025	
Masa muestra húmeda (gr)	3906		4008		4170	
Volumen muestra (cm3)	2112.18		2112.18		2112.18	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.85		1.90		1.97	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>	<b>Bandeja</b>	<b>Molde</b>
N° Recipiente	21	73	42	63	14	68
Masa del recipiente	9.3	24.9	24.8	16.4	14.1	15.3
Masa suelo hum+recip. (gr)	70.1	59.5	61.3	54.9	71.2	59.2
Masa suelo seco+recip. (gr)	60.5	53.9	55.7	48.6	62	52.1
Masa de agua (gr)	9.6	5.6	5.6	6.3	9.2	7.1
Masa suelo seco (gr)	51.2	29	30.9	32.2	47.9	36.8
Contenido de humedad W%	18.75	19.31	18.12	19.57	19.21	19.29
Promedio W%	19.03		18.84		19.25	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.55		1.60		1.66	
<b>DESPÚES DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	11297		11753		10248.00	
Masa Molde (gr)	7619		7747		6025.00	
Masa muestra húmeda (gr)	3678		4006		4223.00	
Volumen muestra (cm3)	2112.18		2112.180		2112.18	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.741		1.897		1.999	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
N° Recipiente	42	63	73	68	21	14
Masa del recipiente	21.8	16.4	10.3	15.3	9.3	14.1
Masa suelo hum+recip. (gr)	52.4	68.4	72.3	59.5	61.2	69.7
Masa suelo seco+recip. (gr)	45.6	59.5	62.1	52.2	52.8	60.1
Masa de agua (gr)	6.8	8.9	10.2	7.3	8.4	9.6
Masa suelo seco (gr)	35.3	44.2	51.8	36.9	43.5	46
Contenido de humedad W%	19.26	20.14	19.69	19.78	19.31	20.87
Promedio W%	19.70		19.74		20.09	

<b>VALORES DE PRESIÓN</b>						
<b>MOLDE</b>	<b>A2</b>		<b>M1</b>		<b>6A</b>	
<b>Penetración (in.)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>	<b>Dial (Lbf)</b>	<b>Presión (Psi)</b>
<b>0</b>	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
<b>0.025</b>	82.9	26.39	124.1	39.50	163.7	52.11
<b>0.05</b>	165.7	52.74	248.2	79.00	297.0	94.54
<b>0.075</b>	298.7	95.08	390.2	124.20	451.1	143.59
<b>0.1</b>	441.6	140.57	536.3	170.71	614.8	195.70
<b>0.125</b>	600.1	191.02	715.8	227.85	818.3	260.47
<b>0.15</b>	748.6	238.29	915.2	291.32	1005.8	320.16
<b>0.175</b>	897.2	285.59	1114.6	354.79	1185.2	377.26
<b>0.2</b>	1005.7	320.12	1254.1	399.19	1348.7	429.30
<b>0.3</b>	1356.2	431.69	1578.5	502.45	1747.8	556.34
<b>0.4</b>	1498.8	477.08	1780.2	566.65	2098.2	667.88
<b>0.5</b>	1606.8	511.46	1934.5	615.77	2385.0	759.17



VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (corregidos)					
MOLDE (No. Golpes)	ESFUERZO (lb /in²)	CBR (0.1 in.)	Densidad Seca	ESFUERZO (lb /in²)	CBR (0.2 in.)
A2 (10 Golpes)	140.6	14.06	1.55	320.1	21.34
M1 (25 Golpes)	170.7	17.07	1.60	399.2	26.61
6A (56 Golpes)	195.7	19.57	1.66	429.3	28.62



CBR ESTIMADO PARA EL 95% DE LA DENSIDAD	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (DSM)	1.702
95% DSM	1.6169
<b>CBR</b>	
CBR 0.1 in "	18%
CBR 0.2 in "	27%