

**UNIVERSIDAD PERUANA UNION**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**Escuela Profesional De Ingeniería Civil**



*Una Institución Adventista*

**Estimación del valor de CBR en suelos granulares a partir de  
ensayos de caracterización y compactación de las canteras  
ubicadas en la ciudad de Juliaca**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniería Civil

Por:

Mario Cipriani Mamani Sánchez

Asesor:

Mg. Leonel Chahuares Paucar

**Chullunquiani, Setiembre 2019**

**DECLARACIÓN JURADA**  
**DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS**

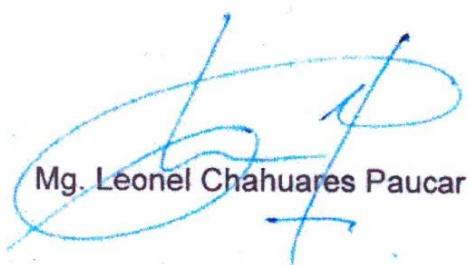
Mg. Leonel Chahuares Paucar, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura,  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "**Estimación del valor de CBR en suelos granulares a partir de ensayos de caracterización y compactación de las canteras ubicadas en la ciudad de Juliaca**" constituye la memoria que presenta el Bachiller Mario Cipriani Mamani Sánchez para optar al título de Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Juliaca a los once días, del mes de Octubre del año dos mil diecinueve.



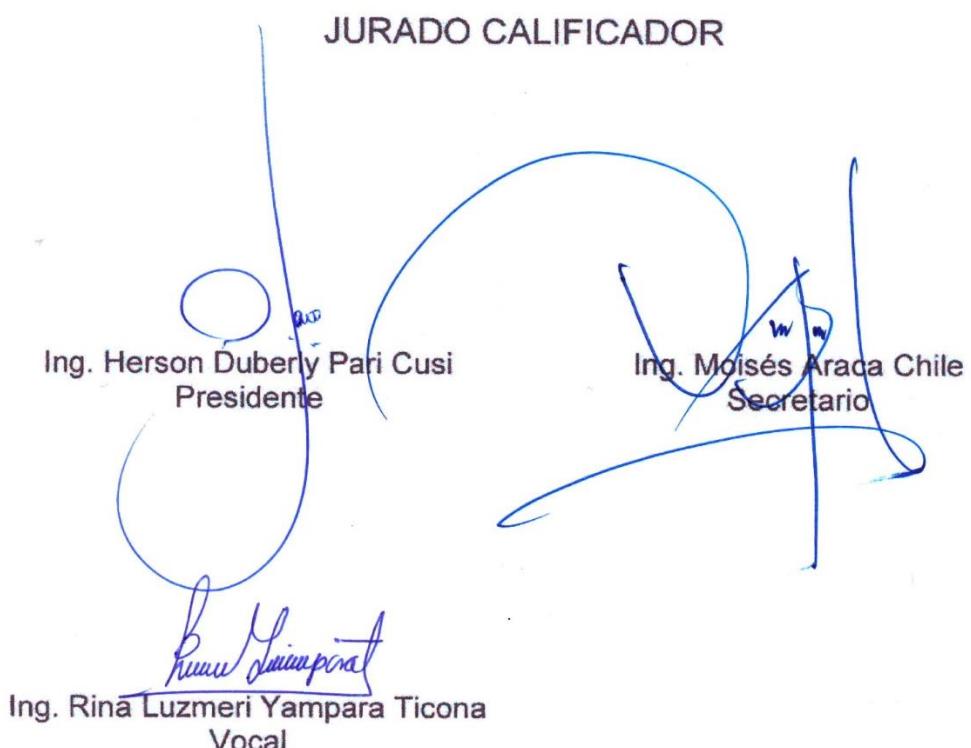
Mg. Leonel Chahuares Paucar

"Estimación del valor de CBR en suelos granulares a partir de ensayos de caracterización y compactación de las canteras ubicadas en la ciudad de Juliaca"

# TESIS

Presentado para optar el título profesional de Ingeniero Civil

## JURADO CALIFICADOR



A large, stylized handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Mg. Leonel Chahuares Paucar Asesor'.

Juliaca, 11 de Octubre del 2019

## **DEDICATORIA**

A Dios, padre del universo que nos regala la vida y todos los acontecimientos que hay en ella para supéralos en nombre a Él.

A mi familia, que ha estado en todo momento a mi lado apoyándome en cada decisión en mi vida.

A mis amigos, quienes comparten el gusto por la ingeniería civil y en especial por la geotecnia.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por el regalo de la vida y  
a quien debo todo.

Al Mg. Leonel Chahuares por su  
apoyo y comprensión en la vida  
universitaria y en el desarrollo de la  
presente tesis.

A la Universidad Peruana Unión  
por la formación en valores y  
principios cristianos de la mano con la  
formación profesional.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
NOMENCLATURA .....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
EL PROBLEMA .....	16
1.1.    Identificación del Problema .....	16
1.1.1.    Pregunta General.....	17
1.1.2.    Preguntas Específicas.....	17
1.2.    Justificación e Importancia .....	17
1.3.    Objetivos de la Investigación .....	19
1.3.1.    Objetivo General .....	19
1.3.2.    Objetivos Específicos .....	19
CAPITULO II .....	20
MARCO TEÓRICO.....	20
2.1.    Antecedentes de Investigación.....	20
2.2.    Marco Conceptual.....	22
2.2.1.    El Suelo y su Origen .....	22
CAPITULO III.....	40
MATERIALES Y METODOS.....	40
3.1.    Metodología de Investigación .....	40
3.1.1.    Enfoque de Investigación .....	40
3.1.2.    Nivel de Investigación .....	40

3.1.3. Diseño de Investigación.....	40
3.2. Formulación de las Hipótesis.....	41
3.2.1. Hipótesis General .....	41
3.2.2. Preguntas Específicas.....	41
3.3. Identificación de Variables.....	41
3.4. Recolección de Datos .....	43
CAPITULO IV.....	64
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	64
4.1. Resultados de los Ensayos de Laboratorio .....	64
4.1.1. Resultados de los Ensayos de Análisis Granulométrico .....	64
4.1.2. Resultados del Límite de Consistencia.....	65
4.1.3. Resultados de Ensayo de compactación (proctor modificado) .....	65
4.1.4. Resultados de Ensayo de CBR .....	66
4.2. Análisis de Resultados para CBR .....	67
4.2.1. Relación entre los resultados del Análisis Granulométrico y el CBR .....	68
4.2.1.1. Relación entre Porcentaje retenido en el tamiz N° 4 y el CBR.....	68
4.2.1.2. Relación entre Porcentaje que pasa el tamiz N° 200 y el CBR .....	69
4.2.1.3. Relación entre diámetro efectivo del 60% (D60) y el CBR .....	70
4.2.1.4. Relación entre diámetro efectivo del 30% (D30) y el CBR .....	70
4.2.2. Relación entre los resultados Limites de consistencia y el CBR.....	71
4.2.2.1. Relación entre Limite líquido y el CBR .....	71
4.2.2.2. Relación entre Limite Plástico y el CBR .....	72
4.2.2.3. Relación entre IP y el CBR .....	73
4.2.3. Relación entre los resultados de Proctor Modificado y el CBR .....	74
4.2.3.1. Relación entre Densidad Máxima Seca y el CBR .....	74
4.2.3.2. Relación entre Contenido de Humedad Optimo y el CBR .....	75
4.3. Correlación y Regresión de los Resultados para Estimar el CBR .....	76
4.4. Resultados Obtenidos con el mediante la ecuación planteada. ....	81

4.4.1.	Resultados Obtenidos con el mediante la ecuación planteada por cantera.....	82
4.4.1.1.	CANTERA 01 .....	82
4.4.1.2.	CANTERA 02 .....	82
4.4.1.3.	CANTERA 03 .....	82
4.4.1.4.	CANTERA 04 .....	82
4.4.1.5.	CANTERA 05 .....	82
4.5.	Prueba de Hipótesis de Investigación .....	83
4.5.1.	Prueba de Hipótesis General de Investigación.....	85
4.5.2.	Prueba de Hipótesis Específica de Investigación (hipótesis E1) .....	86
4.5.3.	Prueba de Hipótesis Específica de Investigación (hipótesis E2) .....	87
1.3.3.	Preguntas Específicas.....	89
CAPITULO V.....		91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		91
5.1 Conclusiones.....		91
5.2 Recomendaciones.....		92
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....		93
ANEXOS.....		95

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites de separación de tamaño de suelo .....	24
Tabla 2. Abertura de tamices .....	30
Tabla 3. Proctor Modificado .....	35
Tabla 4. Proctor Estandar.....	36
Tabla 5. Penetración y Carga CBR .....	38
Tabla 6. Cuadro de Operacionalizacion de Variables .....	42
Tabla 7. Coordenadas UTM y altitud .....	46
Tabla 8. Valores obtenidos del Ensayo Granulométrico. ....	64
Tabla 9. Valores obtenidos de límites de consistencia.....	65
Tabla 11. Valores obtenidos del Ensayo de Proctor Modificado.....	66
Tabla 12. Correlaciones Pearson (Lineal).....	77
Tabla 13. Correlaciones Pearson (Lineal).....	78
Tabla 14. Coeficiente de Determinación de los modelos de Correlación .....	78
Tabla 15. Modelos de Correlación .....	79
Tabla 16. Modelo de Correlación Seleccionado.....	80
Tabla 17. Resultados obtenidos de CBR mediante la ecuación y el obtenido en laboratorio .....	81
Tabla 18. Modelo con coeficiente de Pearson.....	86
Tabla 19. Resultados de la correlación entre el modelo y el CBR.....	87
Tabla 20. Datos para la prueba estadística .....	88
Tabla 21. Resultados de la correlación entre el modelo y el CBR.....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Límites de consistencia adaptado de “Mecanica de suelos”, por Crespo 2008, copyright por LIMUSA .....	24
Figura 2. Suelos bien graduados adaptado de “Mecanica de suelos”, por Crespo 2008, copyright por LIMUSA .....	26
Figura 3. Suelos mal graduados adaptado de “Mecanica de suelos”, por Crespo 2008, copyright por LIMUSA .....	26
Figura 4. Suelos discontinuos adaptado de “Mecanica de suelos”, por Crespo 2008, copyright por LIMUSA .....	26
Figura 5. Curva de Compactación de “Fundamentos de Ingeniería Geotecnia”, por Das 2015, copyright por GENGAGE Learning. ....	27
Figura 6. Tabla clasificación de suelo AASHTO adaptado de “Manual de carreteras: construcción y mantenimiento”, por Bañon L. y Brevia J., 2010.....	29
Figura 7. Curva de distribución adaptado de “Fundamentos de Ingeniería Geotecnia”, por Das 2015, copyright por GENGAGE Learning. ....	31
Figura 8. Interpretacion de curva granulometrica adaptado de “Manual de carreteras: construcción y mantenimiento”, por Bañon L. y Brevia J., 2010, .....	33
Figura 9. Ubicación del Distrito de Juliaca “Plan Director de Juliaca 2014-2015”.....	45
Figura 10. Ubicación de las canteras del distrito de Juliaca, taparachi, rinconada, vallecito (Google Maps, 2018).....	46
Figura 11. Características Geomorfológicas. Adaptado de “Plan Director de Juliaca 2016 – 2025” (p. 117).....	48
Figura 12. Exploración y muestro in situ de la cantera de taparachi I – Salida a Puno.....	50
Figura 13. Exploración y muestreo in situ de la cantera Taparachi II – Salida a Puno .....	51
Figura 14. Exploración y Muestreo in situ de la cantera Rinconada – Rinconada.....	51
Figura 15. Secado de muestras de las diferentes canteras previo a los ensayos de laboratorio (Elaboracion Propia). ....	52
Figura 16. Material retenido en cada tamiz mayores al tamiz Nº 4, cantera 03 Rinconada (Elaboración Propia).....	54
Figura 17. Material tamizado y tamices 3”, 21/2”, 2”, 11/2”, 1”, 3/4”, ½”, 3/8”, ¼”, Nº 4, Nº 10, Nº 20, Nº 40, Nº100, Nº 200 (Elaboración Propia). .....	54
Figura 18. Muestras saturadas listas para los ensayos de límites de consistencia (Elaboración Propia).....	55

Figura 19. Cuchara de casa grande, ranurador, espátulas, pipeta, taras, vidrio esmerilado, recipientes de porcelana .....	56
Figura 20. Muestra con signos de gritas, antes de ser pesadas (Elaboración Propia). ....	56
Figura 21. Muestras seleccionadas para el ensayo de compactación (Elaboración Propia).....	58
Figura 22. Compactación del suelo a 56 golpes por capa (Elaboración Propia) .....	59
Figura 23. Molde con suelo compactado a punto de ser enrasado para poder pesarlo (Elaboración Propia).....	59
Figura 24. Molde de CBR con muestra compactada, en la parte inferior el espaciador y a un costado el collarín muestra lista para enrasarlo (Elaboración Propia).....	61
Figura 25. Muestras colocadas en envases de agua proceso de saturación (Elaboración Propia).....	62
Tabla 8. Valores obtenidos del Ensayo Granulométrico. ....	64
Figura 26. Valores Obtenidos del ensayo de granulometría (Elaboración Propia M. Excel v. 16).....	64
Figura 27. Valores Obtenidos los ensayos de límites de consistencia (Elaboración Propia M. Excel v. 16). .....	65
Figura 29. Valores Obtenidos del ensayo de CBR para cada una de las canteras estudiadas (Elaboración Propia M. Excel v. 16).....	67
Figura 30. Relación entre el porcentaje retenido en tamiz N 4 y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16).....	69
Figura 31. Relación entre el porcentaje pasante en tamiz N 200 y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16).....	69
Figura 32. Relación entre el D60 y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16). ....	70
Figura 33. Relación entre el D30 y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16). ....	71
Figura 34. Relación entre el LL y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16) ..	72
Figura 35. Relación entre el LP y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16) .	73
Figura 36. Relación entre el IP y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16)....	74
Figura 37. Relación entre la densidad máxima seca y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16).....	75
Figura 38. Relación entre el contenido de humedad y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16).....	76

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

ANEXO. 1 UBICACION DE CANTERAS .....	96
ANEXO. 2 ENSAYOS DE LABORATORIO .....	100
ANEXO. 2 NORMAS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO .....	120

## NOMENCLATURA

ASTM	: Organización de Normas internacionales (-)
AASHTO	: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (-)
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (-)
CBR	: California Bearing Ratio (%)
LL	: Límite líquido (%)
LP	: Límite plástico (%)
IP	: Índice de plasticidad (%)
D60	: Diámetro efectivo del 60% de material (mm)
D30	: Diámetro efectivo del 60% de material (mm)
$\gamma$	: Densidad (kg/cm <sup>3</sup> )
$\gamma_{dmax}$	: Densidad máxima Seca (kg/cm <sup>3</sup> )
CHO	: Contenido de humedad Optimo (%)
X	: Variable Independiente (-)
Y	: Variable dependiente (-)
r	: Coeficiente de correlación lineal (-)
r <sup>2</sup>	: Coeficiente de Determinación (-)
$\alpha$	: Nivel de Significancia (-)
p-valor	: Significancia muestral (-)

## RESUMEN

El desarrollo de la tesis se realiza con la finalidad de estudiar el comportamiento de los suelos granulares de cantera para poder proponer una metodología que permita estimar el valor de CBR de este el cual este basado en sus características físicas como son los obtenidos de los ensayos de límites de consistencia (LL, LP, IP), granulometría (Porcentajes retenido y pasantes en los tamices, D60 y D30) y ensayo de compactación ( $\gamma_{dmax}$ , CHO), el material que se estudió para la tesis ha sido el que existe en las canteras de la ciudad de Juliaca, una vez que se obtuvieron los materiales (suelos granulares para compactación) estos fueron sometidos a las diferentes pruebas de laboratorio de los ensayos ya antes mencionados donde los valores obtenidos fueron correlacionados con respecto al CBR, de esa manera de observaron diferentes correlaciones como fueron: LL vs CBR, LP VS CBR, IP VS CBR,  $\gamma_{dmax}$  VS CBR, CHO VS CBR, %RET4 VS CBR, %PAS200, D60 VS CBR, D30 VS CBR), donde se observó que en algunas correlaciones los resultados de  $r$  y  $r^2$  eran bueno y en otros casos no existía correlación importante, como el objetivo de la tesis es obtener el CBR a partir de sus propiedades físicas se ha creado un modelo el cual tenía como predictores las variables que en el momento que se correlacionaron individualmente con el CBR tenían una significación más aceptable de ahí se trabajó el modelo utilizando las siguientes variables o predictores que fueron: LL,  $\gamma_{Dmax}$ , %RET4 y %PAS200, y con este modelo lineal se pudo obtener un valor de  $r^2 = 0.999$  queriendo indicar una fuerte relación entre el modelo y el resultado de CBR, para poder estar totalmente seguros de los resultados se realizó un prueba  $t$  para nuestras relacionadas el cual mostro una significancia de 0.974 para la diferencia entre los resultados, a lo cual se concluyó que el modelo propuesto puede estimar el valor de CBR de los suelos granulares de las canteras de Juliaca.

**Palabras Clave:** características físicas, CBR, suelos granulares, cantera, correlación, confiabilidad.

## **ABSTRACT**

The development of the thesis is carried out in order to study the behavior of quarry granular soils in order to propose a methodology that allows estimating the CBR value of this which is based on its physical characteristics such as those obtained from the tests of Consistency limits (LL, LP, IP), granulometry (Percentages retained and passages in the sieves, D60 and D30) and compaction test ( $\gamma_{dmax}$ , CHO), the material that was studied for the thesis has been the one that exists in the quarries of the city of Juliaca, once the materials were obtained (granular soils for compaction) they were subjected to the different laboratory tests of the aforementioned tests where the values obtained were correlated with respect to the CBR, in this way observed different correlations such as: LL vs. CBR, LP VS CBR, IP VS CBR,  $\gamma_{dmax}$  VS CBR, CHO VS CBR, % RET4 VS CBR, % PAS200, D60 VS CBR, D30 VS CBR), where it was observed that in some correlations the results of  $r$  and  $r^2$  were good and in other cases there was no important correlation, as the objective of the thesis is to obtain the CBR from its physical properties a model has been created which had as predictors the variables that in The moment that they were individually correlated with the CBR had a more acceptable meaning, the model was worked using the following variables or predictors that were: LL,  $\gamma_{DMAX}$  and% PAS200, and with this linear model it was possible to obtain a value of  $r^2 = 0.999$  wanting to indicate a strong relationship between the model and the result of CBR, in order to be totally sure of the results, a t test was carried out for our related companies, which showed a significance of 0.974 for the difference between the results, to which it was concluded that the proposed model can estimate the CBR value of the granular soils of Juliaca quarries.

**Key words:** physical characteristics, CBR, granular soils, quarry, correlation, reliability.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1. Identificación del Problema**

El CBR es un valor cuya dimensión está representada en % y eso se debe a que dicho valor es una relación en la carga unitaria correspondiente a una penetración de 0.1" o 0.2" y la carga unitaria patrón (valor que representa a la piedra triturada). Este valor es significativo para saber la resistencia de un suelo que será utilizado como sub rasante, sub-base, base o en un afirmado.

El ensayo de CBR en el país es uno de los más usados para poder determinar la resistencia del soporte que pueda tener un suelo que será utilizado como parte de una estructura vial, es importante mencionar que al ser uno de los ensayos más utilizados para estos fines se necesita que se los resultados sean más rápidos y seguros.

Cada día que pasa la necesidad de obtener resultados en un TIEMPO corto y con Costos reducidos que a su vez sean válidos es mayor en el campo de la ingeniería, muchos de los ensayos que se REQUIEREN para los estudios geotécnicos demandan de TIEMPOS que muchas veces retrasan la entrega de resultados para el comienzo de obras, Uno de estos ensayos es el ensayo de CBR.

Para poder determinar el CBR mediante el ensayo normado (ASTM-D 1883) generalmente las muestras tienen que ser sumergidas en agua por un lapso de 96 horas el cual somete las condiciones de trabajo menos favorables, este TIEMPO es una de las desventajas que tiene dicha prueba, si un laboratorio no cuenta con suficientes moldes para las probetas o no cuenta con tiempo para su realización la entrega de resultados pueden tardar varios días, lo cual genera pérdidas en muchos aspectos.

Cabe mencionar que para poder realizar los ensayos las muestras deben de estar secadas generando aún mayor TIEMPO (por la cantidad de material) antes de ser ensayado, también es bueno mencionar que la prueba de CBR tiene un costo mayor con respecto a ensayos más simples (ensayos de caracterización y compactación).

La investigación pretende obtener resultados de CBR en un lapso de tiempo menor que a su vez sean datos confiables utilizando una metodología que relacionen las propiedades físicas (ensayos de caracterización y compactación) como son: contenido de

humedad óptima(CHO), densidad máxima (d<sub>max</sub>), diámetros efectivos (D<sub>30</sub>, D<sub>60</sub>), parámetros granulométricos, límites de consistencia (LL, LP, IP). Y correlacionarlos con los resultados de CBR según norma.

### **1.1.1. Pregunta General**

¿Es posible determinar el valor del CBR en suelos granulares procedentes de las canteras ubicadas en la ciudad de Juliaca a partir de los valores obtenidos de ensayos de caracterización y compactación?

### **1.1.2. Preguntas Específicas**

¿Se podrá obtener una ecuación matemática que utilice los valores de ensayos de caracterización y compactación que permita obtener el CBR en suelos granulares de las canteras de la ciudad de Juliaca?

¿Cuál sería la confiabilidad de los resultados que se obtienen mediante la metodología planteada?

## **1.2. Justificación e Importancia**

Para reforzar la importancia de las características del terreno existen autores como: Rico y Del Castillo (2005) que mencionan que los factores que influyen a la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos denominados granulares pueden ser considerados dentro de dos clases. La primera la cual es aquella que junta a los que interfieren en la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo dado, de estos los más importantes son la compacidad (comúnmente alusiva a la relación de vacíos inicial o a la compacidad inicial relativa) y el esfuerzo de confinamiento (ya sea en la naturaleza o en la cámara de ensayo triaxial), dentro de los cuales la velocidad de aplicación de la carga el cual juega también un papel. Como segunda clase de factores concentra a aquéllos los cuales hacen que la resistencia de un suelo granular varíe con respecto de otro suelo granular que tenga el mismo esfuerzo de confinamiento y la misma compacidad.

Dentro de estos factores resaltan el tamaño, la forma, la distribución de granulometría de las partículas, y su grado de sanidad y la dureza, definiendo estas últimas condiciones el fenómeno de ruptura de granos, el cual afecta la resistencia de manera fundamental.

Crespo (2008) menciona que la plasticidad es la característica de los suelos con respecto a su deformación la cual poseen algunos suelos donde se deforman hasta un punto sin llegar a romperse, por ella se mide el comportamiento del suelo en todo momento generalmente las arcillas presentan esta característica de forma variable.

Es por ello la importancia del estudio de los límites de consistencia del suelo que directamente van más relacionados a las arcillas y que en el caso de carreteras el cambio de volúmenes es un dato que se tiene que tener en cuenta.

La propiedad mecánica de los suelos tiene una relación muy grande con respecto a sus propiedades físicas es por ello que un buen análisis y estudio de dichas propiedades son influyentes en la determinación de las características mecánicas que tiene un determinado suelo.

El estudio de la mecánica de los suelos tiene una gran importancia en el desarrollo de la Ingeniería Civil, esto conlleva a que la calidad en los estudios y los resultados obtenidos de tales se obtengan de la manera más óptima con el fin de lograr un buen desarrollo en el transcurso constructivo de una obra.

En la actualidad la determinación del CBR es un valor obtenido mediante el ensayo según la norma ASTM-D 1883 la cual se hace mención al procedimiento normalizado dentro del cual indica el tiempo que demora en realizar un ensayo sobre todo en la preparación de las probetas antes de ser ensayadas en la presa de CBR, este tiempo consta de un aproximado de 96 horas donde las muestras están sumergidas en agua con la finalidad de que el suelo tenga las características más desfavorables, como se conoce cuando un suelo contiene mayor cantidad de agua la resistencia al corte del suelo disminuye, también se sumergen las muestras con la finalidad de conocer la expansión que puede alcanzar el suelo en dichas condiciones dato importante en la selección del material de relleno donde según norma existen porcentajes máximos que deben de cumplir los suelos según sea el uso que se le dé como relleno.

Al ser este el único procedimiento directo para la obtención de esos valores surge la necesidad de buscar una alternativa que sea veraz y ahorre el tiempo al momento de obtener sus resultados.

Existen también alterativas de obtención del CBR mediante correlaciones con otras propiedades físicas del material, los cuales trabajan de una manera independiente con sus variables mas no de una forma integrada, la cual generaría resultados más cercanos a los de un ensayo directo, y que mejor que trabajar o proponer una metodología que este en función de sus propiedades físicas del suelo (dmax, CH0, LL,LP,IP, D60,D30, % de tamices)

### **1.3. Objetivos de la Investigación**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar el valor del CBR en suelos granulares procedentes de las canteras ubicadas en la ciudad de Juliaca a partir de los valores obtenidos de ensayos de caracterización y compactación.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

Obtener una ecuación matemática que utilice los valores de ensayos de caracterización y compactación que permita obtener el CBR en suelos granulares de las canteras de la ciudad de Juliaca.

Establecer la confiabilidad de los resultados que se obtienen mediante la metodología planteada.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de Investigación

(Kumar, 2014) Departamento Politécnico de Ingeniería Civil en la India realizó el artículo científico denominado A Study of Correlation Between California Bearing Ratio (CBR) Value With Other Properties of Soil. Resaltando a las conclusiones más importantes a la que llegó que: el valor de CBR en suelos finos tiene una relación significante con respecto a su Densidad Máxima Seca y el contenido óptimo de humedad, también se concluyó que en estos suelos mientras el índice de plasticidad es mayor el valor del CBR desciende, los resultados obtenidos tanto por la ecuación o regresión lineal y con el valor determinado en laboratorio tiene una leve variación con respecto a sus resultados, por último que los suelos ensayados fueron suelos finos ML y que se debe de estudiar estas mismas características en otro tipo de suelos..

(Datta, 2003) en Kochi publicó un artículo denominado Correlation Between CBR and Index Properties Of Soil, esta investigación se centra en tener comparaciones de diferentes correlaciones para el CBR a partir de diferentes propiedades que tenga llegando a las principales conclusiones: que una de las ecuaciones planteadas por Vinod y Cletus predice valores más cercanos cuando son suelos de clasificación CL otra conclusión que llegó es que la ecuación propuesta por However Brinda resultados más bajos o más alejados del real en suelos de clasificación CL.

(Salazar, 2016) en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador realizó la tesis denominada “Correlación entre el ensayo de CBR y el ensayo del proctor para determinar la resistencia del suelo de la parroquia Ambatillo alto en el sector de San Pedro”, donde la autora planteó como objetivos más resaltantes los siguientes: El objetivo de la investigación es crear una relación que esté basada entre el comportamiento de suelos mediante los ensayos CBR los cuales determinan la resistencia al esfuerzo de corte de un suelo y el ensayo de PROCTOR el cual calcula la relación del contenido óptimo de humedad y el peso seco unitario de un suelo compactado y Analizar las propiedades denominadas índice – mecánicas de los suelos a través de una investigación tanto de campo y laboratorio. Donde la conclusión más importante fue que; Llega a la conclusión que tanto como el

ensayo de proctor modificado y estándar generan resultados diferentes para la obtención de sus propiedades y que estos valores se pueden relacionar con la prueba de cbr.

(Araujo, 2014) egresado de la Universidad de Piura, Perú, concluyo la tesis denominada “Ecuaciones de correlación del CBR con propiedades Índice de suelos para la ciudad de Piura”, la investigación se enfocó en determinar el valor de CBR a partir de valores obtenidos de las características físicas de los suelos estudiados donde llego a las siguientes conclusiones; La relación que existe entre los resultados del CBR y sus parámetros físicos de los suelos o siempre tiene una tendencia lineal. En algunos casos la relación puede ser exponencial y potencial según sea el parámetro estudiado. (%F, LL, LP, IP), según los estudiado los parámetros que tiene una mayor influencia en la determinación del CBR son el %G, OMC, %Fino, MDD, LL que tiene como resultados unos coeficientes de correlación de R 0.84, 0.81, 0.76, 0.74, 0.60 respectivamente, a diferencia de otros parámetros que son menos influyentes como son el IP, LP, %S con un R de 0.53, 0.45 y 0.12 respectivamente, El CBR no solo depende de un solo parámetro sino de la combinación de varios de ellos, considerando en determinados niveles de valores. Lo que propone dos condiciones; y es que una correlación múltiple tendrá un mejor comportamiento para obtener el valor de CBR que una correlación simple a su vez estas deben ser analizadas por tipo de material (suelo), En la presente investigación el modelo propuesto 7 del ARLM que supone todos los parámetros del suelo (%G, OMC, %F, MDD, LL, IP, LP, %S) con el que se obtiene un factor de correlación de ( $R=0.881$ ).

(Huerta, 2006) de la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, con la tesis “Formulación matemática para la estimación del CBR basada en las propiedades físicas de los suelos”, planteo los siguientes objetivos; El objetivo de la investigación es de estimar la capacidad de soporte de un material de sub rasante (cbr), que está basado en las características físicas de suelos (granulometría, límites de atterberg, densidad máxima seca y el contenido óptimo de humedad); las cuales pretenden ser obtenidas mediante correlaciones matemáticas y estadísticas que están establecidas en resultados de pruebas de laboratorio en proyectos viales la zona de estudio se encuentra ubicada en el Departamento de San Martin, Las fórmulas que se obtendrán de las correlaciones se aplican y compraran el diseño de pavimentos flexibles a nivel de afirmado. Y a las conclusiones que alcanzo fueron; Los costos para determinar la capacidad de soporte de los suelos que se obtuvieron por las fórmulas de correlación tienden a reducir en un 31 a 79 por ciento, según sea la ecuación que se puede usar, este reducción es en relación al costo de un ensayo de CBR en laboratorio, No existen diferencias considerables al utilizar para el diseño de CBR de laboratorio o de lo propuesto, Existen maneras de correlacionar

las variables que dan resultados más cercanos al real como también otros que se alejan del propósito.

## **2.2. Marco Conceptual**

### **2.2.1. El Suelo y su Origen**

(Rico & Del Castillo, 2005) tiene una definición del suelo como: el grupo o conjunto de partículas minerales que se producen a partir de su desintegración mecánica o su descomposición química en ambos casos de sus rocas existentes previamente.

(Crespo, 2008) menciona que el suelo es una delgada capa encima de la corteza de la tierra el cual está formado de un material formado a partir de la disagregación y/o alteración física o química de las rocas que también está formado por los residuos de las diferentes actividades de los seres vivos que se encuentran sobre ella.

(Crespo, 2008). Indica también que los suelos provenientes de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas presentan propiedades diferentes si la alteración sea física o química. Y así, sucede que cuando una roca se altera físicamente el suelo a partir mantiene la misma composición a diferencia de que cuando la alteración es química la conformación mineralógica es variante a la roca madre.

Los principales agentes físicos los cuales causan cambios en las rocas son: el sol, el agua, el viento y los glaciares.

Producto del intemperismo y sus agentes en algunos casos pueden quedar en el lugar directamente sobre la roca de donde se deriva, lo que da origen a suelos a los que se les denomina como *residuales*. En algunos casos también son removidos del lugar de donde han sido formados y aglomerados en otras zonas generando suelos en sobre estratos de otros sin que tenga relación alguna a estos se les denomina *transportados*. (Juarez & Rico , 2011).

### **2.2.2. Tipos de Suelos**

#### **2.2.2.1. Gravas**

Son los grupos de fragmentos de la roca los cuales cuentan con un tamaño mayor a los dos milímetros de diámetro. Generalmente son movidos por las aguas que a su vez

desgastan las aristas en ellas presente lo que produce que sean redondeadas. En algunos casos se puede encontrar como material suelto suele encontrársele en los lechos y partes de los ríos o también en lugares donde por el cauce de los ríos son transportados. Este tipo de material (gravas) ocupan gran extensión de terrenos, en donde generalmente se localizan con mayor o menor cantidad de cantos rodados, arenas, limos y arcillas, el tamaño de sus partículas está dentro de 7.62 cm (3") hasta 2.0 mm. Y su forma dependerá mucho de su historia de formación donde se puede encontrar gravas de partículas redondeadas a poliédricos. (Crespo, 2008).

#### **2.2.2.2. Arenas**

(Aguilar, 2012) La arena nombre con el que se define a aquellos materiales con granos o partículas que proceden de la denudación d rocas o trituración artificial y que presentan variación de sus partículas de 2 mm y 0.05 mm de diámetro. El origen y existencia de estos materiales tiene cierta similitud a los de la grava que se pueden encontrar en el mismo deposito.

La arena de río por lo general contiene gran cantidad de grava y arcilla, también que cuando estas están limpias no se contraen al momento de secarse, tampoco son plásticas y que a diferencia de una arcilla con menos compresibles que al ser aplicadas una carga se comprimen de manera muy rápida. (Crespo, 2008).

#### **2.2.2.3. Limos**

(Aguilar, 2012) Los limos son suelos de partículas finas o granos finos que tienen poca o nula plasticidad, los cuales pueden ser inorgánicos e orgánicos dependiendo de su origen este último presenta características plásticas y el tamaño de las partículas varían entre los 0.05 mm y 0.005 mm.

Los limos que se encuentran en un estado suelto y saturado no son adecuados para resistir cargas mediante zapatas, el color que presentan es variante entre gris claro a muy oscuro. La permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y la compresibilidad de estos suele ser muy alta. Aquellos limos que no están en un estado denso son considerados pobres para cimentar. (Crespo, 2008).

#### **2.2.2.4. Arcillas**

Se conoce como arcilla a las partículas sólidas que tienen un diámetro menor de 0.005 mm y que tienen la característica de volverse plásticas al contacto con el agua. Químicamente es un 29 silicato de alúmina hidratada que en algunas ocasiones también está formado por silicatos de hierro o de magnesio hidratados. La estructura de estos minerales es, generalmente, cristalina y complicada y sus átomos están dispuestos en forma laminar donde: uno de ellos del tipo silíceo y otro de tipo alumínico. (Crespo, 2008).

Tabla 1.

*Límites de separación de tamaño de suelo*

Nombre de la Organización	Tamaño de Grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	> 2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	> 2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASTHO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir, limos y arcillas < 0.075)	

Nota: adaptado "Mecánica de suelos en la ingeniería práctica", por terzaghi K y Peck 1973, p28. Copyright 1973 por EL ATENEO.

### 2.2.3. Plasticidad De Los Suelos

Los límites de consistencia o Atterberg están fundamentados de que los materiales finos (suelos finos) que existen en la naturaleza pueden estar en diferentes estados en función al contenido de agua que tengan que varía de estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido. Un caso conocido como lo es de la arcilla que al incrementarle agua este puede pasar gradualmente desde un estado sólido al estado plástico y hasta llegar a un estado líquido.

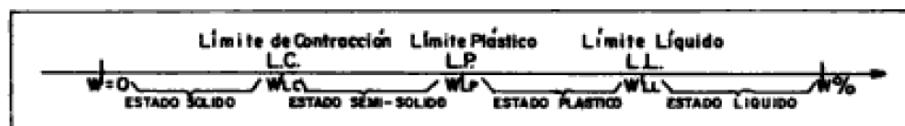


Figura 1. Límites de consistencia adaptado de "Mecanica de suelos y cimentaciones", por Crespo 2004, copyright por LIMUSA

**LÍMITE LÍQUIDO:** El límite líquido se define como el contenido de humedad expresada en porcentaje con respecto al peso del suelo, con el que este cambia de un estado líquido a plástico. De acuerdo a esto los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia al corte muy pequeño pero definida, y según Atterberg es de 25g/cm<sup>2</sup>. Y no existe cohesión en el límite líquido. (Crespo, 2008).

**LIMITE PLASTICO:** El Límite Plástico (LP) viene a ser el contenido de humedad en porcentaje con respecto al suelo, en donde el suelo esta de pasar de un estado semisólido a un estado plástico. (Crespo, 2008).

**INDICE DE PLASTICIDAD:** El Índice de Plasticidad o Índice plástico (IP) a la diferencia entre el límite líquido y plástico. Tanto el límite líquido como el límite plástico dependen de la cantidad, tipo de arcilla presente en el suelo, sin embargo, el índice de plasticidad está sujeto a la de arcilla dentro suelo. El cual brinda resultados que estarán sujetos al uso que se le dé al material. (Crespo, 2008).

**LIMITE DE CONTRACCION:** El límite de contracción (LC) es el porcentaje de humedad en relación al peso seco de la muestra, donde si existe una variación de agua no genera cambio en el volumen del suelo. Y la diferencia entre el límite plástico y el límite de contracción se denomina índice de contracción (IC) el cual indica el rango de humedad para el cual el suelo tenga una consistencia sema-solida. (Crespo, 2008).

#### **2.2.4. Granulometría En Suelos Granulares**

A comienzos de la investigación de las propiedades de los suelos se pensó que las propiedades mecánicas de estos estaban basados directamente en la distribución granulométrica o distribución por tamaños de partículas a partir de eso el interés de los profesionales por estudiar la distribución y al día de hoy todo aquel que se interesa por los suelos pasa por un momento donde se siente con experiencia suficiente puede brindar el comportamiento mecánico de los suelos a partir de la granulometría." (Juarez & Rico , 2011).

Con respecto a los suelos grueso donde se puede determinar los tamaños o la distribución por mallas se puede conocer de cierta manera sus propiedades físicas, donde la experiencia guía a saber que los suelos bien gradados tiene un mejor comportamiento

para trabajos de ingeniería a diferencia de suelos con granulometría uniforme.(Juarez & Rico , 2011).

Representación de tamaños de partículas de materiales:



*Figura 2.* Suelos bien graduados adaptado de “Mecánica de suelos”, por Crespo 2008, copyright por LIMUSA



*Figura 3.* Suelos mal graduados adaptado de “Mecánica de suelos”, por Crespo 2008, copyright por LIMUSA

Suelo con graduación discontinua.

No presenta una gradación continua



*Figura 4.* Suelos discontinuos adaptado de “Mecánica de suelos”, por Crespo 2008, copyright por LIMUSA

Más aún en suelos gruesos el comportamiento mecánico y hidráulico están definidos principalmente por la compacidad de granos y la orientación de estos, propiedades quedan desechadas por el análisis granulométrico desde la manera de realizar su prueba, por lo tanto, que se ha tenido de desconsiderar esas propiedades importantes y decisivas, a la actualidad es casi imposible poder obtener un método que respete estas características y lo más probable es que no se pueda realizar jamás. (Juarez & Rico , 2011)

## 2.2.5. Compactación

La compactación no es más que la densificación de un suelo eliminando el aire el cual requiere de una energía mecánica, para conocer el grado de compactación este se

puede saber en relación a su peso específico, al momento de insertar agua al suelo este se comporta de manera que permite ablandar ciertas partículas de suelo y hace que se puedan deslizar logrando así una remoción de vacíos y por ende se convierta en un material más. El peso específico seco luego de la compactación se aumenta al iniciar conforme aumenta el contenido de agua." (Das, 2015).

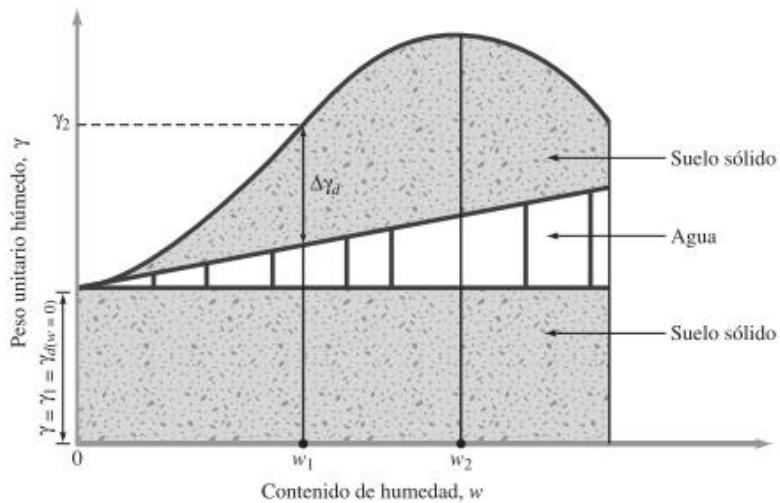


Figura 5. Curva de Compactación de “Fundamentos de Ingeniería Geotecnia”, por Das 2015, copyright por GENGAGE Learning.

## 2.2.6. Sistema AASHTO M-145

El Departamento de Caminos Públicos de USA (Bureau of Public Roads) en los años de 1929 ingreso uno de los primeros sistemas de clasificación para los suelos, los cuales tenían la finalidad de evaluar los suelos donde se construirían carreteras. En el año 1945 fue modificado de donde se le conoce como Sistema AASHO y ya ahora ultimo como AASHTO. El sistema mencionado divide la clasificación en siete grupos los cuales para su clasificación dependerán de los resultados de laboratorio de los ensayos de granulometría y límites de consistencia, dentro de este sistema se calcula el índice de grupo para la evaluación de cada uno de ellos y el cual se obtiene mediante la fórmula empírica:

$$IG = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10)$$
 En que: F = Porcentaje que pasa por el tamiz ASTM N°200 (0.08 mm), expresado en números enteros. LL = Límite Líquido, IP = Índice de Plasticidad. Se obtiene en números enteros y si este es negativo se anota igual a 0. Tanto el grupo de clasificación como el índice de grupo se utilizan para conocer de manera relativa el uso que se le puede dar a estos materiales ya que describen de cierta manera su calidad y la clasificación se realiza por descarte. (Bañon & Bevia, 2010)

El valor de índice de grupo va en paréntesis después de la simbología del grupo, como: A-2-6 (3); A-7-5 (17), etc. Este método define: - Grava: Material que pasa por la malla de 75 mm (3II) y es retenido en la malla de 2mm (N°10). - Arena gruesa: Material comprendido entre la malla de 2 mm (N°10) y la malla de 0.50 mm (N°40). - Arena fina: Material comprendido entre la malla de 0,50mm (N°40) y la malla de 0,08 mm (N°200). - Limo arcilla: Material que pasa por la malla de 0,08 mm (N°200). (Bañon & Bevia, 2010).

(Bañon & Bevia, 2010) El término material granular se usa para aquellos materiales que tienen una conformación con 35% o menos que pasa la malla de 0,08 mm (N°200); limoso a los suelos finos que presentan un índice de plasticidad de 10 o menor; y el termino de arcilloso usado en los materiales que tienen un índice de plasticidad mayor al 11. Y los que contienen del 35% pasante la malla de 0,08 mm (N°200) se denominan limo arcilloso.

(Bañon & Bevia, 2010) para cuando se calcula el índice de grupo para los subgrupos A-2-6 y A-2-7, se debe de usar solamente el termino de índice de plasticidad el cual está en la formula, cuando el límite líquido no se puede calcular ósea presenta un NP el índice de grupo se considera 0.

(Bañon & Bevia, 2010) cuando el suelo es orgánico muy orgánico lo que se conoce como turba se le puede hacer una clasificación de A-8 solo con una revisión visual y este material generalmente es de color oscuro y olor desagradable.

DIVISIÓN GENERAL		Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)		
GRUPO	A-1	A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo	A-1-a	A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7			A-7-5	A-7-6
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b> (% que pasa por cada tamiz)										
#10	≤ 50									
#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51							
#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36
<b>ESTADO DE CONSISTENCIA</b> (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)										
Límite líquido			≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
Índice de plasticidad	≤ 6		≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	0	≤ 4	≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena	Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas			Suelos limosos	Suelos arcillosos			
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA					ACEPTABLE A MALA				

Figura 6. Tabla clasificación de suelo AASHTO adaptado de “Manual de carreteras: construcción y mantenimiento”, por Bañón L. y Brevia J., 2010.

## 2.2.7. Ensayo De Granulometría (ASTM D 422).

En cualquier masa de suelo, los tamaños de los granos varían en forma considerable. Para clasificar de manera apropiada un suelo se debe conocer su *distribución*

*granulométrica*. La distribución granulométrica de suelos de *grano grueso* generalmente se determina mediante *análisis granulométrico por mallas*.

#### 2.2.7.1. Procedimiento del ensayo.

(Das, 2015) Un análisis granulométrico por mallas se efectúa tomando una cantidad medida de suelo seco, bien pulverizado y pasándolo a través de una columna de mallas de abertura cada vez más pequeña y con una charola en el fondo. Se mide la cantidad de suelo retenido en cada malla y se calcula el porcentaje acumulado de suelo que pasa en cada malla. Esta cifra se designa generalmente como el *porcentaje de partículas menores al tamaño asociado a la malla*. La tabla 2, contiene una lista de los números de malla usados en Estados Unidos y el correspondiente tamaño de sus aberturas.

Tabla 2.  
*Abertura de tamices*

Malla N°	Abertura (mm)
4	4.750
6	3.350
8	2.360
10	2.000
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

*Nota:* adaptado ““Fundamentos de Ingeniería Geotecnia”, por Das 2015, copyright por GENGAGE Learning.

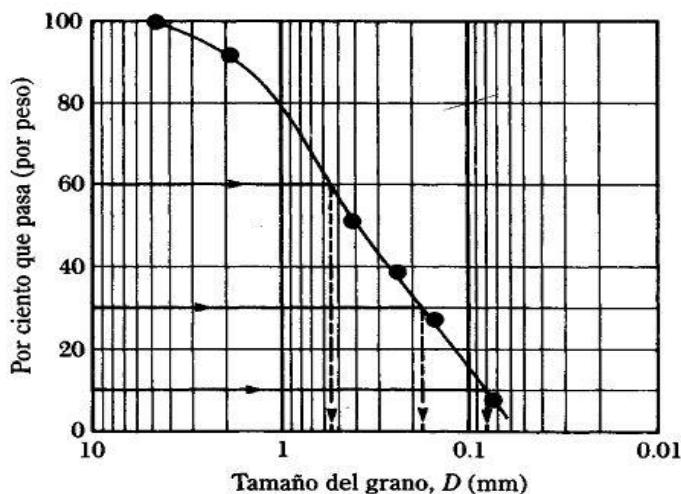


Figura 7. Curva de distribución adaptado de “Fundamentos de Ingeniería Geotecnica”, por Das 2015, copyright por GENGAGE Learning.

El porcentaje que pasa por cada malla, determinado por un análisis granulométrico por mallas, se grafica sobre *papel semilogarítmico*, como nuestra figura 8. Observe que el diámetro del grano D se grafica sobre la *escala logarítmica* y el porcentaje de material que pasa cada malla se grafica sobre la *escala aritmética*.

Entonces, una curva granulométrica nos indica en general el tamaño de los granos y la buena o mala graduación de estos.

#### 2.2.7.2. Interpretación de resultados

Ya con la curva de distribución granulométrica pueden obtenerse dos importantes indicadores que caracterizan a un suelo, los cuales son el Coeficiente de Uniformidad ( $C_u$ ) y el Coeficiente de Curvatura ( $C_c$ ).

##### Coeficiente de Uniformidad ( $C_u$ )

Originalmente Definido por Terzaghi y Peck, el cual se utiliza para evaluar la uniformidad del tamaño de las partículas del suelo. Es la relación entre  $D_{60}$  y  $D_{10}$ , siendo:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

$D_{10}$  = El diámetro o tamaño por debajo del cual queda el 10% del suelo, en peso.

$D_{60}$  = El diámetro o tamaño por debajo del cual queda el 60% del suelo, en peso.

El coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) muestra la extensión de la curva de distribución granulométrica, lo que quiere decir que, a mayor extensión de esta curva, se tendrá una mayor variedad de tamaños, característico de un suelo bien graduado. Usualmente esto se cumple en arenas para un  $C_u > 6$ , y en gravas con un  $C_u > 4$ .

Si  $C_u$  es menor que 5, el suelo tiene una granulometría uniforme. Si  $5 < C_u < 20$ , el suelo es poco uniforme; y si  $C_u > 20$ , se considera bien graduado. Cuanto más uniforme es el suelo, más uniforme es el tamaño de sus vacíos lo que conlleva a que la compactación sea más difícil esto sucede al no existir una cierta variación de tamaños que rellenen adecuadamente los huecos.

### **Coeficiente de Curvatura ( $C_c$ )**

Se define como:

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

Siendo,

$D_{10}$  = El diámetro por debajo del cual queda el 10% del suelo, en peso.

$D_{30}$  = El diámetro por debajo del cual queda el 30% del suelo, en peso.

$D_{60}$  = El diámetro por debajo del cual queda el 60% del suelo, en peso.

El coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) nos indica una curva granulométrica constante, sin "escalones"; esto se cumple tanto en arenas como gravas para cuando  $1 < C_c < 3$ .

Por lo tanto, ambos coeficientes sirven para indicarnos de una manera práctica y sencilla en el laboratorio cuando un suelo se encuentra bien graduado o mal graduado.

Un material bien graduado otorga las siguientes propiedades al suelo:

- ✓ Mejor estabilidad.
- ✓ Menor número de huecos.
- ✓ Baja permeabilidad.
- ✓ Baja compresibilidad.
- ✓ Mayor resistencia.

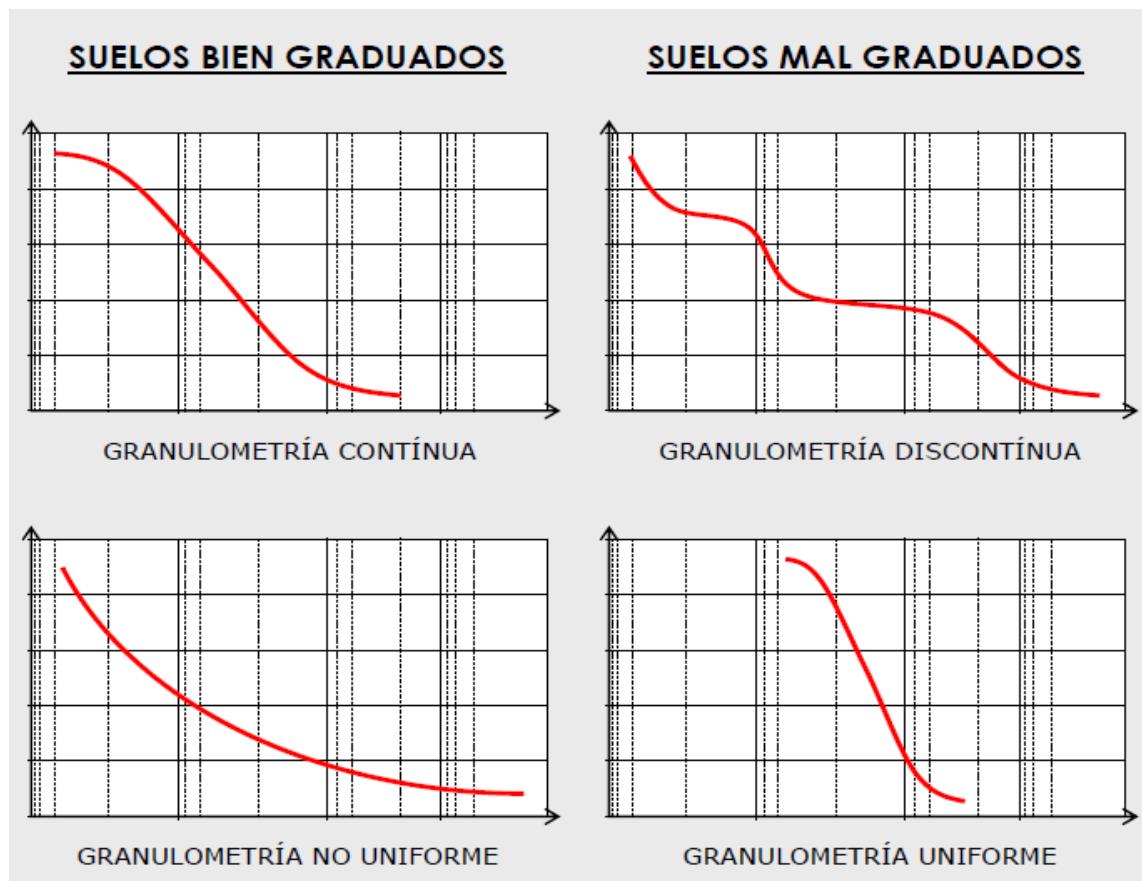


Figura 8. Interpretacion de curva granulometrica adaptado de “Manual de carreteras: construcción y mantenimiento”, por Bañon L. y Brevia J., 2010,

### 2.2.8. Ensayo Limites De Consistencia (ASTM D 4318).

Las características mecánicas de un suelo formado por partículas finas como son arcillas, están sujetas a la humedad que este dentro de ellas. El agua forma una película alrededor de los granos y el grosor de este es determinante en el comportamiento mecánico del suelo.

#### 2.2.8.1. Procedimiento Recomendado

Los límites de Atterberg o de consistencia son expresados en contenidos de humedad, Primero se determinará el límite líquido y seguidamente el límite plástico.

##### a) Determinación del límite líquido.

- Secar el suelo y tamizar por la malla N°40.

- La cantidad de que selecciona del material que pasa el tamiz N40 debe de ser aproximadamente unos 200gr, para colocarla en un envase de porcelana y juntamente con la espátula saturarla y dejar el proceso de saturación un tiempo de 24hr.
- La cuchara de Casagrande debe de estar calibrada, quiere decir que la altura de caída de esta sea de 10mm.
- Cuando se tiene listo el material se utiliza una cantidad y con la espátula más la cuchara de Casagrande se moldea de manera que presente un espeso también de 10mm en la base.
- El suelo es colocado en la cuchara de Casagrande y con la ayuda del ranurador se parte al a mitad.
- El ensayo consiste en someterlo a corte y se logra dando vueltas la manija de la cuchara de Casagrande a una razón de 2 golpes por segundo. Contando el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.
- Determinar el contenido de humedad del suelo ubicado en la zona de falla.
- Se deben realizar cuatro pruebas como mínimo procurando que la cantidad de golpes requeridos para cerrar la ranura se encuentre en los siguientes intervalos; 15-20, 20-25, 25-30, 30-35. Con estos datos se construye la curva de fluidez en un papel semi-logarítmico.

*b) Determinación del límite plástico.*

- Se usa una cantidad de suelo saturado el cual se amasa rodando la porción del suelo sobre el vidrio esmerilado formando un cilindro de 3mm de diámetro.
- Se repite el ensayo volviendo a amasar varias veces con el fin de reducir la humedad del suelo, Hasta que el cilindro empiece a endurecer, hasta alcanzar un diámetro de 3mm y se detiene cuando presenta grietas.
- Se procede a determinar el porcentaje de humedad de los cilindros obtenidos.
- Se obtienen los contenidos de humedad que no tiene que tener una variación de 1% entre ellos si es así se promedia los resultados y ese es el resultado del índice plástico.

#### **2.2.8.2. Metodología De Cálculo**

Límite Líquido. - los valores obtenidos de los diferentes contenidos de humedad se grafican en una hoja semi-logarítmico (#Golpes VS Contenido de Humedad). De donde el límite líquido será el contenido de humedad en la curva de fluidez que corresponda a 25 golpes.

Límite Plástico. - El resultado estará sujeto al promedio de los contenidos de humedad de los ensayos, para el cálculo de contenido de humedad se utiliza la ecuación (3).

$$w\% = \frac{Peso\ del\ Agua}{Peso\ de\ Suelo\ Seco} * 100 \quad (3)$$

#### 2.2.8.3. Ensayo De Proctor (ASTM D 1557) (MTC E 115 2000).

Se conoce como compactación de suelos, al proceso que pasa un material en donde se busca mejorar sus características mecánicas a partir de la eliminación de vacíos lo que genera cambios en el volumen del suelo.

La compactación de un suelo está relacionada con su peso volumétrico máximo seco (Densidad Máxima), y para que esto se produzca se necesita tener una humedad adecuada (Contenido Óptimo de Humedad CHO).

El método de compactación a usarse tanto en laboratorio como en campo dependerá de los tipos de materiales con los cuales se esté trabajando, puesto que para ellos ya se tienen normas y reglamentos establecidos.

#### 2.2.8.4. Procedimiento Recomendado

En primer lugar, se debe de seleccionar el método de compactación a usar en laboratorio de acuerdo a ciertos criterios como; importancia del relleno a compactar, y el tipo de suelo con el cual se dispone para lo cual se tiene las siguientes tablas.

Tabla 3.

*Proctor Modificado*

Descripción	MÉTODO		
	A	B	C
Diámetro de Molde	4"	4"	6"
Peso del Martillo	44.5 N	44.5 N	44.5 N
Altura de Caída	45.7 cm	45.7 cm	45.7 cm
Nº de Golpes/Capa	25	25	56
Numero de Capas	5	5	5
Energía de Compactación	2,700 KN-m/m <sup>3</sup>	2,700 KN-m/m <sup>3</sup>	2,700 KN-m/m <sup>3</sup>

Material a Usar	Mat que pasa el Tamiz N° 4	Material que pasa el Tamiz 3/8"	Material que pasa el Tamiz 3/4"
Uso	Ret. Tamiz N° 4≤20%  Ret. Tamiz 3/8"≤20%	Ret. Tamiz N° 4>20%  Ret. Tamiz 3/8">20%	Ret. Tamiz 3/8">20%  Ret. Tamiz 3/4"≤30%

*Nota:* Métodos de compactación según distribución granulométrica adaptado "ASTM D 1557)

Tabla 4.

*Proctor Estandar*

Descripción	METODO		
	A	B	C
Diámetro de Molde	4"	4"	6"
Peso del Martillo	24.4 N	24.4 N	24.4 N
Altura de Caída	30.5 cm	30.5 cm	30.5 cm
N° de Golpes/Capa	25	25	56
Numero de Capas	3	3	3
Energía de Compactación	600 KN-m/m <sup>3</sup>	600 KN-m/m <sup>3</sup>	600 KN-m/m <sup>3</sup>
Material a Usar	Mat que pasa el Tamiz N° 4	Material que pasa el Tamiz 3/8"	Material que pasa el Tamiz 3/4"
Uso	Ret. Tamiz N° 4≤20%  Ret. Tamiz 3/8"≤20%	Ret. Tamiz N° 4>20%  Ret. Tamiz 3/8">20%	Ret. Tamiz 3/8">20%  Ret. Tamiz 3/4"≤30%

*Nota:* Métodos de compactación según distribución granulométrica adaptado "ASTM D 1557).

Cuando ya se seleccionó el método de compactación se prepara el material desacuerdo a la tabla mostrada donde para el método A y B se necesita 2400gr y para el método C 6000 gr.

- Del suelo ya preparado se esparce agua en una cantidad variante entre 5-6% en gravas y arenas y en el caso de arcillas o finos de 8-9%
- Se procede a la mezcla del material con el agua procurando que se mezclen en su totalidad de una manera uniforme.
- La muestra preparada se coloca en el molde pesado y medido cilíndrico en un número de capas de acuerdo al método seleccionado.
- Cuando se determina de compactar se quita el collarín y se enrasa la muestra
- Se pesa el cilindro con la muestra compactada anotándose su peso.

- Se extrae el material y de la parte central de la muestra se calcula el contenido de humedad. El procedimiento se repite 3 a 4 veces.
- Cuando se logra tener los resultados se realiza una curva (Densidad seca VS Humedad) cuya cumbre indicara la máxima densidad seca del suelo y con ella el contenido humedad óptima.

#### **2.2.8.5. Metodología De Cálculo**

El cálculo de la máxima densidad seca se realizará de la siguiente manera:

$$\gamma_h = \frac{\text{Peso de la Muestra Húmeda}}{\text{Volumen de la Muestra}} \quad (4)$$

$$w\% = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso de Suelo Seco}} * 100 \quad (5)$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + w\%} \quad (6)$$

Dónde:

$\gamma_h$  : Densidad Húmeda

$\gamma_d$  : Densidad Seca

$w\%$  : Contenido de Humedad

#### **2.2.9. Ensayo De CBR “California Bearing Ratio” (ASTM D-1883).**

El ensayo de CBR es utilizado para determinar el valor relativo de soporte de un material o su resistencia. Resultado que servirá para estimar o determinar los espesores de los rellenos para pavimentos. Concluyendo que la aplicación de este ensayo es para el DISEÑO de pavimentos.

El CBR de un material (SUELO) se determina relacionando la fuerza utilizada para la penetración de 0.25 cm (0.1 pulgada) con un vástago de  $19.35 \text{ cm}^2$  ( $3 \text{ pulg}^{-2}$ ) de área con una velocidad de penetración de 1.27 mm/minutos (0.05 pulg/min) y la fuerza ejercida en un material patrón (piedra triturada) para esa misma penetración, expresado en términos de porcentaje.

$$C.B.R (\%) = \frac{Carga\ Unitaria\ del\ Ensayo}{Carga\ Unitaria\ Patrón} * 100 \quad (7)$$

Los valores de la carga unitaria patrón los cuales se utilizan son los siguientes.

Tabla 5.

*Penetración y Carga CBR*

<b>Mm</b>	<b>Penetración</b>		<b>Carga Unitaria Patrón</b>		
	<b>Cm</b>	<b>Pulg.</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>MPa</b>	<b>PSI</b>
2.5	0.25	0.10	70.31	6.9	1,000
5.0	0.50	0.20	105.46	10.3	1,500
7.5	0.75	0.30	133.58	13.0	1,900
10.0	0.10	0.40	161.71	16.0	2,300
12.7	1.27	0.50	182.80	18.0	2,600

*Nota:* datos para el cálculo de CBR adaptado de “ASTM 1883”

Para el caso específico de nuestro país, según la EG-2000 el CBR que se usara para el diseño de pavimentos, corresponde al que se determine a una penetración de 2.5 milímetros en un material compactado a la humedad óptima y densidad máxima, saturando la muestra durante noventa y seis horas (cuatro días). Especificándose además valores mínimos de CBR para los materiales según su uso. Los cuales nos ayudaran a elegir los mejores suelos a fin de construir vías. (*Por ejemplo, para el caso de bases el CBR mínimo será del 100%.*)

#### 2.2.9.1. Metodología De Cálculo

El cálculo para la determinación del CBR de un material se realizará siguiendo la siguiente secuencia.

- Calcular la densidad de la muestran compactada.
- Para poder calcular la expansión de la muestra se utilizará la siguiente ecuación.

$$E\% = \frac{Lec.\ Final - Lec.\ Inicial}{Altura\ Inicial} * 100 \quad (8)$$

- Determinar las diferentes cargas unitarias en cada penetración, para ello se hace una relación entre la carga aplicada y el área del pistón de penetración.

- Calcule el CBR de los valores estándar de la siguiente manera;

$$CBR\ 0.1'' = \frac{Carga\ Unitaria\ del\ Ensayo\ para\ 0.1''}{Carga\ Unitaria\ Patrón\ para\ 0.1''} * 100 \quad (9)$$

$$CBR\ 0.2'' = \frac{Carga\ Unitaria\ del\ Ensayo\ para\ 0.2''}{Carga\ Unitaria\ Patrón\ para\ 0.2''} * 100 \quad (10)$$

- Al momento de tener los resultados si es que le valor de CBR a 5.08 mm es mayor que el de una penetración de 2.5 mm, el ensayo no se repite y se anota los valores.
- Se obtiene la curva de carga unitaria (*Esfuerzo*) vs deformación, en donde los ejes de las ordenadas van las cargas de penetración en kg/cm<sup>2</sup>, y en el eje de la abscisa la penetración (mm). En algunos casos la curva puede tomar inicialmente una forma cóncava hacia arriba, debido principalmente a irregularidades en la superficie de la probeta. Si ocurre irregularidades como una curva cóncava hacia arriba se debe corregir trazando una recta tangente a la mayor pendiente de la curva y se traslada el origen o punto cero hacia donde cruce la tangente con la abscisa.

## CAPÍTULO III.

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Metodología de Investigación

##### 3.1.1. Enfoque de Investigación

El enfoque de la presente investigación es: CUANTITATIVO.

(Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014) una investigación de enfoque cuantitativo se sirve de la toma o recolección de datos que sirven a su vez para probar hipótesis que están fundamentados a las mediciones numéricas y un análisis estadístico, este tiene el fin de definir patrones de comportamientos o también de probar teorías.

##### 3.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de la presente investigación es: CORRELACIONAL - EXPLICATIVO

“Este tipo de estudios (correlacionales) tiene la finalidad de poder conocer el grado de relación que hay entre dos o más variables, conceptos o categorías en una muestra, en algunas ocasiones se analiza la relación que puede haber entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables”. (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014).

(Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014) “Las investigaciones explicativas son niveles que están más constituidos esto quiere decir que tienen una mejor estructuración que estudios con los otros alcances, y que implican sus propósitos (exploración, descripción y correlación o asociación); además que brindan un mejor sentido de entendimiento del fenómeno o caso que se hace referencia.

##### 3.1.3. Diseño de Investigación

Es EXPERIMENTAL, donde se pretende obtener valores o resultados a partir de observaciones y pruebas.

(Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014) mencionan que “los diseños experimentales son utilizados cuando se pretende conocer o establecer el efecto posible que pueda haber a partir de una causa manipulada.

### **3.2. Formulación de las Hipótesis.**

#### **3.2.1. Hipótesis General**

Es posible determinar el valor del CBR en suelos granulares procedentes de las canteras ubicadas en la ciudad de Juliaca a partir de los valores obtenidos de ensayos de caracterización y compactación.

#### **3.2.2. Preguntas Específicas**

Es posible obtener una ecuación matemática que utilice los valores de ensayos de caracterización y compactación que permita obtener el CBR en suelos granulares de las canteras de la ciudad de Juliaca.

Los resultados que se obtienen mediante la metodología planteada brindan resultados confiables.

### **3.3. Identificación de Variables**

(Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014) mencionan que Los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominamos variables independientes) que se usan para ver lo que causa en otras variables (las dependientes) en un escenario donde está controlado.

A continuación, se muestran las variables identificadas en la tesis para su estudio y el desarrollo de la investigación.

#### **3.3.1. Variables Independientes**

- Límite líquido (LL), simbolizado como: X1.
- Porcentaje que pasa tamiz Nº 200 (PAS 200), simbolizado como: X2.
- Porcentaje que retiene el tamiz Nº 4 (RET 4), simbolizado como: X3
- Densidad seca máxima ( $\gamma_{dmax}$ ), simbolizado como: X4.

#### **3.3.2. Variables Dependientes**

- Valor Relativo de Soporte (CBR), simbolizado como: Y1.

### 3.3.3. Operacionalización de Variables

La presente investigación cuenta con variables independientes y dependientes, con respecto a su operacionalización y el diseño se representa con la siguiente ecuación.

$$Y = f(X) \quad (11)$$

DONDE:

X = Variable Independiente

Y = Variable Dependiente

Tabla 6.

*Cuadro de Operacionalizacion de Variables*

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>DEPENDIENTE</b>			
VALOR DE CBR	Valor obtenido a partir del ensayo CBR ensayo de relación de soporte de califorina mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad	RESISTENCIA	ENSAYO DE CBR
	del terreno para subr asante, sub base y base de pavimentos. se efectúa bajo condiciones desfavorables.		
<b>INDEPENDIENTE</b>			
ENSAYOS DE CARACTERIZACION	son los únicos (junto con lo de compactación) que pueden realizarse sobre muestras alteradas, pueden ser físicos: granulometría, plasticidad o peso específico de partículas. (Crespo)	GRANULOMETRIA PLASTICIDAD	ENSAYO DE GRANULOMETRIA ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

---

		la compactación es la densificación del suelo por remoción de aire, lo que requiere energía mecánica. El	
ENSAYO COMPACTACION	DE	grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso específico seco. (das)	COMPACTACION REMOCION
			ENSAYO DE PROCTOR

---

*Nota:* elaboración propia

### **3.4. Recolección de Datos**

Se muestra a continuación la lista de recursos adquiridos para la recolección de datos.

- Bibliografía
- Certificados de laboratorio
- Investigaciones
- Informes geotécnicos
- Información de internet
- Fotografía, videos y audio.

### **3.5. Lugar de Ejecución**

Para poder desarrollar la presente tesis, el lugar de ejecución directamente de los diferentes ensayos de mecánica de suelos como fueron: los ensayos de caracterización (granulometría, límites de consistencia), como los ensayos de compactación (proctor modificado), fueron ejecutados en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión – FJ.

### **3.6. Población y Muestra**

(Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014) mencionan que toda investigación debe de estar sujeta a crítica y replica como también de ser transparente y esto solo se logra si el investigador hace un buen proceso de selección de muestra y una buena delimitación de la misma.

#### **3.6.1. Población**

Para esta investigación la población de estudio será representada por las canteras activas de material granular ubicadas en el distrito de JULIACA que son utilizados como relleno de bases o sub bases.

### **3.6.2. Muestra**

(Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014) aclaran que la muestra viene a ser un subgrupo de una población en resumen son como el subconjunto de los elementos que están dentro de un conjunto con similitud de características que se denomina población.

Para esta investigación la muestra esta dada por los suelos granulares para relleno de las canteras activas del distrito de JUILIACA (05 canteras).

#### **3.6.2.1. Criterio de Selección de la Muestra**

(Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014) la muestra no probabilística se refiere a que la lección de la muestra no se realizara de manera probabilística, sino que más dependerá de las consideraciones que tome el investigador.

Para la presente investigación se consideró tomar suelos GRANULARES de canteras (gravas) que tiene como finalidad el uso en rellenos de base o sub base, estos suelos serán obtenidos también de las canteras activas que tiene el distrito de Juliaca, Taparachi, Rinconada y Vallecito.

Los suelos que se estudiaron son aquellos que vienen de ser explotados de canteras para rellenos en bases o sub bases, estos suelos por lo general tienen una clasificación SUCS: GW, GP, GM, GC, y una clasificación AASHTO: A-1, A-2 dentro de estas se encuentran subgrupos de clasificación A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7.

En resumen, para la presente investigación se ha obtenido suelo granular de las canteras del distrito de Juliaca (05 canteras), la muestra en estudio directamente es la población que está formada por las 05 canteras las cuales están conformadas por suelos granulares que están dentro de las clasificaciones mencionadas en el párrafo anterior.

## **3.7. Área de Estudio e Investigación.**

El área de estudio se encuentra localizado en el distrito de Juliaca, específicamente las cinco canteras más explotadas de dicha localidad las cuales se ubican en las zonas de; taparachi, rinconada y vallecito, lugares donde se realizó la exploración de las muestras, con la finalidad de trabajar con los suelos obtenidos de las canteras para que posteriormente se sometan a la realización de los ensayos para la obtención de sus propiedades físicas y mecánicas en laboratorio.

### 3.7.1. Ubicación y Características del Área de Estudio

#### 3.7.1.1. Localización

El distrito de Juliaca está ubicado en el sur del Perú, Departamento de Puno, Provincia de San Román,  $15^{\circ}29'40''$  latitud Sur y  $70^{\circ}07'54''$  de Longitud Oeste a una altitud de 3824 m.s.n.m.

A continuación, se muestra la ubicación del distrito y la ubicación de las canteras exploradas.

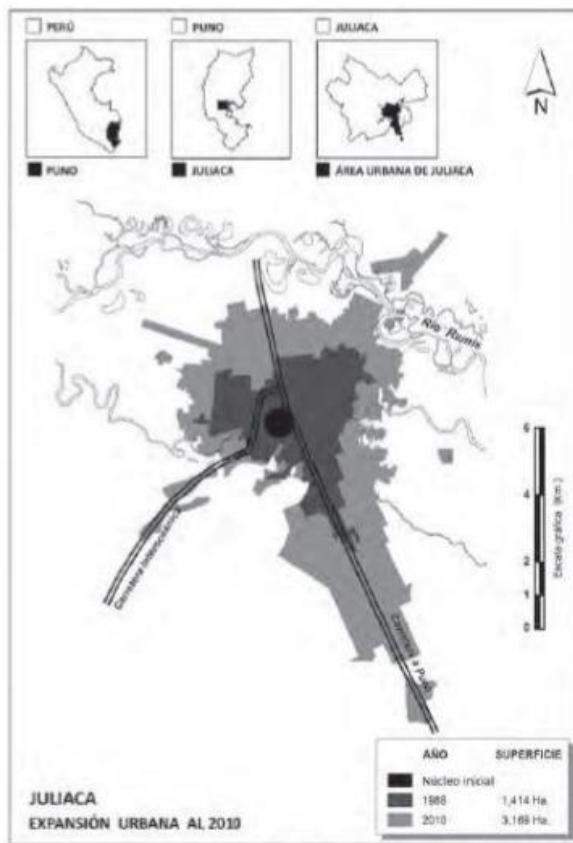


Figura 9. Ubicación del Distrito de Juliaca “Plan Director de Juliaca 2014-2015”



Figura 10. Ubicación de las canteras del distrito de Juliaca, taparachi, rinconada, vallecito (Google Maps, 2018)

A continuación, se presenta las coordenadas UTM y altitudes de las canteras en estudio.

*Tabla 7.*

*Coordenadas UTM y altitud*

UBICACION	CANTERA	COORDENADAS - UTM			ALTITUD (m.s.n.m.)
		ZONA	ESTE	NORTE	
JULIACA	VALLECITO I	19L	374248	8284141	3862
	VALLECITO II	19L	374021	8283584	3846
	RINCONADA	19L	378194	8285295	3876
	TAPARACHI I	19L	377999	8283421	3873
	TAPARACHI II	19L	377921	8284169	3883

*Nota:* UTM= Sistema de Coordenadas Universal. (Elaboración propia - Google Earth, 2018)

### 3.7.1.2. Clima

El clima en la ciudad de Juliaca está descrito como frío y seco, la temperatura oscila entre los 19°C y -7°C, teniendo una temperatura promedio anual de 8.4°C. donde los meses más cálidos son de noviembre a marzo y entre junio y agosto se presenta con mayor intensidad el frío.

El Plan Director de Juliaca 2016 – 2025 describe: La topografía plana y su elevada altitud, sobre los 3,825 m.s.n.m., hace que su clima sea frío aun durante el verano. La cercanía al Lago Titicaca y la presencia del Rio Coata, constituye una importante fuente de humedad y un elemento moderador del clima. (p. 91).

### **3.7.1.3. Geología**

El Plan Director de Juliaca 2016 – 2025 menciona: que las características geológicas se relacionan principalmente con los eventos geológicos que han ocurrido en la región donde se destaca los movimientos tectónicos ya sean en tensión o compresión lo que generan erosión y falla y que sigue la orientación de la cordillera de los Andes. (p.118).

En la cuenca de los ríos Cabanillas y Lampa salen a flote rocas que tiene una composición distinta, que han estado ahí desde el precámbrico al cuaternario ultimo y que se puede observar que lo conforman rocas sedimentarias y metamórficas que se muestran en algunos casos cubiertos por rocas volcánicas y depósitos no consolidados. (Plan Director de Juliaca 2016 – 2025, p. 118).

### **3.7.1.4. Geomorfología**

El Plan Director de Juliaca 2016 – 2025 resalta: El altiplano y las cordilleras son el resultado de un proceso evolutivo de su estructura larga e intensa donde se tiene fenómenos de levantamientos y vulcanismos que se presenta muy activos. (p.116).

Últimamente se ha determinado un movimiento laborioso de la hidrografía superficial donde se han visto variaciones en la forma y localización de zonas decaídas lo que en consecuencia los depósitos recientes poco consolidados se han visto expuestos a ataques intenso, esta misma actividad de crecimiento o levantamiento a apoyado el desarrollo de un retículo bien organizado de drenaje y denso a su vez, donde a lo largo sucede fenómenos de erosión y deposición y esto se ve a lo largo de todos los tramos. Esto es consecuencia del régimen fluvial donde en tiempo de crecida o estación húmeda se ve el transporte rápido de gran cantidad de material y en tiempo seco el agua se embalsa hasta en zonas llanas o en el interior de los valles. (Plan Director de Juliaca 2016 – 2025, p. 117).

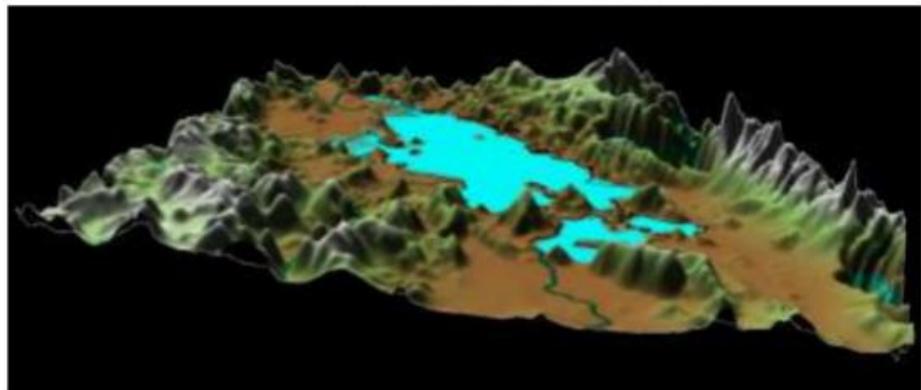


Figura 11. Características Geomorfológicas. Adaptado de “Plan Director de Juliaca 2016 – 2025” (p. 117)

### **3.8. Proceso de Recolección de Datos**

La recolección de datos, cuantitativos en este caso, dado que la presente investigación adopta un enfoque CUANTITATIVO, que tiene como principio el uso de “Instrumentos de Medición”, estos deben que deben representar de manera verídica las variables en la investigación que a su vez deben de generar confiabilidad, y objetividad. Para el momento de la recolección de datos mediante instrumentos de medición, existen varios tipos, tales como: Cuestionarios, escalas de medición, observación, pruebas estandarizadas e inventarios, datos secundarios, aparatos y equipos, indicadores, entre otros. (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014, pág. 197).

Al saber que la investigación es de diseño EXPERIMENTAL se debe obtener valores a partir de las pruebas de laboratorio en donde los instrumentos de medición son los equipos y que a partir de estos se obtendrán datos mediante la medición de cada una de las variables, al ser equipos de laboratorio los resultados son confiables puesto que están sujetos a las normativas.

Para la presente investigación que se enfoca en el estudio del CBR y las propiedades físicas de suelos granulares de cantera los instrumentos de medición son de pertenencia de la Universidad Peruana Unión a través del laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

#### **3.8.1. Ensayos de Laboratorio y Campo**

Para el desarrollo de la presente tesis se llevó a cabo una serie de ensayos los cuales se realizaron tanto en campo como en laboratorio, como son: el muestreo y

exploración (ensayo en campo), granulometría, límites de consistencia, proctor modificado, CBR (ensayos de laboratorio).

### **3.8.1.1. Exploración y Muestreo**

El comienzo del trabajo de exploración y muestreo se realizó ubicando y seleccionando las canteras existentes en el distrito de Juliaca las cuales están formadas por un material granular para rellenos de bases o sub bases suelos que presentan una cantidad de grava considerable, la exploración consiste en conocer la conformación del subsuelo (cantera), el muestreo consiste en obtener muestras representativas de dichas canteras (al ser un suelo para rellenos la muestra será alterada), las cuales en laboratorio se someterán a los diferentes ensayos para determinar sus propiedades físicas y mecánicas.

Para la presente investigación la secuencia para la exploración y el muestreo fue el siguiente:

- En primer lugar, se ubicaron los puntos de exploración (las canteras que tienen suelo conformado por gravas) en el distrito de Juliaca como se mencionó anteriormente las cuales están ubicadas en las zonas de Taparachi, Rinconada y Salida Arequipa (Vallecito)
- Para realizar la exploración se trabajó en conjunto con maquinaria que había en la zona donde el material explotado era zarandeado eliminando el material over o material que ya no se clasifica como suelo (partículas mayores a los 3" de diámetro)
- Seguidamente se procedió al muestreo en cada una de las canteras exploradas, como se mencionó líneas arriba el muestreo fue alterado por lo tanto las muestras fueron embolsadas en sacos con sus respectivas etiquetas para su identificación y ser llevadas a los laboratorios de la Universidad Peruana Unión.



Figura 12. Exploración y muestreo in situ de la cantera de taparachi I – Salida a Puno



*Figura 13.* Exploración y muestreo in situ de la cantera Taparachi II – Salida a Puno



*Figura 14.* Exploración y Muestreo in situ de la cantera Rinconada – Rinconada.

- En esta etapa no se realiza ninguna clase de cálculos.
- Las muestras extraídas serán secadas de manera previa para poder realizar los ensayos en laboratorio como se muestra en la siguiente figura.



Figura 15. Secado de muestras de las diferentes canteras previo a los ensayos de laboratorio (Elaboración Propia).

### 3.8.1.2. Cuarteo de muestra

Para comenzar a realizar los ensayos en laboratorio una vez secada la muestra se procede a seleccionarla, este proceso de selección no se realiza al azar y se denomina cuarteo de muestra, esto permite obtener muestras representativas para someterlas a ensayo las cuales mantengan características representativas del total de la muestra de cantera.

El cuarteo de muestras se puede realizar de manera manual y con equipo, el laboratorio de la Universidad Peruana Unión no cuenta con un equipo de cuarteo es por ello que para la presente tesis se realizó de manera manual.

### 3.8.1.3. Análisis Granulométrico

Una vez que las muestras están secas y seleccionadas se procedió a realizar el análisis granulométrico por cribado regido por la NTP 339.128 (ASTM D422), este

procedimiento consiste en separar por tamices los diferentes tamaños de partículas que conforman el suelo de cantera (obtener de manera cuantitativa la distribución de partículas), este ensayo brinda datos que son necesarios conocerlos para los siguientes ensayos como son; el ensayo de proctor modificado y CBR, además que para la presente tesis los resultados obtenidos de este ensayo serán variables consideradas para la metodología que se plantea en la presente investigación.

Para desarrollar el ensayo de granulometría se cuenta con los siguientes equipos: juego de tamices (desde 3" a tamiz Nº 200 con base), balanzas para pesar el material retenido en cada tamiz.

El procedimiento realizado para el ensayo está sujeto a la normativa y a continuación se detalla el proceso realizado:

- Para comenzar una vez realizado el cuarteto se procedió a tomar una masa de muestra que para cada cantera tenía un valor de 7000gr a 8000gr.
- Una vez que se tuvo las masas se continuó separando las partículas de mayor tamaño para limpiarlas con agua este procedimiento se llevó con la finalidad de hacer un análisis granulométrico más controlado cuidando el desperdicio para posteriormente secarlas en el horno con la finalidad de realizar el tamizado con las muestras secas al día siguiente.
- Con respecto a la muestra menos granular el procedimiento se realizó de manera diferente este material el cual pasa el tamiz Nº 4 es llevado en un recipiente a ser saturado para que posteriormente se lave con el uso del tamiz Nº 200 para lavado (la finalidad es eliminar las partículas más finas limos y arcillas).
- Una vez que se tiene el material limpio y seco en ambos casos se procede a realizar el cribado por los tamices de 3", 21/2", 2", 11/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", Nº 4, Nº 10, Nº 20, Nº 40, Nº 100, Nº 200, usados para suelos, obteniendo masas retenidas en cada tamiz y anotándolas para poder realizar el análisis.

A continuación, se muestra el resultado del proceso de tamizado.



Figura 16. Material retenido en cada tamiz mayores al tamiz N° 4, cantera 03 Rinconada (Elaboración Propia).



Figura 17. Material tamizado y tamices 3", 21/2", 2", 11/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 100, N° 200 (Elaboración Propia).

- Una vez que se obtuvieron las muestras tamizadas se procedió a la identificación y anotación de características físicas que podían ser tomadas en consideración como fue el caso del color, la forma de las partículas.

Para el desarrollo de la metodología que se plantea es importante los valores obtenidos de este ensayo anotando como valores importantes los siguientes: diámetros efectivos, material retenido en el tamiz N° 4, material que pasa el tamiz N° 200.

### 3.8.1.4. Límites de Consistencia

Para la clasificación de suelos tanto como SUCS Y AASHTO es necesario completar los ensayos de caracterización como son el análisis granulométrico y los límites de consistencia además que la tesis pretende analizar y estudiar las características físicas de los suelos es por eso que los límites de consistencia es un ensayo importante para la investigación este ensayo se basa en la siguiente normativa: NTP 339.129 (ASTM D4318), el ensayo consiste en determinar los límites de plasticidad y líquido, para lo cual la muestra a ensayar debe de ser aquella que pasa el tamiz Nº 40 y la cual debe de ser saturada por al menos 16 horas, esto se debe a que si el suelo cuenta con una gran cantidad de arcilla estas partículas deben de estar saturadas para el ensayo.

A continuación, se describe un poco más el proceso del ensayo mencionado.

- En primer lugar, se debe de tener la muestra previamente saturada (material que pasa el tamiz Nº 4).



Figura 18. Muestras saturadas listas para los ensayos de límites de consistencia (Elaboración Propia).

- Antes de comenzar a hacer el ensayo se debe de usar los equipos y herramientas los cuales deben de estar estandarizados y calibrados.



Figura 19. Cuchara de casa grande, ranurador, espátulas, pipeta, taras, vidrio esmerilado, recipientes de porcelana

- Una vez que se cuenta con todos los equipos se procede al realizar los ensayos, en primer lugar, se hizo el ensayo de límite plástico, para el cual se utilizó el vidrio esmerilado este ensayo consiste en formar tubos de 3mm de diámetro
  - Primero se selecciona una cantidad de muestra y se hacen tubos sobre el vidrio, este procedimiento se repite hasta que los tubos a un espesor de 3mm presenten pequeñas grietas.
  - Una vez que se obtiene los tubos con grietas se pesa las muestras utilizando las taras y se deja en el horno un tiempo de 24 horas.
  - Una vez que ya se tuvo la muestra seca se procede a ser pesada y poder calcular el contenido de humedad del espécimen.



Figura 20. Muestra con signos de gritas, antes de ser pesadas (Elaboración Propia).

- Para el ensayo de determinación del límite líquido se utilizó el equipo de cuchara de casa grande la cual tiene que tener una caída de 10mm.
- El ensayo se realizó colocando la muestra en la cuchara y con el uso del ranurador partirlo a la mitad, se golpe desde 15 a 35 golpes observando en que momento la muestra

se junta en una distancia de 13mm, para poder obtener diferentes valores se hace una variación en la cantidad de agua de la muestra.

- el ensayo se repitió cuatro veces para cada espécimen los cuales tenían que cerrarse entre 15 a 20 golpes, 20 a 25, 25 a 30 y 30 a 35. Esto se logró haciendo la variación de la cantidad de agua antes mencionada.
- Una vez que se obtuvieron las muestras de cada ensayo se llevaron a las taras para pesarlas y posteriormente llevadas al horno para su respectivo secado.
- Cuando las muestras ya estuvieron secas de procedió a tomar el peso seco, este procedimiento se realizó para poder calcular el contenido de humedad.
- El procedimiento mencionado de ambos ensayos se repitió para cada material de las diferentes canteras.

Para la metodología que se plantea los datos obtenidos de este ensayo serán importantes para poder conocer cómo influyen los límites tanto plástico como líquido e índice de plasticidad en la capacidad de soporte del suelo CBR.

### **3.8.1.5. Ensayo de Proctor modificado**

Una vez que se ha realizado los ensayos de caracterización (granulometría y límites de consistencia) se tienen los datos suficientes para poder realizar el ensayo de compactación el cual consiste en compactar en un molde el suelo para eliminar la mayor cantidad de vacíos esto con la finalidad de mejorar sus características físicas, el ensayo consiste en compactar el suelo en capas iguales en un molde estandarizado con la ayuda de un martillo según especificaciones de la norma, acompañado de este procedimiento se debe mencionar que se debe tomar una muestra representativa para cuatro ensayos por cantera, las cuales serán alterados en humedad para que se pueda alcanzar el contenido de humedad óptimo para tener la densidad máxima del suelo.

El ensayo se realiza compactando en 5 capas iguales en un molde hasta que la muestra cubra la totalidad del envase para posteriormente enrasarlo y tomar apunte de la masa obtenida en el volumen del molde de esa manera se obtiene la densidad del suelo sometido a ensayo.

A continuación, se explicará a más detalle el procedimiento realizado con las muestras para la obtención de los resultados requeridos.

- En primer lugar, se revisó la granulometría de los suelos para ver que método de compactación utilizar, para todos los casos los resultados estaban dentro del método C de compactación.
- En segundo lugar, se seleccionó material representativo el cual por método de cuarteo se obtuvieron 04 muestras de 6kg para poder realizar el ensayo.
- Una vez que se tuvieron las muestras se procedieron a colocar diferentes humedades para la compactación, comenzando de agregar un 4% hasta 10% entre las cuatro muestras.



Figura 21. Muestras seleccionadas para el ensayo de compactación (Elaboración Propria).

- Para el primer ensayo de mezclo el agua con el suelo utilizando guantes de jefe esto con la finalidad de no alterar la humedad agregada.
- Una vez que el material fue mezclado se divide en 5 partes iguales para la compactación, se compactó hasta llenar el volumen del molde para luego enrasarla y posteriormente llevarlo a pesar.
- El número de golpes por capa fueron de 56 esto es de acuerdo a la normativa que lo rige con el uso de un pisón de 10lb a una altura de caída de 18 "



Figura 22. Compactación del suelo a 56 golpes por capa (Elaboración Propia)



Figura 23. Molde con suelo compactado a punto de ser enrasado para poder pesarlo (Elaboración Propia).

- Una vez que se pesó la muestra y el molde se extrae el material para volver a controlar la humedad.
- Se pesó el suelo que quedo en el molde en una bandeja y luego se llevó al horno por un lapso de 24 horas.
- Una vez que se tiene la muestra seca se volvió a pesar para así poder determinar el contenido de humedad del ensayo real con el que se compacto (puesto que el suelo seco aparentemente siempre contiene un porcentaje de humedad).
- Este procedimiento se realizó para las cuatro muestras usando diferentes humedades.
- En total el proceso se ejecutó para las 05 canteras que se están estudiando en la presente tesis.

Los valores que se obtuvieron de este ensayo son de mucha importancia ya que pertenece a las características físicas del suelo y complementan la metodología que se plantea, los cálculos y los resultados se verán posteriormente.

### **3.8.1.6. Ensayo de CBR**

Al final se realizó el ensayo de CBR (ASTM D-1883, MTC-E132), El cual indica un valor de resistencia del suelo en porcentaje usando de referencia la resistencia de piedra triturada, el ensayo consiste en comparar las muestras utilizando los resultados del ensayo de proctor modificado para luego sumergirlas en agua (proceso para simular las condiciones más desfavorables del suelo), para que posteriormente se sometan a una prensa y de esta manera conocer la resistencia de los especímenes.

A continuación, se detallará el procedimiento realizado juntamente con los equipos utilizados para el logro del mismo.

- En primer lugar, se revisó para cada cantera el resultado del ensayo de compactación que brinda el contenido de humedad óptima para que el suelo llegue a su compacidad máxima.
- Se preparó 3 muestras con una masa de 6kg para los ensayos (esta cantidad se realiza para cada una de las canteras).
- Se toma los datos generales de los moldes en peso y volumen
- Antes de compactar se colocó el disco espaciador en la parte inferior de molde juntamente con el collarín.

- Luego, las tres muestras de suelo por cantera se compactaron utilizando para cada una de ellas el contenido de humedad optimo, con la diferencia que para la primera muestra se realizó el compactado con 12 golpes por capa, para la segunda probeta se aplicó 25 golpes por capa y para la tercera probeta 56 golpes por capa.
- Para la primera muestra se compacta colocando el espaciador en la parte inferior más la colocación de papel filtro, una vez que el suelo llena el molde se quito el collarín y se procedió al enrasado el suelo para luego pesarlo y anotar los datos de los moldes en medidas y peso.



Figura 24. Molde de CBR con muestra compactada, en la parte inferior el espaciador y a un costado el collarín muestra lista para enrasarlo (Elaboración Propia).

- Cuando ya se terminaron de compactar las tres muestras se colocó en la parte superior las sobrecargas.

- Una vez listas las muestras con los moles y sobrecargar, se llevaron a saturar sumergiéndolas en agua en un lapso de 96 horas.



*Figura 25. Muestras colocadas en envases de agua proceso de saturación (Elaboración Propia).*

- En el comienzo de la saturación de midió con un dial la altura inicial del suelo con el uso de un trípode.
- Al día siguiente se volvió a controlar la altura de cada una de las muestras con el dial y trípode mencionado, este procedimiento se realizó de manera diaria durante 4 días y tiene la finalidad de conocer la expansión del suelo.
- Cuando ya pasaron las 96 horas las muestras se trajeron del agua y se llevaron a la prensa de CBR.

- Se sometió al ensayo de la prensa cada una de las muestras anotando los valores de resistencia en función a la penetración.

Los resultados del ensayo de CBR serán mostrados a continuación, todos los cálculos y procedimiento se realizó con base de la normativa que lo rige.

De esta manera se desarrollaron cada uno de los ensayos de laboratorio y campo, con la utilización de equipos e instrumentos calibrados y regulados se obtuvieron resultados para cada tipo de suelo, tanto las variables independientes como las variables dependientes que permitieron el estudio de cada una para poder desarrollar la metodología que se pretende plantear.

## CAPÍTULO IV.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados de los Ensayos de Laboratorio

##### 4.1.1. Resultados de los Ensayos de Análisis Granulométrico

A partir de los ensayos de granulometría aplicados se obtuvieron las variables, los diámetros efectivos, los porcentajes retenidos en los tamices y que se muestran a continuación, los cuales además son datos de caracterización clasificación de suelos SUCS y AASHTO.

Tabla 8.

Valores obtenidos del Ensayo Granulométrico.

	CANTERA 01	CANTERA 02	CANTERA 03	CANTERA 04	CANTERA 05
RET 4	55.55	53.19	60.23	59.93	70.73
PASA 200	15.06	14.53	8.93	11.69	5.34
D60	9.37	9.367	7.86	9.11	12.19
D30	1.79	1.26	2.92	2.23	4.9

Nota: RET 4 = % Retenido tamiz N° 4, PASA 200 = % Pasante Tamiz N° 200, D60 = Diámetro Efectivo del 60%, D30 = Diámetro Efectivo del 30% (Elaboración Propia M. Excel v. 16)

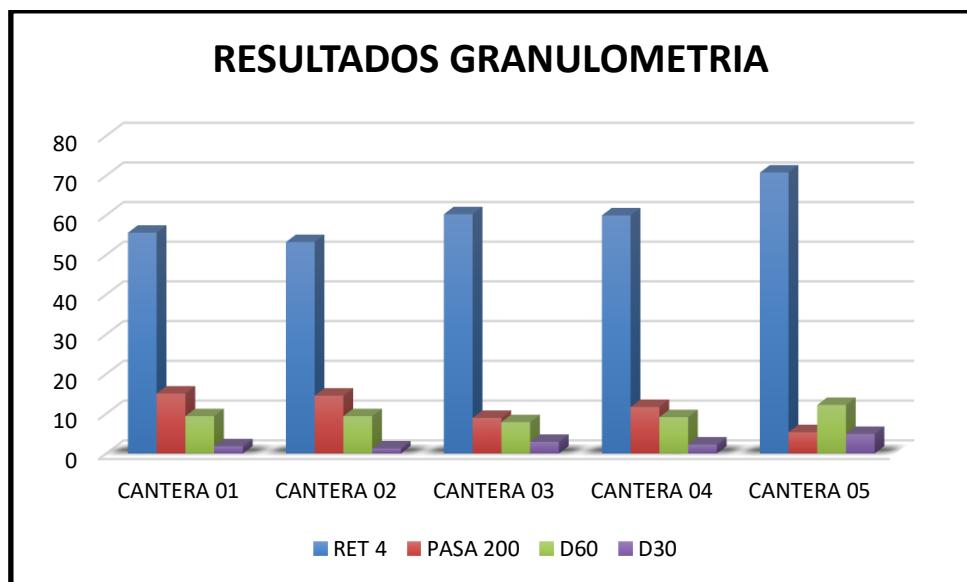


Figura 26. Valores Obtenidos del ensayo de granulometría (Elaboración Propia M. Excel v. 16).

#### 4.1.2. Resultados del Límite de Consistencia

A continuación, se muestra los resultados de los límites de consistencia como son límite plástico, límite líquido e índice de plasticidad.

Tabla 9.

*Valores obtenidos de límites de consistencia.*

	CANTERA 01	CANTERA 02	CANTERA 03	CANTERA 04	CANTERA 05
LL	29.64	28.57	42.15	39.07	37.22
LP	15.11	16.07	14.67	21.51	15.65
IP	14.53	12.5	27.47	17.56	21.56

Nota: Resultados obtenidos de ensayos de límites de consistencia (%), LL = Límite Líquido, LP = Límite Plástico, IP = Índice de plasticidad (Elaboración Propia M. Excel v. 16)

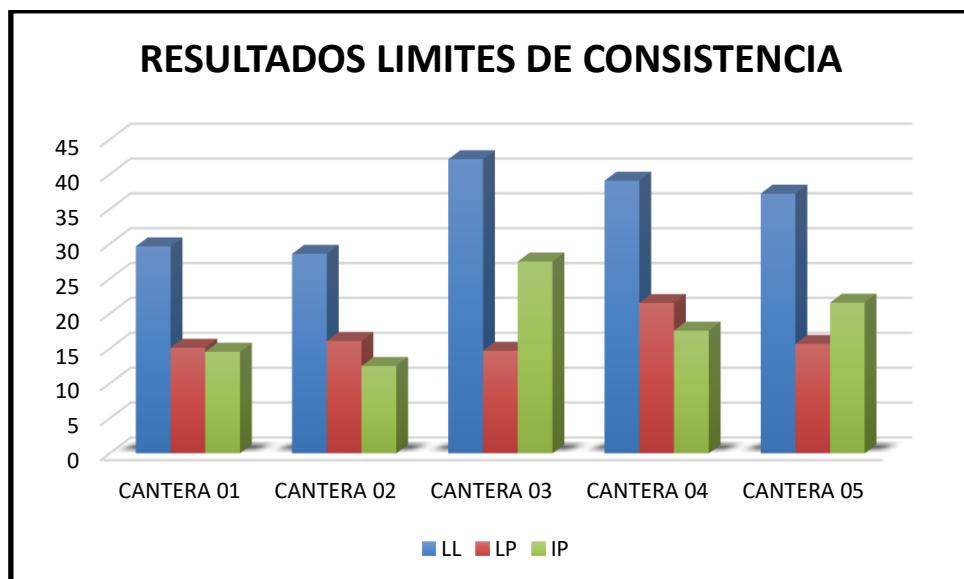


Figura 27. Valores Obtenidos los ensayos de límites de consistencia (Elaboración Propia M. Excel v. 16).

#### 4.1.3. Resultados de Ensayo de compactación (proctor modificado)

Con el ensayo de compactación se obtuvieron las propiedades restantes para la metodología planteada, en este caso el valor de la densidad máxima seca y el contenido de humedad.

A continuación, se observa los valores obtenidos de cada una de las muestras de las canteras sometidas al ensayo de proctor modificado.

Tabla 10.

*Valores obtenidos del Ensayo de Proctor Modificado.*

	CANTERA 01	CANTERA 02	CANTERA 03	CANTERA 04	CANTERA 05
DENS. MAX	2.105	2.13	2.085	2.1	2.068
CHO	7.74	7.25	7.85	7.7	7.61

Nota: Resultados obtenidos del ensayo de proctor modificado, DENS. MAX = Densidad Máxima Seca, CHO = Contenido de Humedad Óptimo (Elaboración Propia M. Excel v. 16)

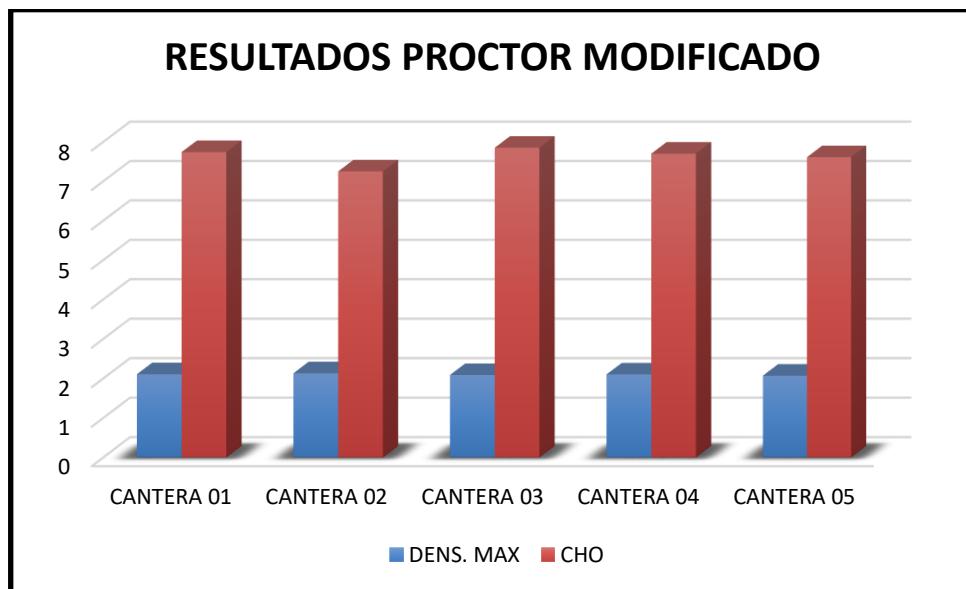


Figura 28. Valores Obtenidos del ensayo de Compactación (Elaboración Propia M. Excel v. 16).

#### 4.1.4. Resultados de Ensayo de CBR

Para finalizar, se determinó el valor de CBR del suelo de cada una de las canteras con el debido procedimiento y teniendo en consideración el cuidado de cada uno de los detalles que hacen posible la veracidad de sus resultados.

A continuación, se presenta en el cuadro y grafico los resultados que se obtuvieron de cada una de las canteras.

Tabla 11.

*Valores obtenidos del Ensayo de Proctor Modificado.*

	CANTERA 01	CANTERA 02	CANTERA 03	CANTERA 04	CANTERA 05
--	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

CBR	22.68	21.22	53	42.1	68.3
-----	-------	-------	----	------	------

Nota: Resultados obtenidos del ensayo de CBR, CBR = California Bearing Ratio (Elaboración Propia M. Excel v. 16)

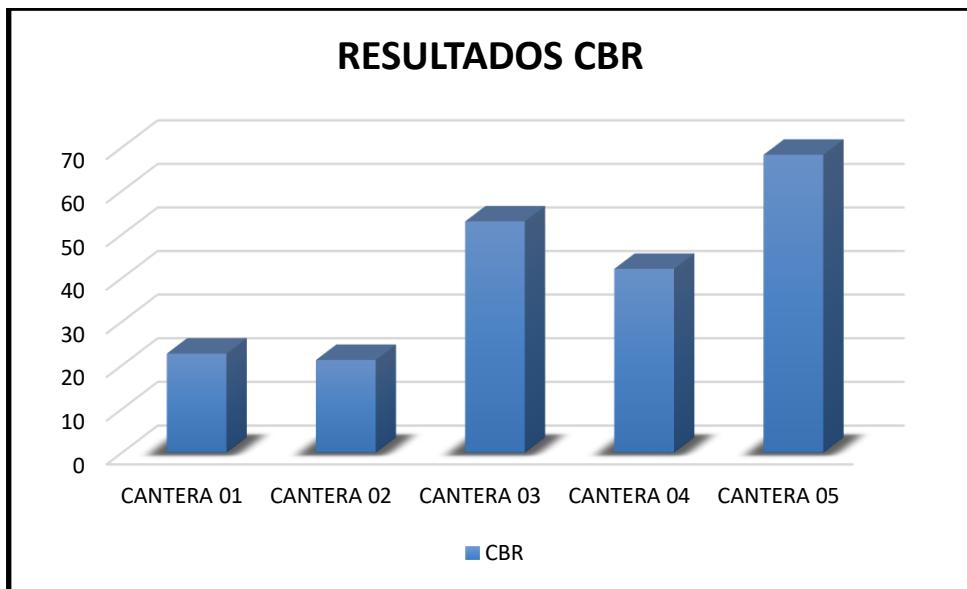


Figura 29. Valores Obtenidos del ensayo de CBR para cada una de las canteras estudiadas (Elaboración Propia M. Excel v. 16).

Con el ensayo de CBR, cuyos valores se mostraron se concluyen todos los ensayos para la investigación presente, cabe resaltar que los resultados del último ensayo se realizaron con el fin de tener los valores reales que se pretendo obtener mediante la metodología que se plantea.

En lo largo del ítem 4.1., se mostraron los resultados de cada uno de los ensayos aplicados al material de cantera los cuales nos dieron como resultados las propiedades físicas de estos.

#### 4.2. Análisis de Resultados para CBR

Ciertos autores como Rico y Del Castillo (2005) defienden que existe factores que determinan el esfuerzo cortante del suelo granular, que los consideran en dos grupos generales, la primera a aquellos factores que influyen en la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, la compacidad, esfuerzo de confinamiento y la velocidad de carga dentro de las más importantes, y el segundo grupo de factores son el tamaño, la forma, la textura, la distribución granulométrica de las partículas, grado de sanidad y dureza, lo que influyen también en la resistencia al esfuerzo cortante (p. 71).

Desde este punto de vista sustentando por investigadores, da a conocer que el CBR (capacidad de soporte de suelo), depende de sus características físicas para su determinación. Es conveniente a continuación presentar la relación de las características físicas con respecto al valor de CBR obtenidas de los ensayos realizados.

#### 4.2.1. Relación entre los resultados del Análisis Granulométrico y el CBR

Se han venido realizando investigaciones que relacionan las características granulométricas, como son los porcentajes retenidos o pasantes, diámetros efectivos, con respecto al CBR de los suelos las cuales demuestran que existen relación entre las características granulométricas y el CBR.

A continuación, se muestra en los siguientes ítems la relación de cada una de las características granulométricas con el CBR de los suelos estudiados.

##### 4.2.1.1. Relación entre Porcentaje retenido en el tamiz Nº 4 y el CBR

Utilizando los valores obtenidos de los ensayos se ha podido conocer a la relación que existe entre el porcentaje retenido y el valor de CBR.

A continuación, se muestra en la figura de manera gráfica y dispersión de puntos la relación que se obtuvo.

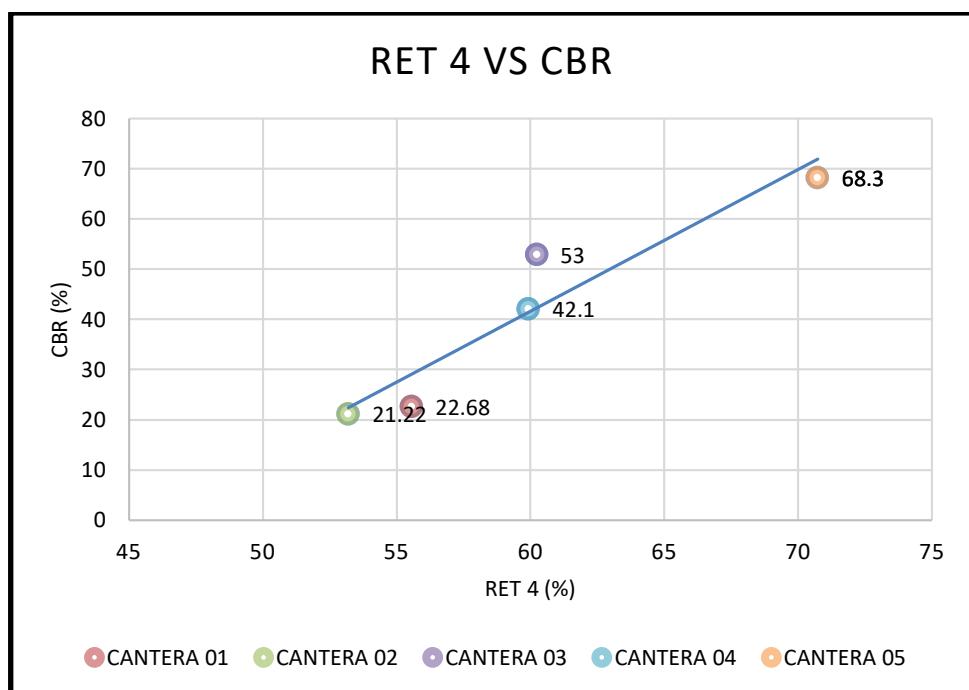


Figura 30. Relación entre el porcentaje retenido en tamiz N 4 y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16).

Según la figura mostrada se ve que los datos del porcentaje retenido son proporcionales directamente con el CBR, esto quiere decir que mientras más es la cantidad de material retenido en el tamiz Nº 4 el porcentaje de CBR también crece viéndose en la figura un comportamiento lineal.

#### 4.2.1.2. Relación entre Porcentaje que pasa el tamiz Nº 200 y el CBR

Se conoce que la distribución de granos de un suelo incide en su resistencia y el porcentaje de material que pasa el tamiz 200 no es ajeno a ello.

Se muestra en la siguiente imagen la relación que se obtuvo de ambos ensayos realizados.

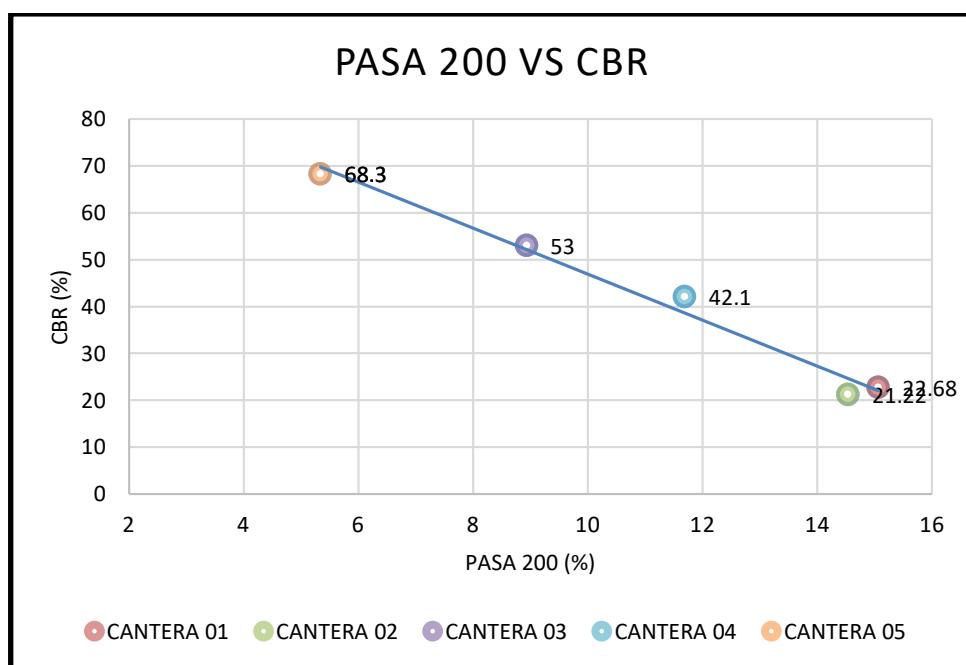


Figura 31. Relación entre el porcentaje pasante en tamiz N 200 y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16).

Como se puede ver en la figura mostrada en este caso la relación es inversamente proporcional cuando el porcentaje de material pasante del tamiz 200 el valor de CBR disminuye, esto mantiene lo que mencionan Rico y del Castillo (2005) que la característica física tiene relación en la determinación de la resistencia del suelo y también Araujo (2014)

donde sus resultados dictaminaban que mientras menos finos tenga un material su CBR es mayor.

#### 4.2.1.3. Relación entre diámetro efectivo del 60% (D60) y el CBR

Las importancias de las características granulométricas en la determinación de su resistencia generan el interés del estudio de estas, en este ítem veremos la relación que existe entre los diámetros efectivos y el CBR, para ser más específicos a continuación se muestra la imagen del D60 con el CBR.

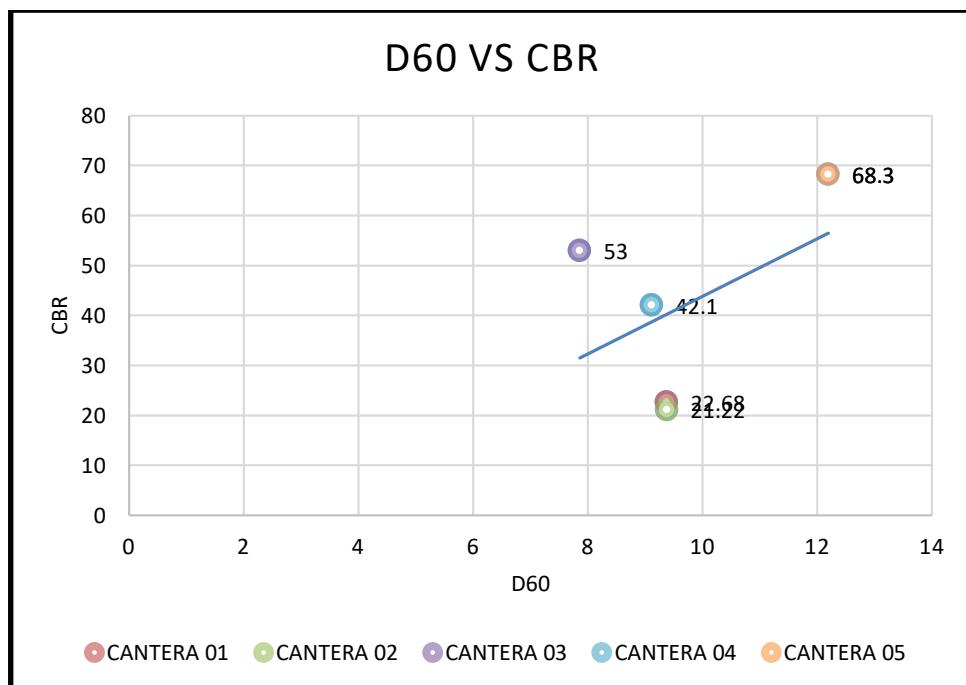


Figura 32. Relación entre el D60 y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16).

En la imagen mostrada se puede ver que la relación que existe entre el D60 Y el CBR es nula, no se observa alguna relación entre estas dos variables como se puede ver la dispersión de puntos no tiene una tendencia esto nos indica que la variable D60 no tiene una incidencia directa en la determinación del CBR.

#### 4.2.1.4. Relación entre diámetro efectivo del 30% (D30) y el CBR

Los diámetros efectivos son importantes para conocer los parámetros granulométricos como son el coeficiente de curvatura y el coeficiente de uniformidad esto en el caso de arenas, para este caso se estudia de manera independiente los diámetros efectivos de

60% y 30%, ahora se presenta los resultados de los diámetros efectivos del 30% con relación al CBR.

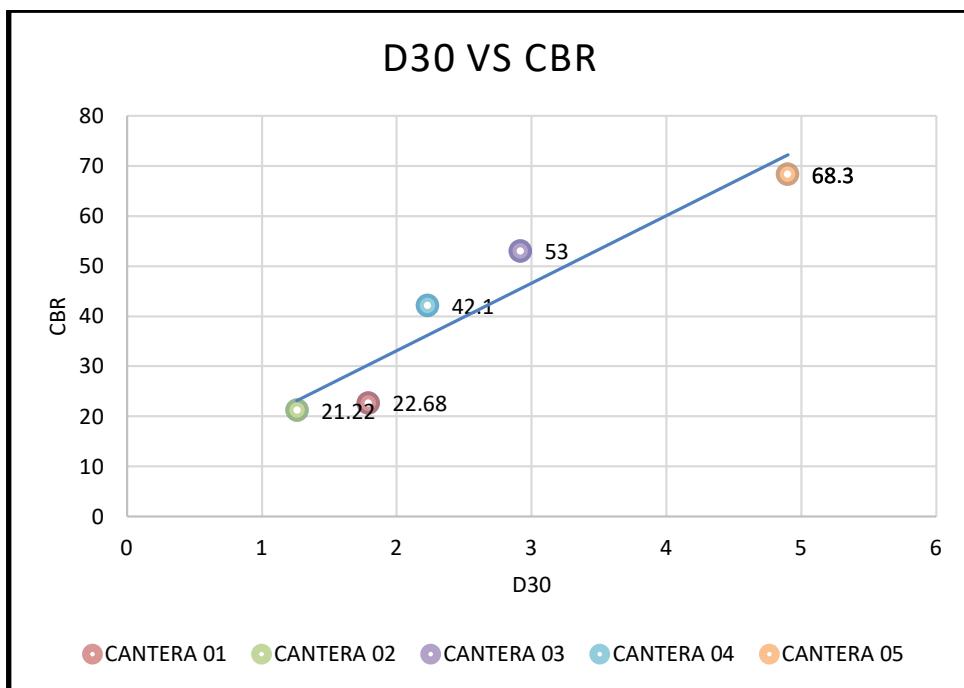


Figura 33. Relación entre el D30 y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16).

A diferencia del sucedido con el diámetro efectivo del 60% en el D30 se observa que, si existe una relación entre esta variable y el CBR, como se puede ver en la figura se ve una dispersión de puntos que tienen son directamente proporcionales quiere decir que mientras el valor del d30 aumenta el valor de CBR también crece, lo que indica que esta variable si infiere en la resistencia del suelo.

#### 4.2.2. Relación entre los resultados Límites de consistencia y el CBR

Los límites de consistencia de los suelos son importantes principalmente para la clasificación y la determinación del índice de plasticidad, para los suelos finos y plásticos este valor no solo es usado para su clasificación o caracterización, sino que en estos suelos son importantes para determinar su propiedad mecánica, posteriormente se muestra la relación que se obtuvo en los ensayos realizados para la investigación presente.

##### 4.2.2.1. Relación entre Límite líquido y el CBR

Después de realizar los ensayos de límites de consistencia se pudo obtener gráficamente la relación que existe entre primer el límite líquido y el valor de CBR.

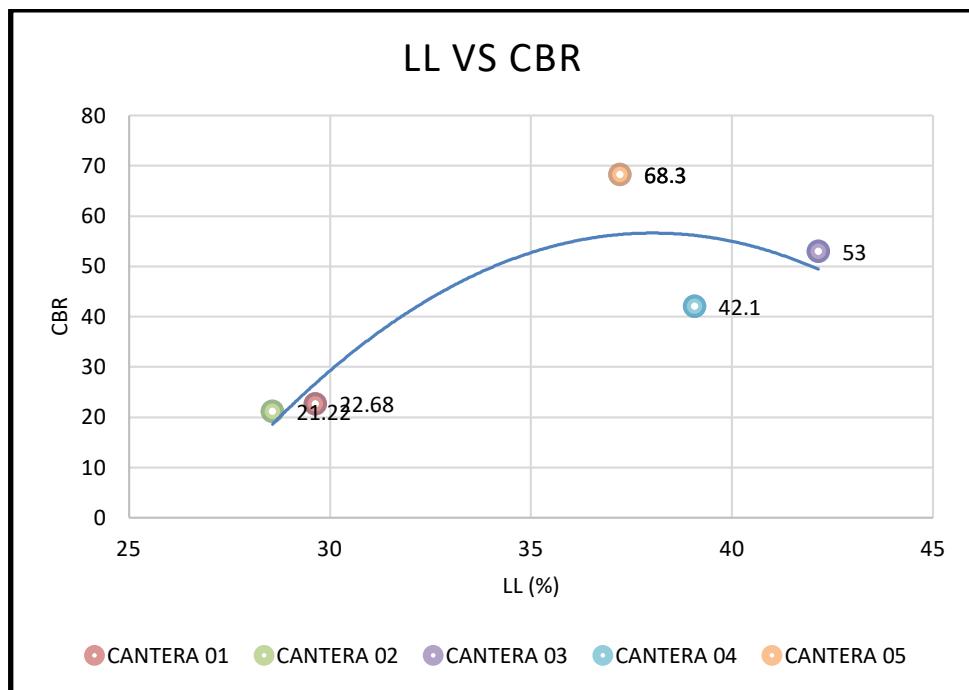
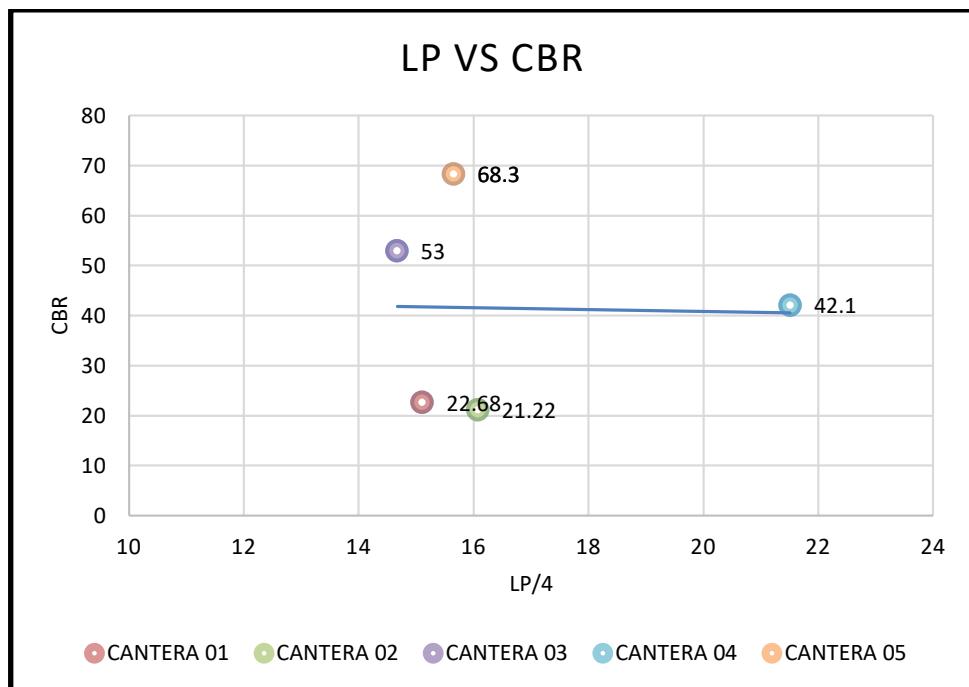


Figura 34. Relación entre el LL y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16).

En la figura mostrada se puede ver la relación que existe entre el LL y el CBR, como se puede ver la dispersión de puntos muestra que existe una pequeña relación entre estos dos valores, que a diferencia de las anteriormente vistas en este caso se ve que mientras el límite líquido se encuentra en un punto medio el CBR es mayor.

#### 4.2.2.2. Relación entre Límite Plástico y el CBR

Al igual que el límite líquido se realizó un versus entre el valor de límite plástico y el CBR, cabe mencionar que el límite plástico es una característica física importante que directamente está relacionado al material fino estudiado.



*Figura 35. Relación entre el LP y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16).*

Cuando se realizó de manera gráfica la relación que había entre el LP Y el CBR se pudo observar como se muestra en la figura que la dispersión de puntos no muestra una relación secuencial. Esto quiere decir que para la presente tesis y suelo el valor de LP no afectara en la estimación del CBR.

#### 4.2.2.3. Relación entre IP y el CBR

Los cálculos de los límites de consistencia se utilizan principalmente para poder determinar el índice de plasticidad (IP) el cual indica que tan plástico es el suelo, o que tan plástico es el material fino de cualquier suelo, se realizado la comparación entre el IP el CBR para poder conocer la relación que existe entre estos dos valores y que se muestran a continuación.

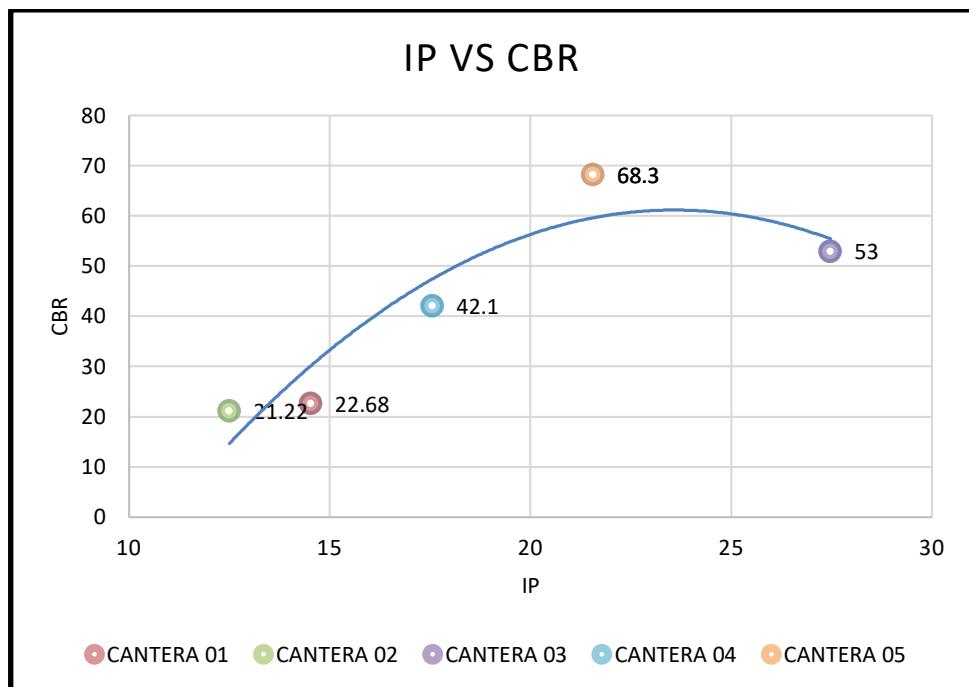


Figura 36. Relación entre el IP y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16).

En la figura que se muestra se puede observar la relación que existe entre el IP y el CBR, como se puede notar no existe una relación directamente proporcional ni inversamente proporcional, a diferencia de las primeras relaciones en este caso se muestra una relación donde el CBR es mayor cuando el IP es intermedio.

#### 4.2.3. Relación entre los resultados de Proctor Modificado y el CBR

Para la investigación presente se pretende analizar varias propiedades del material de cantera, y una significativa son los resultados que se obtienen del ensayo de proctor modificado que son: La densidad máxima seca y el contenido de Humedad óptima.

##### 4.2.3.1. Relación entre Densidad Máxima Seca y el CBR

Como menciona Das (2015), la compactación es la consolidación que requiere energía mecánica y sirve para la eliminación de aire, esto quiere decir que mediante esto el suelo tendrá una variación de densidad la cual se mostrara a continuación y qué relación tiene con el CBR.

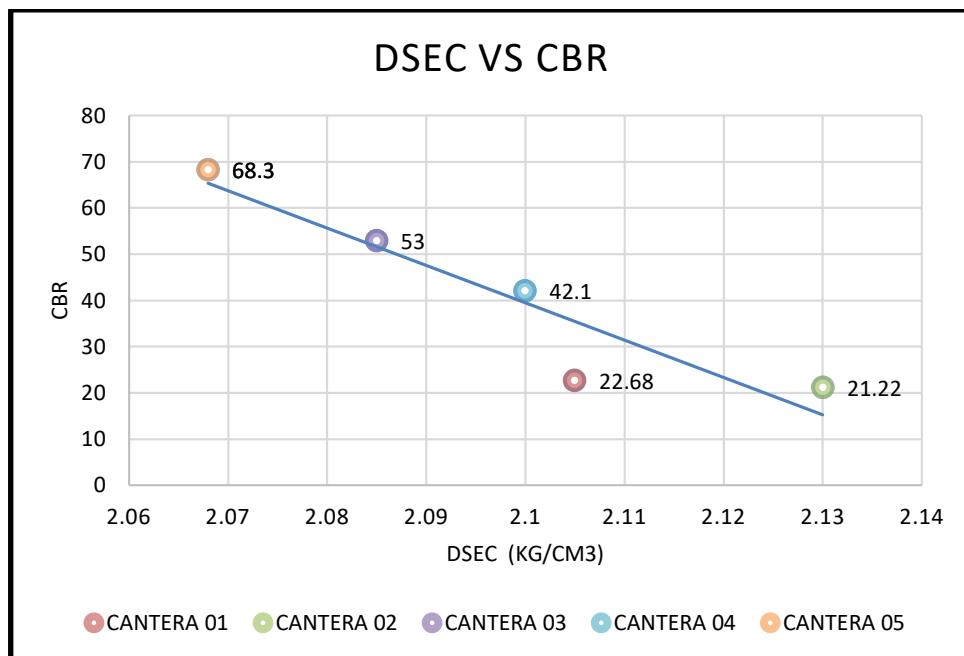


Figura 37. Relación entre la densidad máxima seca y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16).

Como se puede observar en la figura mostrada se observa una relación inversamente proporcional entre la densidad máxima seca ( $\gamma_{dmax}$ ) y el CBR, aquí existe una pequeña controversia puesto que la teoría indica que un suelo mientras tenga una mayor densidad debería de brindar mejores resultados con respecto a su resistencia.

Ante la obtención de estos resultados se analizó el porqué de esta relación inversa, quien desarrolla la investigación Para poder aclarar esta parte los factores que pudieron influir en la densidad del suelo son las formas de partículas y también la mineralogía que tiene que ver con la dureza de suelos en estudio, ese se volvió un punto a investigar.

#### 4.2.3.2. Relación entre Contenido de Humedad Óptimo y el CBR

Para lograr la variación de densidad uno de los factores influyentes es el contenido de humedad que presenta la muestra, para ver la relación se muestra la siguiente figura.

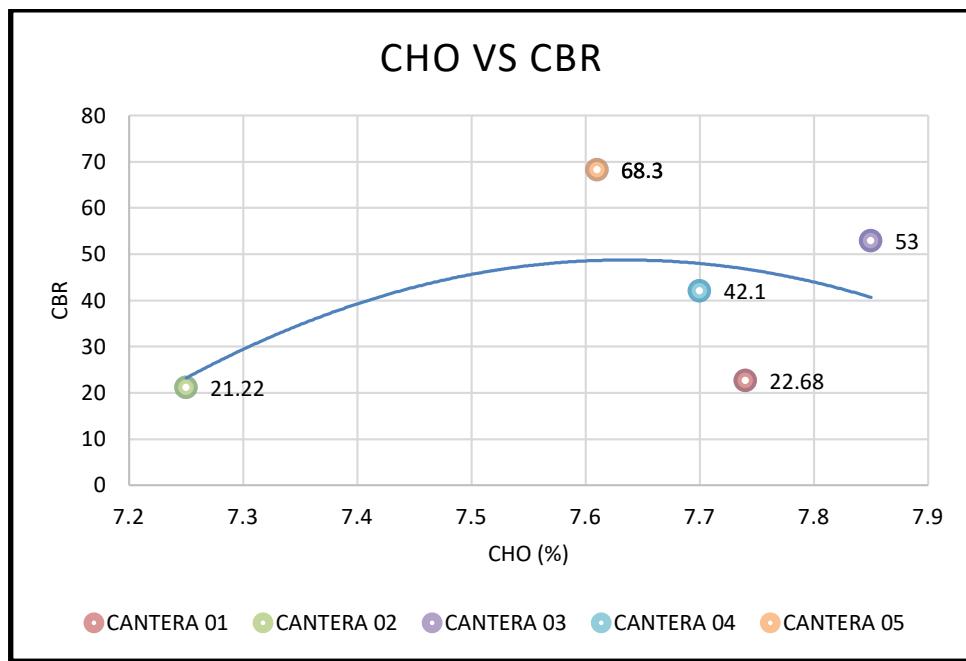


Figura 38. Relación entre el contenido de humedad y el valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16).

Se muestra en la figura la dispersión de puntos los cuales muestran una pequeña relación entre las variables estudiadas en este ítem la cual muestra una tendencia que mientras se va al punto medio de contenido de humedad óptimo (CHO) el valor de CBR crece.

Para concluir se ha podido ver a lo largo del ítem 4.2, muestra relación con ciertos valores de los ensayos de determinación de características físicas como también algunos datos que no mantuvieron relación alguna con respecto al CBR. Esto nos servirá para ver con que datos podemos trabajar para la metodología planteada y que datos podemos descartar.

A continuación, se observará de manera más cuantifica la relación existente y si es posible trabajar con varias constantes a la vez y poder relacionarlo con el CBR, haciendo un descarte de las que tienen un menor.

#### 4.3. Correlación y Regresión de los Resultados para Estimar el CBR

El objetivo principal de esta investigación es de tener una metodología para estimar el valor de CBR del material granular el cual se determine a partir de una ecuación la cual tenga como variables los resultados de las propiedades físicas de los suelos.

(Walpole, Myers, L., & Ye, 2012, pág. 430) El análisis de correlación pretende tomar la medida de la fuerza de las relaciones entre dos variables por medio de un solo número denominado coeficiente de correlación.

Para poder determinar los coeficientes de Determinación es necesario cálculos los coeficientes de correlación los cuales: se presentan en números que pueden variar de +1 y -1 y que su extensión indicara la asociación entre variables (el grado de asociación) por ejemplo el valor  $r= 0$  indica nula existencia de relación entre las variables; los valores  $\pm 1$  son indicadores de lo contrario que quiere decir hasta uno perfecta correlación positiva o negativa. (Suárez & Tapia, 2012, pág. 157).

**Tabla 12**  
*Correlaciones Pearson (Lineal)*

<b>r</b>	<b>Significado</b>
<b>-1.00</b>	Correlación negativa grande y perfecta
<b>-.90 a -.99</b>	Correlación negativa muy Alta
<b>-.70 a -.89</b>	Correlación negativa Alta
<b>-.40 a -.69</b>	Correlación negativa moderada
<b>-.20 a -.39</b>	Correlación negativa baja
<b>-.01 a -.19</b>	Correlación negativa muy baja
<b>00</b>	Correlación nula
<b>+.01 a +.19</b>	Correlación positiva muy baja
<b>.20 a .39</b>	Correlación positiva baja
<b>.40 a .69</b>	Correlación positiva moderada
<b>.70 a .89</b>	Correlación positiva alta
<b>.90 a .99</b>	Correlación positiva muy alta
<b>+1.00</b>	Correlación positiva grande y perfecta

Nota: Adaptado de “Interaprendizaje de estadística básica”, por Suárez M. O. y Tapia F. A., 2012, p.158

Como se sabe la correlación Pearson o Lineal es la relación entre dos variables de manera numérica por el denominado coeficiente de correlación o correlación Pearson, el cual indica en nivel de correlación entre variables.

Tabla 13.  
*Correlaciones Pearson (Lineal)*

Correlaciones		CBR
CBR	Correlación de Pearson	1
DIA EFEC30	Correlación de Pearson	,947
DIA EFEC60	Correlación de Pearson	,456
RET 4	Correlación de Pearson	,946
PAS 200	Correlación de Pearson	-,992
L LIQUIDO	Correlación de Pearson	,783
L PLASTICO	Correlación de Pearson	-,026
INDICE PLASTICO	Correlación de Pearson	,473
DENSI MAX SEC	Correlación de Pearson	-,931
CONTENIDO HUMEDAD	Correlación de Pearson	,416
OPTIMO		
CANTERA	Correlación de Pearson	,882

Nota: Correlación de Pearson. Adaptado del SPSS v.25  
(Elaboración propia SPSS v.25)

La tabla presentada muestra la correlación de manera individual de cada variable con respecto al CBR, investigación que se desarrolla pretende trabajar de manera conjunta a las variables independientes como un modelo para determinar el CBR.

Para poder obtener modelos lineales se utilizó el programa SPSS v.25, se realizó la creación de modelos que trabajen con las variables que físicamente son más importantes de los suelos como son el índice de plasticidad los porcentajes retenidos en los tamices y la densidad seca máxima.

Tabla 14.  
*Coeficiente de Determinación de los modelos de Correlación*

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,931 <sup>a</sup>	,866	,822	8,48880
2	,958 <sup>b</sup>	,918	,836	8,13902
3	,995 <sup>c</sup>	,990	,958	4,11114
4	1,000 <sup>d</sup>	1,000	.	.

*Nota:* a. Predictores: (Constante), DENSI MAX SEC, b. Predictores: (Constante), DENSI MAX SEC, RET 4, c. Predictores: (Constante), DENSI MAX SEC, RET 4, PAS 200, (Elaboración SPSS v.25).

Mediante el uso del programa SPSS v.15 también se calculó los coeficientes para cada uno de los modelos a continuación se muestra en el cuadro donde a su vez se muestra el coeficiente de Determinación. El coeficiente de determinación es una medida de la calidad del ajuste de la correlación que se está probando. La confiabilidad del  $r^2$  depende del tamaño del conjunto de los datos de la regresión y del tipo de aplicación. Resulta claro que  $0 \leq r^2 \leq 1$ , y el límite superior se logra cuando el ajuste a los datos es perfecto (...). (Walpole, Myers, L., & Ye, 2012, págs. 407-408).

Tabla 15.

*Modelos de Correlación*

Coeficientes			
Coeficientes no estandarizados			
	Modelo	B	Desv. Error
1	(Constante)	1736,085	384,465
	DENSI MAX SEC	-807,887	183,279
2	(Constante)	654,373	1030,550
	DENSI MAX SEC	-341,926	450,259
	RET 4	1,741	1,549
3	(Constante)	473,723	525,110
	DENSI MAX SEC	-178,429	235,870
	RET 4	-,176	1,072
	PAS 200	-4,272	1,634
4	(Constante)	69.289	,000
	RET 4	.695	,000
	PAS 200	-2.991	,000
	DENSI MAX SEC	-28.270	,000
	LIMITE LIQUIDO	.652	,000

*Nota:* B= Coeficientes de regresión utilizados para la ecuación de regresión lineal, (Elaboración SPSS v.25).

A partir de los modelos propuestos se logró determinar la ecuación de regresión lineal que tiene la siguiente forma.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_p X_p + \varepsilon \quad (12)$$

Donde:

Y = Variable dependiente que representa el CBR

X = Variables independientes (constantes)

$\beta$  = Coeficientes de la ecuación de regresión lineal

$\varepsilon$  = Error de la ecuación de regresión lineal

Para poder trabajar y seleccionar el modelo con el que se desea trabajar se analizó la significación bilateral en donde de cada uno de los ensayos se seleccionó el que menor valor tenía (mientras menor es el valor de la significancia es menos probable que este errado).

Obteniendo a partir de eso el siguiente modelo.

Tabla 16.

*Modelo de Correlación Seleccionado*

		Coeficientes		
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
		0000	Desv. Error	Beta
1	(Constante)	69.289	0,000	
	RET 4	.695	0,000	,233
	PAS 200	-2,991	0,000	-0,603
	DENSI MAX	-28,270	0,000	-0,033
	SEC			
	INDICE	0,652	0,000	,194
	PLASTICO			

Nota: B= Coeficientes de regresión utilizados para la ecuación de regresión lineal, (Elaboración SPSS v.25).

El modelo obtenido se muestra a continuación en forma de su ecuación de regresión lineal múltiple. Donde se puede observar que el que tiene mayor participación o mayor incidencia es el porcentaje pasante del tamiz 200.

$$CBR = 69.289 + 0.695 (RET 4) - 2.991 (\%P200) - 28.27 (\%dmx) + .652 (LL) \quad (13)$$

Donde:

RET 4 = % retenido tamiz N 4

%P200 = % Porcentaje pasante tamiz N 200

$\gamma_{dmax}$  = Densidad máxima seca

LL = Limite liquido

#### 4.4. Resultados Obtenidos con el mediante la ecuación planteada.

Mediante la ecuación obtenida para estimar el valor de CBR a continuación se muestra los resultados obtenidos.

Tabla 17.

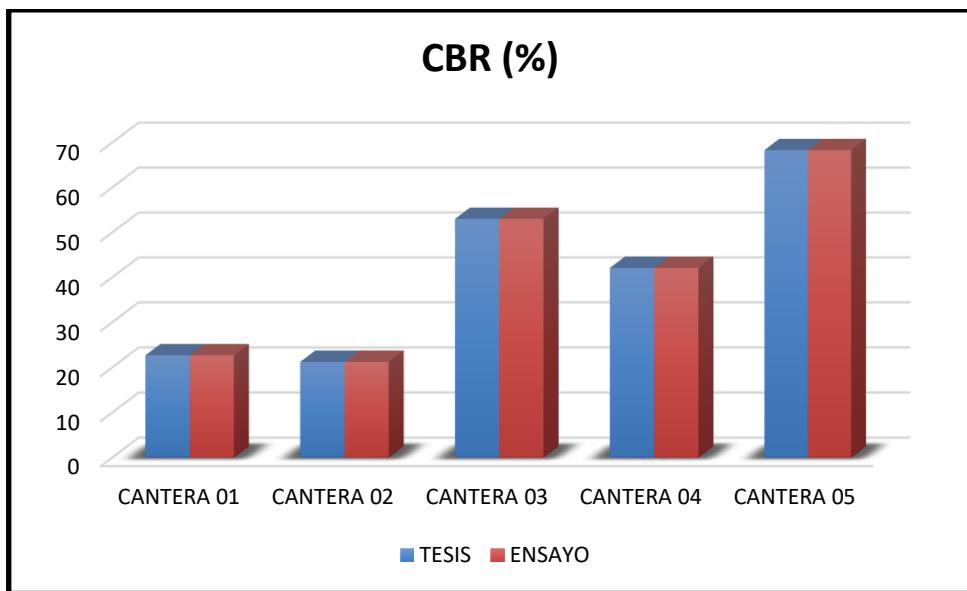
*Resultados obtenidos de CBR mediante la ecuación y el obtenido en laboratorio*

	TESIS	LABORATORIO
CBR (%)	22,67	22.68
	21,20	21.22
	52.97	53.00
	42,08	42.10
	68,28	68.30

*Nota: CBR = California Bearing Ratio representado en %, (Elaboración SPSS v.25).*

En el cuadro se puede observar que existe una variación pequeña entre ambos resultados, los cuales son los resultados obtenidos mediante uso de equipos en laboratorio y los resultados de la tesis que se obtuvieron a partir del uso de la ecuación 20.

Para poder ver una comparación a continuación se muestra de madera grafica los resultados que se obtuvieron.



*Figura 39. Comparación de resultados del valor de CBR (Elaboración Propia M. Excel v. 16).*

#### **4.4.1. Resultados Obtenidos con el mediante la ecuación planteada por cantera.**

##### **4.4.1.1. CANTERA 01**

$$CBR = 69.289 + 0.695 (55.55) - 2.991 (15.06) - 28.27 (2.105) + .652 (29.64)$$

$$\mathbf{CBR = 22.69}$$

##### **4.4.1.2. CANTERA 02**

$$CBR = 69.289 + 0.695 (53.19) - 2.991 (14.53) - 28.27 (2.13) + .652 (28.57)$$

$$\mathbf{CBR = 21.20}$$

##### **4.4.1.3. CANTERA 03**

$$CBR = 69.289 + 0.695 (60.23) - 2.991 (8.93) - 28.27 (2.085) + .652 (42.15)$$

$$\mathbf{CBR = 52.97}$$

##### **4.4.1.4. CANTERA 04**

$$CBR = 69.289 + 0.695 (59.93) - 2.991 (11.69) - 28.27 (2.1) + .652 (39.07)$$

$$\mathbf{CBR = 42.08}$$

##### **4.4.1.5. CANTERA 05**

$$CBR = 69.289 + 0.695 (70.73) - 2.991 (5.34) - 28.27 (2.068) + .652 (37.22)$$

$$\mathbf{CBR = 68.28}$$

	<b>TESIS</b>	<b>LABORATORIO</b>	<b>GRADO DE CONFIABILIDAD</b>
<b>CBR (%)</b>	22.67	22.68	99.96
	21.2	21.22	99.91
	52.97	53	99.94
	42.08	42.1	99.95
	68.28	68.3	99.97

#### 4.5. Prueba de Hipótesis de Investigación

Hernández et al. (2014) concretan: Las hipótesis, en un enfoque de investigación cuantitativo cuando se realiza un diseño de investigación la hipótesis se somete a prueba de realidad, para ello se toman datos con instrumentos de medición para analizar e interpretar los datos que se tienen. (p. 117).

(Hernández et al., 2014) (...) lo que el investigador realiza mediante esta prueba es ver o determinar si la hipótesis es hace por medio de la prueba de hipótesis es determinar si la hipótesis poblacional es conforme a los datos que se obtienen de la muestra. (299).

Las hipótesis son tentativas que responden a las preguntas de investigación, de la relación entre dos variables o más las cuales tiene que ser probadas con la finalidad de determinar si con aceptadas o rechazadas, y es posible realizarlo mediante la prueba estadística de hipótesis, sucede cuando existe una relación causa - efecto o una correlación numérica.

Tanto como La verdad o falsedad de una hipótesis estadística no se conoce con total certeza, a menos que se examine el total de la población que no es práctico para gran parte de las situaciones, por ello en lugar de eso se toma una muestra de manera aleatoria de la población y se utilizan sus datos para proporcionar evidencia que respalde o no la hipótesis. Si se presenta inconsistencia en la muestra con la que se plantea la hipótesis esta produce el rechazo. (Walpole et al., 2012 p. 319).

La metodología para una prueba de hipótesis existe criterios variados de autores, por recomendación observándolo de un punto de vista estadístico se obedece a lo que Supo (2012) el cual define que se tiene que realizar 5 pasos de manera ritualista.

### **a) Formulación de Hipótesis**

Supo (2012) menciona que consiste en convertir la estructura gramatical, lógica y científica hacia una matemática.

Walpole et al. (2012) explican detalladamente las dos hipótesis estadísticas, como sigue: La estructura de la prueba de hipótesis se establece utilizando la hipótesis nula o este término que se refiere a cualquier hipótesis la cual deseamos probar la cual se indica con H<sub>0</sub>, el rechazo de esta lleva a aceptar una hipótesis alternativa a la cual se le define como H<sub>1</sub>, en entendimiento de ambas es muy importante para entender el principio de la prueba de hipótesis; lo que se debe de conocer también es que H<sub>1</sub> es la pregunta que se responderá o la teoría que se probara y que es sumamente importante y la hipótesis nula es la oposición del H<sub>1</sub>. (p. 320).

- H<sub>0</sub>: Hipótesis nula o hipótesis de trabajo, es la negación de la hipótesis del investigador; la que se tiene que rechazar o no.
- H<sub>1</sub>: Hipótesis alterna/alternativa o hipótesis del investigador; es lo que plantea el investigador; lo que se desea probar.

### **b) Nivel de Significancia**

Hernández et al. (2014) claramente indican que los dos niveles de significancia más utilizados por los investigadores, aduciendo que el nivel de significancia de .05, lo que indica el el investigador cuenta con un 95% de estar seguro a no equivocarse y lo que queda que es el 5% lo contrario, ambos llegan a un 100 que en términos probabilísticos es 1.00 un nivel de significancia de 0.01 indica un alto valor con respecto para generalizar si temor a equivocarse es tener un 99% a favor y el 1% en contra. (p. 302).

### **c) Estadístico de Prueba**

Supo indica que el estadístico de prueba se elige en función a 5 conceptos:

- Tipo de estudio
- Nivel investigativo
- Diseño de investigación
- Objetivo estadístico

- Escalas de medición de las variables
- Comportamiento de los datos

Existen métodos o pruebas estadísticas más utilizadas que se muestra a continuación:

- Análisis de varianza unidireccional (ANOVA en un sentido).
- Análisis de varianza factorial (ANOVA).
- Análisis de covarianza (ANCOVA).
- Coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal.
- Prueba t.
- Prueba de contraste de la diferencia de proporciones.

#### **d) Lectura p-valor**

Supo (2012) menciona que este paso no fue planteado en principio por Fisher, porque no se disponían de programas al momento de calcular el valor de p, valor que cuantifica el error tipo I y es de ayuda para tomar una decisión ya sea de rechazo o de no rechazo dependiendo del valor obtenido.

en resumen, el p valor es la probabilidad de error o frecuencia del mismo, de que el investigador pueda equivocarse al tener una respuesta tentativa a la pregunta de investigación.

#### **e) Toma de Decisión**

La decisión se opta en función al valor de p, con relación a la significancia, para la toma de decisión se realiza descuento a lo siguiente.

- Si el  $p\text{-valor} \geq \alpha$ , se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_1$
- Si el  $p\text{-valor} < \alpha$ , se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$

##### **4.5.1. Prueba de Hipótesis General de Investigación**

En la presente investigación la hipótesis general se plantea de la siguiente manera.

Se puede determinar el valor del CBR en suelos granulares procedentes de las canteras ubicadas en el distrito de Juliaca a partir de los valores obtenidos de ensayos de caracterización y compactación.

Para poder realizar la prueba de hipótesis general esta será lograda a partir de las hipótesis específicas.

#### **4.5.2. Prueba de Hipótesis Específica de Investigación (hipótesis E1)**

- **Primer paso Formulación de Hipótesis.**

H<sub>0</sub>: NO se puede obtener una ecuación matemática que utilice los valores de ensayos de caracterización y compactación que permita obtener el CBR en suelos granulares de las canteras de la ciudad de Juliaca.

H<sub>1</sub>: Se puede obtener una ecuación matemática que utilice los valores de ensayos de caracterización y compactación que permita obtener el CBR en suelos granulares de las canteras de la ciudad de Juliaca.

- **Segundo Paso Establecer el nivel de Significancia.**

Como se revisó anteriormente el nivel de significancia será de 0.05

- **Tercer paso Elección del Estadístico de Prueba**

Para la selección del estadístico de prueba se analizó el nivel, tipo y el diseño de la investigación es por eso que en función a eso el estadístico de prueba elegido es el de coeficiente de Pearson (*r*), siendo esta una prueba estadística paramétrica.

A continuación, se muestra el valor de *r* obtenido a partir de modelo seleccionado que tiene como variables el Límite Líquido, % que pasa el tamiz 200 y densidad máxima seca.

Tabla 18.

*Modelo con coeficiente de Pearson*

---

**Resumen del modelo**

---

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,999 <sup>a</sup>	,997	,989	2,06910

Nota: R = coeficiente de Pearson o de regresión lineal, R<sup>2</sup>= Coeficiente de determinación (Elaboración SPSS v.25).

- **Cuarto paso Lectura de p-valor**

A continuación, se muestra el resultado obtenido mediante el SPPS para observar el p-valor, para ver si se acepta o se rechaza la hipótesis nula que es H<sub>0</sub>.

Tabla 19.

*Resultados de la correlación entre el modelo y el CBR*

<b>Correlaciones de muestras emparejadas</b>				
		N	Correlación	Sig.
Pa	CBR(TESIS) &	5	,999	,000058
r 1	CBR			

Nota: N = Tamaño de muestra, correlación = r (Elaboración SPSS v.25).

Para el modelo propuesto se en correlación con el CBR de laboratorio se obtiene un p-valor de 0.000058 el cual es un valor < 0.001.

- **Quinto paso Toma de Decisión**

Como se ha mostrado en el paso anterior un valor de p menor al 0.001, en donde se puede observar también el valor de correlación de Pearson muy fuerte con estos resultados se concluye lo siguiente.

Como el p-valor es menor a  $\alpha$ , entonces se rechaza la  $H_0$  hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna  $H_1$  como punto final de acepta la hipótesis alterna que es: Se puede obtener una ecuación matemática que utilice los valores de ensayos de caracterización y compactación que permita obtener el CBR en suelos granulares de las canteras de la ciudad de Juliaca.

#### 4.5.3. Prueba de Hipótesis Específica de Investigación (hipótesis E2)

- **Primer paso Formulación de Hipótesis.**

H0: Los resultados obtenidos mediante la metodología planteada NO son aceptables

H1: Los resultados obtenidos mediante la metodología planteada son aceptables.

- **Segundo Paso Establecer el nivel de Significancia.**

Como se revisó anteriormente el nivel de significancia será de 0.05

- **Tercer paso Elección del Estadístico de Prueba**

Para este caso se utilizará el estadístico de prueba de la Prueba t. para muestras relacionadas, de igual manera por ser una prueba estadística paramétrica, a continuación, se muestra los resultados con lo que se realizó la prueba estadística.

Tabla 20.

*Datos para la prueba estadística*

	TESIS	LABORATORIO
CBR (%)	22,67	22.68
	21,20	21.22
	52.97	53.00
	42,08	42.10
	68,28	68.30

*Nota:* valores de CBR obtenidos de la tesis y del ensayo (Elaboración SPSS v.25).

- **Cuarto paso Lectura de p-valor**

Para poder obtener el valor de p se usó el programa SPSS con la finalidad de poder obtener este valor a través de un programa que dé resultados confiables con respecto al análisis.

Tabla 21.

*Resultados de la correlación entre el modelo y el CBR*

<b>Prueba de muestras emparejadas</b>				
Diferencias emparejadas		t	gl	Sig. (bilateral)
Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia			

			Inferior	Superior			
Par	CBR(tesis)	,01576	-1,26881	1,30033	,034	4	,974
1	- CBR						

Nota: N = Tamaño de muestra, correlación = r (Elaboración SPSS v.25).

En este caso el nivel de significancia que se obtiene es de 0.974 refiriéndonos a la diferencia en entre los resultados, lo que quiere decir que no existe una diferencia excesiva puesto que si convertimos esta significancia en la NO diferencia de los resultados el p-valor sería de 1 – 0.974 entonces tendríamos un valor de significancia de 0.026 de significancia en similitud de resultados. Que es menor de 0.05

- **Quinto paso Toma de Decisión**

Como se detalla en el paso anterior se obtuvo una significancia de 0.974 con respecto a la diferencia que existe entre los resultados, en la tesis se desea saber la similitud de resultados para poder saber si es una metodología confiable entonces se procede a analizar de esa manera, la cual no daría una significancia de 0.026 para la similitud de resultados.

Como el p-valor es menor a  $\alpha$  (0.05) esto con respecto a la similitud de los resultados indica que se acepta la hipótesis alterna la cual es: Los resultados obtenidos mediante la metodología planteada son aceptables.

a. Predictores: (Constante), DENSI MAX SEC, L LIQUIDO, PAS 200

$$Y = a + bX \quad (14)$$

c. Predictores: (Constante), DENSI MAX SEC, RET 4, PAS 200

d. Predictores: (Constante), DENSI MAX SEC, RET 4, PAS 200, INDICE PLASTICO

Se puede determinar el valor del CBR en suelos granulares procedentes de las canteras ubicadas en la ciudad de Juliaca a partir de los valores obtenidos de ensayos de caracterización y compactación.

### 1.3.3. Preguntas Específicas

Se puede obtener una ecuación matemática que utilice los valores de ensayos de caracterización y compactación que permita obtener el CBR en suelos granulares de las canteras de la ciudad de Juliaca.

¿Cuál sería la confiabilidad de los resultados que se obtienen mediante la metodología planteada?

Los resultados obtenidos mediante la metodología planteada son aceptables.

## CAPÍTULO V.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Durante el desarrollo de la investigación, desde la obtención de valores el análisis y su interpretación se ha llegado a una serie de conclusiones que engloban todo lo antes mencionado.

Las propiedades físicas de los suelos en este caso suelos granulares para relleno de las canteras tienen influencia en la determinación de las características mecánicas del mismo material como se muestra al largo del desarrollo de la investigación.

La metodología que se plantea para obtener el valor de CBR es una metodología que si se puede aplicar de acuerdo a los resultados que se obtuvieron.

Las correlaciones que se realizaron entre las características físicas de manera individual indicaron que no todas las propiedades físicas tienen relación directa con el resultado de CBR y esto se mostró en el ítem de resultados.

Mientras más variables independientes se analicen de manera conjunta en una correlación el factor de correlación y el coeficiente de determinación son mayores y se acercan al 1.00, siempre y cuando se tomen los valores correctos para el análisis.

De acuerdo a los resultados que se obtienen del análisis se logra entender que si es posible tener una ecuación de regresión o una expresión matemática que logre estimar el valor de CBR y que uno de los objetivos específicos de la investigación se logró obtener.

$$CBR = 69.289 + 0.695 (RET 4) - 2.991 (\%P200) - 28.27 (\text{y}d_{max}) + .652 (LL) \quad (13)$$

El uso de software para el análisis estadístico como es el SPSS es una herramienta muy valiosa la cual ayuda y simplifica el trabajo de la parte estadística de cualquier investigación o trabajo estadístico, tanto para la sección de variables y como para las pruebas de hipótesis la utilización del SPSS fue clave en la certeza de los resultados.

La validez de resultado se pudo realizar bajo el uso del SPSS donde en la comparación de resultados o similitud de ellos se obtuve un nivel de significancia menor al 0.05 el cual indica que existe gran similitud entre el CBR obtenido con la Ecuación y el CBR obtenido con los ensayos establecidos.

## 5.2 Recomendaciones

la metodología de la tesis que se planteó y se obtuvo en primera instancia se recomienda aplicarla en suelos que tengan muy similares características a las estudiadas puesto que en esta tesis se hace un primer paso para observar la incidencia de las características físicas, pero solo de las canteras estudiadas.

Para poder tener un mejor resultado con respecto a una ecuación planteada y que abarque más tipos de suelos, es recomendable que se amplié la cantidad de muestras o en este caso canteras ya no solo explotadas sino lugares que serán futuras canteras de material de relleno.

En el momento del desarrollo de la tesis se pudo ver que existen otros factores que pueden influir en la determinación de la resistencia del suelo, es por ello que se recomienda tomar en consideración para futuras investigaciones de este tipo el análisis y estudio de la forma de los granos de suelo, la mineralogía.

Es muy posible que se pueda obtener resultados más exactos si se realiza un análisis más minucioso, por eso se recomienda realizar más cantidad de ensayos controlando de mejor manera la distribución granulométrica puesto que son gravas y la cantidad de material también es mayor para poder estudiar.

Se recomienda seguir con la investigación de las características físicas de los suelos gravoso que son los suelos menos estudiados por el tamaño de partículas y por la falta de equipos en los laboratorios, para poder suplir los resultados de ensayos estudiar más a profundidad las características físicas y ya no solo con respecto a su comportamiento mecánico, sino que también puede ser hidráulico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, G. (2012). *Manual practico de Mecanica de Suelos*. Ecuador.
- Araujo, W. (2014). Ecuaciones de correlación del CBR con propiedades índice de suelos para la ciudad de Piura. . Universidad de Piura, Peru.
- Bañon, L., & Bevia, J. (2010). *Manual de Carretera*. Mexico : Thomson.
- Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de suelos en Ingenieria Civil*. Colombia: McGRAW-HILL.
- Crespo, C. (2008). *Mecanica de Suelos y Cimentaciones* (6a ed.). Mexico: Limusa.
- Das, B. (2006). *Principios de Ingenieria de Cimentaciones*. Mexico: Thomson.
- Das, B. (2015). *Fundamentos de Ingenieria Geotecnica*. . Mexico: : Thomson.
- Datta, T. (2003). *Correlatlon Between CBR and index Properties of Soil*. EEUU.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. MEXICO: McGRAW-HILL.
- Huerta, H. (2006). Formulacion matematica para la estimacion del cbr basado en las propiedades fisicas de los suelos. Universidad Nacional de Ingenieria, Peru.
- Huerta, H. (2006). *Formulacion matematica para la estimacion del cbr basado en las propiedades fisicas de los suelos*.
- Juarez, E., & Rico , A. (2011). *Mecanica de Suelos*. Mexico: Limusa.
- Kumar, D. (2014). A study of Correlation Betwen California Bearing Eario CBR Value With Other Properies ef hhh. *Internatinal Journal of Emerging Technoloy ande Advanced Engirre*.

Lambe, W. (1995). *Mecanica de Suelos*. Mexico : Limusa.

Rico, A., & Del Castillo, H. (2005). *La Ingenieria de Suelos en Vias Terrestres*. Mexico: Limusa.

Salazar, M. (2016). Correlacio entre el ensayo de cbr y el ensayo del proctor para determinar la resistencia del suelo de la parroquia ambatillo alto en el sector de san pedro. Univesidad Tecncia de Ambato, Ecuador.

Suarez, M. O., & Tapia, F. (2012). *Interaprendizaje de estadistica básica*. Ibarra, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de la Propiedad Intelectual.

Supo, J. (16 de marzo de 2012). Obtenido de Prueba de hipotesis, Metodologia de la investigacion: <https://www.youtube.com/watch?v=R-8V3UZj6G4&t=26s>

Supo, J. (30 de noviembre de 2016). *prueba de hipotesis en cada nivel investigativo*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=qkSSxqX513o>

Universidad Nacional de Ingenieia. (2001). *Manual de ensayos de Mecanica de Suelos*. Lima: Uni.

Walpole, R. E., Myers, R. H., L., M. S., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y Estadistica para Ingenieria y Ciencias*. Mexico: Pearson Educacion de Mexico.

## **ANEXOS**

## ANEXO. 1 UBICACIÓN DE CANTERAS



Figura 40. Cantera 01 Vallecito 1 - Salida Arequipa (Google Earth).



Figura 41. Cantera 02 Vallecito II - Salida Arequipa (Google Earth).



Figura 42. Cantera 03 Rinconada - Rinconada juliaca (Google Earth).



Figura 43. Cantera 04 Taparachi I - Salida Puno (Google Earth).



Figura 44. Cantera 05 Taparachi II - Salida Puno (Google Earth).

## ANEXO. 2 ENSAYOS DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



<b>PROYECTO</b>	ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA					
<b>RESPONSABLE</b>	Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez				<b>ELABORADO POR</b>	M.C.M.S.
<b>SOLICITANTE</b>	Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez				<b>FECHA</b>	26/12/2017
ENSAYO:						
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>						
NORMA ASTM - D 422						
<b>CANTERA: 01 - VALLECITO I</b>						
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Observaciones
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	
2 1/2"	63.5	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.8	241.00	2.84	2.84	97.16	
1 1/2"	38.10	291.00	3.42	6.26	93.74	
1"	25.40	890.00	10.47	16.73	83.27	
3/4"	19.05	364.00	4.28	21.01	78.99	
1/2"	12.70	951.00	11.19	32.20	67.80	
3/8"	9.53	611.00	7.19	39.39	60.61	
1/4"	6.35	1062.00	12.49	51.88	48.12	
#4	4.76	312.00	3.67	55.55	44.45	
Pasa #4	-	3778.00	44.45	100.00	0.00	
#10	2.00	165.28	13.36	68.91	31.09	
#20	0.84	75.31	6.09	75.00	25.00	
#40	0.42	45.55	3.68	78.68	21.32	
#100	0.15	47.77	3.86	82.54	17.46	
#200	0.07	29.72	2.40	84.94	15.06	
BASE		186.37	15.06	100.00	0.00	
TOTAL		8500.00				

**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

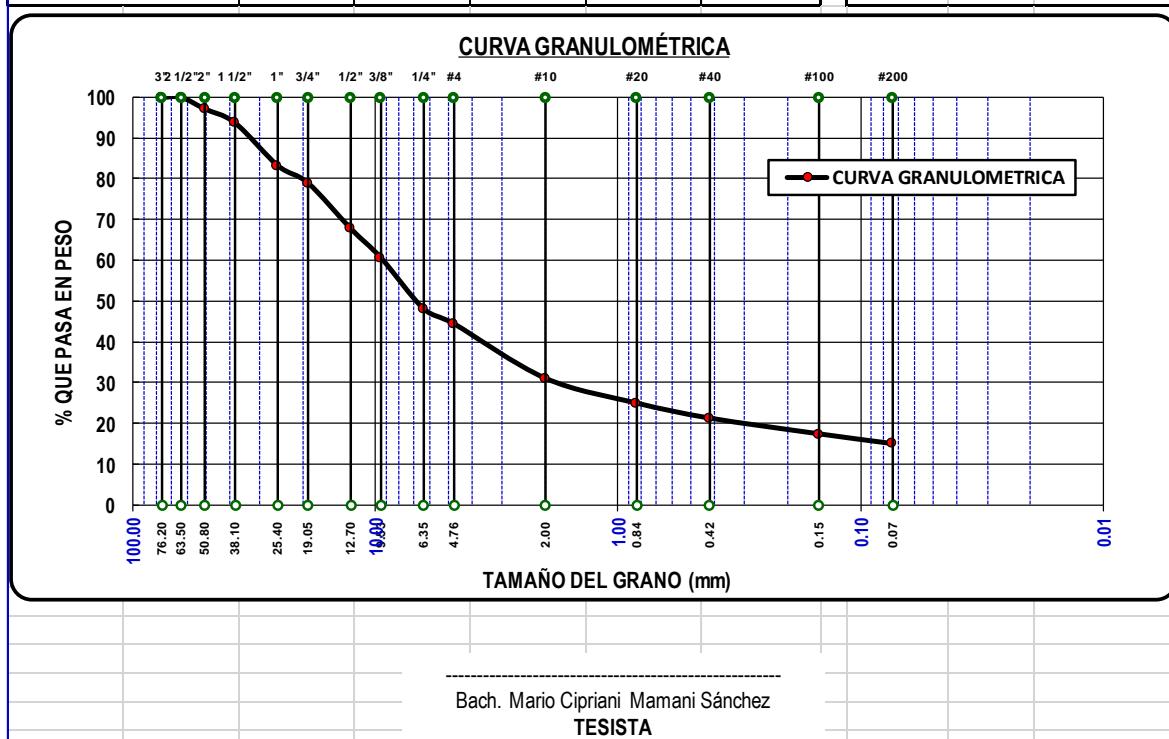
Peso Inicial : 8500.00 gr.  
Peso Lavado : 550.00 gr.  
Peso arena : 363.63 gr.  
Peso fino : 186.37 gr.

**LIMITES DE CONSISTENCIA**

Límite Líquido : 29.64%  
Límite Plástico : 15.11%  
Índice de Plasticidad : 14.53%

**CARACT. GRANULOMETRICAS**

D10= 1.79  
D30= 9.37  
D60= NP  
CU= NP  
CC= NP





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. A. P. INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**



**PROYECTO** : ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA

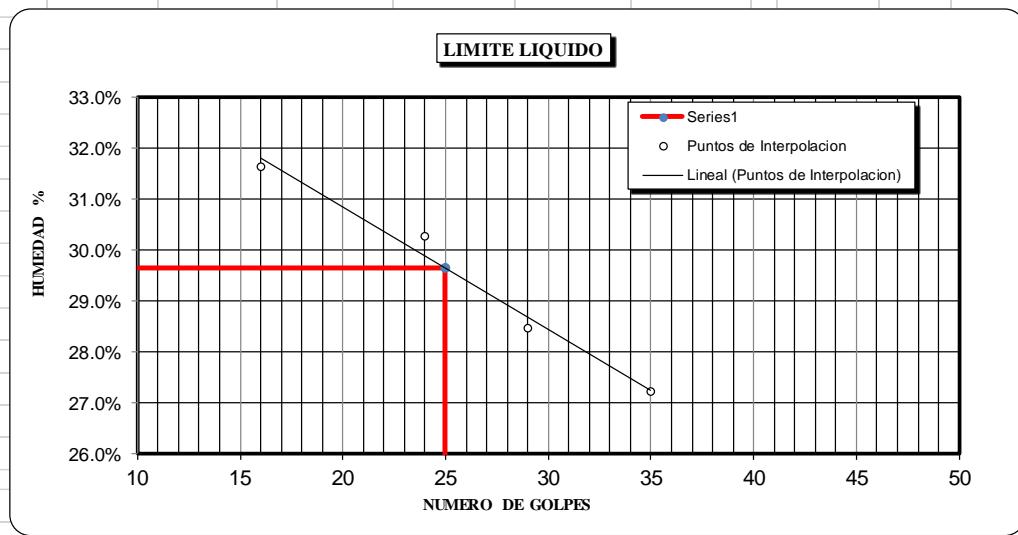
**Nº DE CALICATA** : C - 02 **ELABORADO POR** : M.C.M.S.

**RESPONSABLE** : Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez **FECHA :** 26/12/2017

**SOLICITANTE** : Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez

ENSAYO:		Nro de Estrato	E-01
		Nro de Muestra	M-01
		Prof. de la Muestra	1.00 m
		Clasificación SUCS	GW GC Grava arcillosa con arena
	CANTERA: 01 - VALLECITO I	Clasificación AASHTO	A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
Nro de ensayo	01	02	03	04	01	02
Numero de Capsula	T-010	T-012	T-026	T-035	T-035	TT-026
Peso de Capsula + Suelo Humedo (gr)	26.87	34.32	26.30	27.57	10.66	10.87
Peso de Capsula + Suelo Seco (gr)	24.56	31.75	24.08	25.24	10.29	10.46
Peso del Agua (gr)	2.31	2.57	2.22	2.33	0.37	0.41
Peso de Capsula (gr)	17.26	23.26	16.28	16.68	7.81	7.78
Peso de Suelo Seco (gr)	7.30	8.49	7.80	8.56	2.48	2.68
Contenido de Humedad (%)	31.64%	30.27%	28.46%	27.22%	14.92%	15.30%
Numero de Golpes	16	24	29	35	15.11%	



Limite Liquido : 29.64%      Limite Plastico : 15.11%      Indice de Plasticidad : 14.53%

Bach. Mario Cipriani Mamani Sánchez  
**TESISTA**



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE SUELOS**

PROYECTO	:ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA		
RESPONSABLE	: Ing. Herson Duberly Pari Cusi	ELABORADO POR	: M.C.M.S.
SOLICITANTE	: Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez	FECHA:	26/12/2017

ENSAYO:	Nro de Estrato	: E-01
<b>PROCTOR MODIFICADO</b>	Nro de Muestra	: M-01
NORMA ASTM - D 1557	Prof. de la Muestra	: 1.00 m
CANTERA: 01 - VALLECITO I	Clasificación SUCS	: GW GC Grava arcillosa con arena
	Clasificación AASHTO	: A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE DENSIDAD			
Volumen del molde	cm3	2128.78	2128.78	2128.78	2128.78
Diametro de molde	cm	15.24	15.24	15.24	15.24
Altura de molde	cm	11.67	11.67	11.67	11.67
Peso del suelo húmedo + molde	gr	10609	10807	10822	10729
Peso del molde	gr	5978	5978	5978	5978
Peso del suelo húmedo	gr	4631	4829	4844	4751
Densidad de suelo húmedo	gr/cm3	2.18	2.27	2.28	2.23

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE HUMEDAD			
Capsula Nº	gr	T-001	T-002	T-003	T-004
Suelo Húmedo + capsula	gr	5710	5961.00	5876.00	5865.00
Peso de suelo seco + capsula	gr	5460	5614.00	5457.00	5372.00
Peso del agua	gr	250.00	347.00	419.00	493.00
Peso de capsula	gr	1079	1132.00	1040.00	1131.00
Peso del suelo seco	gr	4381.00	4482.00	4417.00	4241.00
% de humedad	%	5.71%	7.74%	9.49%	11.62%
Promedio de humedad	%	5.71%	7.74%	9.49%	11.62%
Densidad del suelo seco	gr/cm3	2.06	2.11	2.08	2.00

**RELACION HUMEDAD-DENSIDAD SECA**



MAXIMA DENSIDAD SECA: 2.105 gr/cm3  
HUMEDAD OPTIMA: 7.74%



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. A. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE SUELOS**



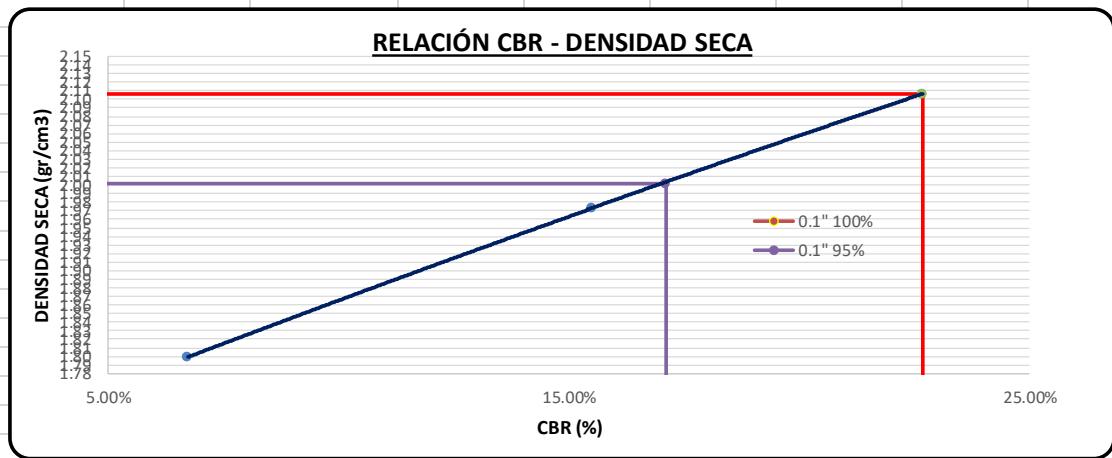
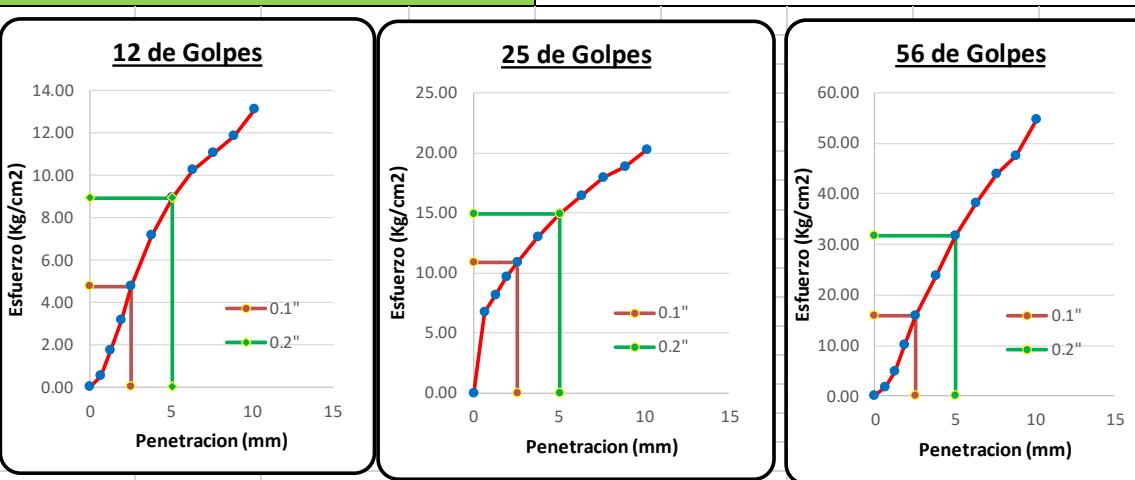
<b>PROYECTO</b>	:ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA											
<b>RESPONSABLE</b>	: Ing. Herson Duberly Pari Cusi				<b>ELABORADO POR</b>	: M.C.M.S.						
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez				<b>FECHA:</b>	26/12/2017						
ENSAZO:	<b>CBR</b> NORMA ASTM - D3080-98 <b>CANTERA: 01 - VALLECITO I</b>				<b>Nro de Muestra</b>	: M-01						
					<b>Area del Piston</b>	:19.35 cm <sup>2</sup>						
					<b>Expansion Maxima</b>	:0.109						
<b>DESCRIPCIÓN</b>												
<b>CONTROL DE DENSIDAD</b>												
Nº de ensayo	1		2		3							
Numero de golpes por capa	12		25		56							
Nro de Molde	M-005		M-002		M-008							
Peso de Molde (gr)	7594		8419		7520							
Volumen de Molde (cm <sup>3</sup> )	2118.59		2119.56		2116.78							
Condicion de la muestra	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado						
Peso del material + Molde (gr)	11705	11890	12924	11693	12324	12619						
Peso del material (gr)	4111	4296	4505	3274	4804	5099						
Peso volumetrico humedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1.94	2.03	2.13	1.54	2.27	2.41						
<b>DESCRIPCIÓN</b>												
<b>CONTROL DE HUMEDAD</b>												
Nro de Tara	T-007	T-028	T-028	T-024	T-030	T-018						
Peso de Tara (gr)	18.48	16.26	20.48	16.44	16.11	16.52						
Peso de Tara + Suelo Humedo (gr)	61.72	63.5	73.14	76.5	65.36	59.6						
Peso de Tara + Suelo seco(gr)	58.65	59.98	69.36	72.2	61.85	56.48						
Peso del agua(gr)	3.07	3.52	3.78	4.3	3.51	3.12						
Peso del suelo seco (gr)	40.17	43.72	48.88	55.76	45.74	39.96						
Contenido de humedad (%)	7.64%	8.05%	7.73%	7.71%	7.67%	7.81%						
Contenido de humedad Promedio(%)	7.85%		7.72%		7.74%							
Peso Volumetrico Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1.80		1.97		2.11							
<b>DESCRIPCIÓN</b>												
<b>CONTROL DE LA EXPANSIÓN</b>												
Altura de la muestra												
Fecha	Hora	Tiempo	Lectura ("")	Expansion (%)	Lectura ("")	Expansion (%)						
21-Mar	5:00 p. m.		0.0429	0.0000	0.6730	0.0000						
25-Mar	5:00 p. m.	4 Dias	0.0431	0.0044	0.6750	0.0436						
<b>DESCRIPCIÓN</b>												
<b>CONTROL DE LA PENETRACIÓN</b>												
Penetracion (mm)	Tiempo(min)	Carga Estática	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )						
0	00:00		0.00	0.00	0.00	0.00						
0.64	00:30		10.50	0.54	131.00	6.74						
1.27	01:00		34.00	1.75	159.00	8.18						
1.91	01:30		61.50	3.16	187.00	9.62						
2.54	02:00		92.00	4.73	212.00	10.90						
3.81	03:00		139.00	7.15	253.00	13.01						
5.08	04:00		174.00	8.95	290.50	14.94						
6.35	05:00		199.00	10.23	319.00	16.41						
7.62	06:00		215.00	11.06	349.00	17.95						
8.89	07:00		230.00	11.83	366.00	18.82						
10.16	08:00		255.00	13.11	394.00	20.26						



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. A. P. INGENIERIA CIVIL  
**LABORATORIO DE SUELOS**



<b>PROYECTO</b>	:ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA		
<b>RESPONSABLE</b>	Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez	<b>ELABORADO POR</b>	M.C.M.S.
<b>SOLICITANTE</b>	Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez	<b>FECHA:</b>	26/12/2017
<b>ENSAYO:</b>		<b>Muestra</b>	:Base Granular
	<b>CBR</b> NORMA ASTM - D3080-98	Area del Piston	.19.35 cm <sup>2</sup>
	CANTERA: 05 - TAPARACHI II	Expansion Maxima	0.1090



DENSIDAD SECA AL 100%:	2.11	gr/cm <sup>3</sup>	CBR 100%:	22.68%
DENSIDAD SECA AL 95%:	2.00	gr/cm <sup>3</sup>	CBR 95% :	17.10%

Bach. Mario Cipriani Mamani Sánchez  
TESISTA



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



<b>PROYECTO</b>	ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA					
<b>RESPONSABLE</b>	Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez				<b>ELABORADO POR</b>	M.C.M.S.
<b>SOLICITANTE</b>	Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez				<b>FECHA</b>	26/12/2017
ENSAYO:						
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>						Nro de Estrato : E-01
NORMA ASTM - D 422						Nro de Muestra : M-01
CANTERA: 02 - VALLECITO II						Prof. de la Muestra : 1.00 m
						Clasificación SUCS : GC Grava arcillosa con arena
						Clasificación AASHTO : A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Observaciones
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	
2 1/2"	63.5	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	338.00	4.79	4.79	95.21	
1"	25.40	765.00	10.84	15.64	84.36	
3/4"	19.05	465.00	6.59	22.23	77.77	
1/2"	12.70	739.00	10.48	32.70	67.30	
3/8"	9.53	485.00	6.88	39.58	60.42	
1/4"	6.35	593.00	8.41	47.99	52.01	
#4	4.76	367.00	5.20	53.19	46.81	
#10	2.00	900.00	12.76	65.95	34.05	
#20	0.84	447.00	6.34	72.29	27.71	
#40	0.42	247.00	3.50	75.79	24.21	
#100	0.15	516.00	7.31	83.10	16.90	
#200	0.07	167.00	2.37	85.47	14.53	
BASE		1025.00	14.53	100.00	0.00	
TOTAL		7054.00				

**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

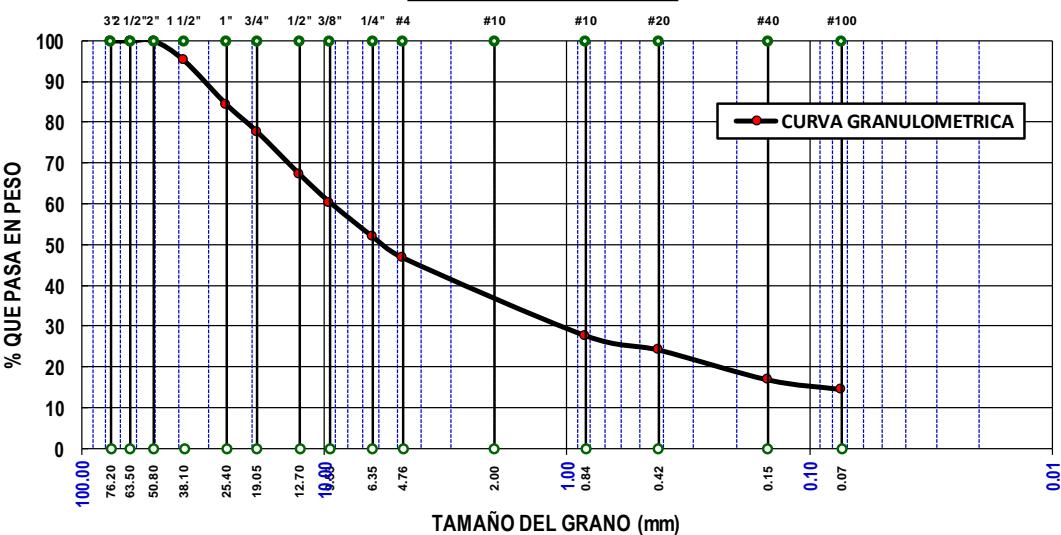
Peso Inicial : 7054.00 gr.  
Peso Lavado :  
Peso arena : 2277.00 gr.  
Peso fino : 1025.00 gr.

**LIMITES DE CONSISTENCIA**

Límite Líquido : 28.57%  
Límite Plástico : 16.07%  
Índice de Plasticidad : 12.50%

**CARACT. GRANULOMETRICAS**

D10= 1.26  
D30= 9.37  
CU= NP  
CC= NP

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

Bach. Mario Cipriani Mamani Sánchez  
TESISTA



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. A. P. INGENIERIA CIVIL  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**



**PROYECTO** : ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA

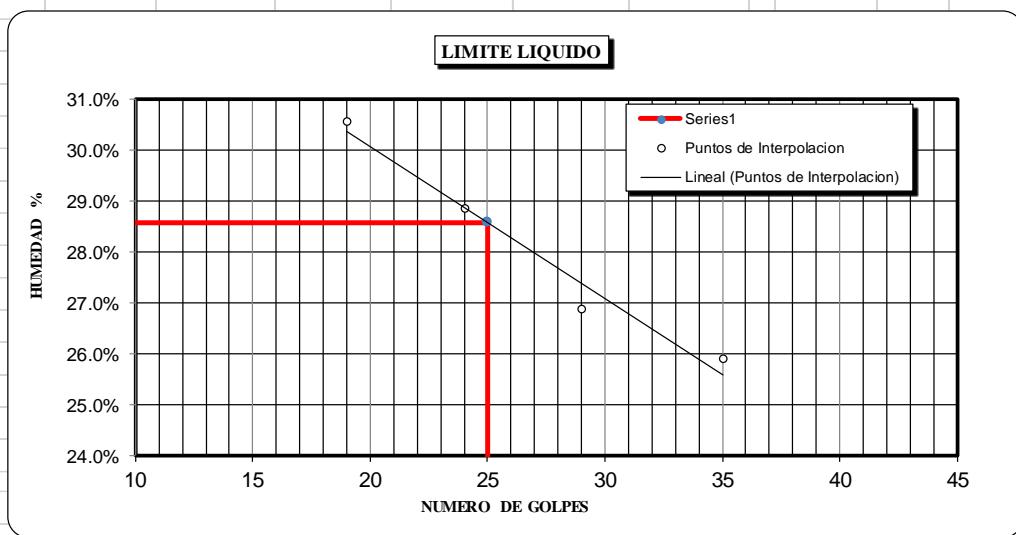
**Nº DE CALICATA** : C - 02 **ELABORADO POR** : M.C.M.S.

**RESPONSABLE** : Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez **FECHA :** 26/12/2017

**SOLICITANTE** : Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez

ENSAYO:		Nro de Estrato	E-01
		Nro de Muestra	M-01
		Prof. de la Muestra	1.00 m
		Clasificación SUCS	GC Grava arcillosa con arena
	CANTERA: 02 - VALLECITO II	Clasificación AASHTO	A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
Nro de ensayo	01	02	03	04	01	02
Numero de Capsula	TT-012	TT-006	TT-036	T-003	T-014	T-005
Peso de Capsula + Suelo Humedo (gr)	21.35	24.53	22.40	25.56	11.91	13.76
Peso de Capsula + Suelo Seco (gr)	18.22	21.50	19.32	22.47	11.35	13.27
Peso del Agua (gr)	3.13	3.03	3.08	3.09	0.56	0.49
Peso de Capsula (gr)	7.98	11.00	7.86	10.54	7.89	10.20
Peso de Suelo Seco (gr)	10.24	10.50	11.46	11.93	3.46	3.07
Contenido de Humedad (%)	30.57%	28.86%	26.88%	25.90%	16.18%	15.96%
Numero de Golpes	19	24	29	35	16.07%	



Limite Liquido : 28.57%      Limite Plastico : 16.07%      Indice de Plasticidad : 12.50%

Bach. Mario Cipriani Mamani Sánchez  
**TESISTA**



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE SUELOS**

PROYECTO	:ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA		
RESPONSABLE	: Ing. Herson Duberly Pari Cusi	ELABORADO POR	: M.C.M.S.
SOLICITANTE	: Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez	FECHA:	26/12/2017

ENSAYO:	Nro de Estrato	: E-01
<b>PROCTOR MODIFICADO</b>	Nro de Muestra	: M-01
	Prof. de la Muestra	: 1.00 m
	Clasificación SUCS	GC Grava arcillosa con arena
CANTERA: 02 - VALLECITO II	Clasificación AASHTO	A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD				
Volumen del molde	cm3	2134.38	2134.38	2134.38	2134.38
Diametro de molde	cm	15.26	15.26	15.26	15.26
Altura de molde	cm	11.67	11.67	11.67	11.67
Peso del suelo húmedo + molde	gr	10543	10770	10893	10786
Peso del molde	gr	5916	5916	5916	5916
Peso del suelo húmedo	gr	4577	4784	4892	4830
Densidad de suelo húmedo	gr/cm3	2.14	2.24	2.29	2.26

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE HUMEDAD				
Capsula Nº	gr	T-025	T-012	T-017	T-036
Suelo Húmedo + capsula	gr	5116	5204.00	5168.00	5468.00
Peso de suelo seco + capsula	gr	4924	4950.00	4829.00	5041.00
Peso del agua	gr	192.00	254.00	339.00	427.00
Peso de capsula	gr	502	673.00	451.00	642.00
Peso del suelo seco	gr	4422.00	4277.00	4378.00	4399.00
% de humedad	%	4.34%	5.94%	7.74%	9.71%
Promedio de humedad	%	4.34%	5.94%	7.74%	9.71%
Densidad del suelo seco	gr/cm3	2.06	2.12	2.13	2.06

**RELACION HUMEDAD-DENSIDAD SECA**



MAXIMA DENSIDAD SECA: 2.13 gr/cm3  
HUMEDAD OPTIMA: 7.25%



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. A. P. INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS**  
**Y CONCRETO**



<b>PROYECTO</b>	ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA					
<b>RESPONSABLE</b>	Ing. Herson Duberly Pari Cusi				<b>ELABORADO POR</b>	M.C.M.S.
<b>SOLICITANTE</b>	Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez				<b>FECHA:</b>	26/12/2017
<b>ENSAYO:</b>	<b>CBR</b> NORMA ASTM - D3080-98 <b>CANTERA: 02 - VACELLITO II</b>				<b>Nro de Muestra</b>	<b>M-01</b>
					<b>Area del Piston</b>	19.35 cm <sup>2</sup>
					<b>Expansion Maxima</b>	0.087
<b>DESCRIPCIÓN</b>			<b>CONTROL DE DENSIDAD</b>			
Nº de ensayo	1		2		3	
Numero de golpes por capa	12		25		56	
Nro de Molde	CBR-01		CBR-02		CBR-04	
Peso de Molde (gr)	7905		7771		7277	
Volumen de Molde (cm <sup>3</sup> )	2120.41		2123.20		2116.78	
Condicion de la muestra	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado
Peso del material + Molde (gr)	12390	12584	12445	12576	12213	12300
Peso del material (gr)	4485	4679	4674	4805	4936	5023
Peso volumetrico humedo (gr/cm <sup>3</sup> )	2.12	2.21	2.20	2.26	2.33	2.37
<b>DESCRIPCIÓN</b>			<b>CONTROL DE HUMEDAD</b>			
Nro de Tara	T-003	T-015	T-002	T-024	T-021	T-009
Peso de Tara (gr)	16.41	15.99	26.61	16.46	24.23	16.72
Peso de Tara + Suelo Humedo (gr)	54.89	57.23	70.13	73.18	88.67	60.03
Peso de Tara + Suelo seco(gr)	52.05	54.56	66.74	69.37	84.21	57.1
Peso del agua(gr)	2.84	2.67	3.39	3.81	4.46	2.93
Peso del suelo seco (gr)	35.64	38.57	40.13	52.91	59.98	40.38
Contenido de humedad (%)	7.97%	6.92%	8.45%	7.20%	7.44%	7.26%
Contenido de humedad Promedio(%)	7.45%		7.82%		7.35%	
Peso Volumetrico Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1.97		2.04		2.17	
<b>DESCRIPCIÓN</b>			<b>CONTROL DE LA EXPANSIÓN</b>			
Altura de la muestra						
Fecha	Hora	Tiempo	Lectura ("")	Expansion (%)	Lectura ("")	Expansion (%)
21-Mar	5:00 p. m.		0.0253	0.0000	0.0505	0.0000
25-Mar	5:00 p. m.	4 Dias	0.0265	0.0261	0.0522	0.0370
<b>DESCRIPCIÓN</b>			<b>CONTROL DE LA PENETRACIÓN</b>			
Penetracion (mm)	Tiempo(min)	Carga Estática	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	00:00		0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	00:30		38.00	1.95	78.00	4.01
1.27	01:00		88.00	4.53	131.00	6.74
1.91	01:30		125.00	6.43	189.00	9.72
2.54	02:00		160.00	8.23	224.50	11.55
3.81	03:00		221.00	11.37	308.00	15.84
5.08	04:00		265.00	13.63	378.00	19.44
6.35	05:00		300.00	15.43	432.00	22.22
7.62	06:00		330.00	16.97	484.50	24.92
8.89	07:00		357.00	18.36	540.00	27.77
10.16	08:00		386.00	19.85	593.00	30.50

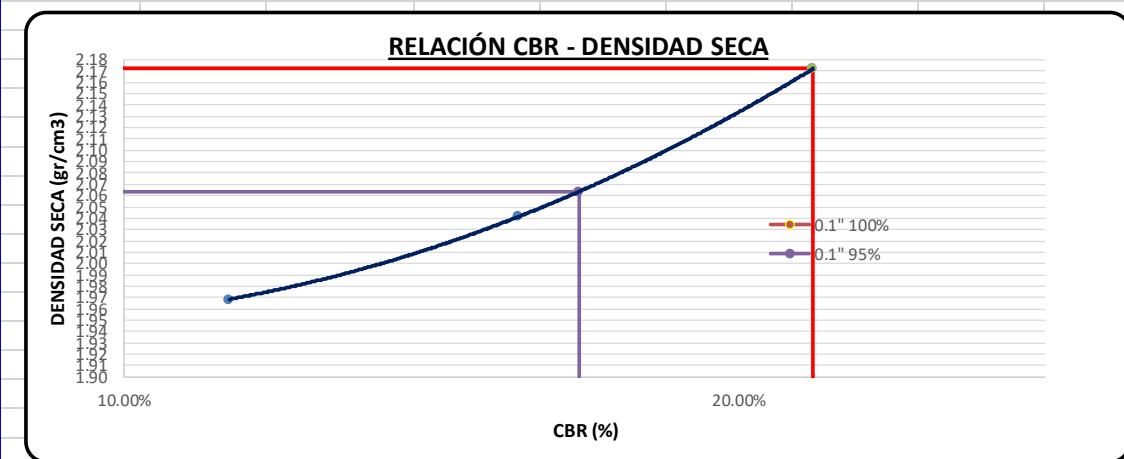
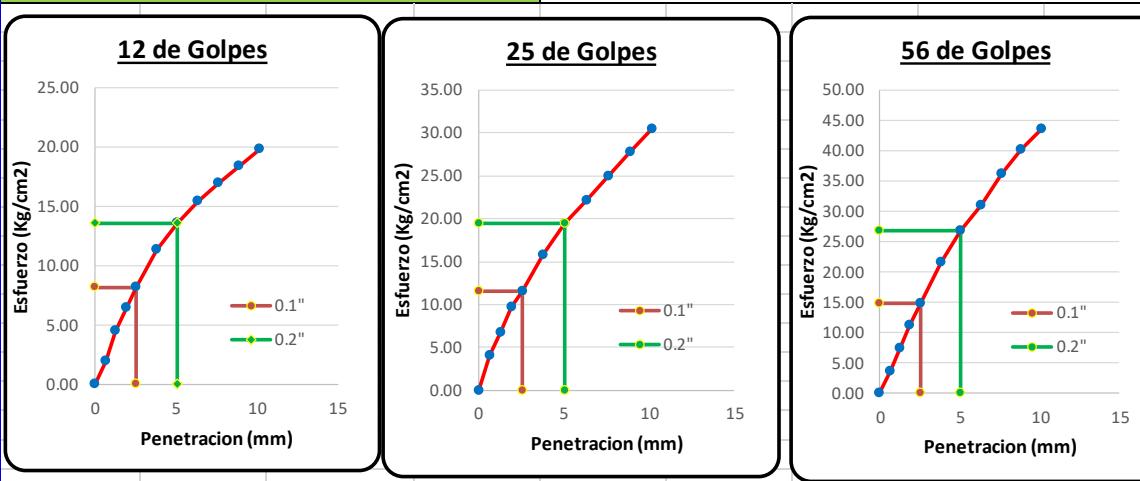


UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. A. P. INGENIERIA CIVIL  
**LABORATORIO DE SUELOS**



<b>PROYECTO</b>	:ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA
<b>RESPONSABLE</b>	: Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez

ENSAYO:	Muestra	:Base Granular
<b>CBR</b> NORMA ASTM - D3080-98	Area del Piston	: 19.35 cm <sup>2</sup>
CANTERA: 02 - VALLECITO II	Expansion Maxima	0.0872



DENSIDAD SECA AL 100%: 2.17 gr/cm<sup>3</sup> CBR 100%: 21.22%  
DENSIDAD SECA AL 95%: 2.06 gr/cm<sup>3</sup> CBR 95%: 17.40%

Bach. Mario Cipriani Mamani Sánchez  
TESISTA



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



<b>PROYECTO</b>	ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA					
<b>RESPONSABLE</b>	Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez				<b>ELABORADO POR</b>	M.C.M.S.
<b>SOLICITANTE</b>	Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez				<b>FECHA</b>	26/12/2017
ENSAZO:						
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>						Nro de Estrato : E-01
NORMA ASTM - D 422						Nro de Muestra : M-01
CANTERA: 03 - RINCONADA						Prof. de la Muestra : 1.00 m
						Clasificación SUCS : GW GC Grava mal gradada con arcilla y arena
						Clasificación AASHTO : A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Observaciones
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	
2 1/2"	63.5	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	271.00	3.39	3.39	96.61	
1"	25.40	642.00	8.03	11.41	88.59	
3/4"	19.05	312.00	3.90	15.31	84.69	
1/2"	12.70	631.00	7.89	23.20	76.80	
3/8"	9.53	686.00	8.58	31.78	68.23	
1/4"	6.35	1253.00	15.66	47.44	52.56	
#4	4.76	1023.00	12.79	60.23	39.78	
Pasa #4	-	3182.00	39.78	100.00	0.00	
#10	2.00	220.88	14.64	74.87	25.13	
#20	0.84	146.89	9.74	84.61	15.39	
#40	0.42	58.94	3.91	88.51	11.49	
#100	0.15	40.03	2.65	91.17	8.83	
#200	0.07	13.14	0.87	92.04	7.96	
BASE		120.12	7.96	100.00	0.00	
TOTAL		8600.00				

**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

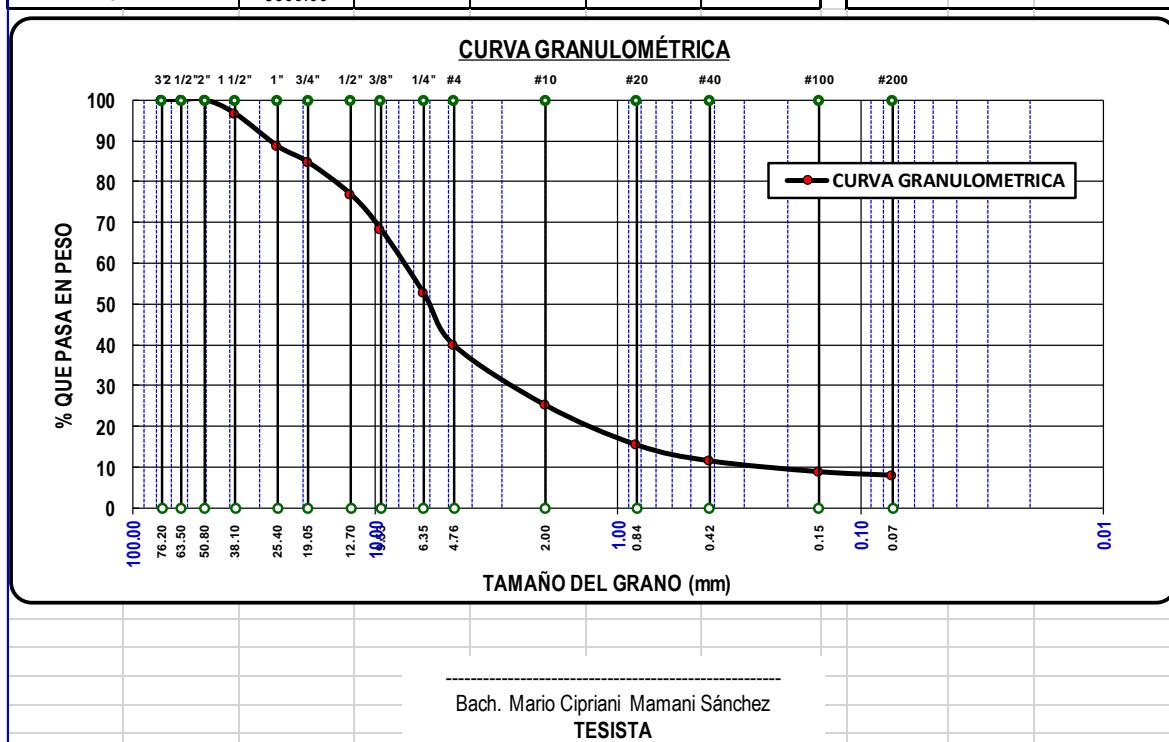
Peso Inicial : 8000.00 gr.  
Peso Lavado : 600.00 gr.  
Peso arena : 479.88 gr.  
Peso fino : 120.12 gr.

**LIMITES DE CONSISTENCIA**

Límite Líquido : 42.15%  
Límite Plástico : 14.67%  
Índice de Plasticidad : 27.47%

**CARACT. GRANULOMETRICAS**

D10= 0.27  
D30= 2.92  
D60= 7.86  
CU= 29.31  
CC= 4.04





UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. A. P. INGENIERIA CIVIL  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**



**PROYECTO** : ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA

**Nº DE CALICATA** : C - 01      **ELABORADO POR** : M.C.M.S.

**RESPONSABLE** : Ing. Herson Duberly Pari Cusi      **FECHA :** 26/12/2017

**SOLICITANTE** : Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez

ENSAZO:

### LIMITES DE CONSISTENCIA

NORMA ASTM - D 422

CANTERA: 03 - RINCONADA

Nro de Estrato : E-01

Nro de Muestra : M-01

Prof. de la Muestra : 1.00 m

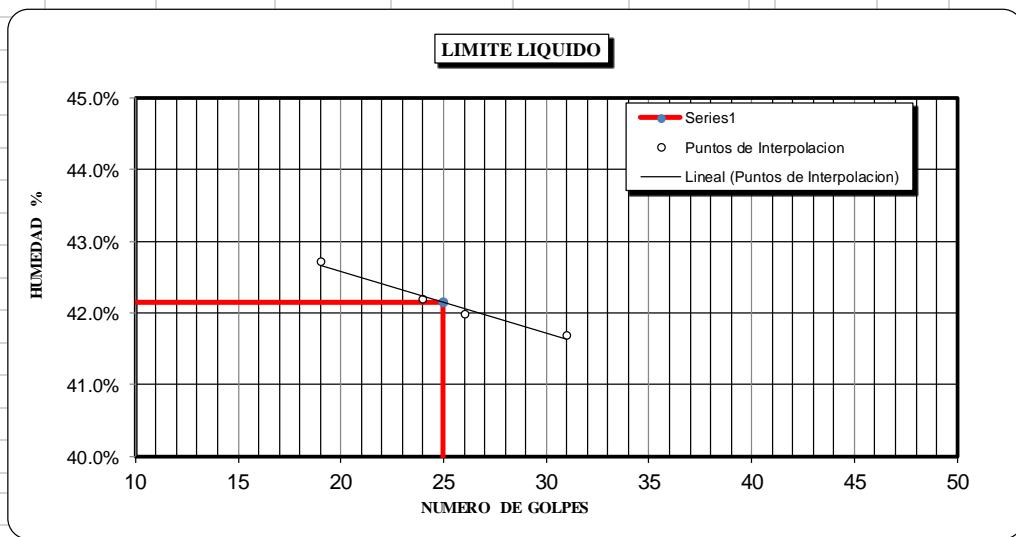
Clasificación SUCS : GP GC

arena

Clasificación AASHTO : A-2-7

Grava y arena arcillosa o limosa

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
	01	02	03	04	01	02
Nro de ensayo	01	02	03	04	01	02
Numero de Capsula	T-024	T-039	T-020	T-012	TT-020	TT-012
Peso de Capsula + Suelo Humedo (gr)	30.45	27.86	33.91	29.80	10.49	9.92
Peso de Capsula + Suelo Seco (gr)	26.26	24.29	30.03	27.87	10.25	9.67
Peso del Agua (gr)	4.19	3.57	3.88	1.93	0.24	0.25
Peso de Capsula (gr)	16.45	15.83	20.79	23.24	8.62	7.96
Peso de Suelo Seco (gr)	9.81	8.46	9.24	4.63	1.63	1.71
Contenido de Humedad (%)	42.71%	42.20%	41.99%	41.68%	14.72%	14.62%
Numero de Golpes	19	24	26	31		



Limite Liquido : 42.15%      Limite Plastico : 14.67%      Indice de Plasticidad : 27.47%

Bach. Mario Cipriani Mamani Sánchez  
TESISTA



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL**



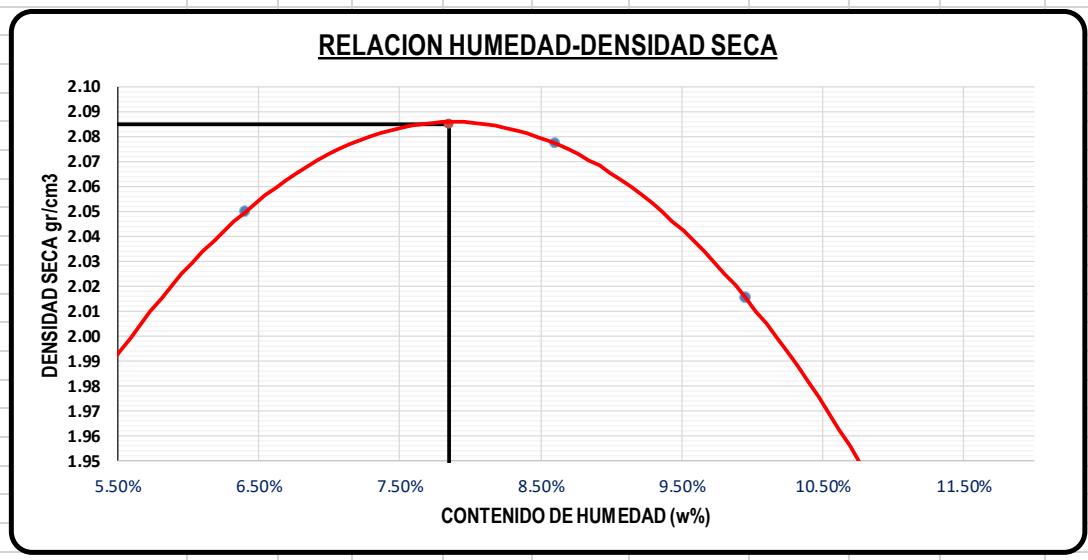
**LABORATORIO DE SUELOS**

<b>PROYECTO</b>	:ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA		
<b>RESPONSABLE</b>	: Ing. Herson Duberly Pari Cusi	<b>ELABORADO POR</b>	: M.C.M.S.
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez	<b>FECHA:</b>	26/12/2017

ENSAYO:	Nro de Estrato	: E-01
<b>PROCTOR MODIFICADO</b>		
NORMA ASTM - D 1557	Nro de Muestra	: M-01
CANTERA: 03 - RINCONADA	Prof. de la Muestra	: 1.00 m
	Clasificación SUCS	Grava mal gradada con arcilla y arena
	Clasificación AASHTO	A-2-7 Grava y arena arcillosa o limosa

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE DENSIDAD				
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2134.38	2134.38	2134.38	2134.38	2134.38
Diametro de molde	cm	15.26	15.26	15.26	15.26	15.26
Altura de molde	cm	11.67	11.67	11.67	11.67	11.67
Peso del suelo húmedo + molde	gr	10531	10692	10596	10630	
Peso del molde	gr	5916	5916	5916	5916	5916
Peso del suelo húmedo	gr	4655	4815	4730	4714	
Densidad de suelo húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.18	2.26	2.22	2.21	

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE HUMEDAD							
Capsula Nº	gr	T-025	T-010	T-012	T-035	T-017	T-027	T-036	T-030
Suelo Húmedo + capsula	gr	65.83	64.79	87.77	75.48	80.63	76.22	85.00	91.00
Peso de suelo seco + capsula	gr	62.34	61.5	82.34	70.58	74.11	70.22	78.14	83.30
Peso del agua	gr	3.49	3.29	5.43	4.90	6.52	6.00	6.86	7.70
Peso de capsula	gr	16.35	17.27	23.28	16.67	16.32	16.71	17.00	16.00
Peso del suelo seco	gr	46.49	44.73	59.56	53.91	57.79	53.51	61.14	67.30
% de humedad	%	7.51%	7.36%	9.12%	9.09%	11.28%	11.21%	11.22%	11.44%
Promedio de humedad	%	6.40%		8.60%		9.95%			
Densidad del suelo seco	gr/cm <sup>3</sup>	2.05		2.08		2.02			



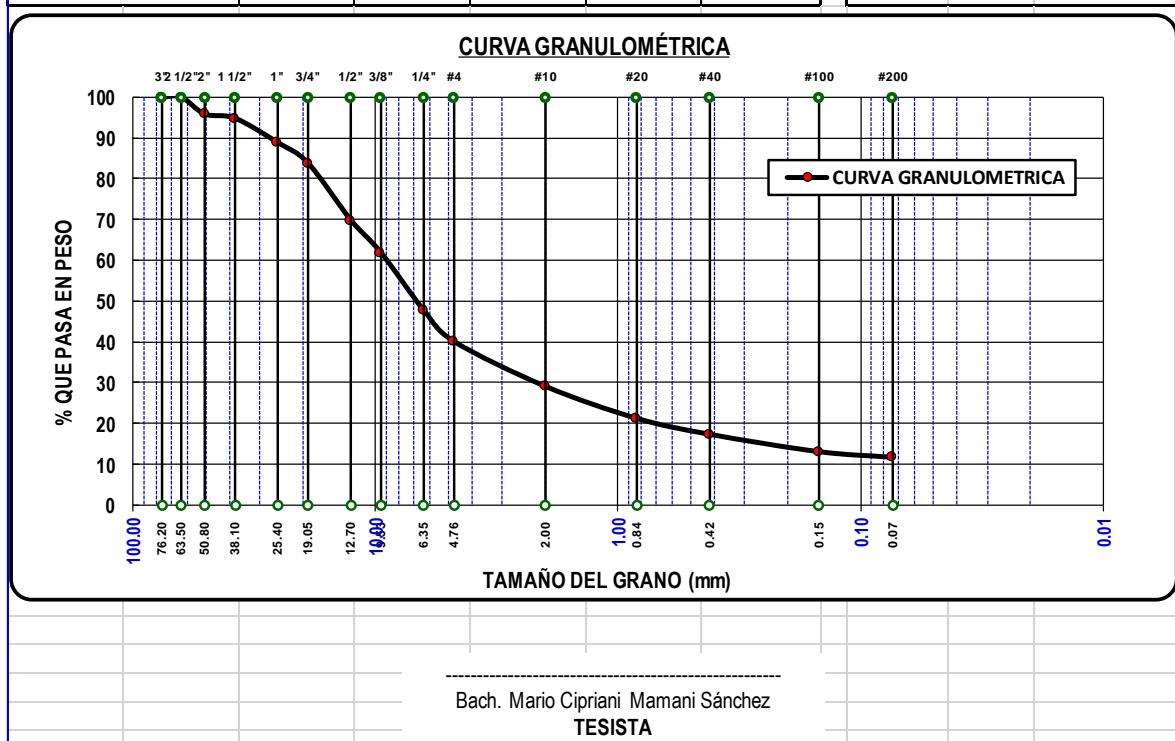
**MAXIMA DENSIDAD SECA: 2.09 gr/cm<sup>3</sup>  
HUMEDAD OPTIMA: 7.85%**



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



<b>PROYECTO</b>	ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA					
<b>RESPONSABLE</b>	Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez				<b>ELABORADO POR</b>	M.C.M.S.
<b>SOLICITANTE</b>	Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez				<b>FECHA</b>	26/12/2017
ENSAYO:						
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>						Nro de Estrato : E-01
NORMA ASTM - D 422						Nro de Muestra : M-01
CANTERA: 04 - TAPARACHII						Prof. de la Muestra : 1.00 m
						Clasificación SUCS : GW GC Grava bien gradada con arcilla y
						Clasificación AASHTO : A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Observaciones
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	
2 1/2"	63.5	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.8	312.00	4.16	4.16	95.84	
1 1/2"	38.10	77.00	1.03	5.19	94.81	
1"	25.40	447.00	5.96	11.15	88.85	
3/4"	19.05	378.00	5.04	16.19	83.81	
1/2"	12.70	1045.00	13.93	30.12	69.88	
3/8"	9.53	602.00	8.03	38.15	61.85	
1/4"	6.35	1060.00	14.13	52.28	47.72	
#4	4.76	574.00	7.65	59.93	40.07	
Pasa #4	-	3005.00	40.07	100.00	0.00	
#10	2.00	164.50	10.98	70.92	29.08	
#20	0.84	117.59	7.85	78.77	21.23	
#40	0.42	58.52	3.91	82.68	17.32	
#100	0.15	63.70	4.25	86.93	13.07	
#200	0.07	20.68	1.38	88.31	11.69	
BASE		175.01	11.69	100.00	0.00	
TOTAL		8100.00				





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. A. P. INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**



**PROYECTO** : ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA

**Nº DE CALICATA** : C - 02 **ELABORADO POR** : M.C.M.S.

**RESPONSABLE** : Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez **FECHA :** 26/12/2017

**SOLICITANTE** : Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez

ENSAYO:

Nro de Estrato

E-01

Nro de Muestra

M-01

Prof. de la Muestra

1.00 m

Clasificación SUCS

GW GC

Grava bien gradada con arcilla y arena

Clasificación AASHTO

A-2-6

Grava y arena arcillosa o limosa

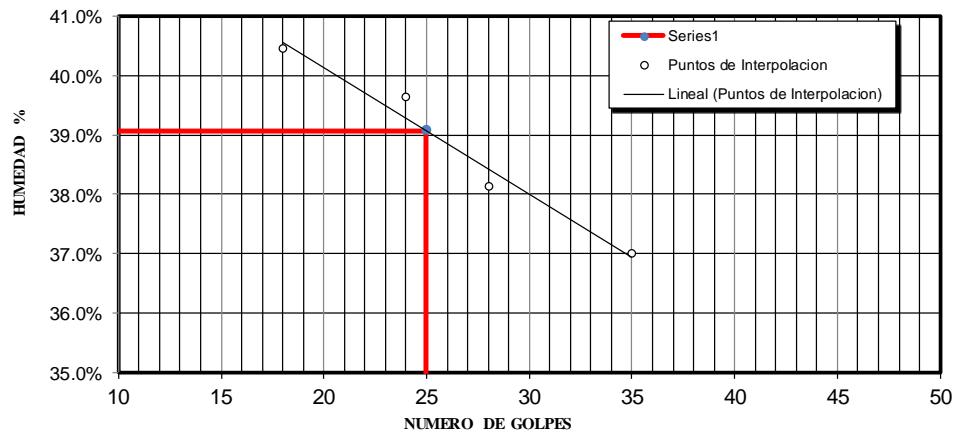
### LIMITES DE CONSISTENCIA

NORMA ASTM - D 422

CANTERA: 04 - TAPARACHII

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
	01	02	03	04	01	02
Nro de ensayo	01	02	03	04	01	02
Numero de Capsula	T-025	T-014	T-032	T-038	TT-004	TT-025
Peso de Capsula + Suelo Humedo (gr)	27.52	27.56	27.56	25.22	9.52	9.81
Peso de Capsula + Suelo Seco (gr)	24.30	24.46	24.46	22.80	9.23	9.50
Peso del Agua (gr)	3.22	3.10	3.10	2.42	0.29	0.31
Peso de Capsula (gr)	16.34	16.64	16.33	16.26	7.89	8.05
Peso de Suelo Seco (gr)	7.96	7.82	8.13	6.54	1.34	1.45
Contenido de Humedad (%)	40.45%	39.64%	38.13%	37.00%	21.64%	21.38%
Numero de Golpes	18	24	28	35	21.51%	

**LIMITE LIQUIDO**



Limite Liquido : 39.07%

Limite Plastico : 21.51%

Indice de Plasticidad : 17.56%

Bach. Mario Cipriani Mamani Sánchez  
**TESISTA**



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL**



**LABORATORIO DE SUELOS**

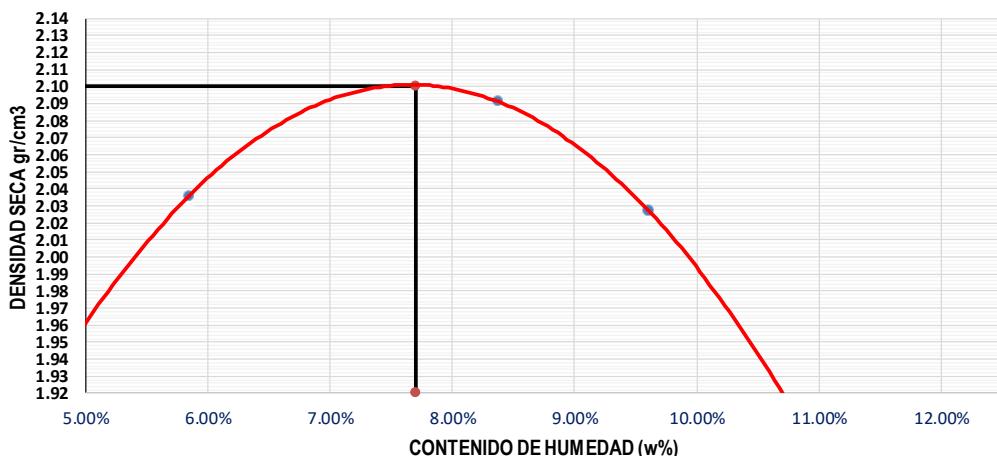
<b>PROYECTO</b>	:ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA		
<b>RESPONSABLE</b>	: Ing. Herson Duberly Pari Cusi	<b>ELABORADO POR</b>	: M.C.M.S.
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez	<b>FECHA:</b>	26/12/2017

ENSAYO:	Nro de Estrato	: E-01
<b>PROCTOR MODIFICADO</b>		Nro de Muestra : M-01
NORMA ASTM - D 1557		Prof. de la Muestra : 1.00 m
CANTERA: 04 - TAPARACHII		Clasificación SUCS GW GC Grava bien gradada con arcilla y arena
		Clasificación AASHTO A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE DENSIDAD					
Volumen del molde	cm3	2134.38	2134.38	2134.38	2134.38	2134.38	2134.38
Diametro de molde	cm	15.26	15.26	15.26	15.26	15.26	15.26
Altura de molde	cm	11.67	11.67	11.67	11.67	11.67	11.67
Peso del suelo húmedo + molde	gr	10471	10753	10658	10647	10647	10647
Peso del molde	gr	5916	5916	5916	5916	5916	5916
Peso del suelo húmedo	gr	4600	4837	4742	4731	4731	4731
Densidad de suelo húmedo	gr/cm3	2.16	2.27	2.22	2.22	2.22	2.22

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE HUMEDAD							
Capsula Nº	gr	T-011	T-001	T-022	T-004	T-006	T-020	T-033	T-013
Suelo Húmedo + capsula	gr	83.5	84.94	61.98	57.44	89.12	79.91	88.09	87.32
Peso de suelo seco + capsula	gr	80.1	81.6	58.48	54.23	83.42	74.66	80.06	79.20
Peso del agua	gr	3.40	3.34	3.50	3.21	5.70	5.25	8.03	8.12
Peso de capsula	gr	22.41	24.02	16.14	16.38	23.18	20.82	16.94	16.04
Peso del suelo seco	gr	57.69	57.58	42.34	37.85	60.24	53.84	63.12	63.16
% de humedad	%	5.89%	5.80%	8.27%	8.48%	9.46%	9.75%	12.72%	12.86%
Promedio de humedad	%	5.85%		8.37%		9.61%			
Densidad del suelo seco	gr/cm3	2.04		2.09		2.03			

**RELACION HUMEDAD-DENSIDAD SECA**



**MAXIMA DENSIDAD SECA: 2.100 gr/cm3  
HUMEDAD OPTIMA: 7.70%**



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



<b>PROYECTO</b>	ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA					
<b>RESPONSABLE</b>	Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez				<b>ELABORADO POR</b>	M.C.M.S.
<b>SOLICITANTE</b>	Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez				<b>FECHA</b>	26/12/2017
ENSAZO:					Nro de Estrato	E-01
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>				Nro de Muestra	M-01	
NORMA ASTM - D 422				Prof. de la Muestra	1.00 m	
CANTERA: 05 - TAPARACHI II				Clasificación SUCS	GW GC	Grava bien gradada con arcilla y
				Clasificación AASHTO	A-2-6	Grava y arena arcillosa o limosa
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Observacione s
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	
2 1/2"	63.5	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.8	182.00	2.43	2.43	97.57	
1 1/2"	38.10	98.00	1.31	3.73	96.27	
1"	25.40	634.00	8.45	12.19	87.81	
3/4"	19.05	730.00	9.73	21.92	78.08	
1/2"	12.70	1250.00	16.67	38.59	61.41	
3/8"	9.53	654.00	8.72	47.31	52.69	
1/4"	6.35	1148.00	15.31	62.61	37.39	
#4	4.76	609.00	8.12	70.73	29.27	
Pasa #4	-	2195.00	29.27	100.00	0.00	
#10	2.00	240.42	11.73	82.46	17.54	
#20	0.84	146.48	7.14	89.61	10.39	
#40	0.42	51.81	2.53	92.13	7.87	
#100	0.15	37.12	1.81	93.94	6.06	
#200	0.07	14.67	0.72	94.66	5.34	
BASE		109.50	5.34	100.00	0.00	
TOTAL		8100.00				

**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

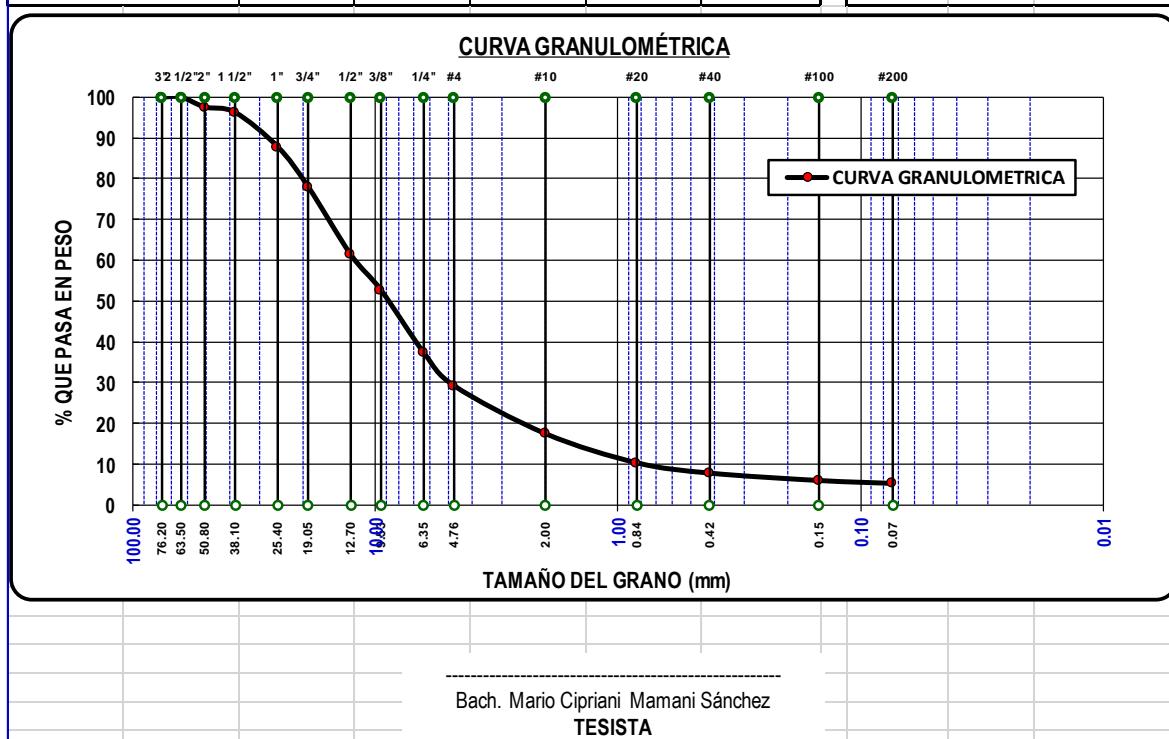
Peso Inicial : 7500.00 gr.  
Peso Lavado : 600.00 gr.  
Peso arena : 490.50 gr.  
Peso fino : 109.50 gr.

**LIMITES DE CONSISTENCIA**

Límite Líquido : 37.22%  
Límite Plástico : 15.65%  
Índice de Plasticidad : 21.56%

**CARACT. GRANULOMETRICAS**

D10= 0.77  
D30= 4.90  
D60= 12.19  
CU= 15.73  
CC= 2.55





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. A. P. INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**



**PROYECTO** : ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA

**Nº DE CALICATA** : C - 02 **ELABORADO POR** : M.C.M.S.

**RESPONSABLE** : Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez **FECHA :** 26/12/2017

**SOLICITANTE** : Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez

ENSAYO:

Nro de Estrato

E-01

Nro de Muestra

M-01

Prof. de la Muestra

1.00 m

Clasificación SUCS

GW GC

Grava bien gradada con arcilla co

CANTERA: 05 - TAPARACHI II Clasificación AASHTO

A-2-6

Grava y arena arcillosa o limosa

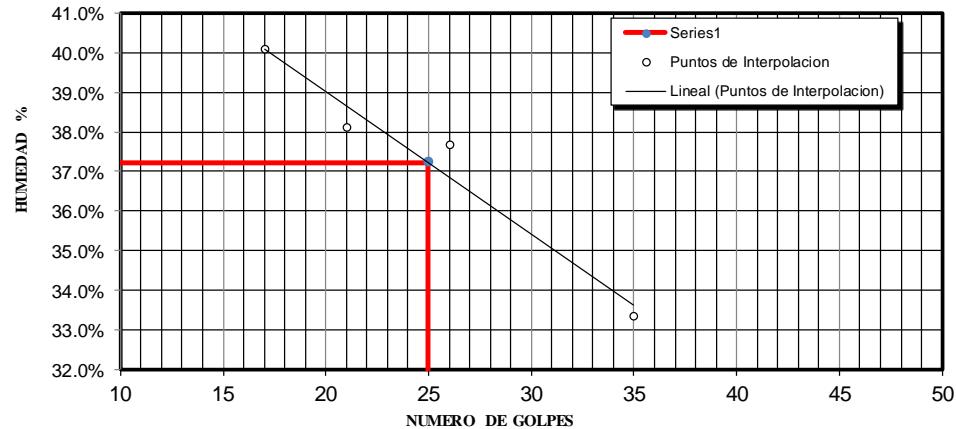
**DESCRIPCION**

**LIMITE LIQUIDO**

**LIMITE PLASTICO**

Nro de ensayo	01	02	03	04	01	02
Numero de Capsula	T-010	T-027	T-004	T-017	TT-014	TT-010
Peso de Capsula + Suelo Humedo (gr)	28.07	27.92	26.58	24.98	9.29	11.15
Peso de Capsula + Suelo Seco (gr)	24.97	24.81	23.78	22.79	9.10	10.88
Peso del Agua (gr)	3.10	3.11	2.80	2.19	0.19	0.27
Peso de Capsula (gr)	17.24	16.65	16.35	16.22	7.89	9.15
Peso de Suelo Seco (gr)	7.73	8.16	7.43	6.57	1.21	1.73
Contenido de Humedad (%)	40.10%	38.11%	37.69%	33.33%	15.70%	15.61%
Numero de Golpes	17	21	26	35	15.65%	

**LIMITE LIQUIDO**



Limite Liquido : 37.22%

Limite Plastico : 15.65%

Indice de Plasticidad : 21.56%

Bach. Mario Cipriani Mamani Sánchez  
**TESISTA**



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE SUELOS**

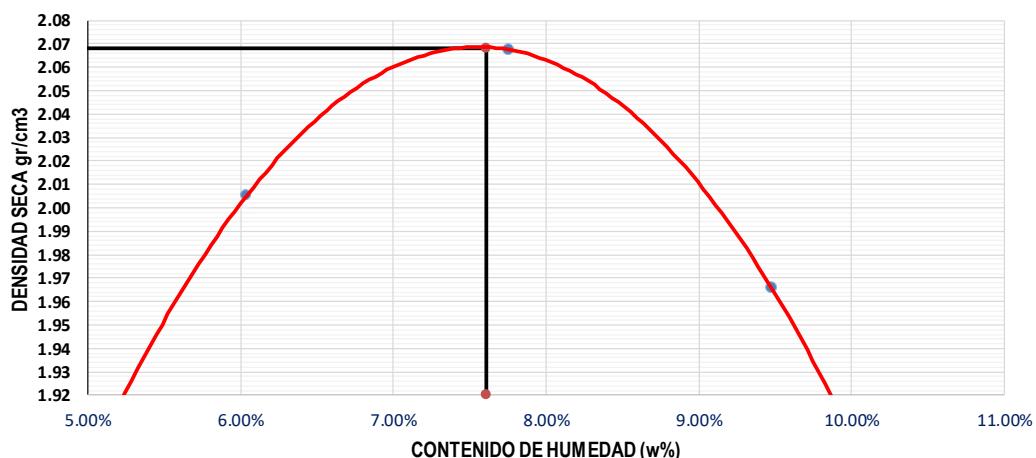
PROYECTO	:ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR EN SUELOS GRANULARES A PARTIR DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LA CIUDAD DE JULIACA		
RESPONSABLE	: Ing. Herson Duberly Pari Cusi	ELABORADO POR	: M.C.M.S.
SOLICITANTE	: Bach. Mario Cipriani Mamani Sanchez	FECHA:	26/12/2017

ENSAYO:	Nro de Estrato	: E-01
<b>PROCTOR MODIFICADO</b>	Nro de Muestra	: M-01
NORMA ASTM - D 1557	Prof. de la Muestra	: 1.00 m
CANTERA: 05 - TAPARACHI II	Clasificación SUCS	: GW GC Grava bien gradada con arcilla con bloques
	Clasificación AASHTO	: A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE DENSIDAD				
Volumen del molde	cm3	2134.38	2134.38	2134.38	2134.38	2134.38
Diametro de molde	cm	15.26	15.26	15.26	15.26	15.26
Altura de molde	cm	11.67	11.67	11.67	11.67	11.67
Peso del suelo húmedo + molde	gr	10323	10540	10510	10614	
Peso del molde	gr	5916	5916	5916	5916	5916
Peso del suelo húmedo	gr	4538	4755	4594	4698	
Densidad de suelo húmedo	gr/cm3	2.13	2.23	2.15	2.20	

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE HUMEDAD							
Capsula Nº	gr	T-021	T-026	T-035	T-024	T-018	T-003	T-011	T-036
Suelo Húmedo + capsula	gr	82.76	84.24	63.76	66.37	88.10	81.86	100.18	81.98
Peso de suelo seco + capsula	gr	79.4	80.53	60.34	62.81	81.90	76.20	91.09	75.19
Peso del agua	gr	3.36	3.71	3.42	3.56	6.20	5.66	9.09	6.79
Peso de capsula	gr	24.27	18.5	16.67	16.47	16.53	16.41	16.53	16.41
Peso del suelo seco	gr	55.13	62.03	43.67	46.34	65.37	59.79	74.56	58.78
% de humedad	%	6.09%	5.98%	7.83%	7.68%	9.48%	9.47%	12.19%	11.55%
Promedio de humedad	%	6.04%		7.76%		9.48%			
Densidad del suelo seco	gr/cm3	2.01		2.07		1.97			

**RELACION HUMEDAD-DENSIDAD SECA**



MAXIMA DENSIDAD SECA: 2.07 gr/cm3  
HUMEDAD OPTIMA: 7.61%

### **ANEXO. 3 NORMAS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO**

# ANALISIS GRANULOMETRICO



PERU  
Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

Viceministerio  
de Transportes

Dirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

MTC E 107

## ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

### 1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo.

### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este Modo Operativo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (Nº 200).  
2.2 Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils.

### 4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

#### 4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0,01 g para pesar material que pase el tamiz de 4,760 mm (Nº 4). Otra con sensibilidad de 0,1% del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4).

- 4.1.2 Estufa. Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de 110 ± 5 °C.

#### 4.2 MATERIALES

- 4.2.2 Tamices de malla cuadrada. Incluyen los siguientes:

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 ½"	38,100
1"	25,400
¾"	19,000
⅝"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 10	2,000
Nº 20	0,840
Nº 40	0,425
Nº 60	0,260
Nº 140	0,106
Nº 200	0,075

Se puede usar, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, dé una separación uniforme entre los puntos del gráfico; esta serie estará integrada por los siguientes tamices de malla cuadrada:

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
1 ½"	38,100
¾"	19,000
⅝"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 8	2,360
Nº 16	1,100
Nº 30	0,590
Nº 50	0,297
Nº 100	0,149
Nº 200	0,075



PERU

Ministerio  
de Transportes  
y ComunicacionesVicerrectoría  
de TransportesDirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

- 4.2.3 Envases. Adecuados para el manejo y secado de las muestras.

- 4.2.4 Cepillo y brocha. Para limpiar las mallas de los tamices.

#### 5.0 MUESTRA

- 5.1 Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado.
- 5.2 Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico (MTC E 106), la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayarán por separado.
- 5.3 El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, como se indica en el modo operativo MTC E 106, será suficiente para las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:
- 5.3.1 Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla 1:

Tabla 1

Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción (g)
9,5 (3/8")	500
19,6 (3/4")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 1/2")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

- 5.3.2 El tamaño de la porción que pasa tamiz de 4,760 mm (Nº 4) será aproximadamente de 115 g para suelos arenosos y de 65 g para suelos arcillosos y limosos.
- 5.4 En el modo operativo MTC E 106 se dan indicaciones para la pesada del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, así como para la separación del suelo sobre el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) por medio del tamizado en seco, y para el lavado y pesado de las fracciones lavadas y secadas retenidas en dicho tamiz. De estos dos pesos, los porcentajes, retenido y que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4), pueden calcularse de acuerdo con el numeral 4.1.1.

- 5.4.1 Se puede tener una comprobación de los pesos, así como de la completa pulverización de los terrenos, pesando la porción de muestra que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) y agregándole este valor al peso de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4).

#### 6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 ANÁLISIS POR MEDIO DE TAMIZADO DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN EL TAMIZ DE 4,760 mm (Nº 4).

- 6.1.1 Sepárese la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) en una serie de fracciones usando los tamices de:



TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 ½"	38,100
1"	25,400
¾"	19,000
½"	9,500
Nº 4	4,760

O los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o de las especificaciones para el material que se ensaya.

- 6.1.2 En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuando no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apresadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunirlas con lo retenido en el tamiz.

Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente, el resultado se puede verificar usando el método manual.

- 6.1.3 Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0,1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso, inicial de la muestra no debe diferir en más de 1 %.

#### 6.2 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA FRACCION FINA

- 6.2.1 El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4), se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida.

- 6.2.2 Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco.

- 6.2.3 Los materiales limo-arcillosos, cuyos terrones en estado seco no rompan con facilidad, se procesarán por la vía húmeda.

- 6.2.4 Si se requiere la curva granulométrica completa incluyendo la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0,074 mm (Nº 200), la gradación de ésta se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios. Ver Modo Operativo MTC E 109-2009.

- 6.2.5 Se puede utilizar procedimientos simplificados para la determinación del contenido de partículas menores de un cierto tamaño, según se requiera.

- 6.2.6 La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 0,074 mm (Nº 200), se analizará por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 0,074 mm (Nº 200).

- 6.2.7 Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 0,074 mm (Nº 200).

- 6.2.8 Se separan mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud de 0,01 g.

- 6.2.9 Humedad higroscópica. Se pesa una porción de 10 a 15 g de los cuarteos anteriores y se seca en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Se pesan de nuevo y se anotan los pesos.

- 6.2.10 Se coloca la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.

- 6.2.11 Se lava a continuación la muestra sobre el tamiz de 0,074 mm Nº 200), con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.



PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y ComunicacionesMinisterio  
de TransportesDirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

6.2.12 Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  y se pesa.

6.2.13 Se tamiza en seco siguiendo el procedimiento indicado en las secciones [6.1.2](#) y [6.1.3](#).

## 7.0 CALCULOS E INFORME

### 7.1 CALCULOS

7.1.1 Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº4):

7.1.1.1 Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4), dividiendo el peso que pasa dicho tamiz por el del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100. Para obtener el peso de la porción retenida en el mismo tamiz, restese del peso original, el peso del pasante por el tamiz de 4,760 mm (Nº 4).

7.1.1.2 Para comprobar el material que pasa por el tamiz de 9,52 mm (3/8"), se agrega al peso total del suelo que pasa por el tamiz de 4,760 mm (Nº4), el peso de la fracción que pasa el tamiz de 9,52 mm (3/8") y que queda retenida en el de 4,760 mm (Nº4). Para los demás tamices continúese el cálculo de la misma manera.

7.1.1.3 Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa entre el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

7.1.2 Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4):

7.1.2.1 Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm (Nº 200) de la siguiente forma:

$$\% \text{ Pasa } 0,074 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Retenido en el Tamiz de } 0,074}{\text{Peso Total}} \times 100$$

7.1.2.2 Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

7.1.2.3 Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100 % los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

7.1.2.4 Porcentaje de humedad higroscópica. La humedad higroscópica como la pérdida de peso de una muestra secada al aire cuando se seca posteriormente al horno, expresada como un porcentaje del peso de la muestra secada al horno. Se determina de la manera siguiente:

$$\% \text{ Humedad Higroscópica} = \frac{W - W_1}{W_1} \times 100$$

Donde:

$$\begin{aligned} W &= \text{Peso de suelo secado al aire} \\ W_1 &= \text{Peso de suelo secado en el horno} \end{aligned}$$

### 7.2 INFORME

7.2.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

- El tamaño máximo de las partículas contenidas en la muestra.
- Los porcentajes retenidos y los que pasan, para cada uno de los tamices utilizados.
- Toda información que se juzgue de interés.

Los resultados se presentarán: (1) en forma tabulada, o (2) en forma gráfica, siendo esta última forma la indicada cada vez que el análisis comprende un ensayo completo de sedimentación.



Las pequeñas diferencias resultantes en el empate de las curvas obtenidas por tamizado y por sedimento, respectivamente, se corregirán en forma gráfica.

7.2.2 Los siguientes errores posibles producirán determinaciones imprecisas en un análisis granulométrico por tamizado.

- Aglomeraciones de partículas que no han sido completamente disgregadas. Si el material contiene partículas finas plásticas, la muestra debe ser disgregada antes del tamizado.
- Tamices sobrecargados. Este es el error más común y más serio asociado con el análisis por tamizado y tenderá a indicar que el material ensayado es más grueso de lo que en realidad es. Para evitar eso, las muestras muy grandes deben ser tamizadas en varias porciones y las porciones retenidas en cada tamiz se juntarán luego para realizar la pesada.
- Los tamices han sido agitados por un período demasiado corto o con movimientos horizontales o rotacionales inadecuados. Los tamices deben agitarse de manera que las partículas sean expuestas a las aberturas del tamiz con varias orientaciones y así tengan mayor oportunidad de pasar a través de él.
- La malla de los tamices está rota o deformada; los tamices deben ser frecuentemente inspeccionados para asegurar que no tienen aberturas más grandes que la especificada.
- Pérdidas de material al sacar el retenido de cada tamiz.
- Errores en las pesadas y en los cálculos.



MTC E 115

**COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA  
(PROCTOR MODIFICADO)**

**1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada ( $2\ 700 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$  ( $56\ 000 \text{ pie-lbf}/\text{pie}^3$ )).

**2.0 FINALIDAD Y ALCANCE**

- 2.1 Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de ( $2700 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$  ( $56000 \text{ pie-lbf}/\text{pie}^3$ )).

**Nota 1.** Los suelos y mezclas de suelos-agregados son considerados como suelos finos o de grano grueso o compuestos o mezclas de suelos naturales o procesados o agregados tales como grava, limo o piedra partida.

**Nota 2.** El equipo y procedimiento son los mismos que los propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos en 1945. La prueba de Esfuerzo Modificado es a veces referida como Prueba de Compactación de Proctor Modificado

- 2.2 Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm (¾ pulg).

**Nota 3.** Para relaciones entre Peso Unitario y Contenido de Humedad de suelos con 30% ó menos en peso de material retenido en la malla 19,0 mm (¾ pulg) a Pesos Unitarios y contenido de humedad de la fracción que pasa la malla de 19,0 mm (¾ pulg), ver ensayo ASTM D 4718

- 2.3 Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

**2.3.1 METODO "A"**

- 2.3.1.1 Molde: 101,6 mm de diámetro (4 pulg)  
2.3.1.2 Material: Se emplea el que pasa por el tamiz 4,75 mm (Nº 4).  
2.3.1.3 Número de capas: 5  
2.3.1.4 Golpes por capa: 25  
2.3.1.5 Uso: Cuando el 20 % ó menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº 4).  
2.3.1.6 Otros Usos: Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.

**2.3.2 METODO "B"**

- 2.3.2.1 Molde: 101,6 mm (4 pulg) de diámetro.  
2.3.2.2 Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz de 9,5 mm (¾ pulg).  
2.3.2.3 Número de Capas: 5  
2.3.2.4 Golpes por capa: 25  
2.3.2.5 Usos: Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº 4) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm (¾ pulg).



PERU

Ministerio  
de Transportes  
y ComunicacionesVicerrectoría  
de TransportesDirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

- 2.3.2.6 Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.

2.3.3 MÉTODO "C"

- 2.3.3.1 Molde: 152,4 mm (6 pulg) de diámetro.

- 2.3.3.2 Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg).

- 2.3.3.3 Número de Capas: 5

- 2.3.3.4 Golpes por Capa: 56

- 2.3.3.5 Uso: Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg).

- 2.3.3.6 El molde de 152,4 mm (6 pulg) de diámetro no será usado con los métodos A ó B.

**Nota 4.** Los resultados tienden a variar ligeramente cuando el material es ensayado con el mismo esfuerzo de compactación en moldes de diferentes tamaños.

- 2.4 Si el espécimen de prueba contiene más de 5% en peso de un tamaño (fracción gruesa) y el material no será incluido en la prueba se deben hacer correcciones al Peso Unitario y Contenido de Agua del espécimen de ensayo ó la densidad de campo apropiada usando el método de ensayo ASTM D 4718.

- 2.5 Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no drenan libremente. Si el método de ensayo se utiliza para suelos que drenan libremente, no se definirá bien el Peso Unitario Seco máximo y puede ser menor que la obtenida usando el Método se Prueba ASTM D 4253 (NTP 339.137).

- 2.6 Los valores de las unidades del SI son reconocidos como estándar. Los valores establecidos por las unidades de pulgadas-libras son proporcionados sólo como información.

- 2.6.1 En la profesión de Ingeniería es práctica común, usar indistintamente unidades que representan Masa y Fuerza, a menos que se realicen cálculos dinámicos ( $F = M \cdot a$ ). Esto implicitamente combina dos sistemas de diferentes Unidades, que son el Sistema Absoluto y el Sistema Gravimétrico. Científicamente, no se desea combinar el uso de dos sistemas diferentes en uno estándar. Este método de prueba se ha hecho usando unidades libra-pulgada (Sistema Gravimétrico) donde la libra (lbf) representa a la Unidad de Fuerza. El uso de libra-masa (lb. m) es por conveniencia de unidades y no intenta establecer que su uso es científicamente correcto. Las conversiones son dadas en el Sistema Internacional (SI) de acuerdo al ensayo ASTM E 380. El uso de balanzas que registran libra-masa (lbfm) ó registran la densidad en lbfm/pie<sup>3</sup> no se debe considerar como si no concordase con esta norma.

- 2.7 Este método de ensayo no hace referencia a todos los riesgos relacionadas con este uso, si los hubiera. Es responsabilidad del usuario establecer la seguridad apropiada y prácticas o pruebas confiables y así determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su uso.

- 2.8 El suelo utilizado como relleno en Ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, bases para caminos) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de Ingeniería tales como: resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad ó permeabilidad. También los suelos de cimentaciones son a menudo compactados para mejorar sus propiedades de Ingeniería. Los ensayos de Compactación en Laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de Ingeniería requeridas, y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.

- 2.9 Durante el diseño de los rellenos de Ingeniería, se utilizan los ensayos de corte consolidación permeabilidad u otros ensayos que requieren la preparación de especímenes de ensayo compactado a algún contenido de agua para algún Peso Unitario. Es práctica común, primero determinar el óptimo contenido de humedad ( $w_{opt}$ ) y el Peso Unitario Seco máximo ( $\gamma_{max}$ ) mediante un ensayo de



PERU

Ministerio  
de Transportes  
y ComunicacionesViceministerio  
de TransportesDirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

compactación. Los especímenes de compactación a un contenido de agua seleccionado ( $w$ ), sea del lado húmedo o seco del óptimo ( $w_o$ ) ó al óptimo ( $w_{opt}$ ) y a un Peso Unitario seco seleccionado relativo a un porcentaje del Peso Unitario Seco máximo ( $\gamma_{max}$ ). La selección del contenido de agua ( $w$ ), sea del lado húmedo o seco del óptimo ( $w_o$ ) ó al óptimo ( $w_{opt}$ ), y el Peso Unitario Seco ( $\gamma_{max}$ ) se debe basar en experiencias pasadas, o se deberá investigar una serie de valores para determinar el porcentaje necesario de compactación.

### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1.1 NTP 339.141: Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN·m/m<sup>3</sup> (56 000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>)).
- 3.1.2 ASTM D 1557: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort ((2 700 kN·m/m<sup>3</sup> (56 000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))).

### 4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

#### 4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Ensamblaje del Molde.- Los moldes deben de ser cilíndricos hechos de materiales rígidos y con capacidad que se indican en 4.1.1.1 ó 4.1.1.2 de este ensayo y Figuras 1 y 2. Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas o ahusadas. El tipo "partido" deberá tener dos medias secciones circulares, o una sección de tubo dividido a lo largo de un elemento que se pueda cerrar en forma segura formando un cilindro que reúna los requisitos de esta sección. El tipo "ahusado" debe tener un diámetro interno tipo tapa que sea uniforme y no mida más de 16,7 mm/m (0,200 pulg/pie) de la altura del molde. Cada molde tiene un plato base y un collar de extensión ensamblado, ambos de metal rígido y construidos de modo que puedan adherir de forma segura y fácil de desmoldar. El ensamblaje collar de extensión debe tener una altura que sobrepase la parte más alta del molde por lo menos 50,8 mm (2,0 pulg) con una sección superior que sobrepasa para formar un tubo con una sección cilíndrica recta de por lo menos 19,0 mm (0,75 pulg), por debajo de ésta.

El collar de extensión debe de alinearse con el interior del molde, la parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana.

- 4.1.1.1 Molde de 4 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio  $101,6 \pm 0,4$  mm (4,000  $\pm$  0,016 pulg) de diámetro interior, una altura de  $116,4 \pm 0,5$  mm (4,584  $\pm$  0,018 pulg) y un volumen de  $944 \pm 14$  cm<sup>3</sup> (0,0333  $\pm$  0,0005 pie<sup>3</sup>). Un molde con las características mínimas requeridas es mostrado en la Fig. 1.
- 4.1.1.2 Molde de 6 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio  $152,4 \pm 0,7$  mm (6,000  $\pm$  0,026 pulg) de diámetro interior, una altura de:  $116,4 \pm 0,5$  mm (4,584  $\pm$  0,018 pulg) y un volumen de  $2\,124 \pm 25$  cm<sup>3</sup> (0,075  $\pm$  0,0009 pie<sup>3</sup>). Un molde con las características mínimas requeridas es mostrado en Fig. 2.
- 4.1.2 Pisón ó Martillo.- Un pisón operado manualmente como el descrito en 4.1.2.1 de este ensayo ó mecánicamente como el descrito en 4.1.2.2 de este ensayo. El pisón debe caer libremente a una distancia de  $457,2 \pm 1,6$  mm (18  $\pm$  0,05 pulg) de la superficie de espécimen. La masa del pisón será  $4,54 \pm 0,01$  kg (10  $\pm$  0,02 lb-m), salvo que la masa pisón mecánico se ajuste al descrito en el Método de Ensayo ASTM D 2168 (ver Nota 5). La cara del pisón que golpea deberá ser plana y circular, excepto el nombrado en 4.1.2.3 de este ensayo con un diámetro de  $50,80 \pm 0,13$  mm (2,000  $\pm$  0,005 pulg), (Figuras 1 y 2). El pisón deberá ser reemplazado si la cara que golpea se desgasta ó se deforma al punto que el diámetro sobre pasa los  $50,800 \pm 0,25$  mm (2,000  $\pm$  0,01 pulg).

**Nota 5.** Es práctica común y aceptable en el Sistema de libras-pulgadas asumir que la masa del pisón es igual a su masa determinada utilizando sea una balanza en kilogramos ó libras, y una libra-fuerza es igual a 1 libra-masa ó  $0,4536$  kg ó 1N es igual a 0,2248 libras-masa ó 0,1020 kg.

- 4.1.2.1 Pisón Manual.- El pisón deberá estar equipado con una guía que tenga suficiente espacio libre para que la caída del pisón y la cabeza no sea restringida. La guía deberá tener al menos 4 orificios de ventilación en cada extremo (8 orificios en total) localizados con centros de  $19,0 \pm 1,6$  mm



PERU

Ministerio  
de Transportes  
y ComunicacionesVicerrectoría  
de TransportesDirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

( $\frac{3}{4} \pm \frac{1}{16}$  pulg) y espaciados a  $90^\circ$ . Los diámetros mínimos de cada orificio de ventilación deben ser 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg). Orificios adicionales ó ranuras pueden ser incorporados en el tubo guía.

- 4.1.2.2 **Pisón Mecánico Circular.**- El pisón puede ser operado mecánicamente de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen. Debe haber  $2,5 \pm 0,8$  mm ( $0,10 \pm 0,03$  pulg) de espacio libre entre el pisón y la superficie interna del molde en su diámetro más pequeño. El pisón mecánico debe cumplir los requisitos de calibración requeridos por el Método de Ensayo ASTM D 2168. El pisón mecánico debe estar equipado con medios mecánicos capaz de soportar el pisón cuando no está en operación.
- 4.1.2.3 **Pisón Mecánico.**- Cuando es usado un molde de 152,4mm (6,0 pulg), un sector de la cara del pisón se debe utilizar en lugar del pisón de cara circular. La cara que contacta el espécimen tendrá la forma de un sector circular de radio igual a  $73,7 \pm 0,5$ mm ( $2,90 \pm 0,02$  pulg). El pisón se operará de tal manera que los orificios del sector se ubiquen en el centro del espécimen.
- 4.1.3 **Extractor de Muestras (opcional).**- Puede ser una gata, estructura u otro mecanismo adaptado con el propósito de extraer los especímenes compactados del molde.
- 4.1.4 **Balanza.**- Una balanza de tipo GPS que reúna los requisitos de la Especificación ASTM D 4753, para una aproximación de 1 gramo.
- 4.1.5 **Horno de Secado.**- Con control termostático preferiblemente del tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C a través de la cámara de secado.

#### 4.2 MATERIALES

- 4.2.1 **Regla.**- Una regla recta metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 254 mm (10 pulgadas). La longitud total de la regla recta debe ajustarse directamente a una tolerancia de  $\pm 0,1$  mm ( $\pm 0,005$  pulg). El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que 3 mm ( $\frac{1}{8}$  pulg).
- 4.2.2 **Tamices ó Mallas.**- De 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg), 9,5 mm ( $\frac{3}{16}$  pulg) y 4,75mm (Nº 4), conforme a los requisitos de las especificaciones ASTM E11.
- 4.2.3 **Herramientas de Mezcla.**- Diversas herramientas tales como cucharas, morteros, mezclador, paleta, espátula, botella de spray, etc. ó un aparato mecánico apropiado para la mezcla completa de muestra de suelo con incrementos de agua.

#### 5.0 MUESTRA

- 5.1 La masa de la muestra requerida para el Método A y B es aproximadamente 16 kg (35 lbm) y para el Método C es aproximadamente 29 kg (65 lbm) de suelo seco. Debido a esto, la muestra de campo debe tener un peso húmedo de al menos 23 kg (50 lbm) y 45 kg (100 lbm) respectivamente.
- 5.2 Determinar el porcentaje de material retenido en la malla 4,75mm (Nº 4), 9,5mm ( $\frac{3}{16}$  pulg) ó 19,0mm ( $\frac{3}{4}$ pulg) para escoger el Método A, B ó C. Realizar esta determinación separando una porción representativa de la muestra total y establecer los porcentajes que pasan las mallas de interés mediante el Método de Análisis por tamizado de Agregado Grueso y Fino (NTP 339.128 ó ASTM C 136). Sólo es necesario para calcular los porcentajes para un tamiz ó tamices de las cuales la información que se desea.

#### 6.0 PROCEDIMIENTO

##### 6.1 PREPARACIÓN DE APARATOS

- 6.1.1 Seleccionar el molde de compactación apropiado de acuerdo con el Método (A, B ó C) a ser usado. Determinar y anotar su masa con aproximación a 1 gramo. Ensamblar el molde, base y collar de extensión. Chequear el alineamiento de la pared interior del molde y collar de extensión del molde. Ajustar si es necesario.
- 6.1.2 Revise que el ensamblado del pisón esté en buenas condiciones de trabajo y que sus partes no estén flojas ó gastado. Realizar cualquier ajuste ó reparación necesaria. Si los ajustes ó reparaciones son hechos, el martillo deberá volver a ser calibrado.



- 6.1.3 Calibración de los siguientes aparatos antes del uso inicial, después de reparaciones u otros casos que puedan afectar los resultados del ensayo, en intervalos no mayores que 1 000 muestras ensayadas o anualmente, cualquiera que ocurra primero; para los siguientes aparatos.
- Balanza.- Evaluar de acuerdo con especificaciones ASTM D 4753 (Especificaciones, Evaluación, Selección y Elección de Balanzas y Escalas para uso muestras de suelos y rocas.)
  - Moldes.- Determinar el volumen como se describe en Anexo A1.
  - Pisón Manual.- Verifique la distancia de caída libre, masa del pisón y la cara del pisón de acuerdo con 4.1.2 de este ensayo. Verificar los requisitos de la guía de acuerdo con 4.1.2.1 de este ensayo.
  - Pisón Mecánico.- Calibre y ajuste el pisón mecánico de acuerdo al Método de Ensayo ASTM D 2168 (Calibración de Pisón Mecánico de Compactación de Suelos en Laboratorio) Además, el espacio libre entre el pisón y la superficie interior del molde debe verificarse de acuerdo a 4.1.2.2 de este ensayo.

## 6.2 PREPARACION DEL ENSAYO

### 6.2.1 SUELOS

- No vuelva a usar el suelo que ha sido compactado previamente en Laboratorio.
- Utilice el método de preparación húmedo y cuando se ensaye con suelos que contienen halosita hidratada o donde la experiencia con determinados suelos indica que los resultados pueden ser alterados por el secado al aire, (ver 6.2.2 de este ensayo).
- Preparar los especímenes del suelo para el ensayo de acuerdo al párrafo 6.2.2 (de preferencia) o con 6.2.3 de este ensayo.

### 6.2.2 METODO DE PREPARACION HUMEDA (PREFERIBLE)

- Sin secado previo de la muestra, pásela a través del tamiz 4,75mm (Nº 4); 9,5mm ( $\frac{3}{8}$  pulg) ó 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg), dependiendo del Método a ser usado (A, B ó C). Determine el contenido de agua del suelo procesado.
- Prepare mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado. Un espécimen que tiene un contenido de humedad cercano al óptimo deberá ser preparado primero, añadiendo al cálculo agua y mezcla (ver Nota 6). Seleccionar los contenidos de agua para el resto de los especímenes de tal forma que resulten por lo menos dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varíen alrededor del 2%. Como mínimo es necesario dos contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación del peso seco unitario (ver 7.1.1 de este ensayo). Algunos suelos con muy alto óptimo contenido de agua ó una curva de compactación relativamente plana requieren grandes incrementos de contenido de agua para obtener un Peso Unitario Seco Máximo bien definido. Los incrementos de contenido de agua no deberán excederán de 4%.

**Nota 6.** Con la práctica es posible juzgar visualmente un punto cercano al óptimo contenido de agua. Generalmente, el suelo en un óptimo contenido de agua puede ser comprimido y quedar así cuando la presión manual cesa, pero se quebrará en dos secciones cuando es doblada. En contenidos de agua del lado seco del óptimo, los suelos tienden a desintegrarse; del lado húmedo del óptimo, se mantienen unidos en una masa cohesiva pegajosa. El óptimo contenido de humedad frecuentemente es ligeramente menor que el límite plástico.

- Usar aproximadamente 2,3 kg (5 libm) del suelo tamizado en cada espécimen que se compacta empleando el Métodos A ó B; ó 5,9 kg (13 libm) cuando se emplee el Método C. Para obtener los contenidos de agua del espécimen que se indica en 6.2.2.2 de este ensayo, añada o remueve las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera: Añada poco a poco el agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 60°C (140°F).



Mezclar el suelo continuamente durante el proceso de secado para mantener la distribución del contenido agua en todas partes y luego colóquelo aparte en un contenedor con tapa y ubíquelo de acuerdo con la Tabla N°1 antes de la compactación. Para seleccionar un tiempo de espera, el suelo debe ser clasificado ó seleccionado mediante el método de ensayo NTP 339.134, la práctica ASTM D 2488 o mediante datos de otras muestras del mismo material de origen. Para ensayos de determinación, la clasificación deberá ser por Método de ensayo NTP 339.134 (ASTM D 2487)

#### 6.2.3 METODO DE PREPARACION EN SECO

- 6.2.3.1 Si la muestra está demasiado húmeda, reducir el contenido de agua por secado al aire hasta que el material sea friable. El secado puede ser al aire o por el uso de un aparato de secado tal que la temperatura de la muestra no exceda de 60 °C. Disgregar por completo los gramos de tal forma de evitar quebrar las partículas individuales. Pasar el material por el tamiz apropiado: 4,75 mm (Nº4); 9,5 mm (¾ pulg) ó 19,0 mm (¾ pulg). Durante la preparación del material granular que pasa la malla ¼ pulg para la compactación en el molde de 6 pulgadas, disgregar o separar los agregados lo suficientemente para que pasen el tamiz 9,5 mm (¾ pulg) de manera de facilitar la distribución de agua a través del suelo en el mezclador posterior.
- 6.2.3.2 Preparar mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes de acuerdo con 6.2.2.2.
- 6.2.3.3 Usar aproximadamente 2,3 kg (5 libm) del suelo tamizado para cada espécimen a ser compactado cuando se emplee el Método A, B ó 5,9 kg (13 libras) cuando se emplee el Método C. Añadir las cantidades requeridas de agua para que los contenidos de agua de los espécimen tengan los valores descritos en 6.2.2.2 de este ensayo. Seguir la preparación del espécimen por el procedimiento especificado en 6.2.2.3 de este ensayo para los suelos secos ó adicionar agua en el suelo y el curado de cada espécimen de prueba.
- 6.2.4 Compactación.- Despues del curado, si se requiere, cada espécimen se compactará de la siguiente manera:
  - 6.2.4.1 Determinar y anotar la masa del molde ó molde y el plato de base.
  - 6.2.4.2 Ensamble y asegure el molde y el collar al plato base. El molde se apoyará sobre un cimiento uniforme y rígido, como la proporcionada por un cilindro o cubo de concreto con una masa no menor de 91 kg (200 libm). Asegurar el plato base a un cimiento rígido. El método de unión al cimiento rígido deberá permitir un desmolde fácil del molde ensamblado, el collar y el plato base después que se concluya la compactación.
  - 6.2.4.3 Compactar el espécimen en cinco capas. Despues de la compactación, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Antes de la compactación, colocar el suelo suelto dentro del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisonar el suelo antes de la compactación hasta que este no esté en estado suelto o esponjoso, usando el pisón manual de compactación o un cilindro de 5 mm (2 pulg) de diámetro. Posteriormente a la compactación de cada uno de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no han sido compactado o extendido cerca de la superficie compactada será recortada. El suelo recortado puede ser incluido con el suelo adicional para la próxima capa. Un cuchillo ó otro aparato disponible puede ser usado. La cantidad total de suelo usado será tal que la quinta capa compactada se extienda ligeramente dentro del collar, pero no excederá 6 mm (1/4pulg) de la parte superior del molde. Si la quinta capa se extiende en más de 6 mm (1/4pulg) de la parte superior del molde, el espécimen será descartado. El espécimen será descartado cuando el último golpe del pisón para la quinta capa resulta por debajo de la parte superior del molde de compactación.
  - 6.2.4.4 Compactar cada capa con 25 golpes para el molde de 101,6 mm (4 pulg) ó 56 golpes para el molde de 152,4 mm (6 pulgadas).

**Nota 7.** Cuando los espécimen de compactación se humedecen más que el contenido de agua óptimo, pueden producirse superficies compactadas irregulares y se requerirá del juicio del operador para la altura promedio del espécimen.



- 6.2.4.5 Al operar el pisón manual del pisón, se debe tener cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Mantener la guía firmemente y dentro de 5° de la vertical. Aplicar los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto y de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.
- 6.2.4.6 Despues de la compactación de la última capa, remover el collar y plato base del molde, excepto como se especifica en 6.2.4.7 de este ensayo. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.
- 6.2.4.7 Cuidadosamente enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. Un corte inicial en el espécimen en la parte superior del molde con un cuchillo puede prevenir la caída del suelo por debajo de la parte superior del molde. Rellenar cualquier hoyo de la superficie, con suelo no usado o cortado del espécimen, presionar con los dedos y vuelva a raspar con la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde. Repetir las operaciones anteriores en la parte inferior del espécimen cuando se hallo determinado el volumen del molde sin el plato base. Para suelos muy húmedos o muy secos, se perderá suelo o agua si el plato base se remueve. Para estas situaciones, dejar el plato base fijo al molde. Cuando se deja unido el plato base, el volumen del molde deberá calibrarse con el plato base unido al molde o a un plato de plástico o de vidrio como se especifica en el anexo A1 (A.1.4.1 de este ensayo).
- 6.2.4.8 Determine y registre la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, determine y anote la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.
- 6.2.4.9 Remueve el material del molde. Obtener un espécimen para determinar el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se refiere este método) o una porción representativa. Cuando se utiliza todo el espécimen, quiébrelo para facilitar el secado. De otra manera se puede obtener una porción cortando axialmente por el centro del espécimen compactado y removiendo 500 g del material de los lados cortados. Obtener el contenido de humedad de acuerdo al Método ensayo NTP 339.127.

## 7.0 CALCULOS E INFORME

### 7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcule el Peso Unitario Seco y Contenido de Agua para cada espécimen compactado como se explica en 7.1.3 y 7.1.4 de este ensayo, plotea los valores y dibuje la curva de compactación como una curva suave a través de los puntos (ver ejemplo, Fig. 3). Plotea el Peso Unitario Seco con aproximación  $0,2 \text{ kN/m}^3$  ( $0,1 \text{ lbf/pie}^3$ ) y contenido de agua aproximado a 0,1%. En base a la curva de compactación, determine el Óptimo Contenido de Agua y el Peso Unitario Seco Máximo. Si más de 5% en peso del material sobredimensionado (tamaño mayor) fue removido de la muestra, calcular el Peso unitario seco máximo y óptimo contenido de Humedad corregido del material total usando la Norma ASTM D 4718. Esta corrección debe realizarse en el espécimen de ensayo de densidad de campo, más que al espécimen de ensayo de laboratorio.

- 7.1.2 Plotear la curva de saturación al 100%. Los valores de contenido de agua para la condición de 100% de saturación puede ser calculadas como se explica en 7.1.5 de este ensayo (ver ejemplo, Fig. 3).

**Nota 8.** La curva de saturación al 100% es una ayuda al diseñar la curva de compactación. Para suelos que contienen más de 10% de finos a contenidos de agua que superan el óptimo, las dos curvas generalmente llegan a ser aproximadamente paralelas con el lado húmedo de la curva de compactación entre 92 a 95% de saturación. Teóricamente, la curva de compactación no puede ser ploteada o trazarse a la derecha de la curva de 100% de saturación. Si esto ocurre, hay un error en la gravedad específica, en las mediciones, en los cálculos, en procedimientos de ensayo o en el ploteo.



PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y ComunicacionesVicerrectoría  
de TransportesDirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

**Nota 9.** La curva de 100% de saturación se denomina algunas veces como curva de relación de vacíos cero o la curva de saturación completa.

7.1.3 Contenido de Agua, w.- Calcular de acuerdo con Método de Ensayo NTP 339.127.

7.1.4 Peso Unitario Seco.- Calcular la densidad húmeda (ecuación 1), la densidad seca (ecuación 2) y luego el Peso Unitario Seco (ecuación 3) como sigue:

$$\rho_w = 1000 \times \frac{(M_t - M_{ad})}{V} \quad (1)$$

Donde:

$\rho_w$  = Densidad Húmeda del espécimen compactado ( $Mg/m^3$ )

$M_t$  = Masa del espécimen húmedo y molde (kg)

$M_{ad}$  = Masa del molde de compactación (kg)

$V$  = Volumen del molde de compactación ( $m^3$ ) (Ver Anexo A1)

$$\rho_d = \frac{\rho_w}{1 + \frac{w}{100}} \quad (2)$$

Donde:

$\rho_d$  = Densidad seca del espécimen compactado ( $Mg/m^3$ )

w = contenido de agua (%)

$$\gamma_d = 62,43 \rho_d \text{ en } lbf/pie^3 \quad (3)$$

$$\gamma_d = 9,807 \rho_d \text{ en } kN/m^3$$

Donde:

$\gamma_d$  = peso unitario seco del espécimen compactado.

7.1.5 En el cálculo de los puntos para el ploteo de la curva de 100% de saturación o curva de relación de vacíos cero del peso unitario seco, seleccione los valores correspondientes de contenido de agua a la condición de 100% de saturación como sigue:

$$W_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

$W_{sat}$  = Contenido de agua para una saturación completa (%).

$\gamma_w$  = Peso unitario del agua  $9,807 \text{ kN/m}^3$  ó  $(62,43 \text{ lbf/pie}^3)$ .

$\gamma_d$  = Peso unitario seco del suelo.

$G_s$  = Gravedad específica del suelo.

**Nota 10.** La gravedad específica puede ser calculada para los especímenes de prueba en base de datos de ensayos de otras muestras de la misma clasificación de suelo y origen. De otro modo sería necesario el ensayo de Gravedad Específica NTP 339.131.

## 7.2 INFORME

7.2.1 Reportar la siguiente información:

7.2.1.1 Procedimiento usado (A, B o C).

7.2.1.2 Método usado para la preparación (húmedo ó seco).

7.2.1.3 El contenido de agua recibida, si se determinó.

7.2.1.4 El óptimo Contenido de Agua Modificado, con aproximación al 0,5 %.



PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y ComunicacionesViceministerio  
de TransportesDirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

- 7.2.1.5 El Peso Unitario Seco Máximo, con aproximación a 0,5 lbf/pie<sup>3</sup>.
- 7.2.1.6 Descripción del Pisón (Manual ó Mecánico).
- 7.2.1.7 Datos del tamizado del suelo para la determinación del procedimiento (A, B ó C) empleado.
- 7.2.1.8 Descripción o Clasificación del material usado en la prueba (ASTM D 2488, NTP 339.134).
- 7.2.1.9 Gravedad Específica y Método de Determinación.
- 7.2.1.10 Origen del material usado en el ensayo, por ejemplo, proyecto, lugar, profundidad, etc.
- 7.2.1.11 Ploteo de la Curva de Compactación mostrando los puntos de compactación utilizados para establecerla y la curva de compactación y la curva de 100% saturación, el punto de Peso Unitario Seco Máximo y Óptimo Contenido de Agua.
- 7.2.1.12 El dato de Corrección por Fracción Sobredimensionada si es usado, incluyendo la fracción sobredimensionada (Fracción Gruesa),  $P_c$  en %.

#### **8.0 PRECISION Y DISPERSION**

- 8.1 PRECISION.- Todos los datos están siendo evaluados para determinar la precisión de este método de ensayo. Además los datos pertinentes están siendo solicitados por los usuarios de este método de ensayo.
- 8.2 CONFIABILIDAD.- No es posible obtener la información sobre la confiabilidad porque no existe otros métodos de determinación de valores de máximo Peso Unitario Seco Modificada y Óptimo Contenido de Humedad.