

# UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



*Una Institución Adventista*

Evaluación del índice CBR de suelos granulares en ladera de cerro y lecho de río para capa base de pavimentos flexibles

Tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil

**Autores:**

**Bach. Jhosiel Miqueaz Chen Gutierrez**

**Bach. Oswaldo Rayser Rivera Velásquez**

**Asesor:**

**Ing. Ferrer Canaza Rojas**

**Lima, diciembre del 2020**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Ing. Ferrer Canaza Rojas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EVALUACIÓN DEL ÍNDICE CBR DE SUELOS GRANULARES EN LADERA DE CERRO Y LECHO DE RÍO PARA CAPA BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES”** constituye la memoria que presenta los Bachilleres Jhosiel Miqueaz Chen Gutierrez y Oswaldo Rayser Rivera Velásquez para obtener el título 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 declaración en la ciudad de Lima, a los 28 días del mes de diciembre del año 2020



Ing. Ferrer Canaza Rojas

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los 28 día(s) del mes de diciembre del año 2020 siendo las 17:00 horas, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Mg. Leonel Chahuarez Paucar, el secretario: Ing. David Díaz Garamendi... y los demás miembros: Ing. Reymundo Jaulis Palomino.... y el asesor Ing. Ferrer Canaza Rojas, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Evaluación del índice CBR de suelos granulares en ladera de cerro y lecho de río para capa base en pavimentos flexibles"

.....de los bachilleres: a)..... JHOSIEL MIQUEAZ CHEN GUTIERREZ.....

..... b)..... OSWALDO RAYSER RIVERA VELÁSQUEZ.....

Conducente a la obtención del título profesional de.....

.....INGENIERO CIVIL.....

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando a los candidatos hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por las candidatas. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): ..... JHOSIEL MIQUEAZ CHEN GUTIERREZ.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	MUY BUENO	SOBRESALIENTE


Candidato (b): ..... OSWALDO RAYSER RIVERA VELÁSQUEZ.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó a los candidatos a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente  
Mg. Leonel  
Chahuarez Paucar

  
\_\_\_\_\_  
Secretario  
Ing. David Díaz  
Garamendi

\_\_\_\_\_  
Asesor  
Ing. Ferrer Canaza  
Rojas

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Ing. Reymundo  
Jaulis Palomino

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)  
Jhosiel Miqueaz  
Chen Gutierrez

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)  
Oswaldo Rayser  
Rivera Velásquez

## DEDICATORIA

A los años de esfuerzo, sacrificios y oraciones de mi querida mamá María del Carmen, por verme realizado como profesional.

A mi familia que me enseñó a valorar cada momento, en las tristezas y alegrías, en los triunfos y derrotas, de dónde vengo y a dónde voy.

A las personas que son parte de mi vida y formación en cada aspecto, de las que guardo en el corazón sus enseñanzas, consejos, vivencias, ocurrencias y motivaciones.

***Jhosiel M. Chen Gutierrez***

A mis padres Miriam y Hugo quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Katherine, Bayron y Reyner por su cariño y apoyo incondicional, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia por sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona.

***Oswaldo R. Rivera Velásquez***

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios creador de los cielos y la tierra, dador de vida y esperanza a través de su palabra; porque me dio la bendición de ser unionista.

A las personas que son y fueron parte de este logro; Juana L., Walter H., Fiorella H., Luzmila C., Nevenka C., Rubén H., David H., Abel G., Lourdes G., Virgilio G., Cristóbal G., Nathaly H., Wilson H., Esteban H., Fidel V., Ana R., Teresa R., Luz G., Massiel G., Melina G., Axel M., Giovanna L., Helí G., Zoila G., Javier G.

A mis maestros y amigos de cada etapa de la vida.

Al ingeniero Ferrer C., por sus consejos y asesoría en esta investigación.

***Jhosiel M. Chen Gutierrez***

Mi profundo agradecimiento a los docentes de la Universidad Peruana Unión, por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizarme como profesional.

Asimismo; quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a los Ingenieros Ferrer Canaza, Leonel Chahuares, David Díaz y Reymundo Jaulis, por contribuir con su experiencia, dirección, conocimiento, enseñanza en el desarrollo de la tesis.

***Oswaldo R. Rivera Velásquez***

## Tabla de contenidos

<b>Capítulo I. Planteamiento del Problema</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Formulación del Problema	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Justificación	2
1.4. Presuposición filosófica	3
1.5. Limitaciones de la investigación	3
<b>Capítulo II. Marco teórico</b>	<b>4</b>
2.1. Antecedentes de la investigación	4
2.2. Bases teóricas	7
2.3. Definición de términos básicos	30
<b>Capítulo III. Materiales y Métodos</b>	<b>33</b>
3.1. Hipótesis	33
3.2. Variables	33
3.5. Enfoque de la investigación	34
3.6. Tipo de investigación	34
3.7. Diseño de la Investigación	34
3.8. Método de investigación	35
3.9. Población y Muestra	36
3.10. Descripción del lugar	37

<b>3.11. Metodología</b>	<b>39</b>
<b>3.12. Técnicas e instrumentos de recolección de datos</b>	<b>40</b>
<b>Capítulo IV. Resultados y Discusión</b>	<b>62</b>
<b>4.1. Resultados</b>	<b>62</b>
<b>4.2. Discusión</b>	<b>72</b>
<b>Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>74</b>
<b>5.1. Conclusiones</b>	<b>74</b>
<b>5.2. Recomendaciones</b>	<b>75</b>
<b>Referencias</b>	<b>77</b>
<b>Anexos</b>	

## Lista de figuras

Figura 1. Corte transversal de un pavimento.	8
Figura 2. Gráfico esfuerzo-deformación para suelos con diferentes porcentajes de finos CL-ML.	11
Figura 3. Gráfico esfuerzo-deformación para suelos con diferentes porcentajes de bentonita.	12
Figura 4. Curva granulométrica.	16
Figura 5. Clasificación SUCS de suelo granular.	20
Figura 6. Clasificación SUCS finos.	20
Figura 7. Moldes de CBR.	28
Figura 8. Determinación del valor de Soporte en el laboratorio.	29
Figura 9. Mapa de Lima - Perú, ubicación del lugar de estudio.	37
Figura 10. Muestra 01 Ladera de cerro Cuncacucho.	38
Figura 11. Muestra 02 Lecho de río Rímac.	38
Figura 12. Técnicas para la recolección de datos.	40
Figura 13. Tamizado 2.5" de muestra ladera de cerro.	42
Figura 14. Tamizado 2.5" de muestra lecho de río.	42
Figura 15. Cuarteo para obtención de muestra representativa.	43
Figura 16. Juego de tamices, platos hondos, balanzas y fichas de registro.	45
Figura 17. Proceso de ensayo para contenido de sales solubles.	47
Figura 18. Muestra lavada para tamizado y posterior ensayo – conteo de partículas.	48
Figura 19. Después del tamizado 1", se procede a seleccionar la muestra para peso y conteo.	50
Figura 20. Proceso de funcionamiento sifón.	53
Figura 21. Arenas vs. Limos.	53
Figura 22. Máquina de trituración los Ángeles.	55
Figura 23. Muestra de diseño de mezcla para CBR.	57
Figura 24. Muestras en inmersión.	59
Figura 25. Desmolde de muestras para ensayo de penetración.	60
Figura 26. Máquina de penetración CBR.	61
Figura 27. Curva granulométrica de muestra ladera de cerro.	62

<b>Figura 28. Curva granulométrica de muestra lecho de río.</b>	<b>63</b>
<b>Figura 29. Curva compactación 100% ladera de cerro.</b>	<b>67</b>
<b>Figura 30. Curva compactación 100% lecho de río.</b>	<b>68</b>
<b>Figura 31. Curva compactación mezcla de 60% ladera de cerro + 40% lecho de río.</b>	<b>69</b>
<b>Figura 32. Curva compactación mezcla de 70% ladera de cerro + 30% lecho de río.</b>	<b>70</b>
<b>Figura 33. Curva compactación mezcla de 80% ladera de cerro + 20% lecho de río.</b>	<b>71</b>

## Tablas

<b>Tabla 1. Requerimientos granulométricos para base y subbase granular.</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 2. Clasificación AASHTO.</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 3. Requerimientos de valor relativo soporte según estudio de tráfico.</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 4. Operación de variables.</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 5. Coordenadas WGS84 de los puntos de exploración.</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 6. Cuadro de Penetración vs. Presión.</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 7. Límites de consistencia.</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 8. Límites de consistencia.</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 9. Contenido de sales solubles en ppm.</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 10. Contenido de sales solubles en ppm.</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 11. Resultados porcentuales de partículas chatas y alargadas.</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 12. Resultados de partículas con una o dos fracturadas.</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 13. Resultados porcentual al desgaste y abrasión los ángeles.</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 14. Resumen de CBR.</b>	<b>75</b>

## **SIMBOLOGÍA**

CBR: California Bearing Ratio.

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials.

MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

EG-2013: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción.

NTP: Norma Técnica Peruana.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

PPM: Partes por millón.

RPM: Revoluciones por minuto.

INVIAS: Instituto Nacional de Vías - Colombia.

CL: Suelo tipo arcilla.

ML: Suelo tipo limo.

## RESUMEN

El desarrollo de las ciudades es el resultado de su infraestructura vial, esto se refleja en la preferencia por la pavimentación flexible. En tal sentido; referimos que sus capas estructurales son fundamentales en su desempeño, esto depende de las características que presentan los suelos granulares que las conforman. En la presente tesis se detalla el análisis realizado a los suelos granulares de ladera de cerro y lecho de río para su aplicación en capa base de pavimentos flexibles bajo la normativa del manual de Carreteras del ministerio de Transportes y Comunicaciones en sus Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG – 2013 en el Perú.

La investigación busca la caracterización física, mecánica y química de las dos muestras señaladas y su incidencia en el índice CBR, evaluados en cinco diseños de mezcla expresados en porcentaje, 100 % ladera de cerro, 100% lecho de río, 60% ladera de cerro con 40% lecho de río, 70% ladera de cerro con 30% lecho de río y 80% ladera de cerro con 20% lecho de río; estas fueron obtenidas del reemplazo de una porción de muestra de ladera de cerro por grava – arena de diámetro menor a 3/4” de la muestra lecho de río.

Los resultados de índice CBR fueron, 145.43 %, 171.05 %, 150.78 %, 148.90 % y 147.39 % respectivamente, interpretándose un incremento en la resistencia al esfuerzo cortante en relación al aumento porcentual de agregado grueso de la muestra de lecho de río. Asimismo; que cumplen con la demanda de ser suelos granulares aptos para la conformación de capas base en carreteras de bajo volumen de tránsito o carreteras de primera clase con tráfico en ejes equivalentes  $\geq 10^6$ . Excepto; con la muestra 100% lecho río con aparente calidad, que en la experimentación sin moldes de contención se desmorona.

**Palabras claves:** Índice CBR, suelos granulares, capa base, pavimento flexible.

## ABSTRACT

The development of cities is the result of their road infrastructure, this is reflected in the preference for flexible paving. In this sense, we refer that its structural layers are fundamental in its performance, this depends on the characteristics of the granular soils that make them up. This thesis details the analysis made to the granular soils of hillside and riverbed for its application in flexible pavement base layer under the regulations of the Highway Manual of the Ministry of Transport and Communications in its General Technical Specifications for Construction EG - 2013 in Peru.

The research seeks the physical, mechanical and chemical characterization of the two samples indicated and their incidence in the CBR index, evaluated in five mix designs expressed in percentage, 100% hillside, 100% riverbed, 60% hillside with 40% riverbed, 70% hillside with 30% riverbed and 80% hillside with 20% riverbed; these were obtained from the replacement of a sample portion of hillside with gravel-sand of less than 3/4" diameter of the riverbed sample.

The CBR results were 145.43%, 171.05%, 150.78%, 148.90% and 147.39%, respectively, interpreting an increase in shear strength in relation to the percentage increase of coarse aggregate in the riverbed sample. Likewise; that meet the demand of being granular soils suitable for the conformation of base layers in low traffic volume roads or first class roads with traffic in equivalent axes  $\geq 10^6$ . Except; with the sample 100% riverbed with apparent quality, which in the experimentation without containment moulds crumbles.

**Keywords:** CBR index, granular soils, base course, flexible pavement.

## **Capítulo I. Planteamiento del Problema**

### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

El desarrollo de las ciudades es el resultado de la infraestructura vial como vías de comunicación y progreso; es así que la red vial nacional del Perú, es conformada por 66.7% de pavimentos flexibles y 33.3% de pavimentos rígidos, reflejándose la preferencia por vías asfálticas. Asimismo; el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su reporte de conservación de vías, presenta también un mayor porcentaje de fallas al esfuerzo-deformación en su desempeño.

En tal sentido; en la conformación de las capas estructurales de los pavimentos, es de fundamental importancia la elección de los suelos granulares que garanticen un máximo cumplimiento en las capas de soporte, principalmente la base. Por tanto, la obtención de la materia prima debería ser con garantía en canteras certificadas o la evaluación de agregados provenientes de cerros, ríos y mezclas para su aprovechamiento y mejoramiento entre sí; sin embargo, en todas las regiones del Perú existen deficiencias en la producción, ya sea por desconocimiento de los procesos técnico-normativos o la inexistencia de antecedentes de mezclado de suelos granulares.

En efecto, centramos nuestro estudio en el análisis de factibilidad de los suelos granulares de la cantera cerro Cuncacucho, cantera río Rímac sector Ñaña – Lima – Perú y mezclas para su posible mejora en el rendimiento de la capa base; bajo la caracterización físico-mecánica, química estipuladas en el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG – 2013).

### **1.2. Formulación del Problema**

#### **1.2.1. Problema general**

PG: ¿Cómo es la evaluación del índice CBR de suelos granulares en ladera de cerro y lecho de río para capa base en pavimentos flexibles?

### **1.2.2. Problemas específicos**

PE1: ¿Cuáles son las características físico-mecánicas y químicas de suelos granulares en ladera de cerro y lecho de río?

PE2: ¿Cuál es el índice CBR de suelos granulares en laderas de cerro y lecho de río?

PE3: ¿Qué diseño de mezcla entre suelos granulares de laderas de cerro y lecho de río cumplen con los parámetros normativos de calidad EG-2013?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

OG: Evaluar el índice CBR de suelos granulares en ladera de cerro y lecho de río para capa base en pavimentos flexibles.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

OE1: Caracterizar la propiedades físico-mecánicas y químicas de suelos granulares en ladera de cerro y lecho de río.

OE2: Determinar el índice CBR de suelos granulares en ladera de cerro y lecho de río.

OE3: Analizar diseños de mezclas entre suelos granulares de ladera de cerro y lecho de río.

## **1.3. Justificación**

Evaluar con proceso técnico nuevas alternativas en la composición de suelos granulares para estructuración de la capa base en pavimentos flexibles; con muestras de ladera de cerro, lecho de río y sus mezclas; ya que, sus propiedades deben ser capaces de resistir al esfuerzo-deformación durante la producción, conformación, compactación y conservación en el tiempo a los esfuerzos de la carga vertical vehicular.

Es importante el proceso de selección de la materia prima; para obtener productos que cumplan los estándares de calidad a los ensayos según los lineamientos del manual EG – 2013, para contribución en los siguientes aspectos:

**Relevancia social.-** Impulsar el desarrollo y crecimiento poblacional con nuevas habilitaciones urbanas y vías de comunicación. Asimismo; obtener conocimiento práctico y brindar los resultados como alternativas para proyectos viales.

**Económica.-** Optimizar costos de materia prima en obras viales y movimiento comercial en la población.

**Técnica.-** Establecer procesos para el mejoramiento de calidad en los suelos granulares y su importancia en la conservación de vías ante el tránsito vehicular.

#### **1.4. Presuposición filosófica**

La presente investigación se centra en la evaluación de canteras para la extracción y habilitación de suelos granulares con fines estructurales en pavimentación; por ello, la reflexión tiene como esencia los consejos bíblicos en el libro de Isaías 51:1; “Escuchadme, vosotros que seguís la justicia, los que buscáis al Señor. Mirad la roca de donde fuisteis tallados, y la cantera de donde fuisteis excavados”.

Nos muestra paralelismo en la importancia de reconocer los orígenes de los suelos granulares, que garantizan seguridad y calidad en su desempeño para el bien de la sociedad.

#### **1.5. Limitaciones de la investigación**

En las zonas de estudio la accesibilidad, los previos permisos de extracción de muestras a los propietarios y los costos por ensayos en laboratorio.

## **Capítulo II. Marco teórico**

### **2.1. Antecedentes de la investigación**

#### **2.1.1. Antecedentes Internacionales**

Según Acosta y Macias (2006), en su tesis de pregrado “Estudios sobre materiales granulares de la cantera del río de Oro utilizados como bases granulares para pavimentos flexibles” en Colombia. Los tesisistas plantean como problemática el bajo desempeño mostrado por los pavimentos constituidos en su capa base, construidos con material granular de la cantera río de Oro. Por ello, el objetivo fue realizar los ensayos de laboratorio propuesto por el INVIAS, entidad encargada en dicho país, a la muestra de la cantera río de Oro y a manera de realizar una comparación, también se estudió las canteras de Bocas y de los ríos Sogamoso y Chicamocha. Llegando a obtener que los materiales de la cantera del río de Oro tienen una serie de propiedades que se encuentran dentro de las exigencias definidas por el INVIAS, pero su resistencia al desgaste bajo la acción de cargas abrasivas no es congruente con un buen material constituyente de una capa tan importante en la composición de un pavimento, por tal motivo, de este estudio se concluyó que los suelos provenientes de la cantera analizada no se recomiendan para su utilización como base granular para pavimento flexible. Aunque bajo las actuales especificaciones los materiales del río de Oro en algunas ocasiones cumplen con este parámetro con valores cercanos al límite de exigencia, permitiendo su aprobación para el fin descrito.

Según Macias (2011), en su tesis de pregrado “Estudio y caracterización de la cantera la Chicha, para el empleo en forma natural o estabilizada de los materiales como base de pavimentos”, realizada en Ecuador, tuvo como objetivo estudiar y caracterizar la cantera La Chicha, el tratamiento y empleo en forma natural o estabilizada de los materiales como base de pavimentos. El autor realizó los ensayos teniendo en cuenta la normativa de INVIAS y AASHTO. Obteniendo que para la base de una estructura de

pavimento se dispone de un material procedente de la cantera La Chicha, compuesto por 30% de material triturado y el resto de material natural, clasificado como arena-gravosa bien graduada. Este material tiene un Coeficiente de los Ángeles del 50%, Índice de Plasticidad de 6%, Límite Líquido de 25% y una resistencia a CBR entre 40 y 60%, por lo que cumple ampliamente con las especificaciones para materiales de bases.

Según Herrera y Vargas (2015), en su tesis titulada “Caracterización de los materiales pétreos procedentes del río Ariari del municipio de Cubarral, puerto Ariari – Meta”; tiene por objetivo caracterizar materiales pétreos bajo la norma INVIAS, para contribuir en la expansión del crecimiento poblacional en obras civiles y de pavimentación.

Se concluye que el material pétreo del río Ariari, cumple con las especificaciones de calidad, gradación que se establecen y equivalencia de arena en la Norma Técnica Colombiana para agregados finos y gruesos, recomendado para la elaboración de concretos y capas de soporte en pavimentos.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Según Huamán (2016), en su tesis titulada “Evaluación de los materiales de canteras utilizados como base y sub-base de pavimentos en la ciudad de Barranca – 2016”; tiene por objetivo analizar el material granular utilizado como sub-base y base de pavimentos derivados de las canteras de río Seco, Juquillas y Upaca. Se realizaron ensayos de las propiedades mecánicas, físicas y químicas, teniendo de referencia el manual de Ensayo de Materiales del MTC y la norma EG-2013. Se realizó cuadros comparativos de cada cantera, concluyendo que ninguna de estas cumplía con las propiedades físicas para ser empleadas. Por tal motivo, se realizó el mejoramiento de las propiedades físicas, para lo cual se ejecutó mezclas granulares entre las canteras. Lo cual se obtuvo un resultado más óptimo, donde el material podría ser empleado como base pavimento, el cual cumple los estándares de las normas.

Según Vásquez (2019), en la ciudad de Cajamarca se deterioran las estructuras de los pavimentos por el alto tránsito al que están sometidas a diario. La mayoría de estas vías están construidas con suelos granulares extraídos de la cantera El Guitarrero, material que no cumple con las especificaciones para aplicación en sub bases de pavimentos, y más aún no cumple con las especificaciones técnicas para bases de pavimentos.

En su Investigación tiene el objetivo de evaluar y encontrar una mezcla adecuada de agregados de la cantera El Guitarrero y piedra chancada del río Chonta para sub bases y bases en la ciudad de Cajamarca.

Los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas de suelos granulares de la cantera El Guitarrero con piedra chancada del río Chonta se desarrolló en los siguientes porcentajes: 80% de muestra de cantera El Guitarrero y 20% de piedra chancada, 70% de material de cantera El Guitarrero y 30% de piedra chancada, 60% de material de cantera El Guitarrero y 40% de piedra chancada.

Se concluyó que la mezcla de agregados en porcentajes 60% de la cantera El Guitarrero y el 40% piedra chancada, cumplen con las especificaciones técnicas generales para la construcción EG-2013 para sub bases y bases de pavimentos, a excepción del CBR cuyos valores son inferiores al 80% requerido para bases de pavimentos.

Según Pastor (2013), en su tesis titulada "Evaluación de canteras para realizar la construcción de trocha carrozable a nivel de afirmado Campo Alegre - Peña Blanca, distrito de Namora, provincia de Cajamarca"; tiene por objetivo analizar la calidad de agregados en las canteras Campo Alegre y Peña Blanca para su aplicación en un trocha carrozable, bajo especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras EG-2000. Con resultados CBR dentro de lo permitido e identificación de suelos

predominantes; concluyendo que las canteras en análisis cumplen con las condiciones para ser usadas como capas de rodadura.

Según Lozada (2018), en su tesis titulada “Estudio de las características físicas y mecánicas de las canteras Hualango como material de afirmado en carreteras – provincia de Utcubamba”; tiene por objetivo analizar la calidad de agregados para su aplicación en pavimentos, bajo norma del MTC que rige los ensayos de: Contenido de humedad, Análisis granulométrico, límites líquido, límite plástico, índice de plasticidad, Clasificación de suelos, Proctor modificado, CBR, abrasión de los Ángeles y contenido de sales solubles totales. Concluyendo que las características físico mecánicas, son mejorables combinándolos con agregados externos.

Según Sopla y Zavaleta (2015), en su tesis titulada “Caracterización físico Mecánico de los materiales de la cantera Tuctilla para su uso en obras de Infraestructura en la localidad de Chachapoyas”, tiene por objetivo realizar la caracterización físico-mecánico de los agregados de la cantera Tuctilla. Debido que los materiales son empleados en obras de infraestructura en la localidad de Chachapoyas, sin existir algún tipo de estudio que demuestren una correcta estructura. Planteo realizar diferentes ensayos, los cuales permitan evaluar en base a las normas y especificaciones técnicas vigentes. Concluyendo que estos agregados son aptos para ser utilizados como afirmado de carreteras y subbases de pavimentos; más no como bases para pavimentos.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Pavimentos**

Elementos estructurales diseñados para soportar cargas estáticas o móviles en determinado periodo; su conformación puede ser monocapa o multicapa de suelos granulares, con característica principal de un mayor tiempo posible de vida útil en relación a sus propiedades.

Estas capas se ubican sobre el terreno natural preparado (Subrasante), con espesores a cálculo y la función de proporcionar resistencia al desgaste o deslizamiento por las fuerzas vehiculares aplicadas. (Vivar, 1994)

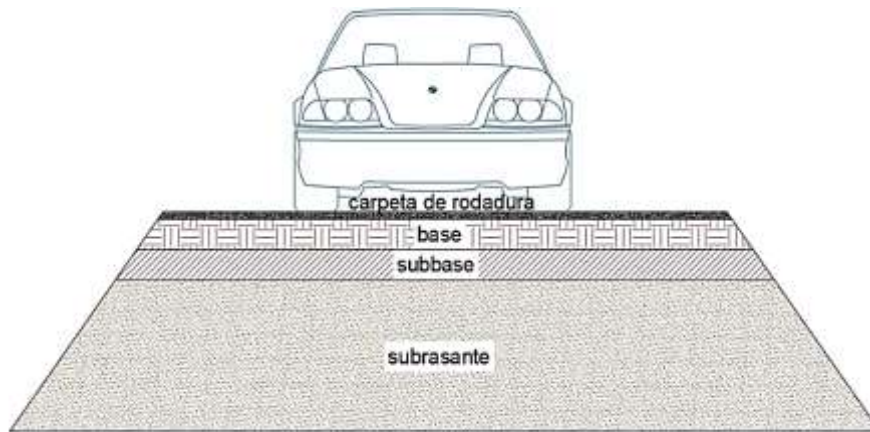


Figura 1. Corte transversal de un pavimento.

## **2.2.2. Tipos de Pavimentos**

### **2.2.2.1. Pavimento Flexible**

Su sección está conformada por capa subbase, capa base y carpeta de rodadura de cemento asfáltico. Su función principal es la de distribuir las cargas, por la deformación generada, transmitiendo a las multicapas inferiores, para que estas lo hagan la subrasante. (Vivar, 1994)

### **2.2.2.2. Pavimento Rígido**

Su sección está conformada por capa subbase y carpeta de rodadura de concreto o derivados. Su función principal es la de absorber en mayor parte las cargas recibidas, sobre la carpeta de rodadura, no se genera deformación y no hay transmisión de cargas. (Vivar, 1994)

### **2.2.3. Componentes Estructurales de los Pavimentos**

#### **2.2.3.1. Subrasante**

Denominado terreno natural o capa mejorada con suelos externos; superficie nivelada y compactada para la conformación superior de capas de suelo granular. (Vivar, 1994)

#### **2.2.3.2. Capa Subbase**

Su función primaria es la de servir como drenante y anticontaminante entre la subrasante y la capa base, esta conformación de suelo granular debe ser nivelada y estabilizada. (Vivar, 1994)

#### **2.2.3.3. Capa Base**

Es el principal elemento estructural en los pavimentos flexibles; conformado por suelos granulares con determinada caracterización físico-mecánica y química, para ser nivelada, estabilizada y compactada. (Vivar, 1994)

#### **2.2.3.4. Carpeta de Rodadura**

Es la capa más superficial, que estará en contacto directo con las cargas vehiculares. En los pavimentos rígidos es el principal elemento estructural. (Vivar, 1994)

### **2.2.4. Suelos granulares**

Los suelos granulares, conocidos como afirmado; dependen de la región de origen y las probables fuentes de explotación; ya sean canteras de cerro o de ríos, estas se diferencian por su uso en capas inferiores o capa superficiales. Los suelos granulares requieren de un cierto porcentaje de piedra para soportar las cargas del tránsito, un porcentaje de arena clasificada para llenar los vacíos entre las piedras o estabilizar a la capa y para lograr una correcta cohesión, un porcentaje de finos plásticos.

En la mayoría de casos, los depósitos naturales no cumplen con las características adecuadas, por lo que se deben establecer procesos de mejoramiento con trituración de agregado grueso, zarandeo o mezclas con suelos externos. (MTC, 2013)

#### **2.2.5. Canteras o lugar de muestras**

Lugar determinado para la extracción de suelos granulares, para sus multidisciplinarios usos en pavimentos; asimismo, evaluar si los agregados son aptos para el tipo de obra en proyección. Por tales; las muestras deben ser ensayadas en laboratorio y conocer sus características físicas, mecánicas y químicas. (MTC, 2013)

#### **2.2.6. Exploración y muestreo**

Las exploraciones consistirán en la prospección de calicatas, sondeos o trincheras, a profundidades no menores de la profundidad máxima de explotación, a fin de garantizar la real potencia de las canteras. (MTC, 2013)

#### **2.2.7. Mezclas de suelos granulares**

En la búsqueda de mezclas de suelos para obtener propiedades deseadas, el ensayo granulométrico es el requisito más importante en la definición de fracción gruesa y el índice de plasticidad para la fracción fina, por ello el tamaño máximo del agregado grueso garantiza valores altos que conllevan a tener superficies muy rugosas y más segregables no cohesionados, pero en los finos, se identifica un alto porcentaje de suelos que pasa la malla N° 40 que presentan bajas resistencias y alta deformación.

En Estados Unidos algunos estudios demostraron que mezclando un suelo con diferentes porcentajes de CL-ML y Bentonita de 5% a 20%, se obtuvieron resultados en ensayos triaxiales, los cuales se han resumidos en 2 casos:

##### **a) Caso 1: CL-ML**

En la Figura 2, la tendencia ascendente de la resistencia del suelo en función al aumento de los finos es de aproximadamente 5% al 10% y 10% al 20%; este gráfico

esfuerzo-deformación para suelos con diferentes porcentajes de finos CL-ML, se aprecia que la resistencia aumenta inicialmente con un determinado porcentaje de finos y disminuye una vez sobrepasado éste. *Se concluye que existe un valor óptimo del contenido de finos para tener una mayor resistencia y menor deformación.*

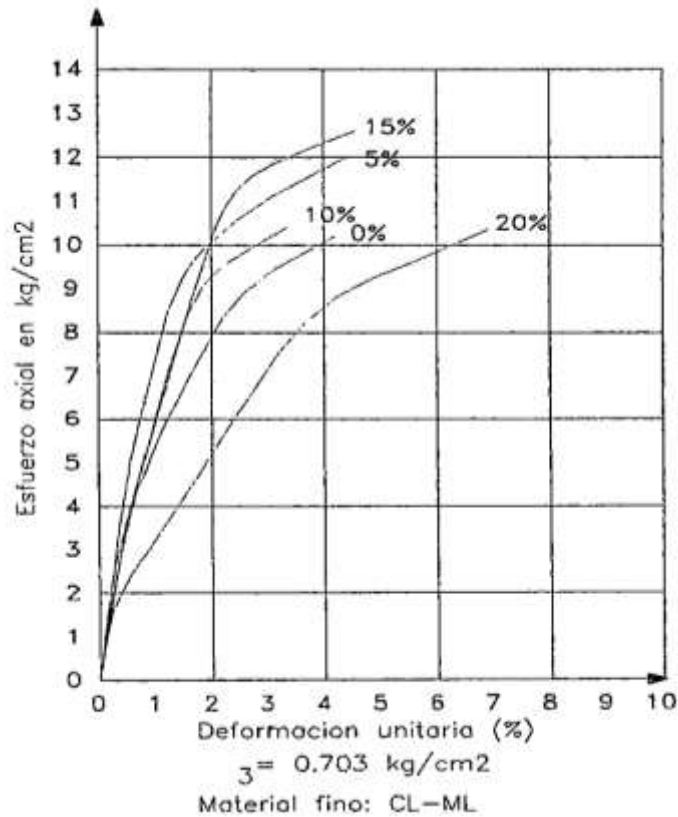


Figura 2. Gráfico esfuerzo-deformación para suelos con diferentes porcentajes de finos CL-ML.  
Fuente: (Ugaz, 2006)

## b) Caso 2: Bentonita

En la Figura 3, se presenta la incorporación de bentonita (altamente plástica) al mismo suelo, resultando una tendencia descendente en el valor de resistencia y el ascenso del porcentaje de bentonita; *demonstrando que para la obtención de mezclas óptimas de suelo no es suficiente la incorporación de finos, sino también de que tipo y el índice plástico que presentan.*

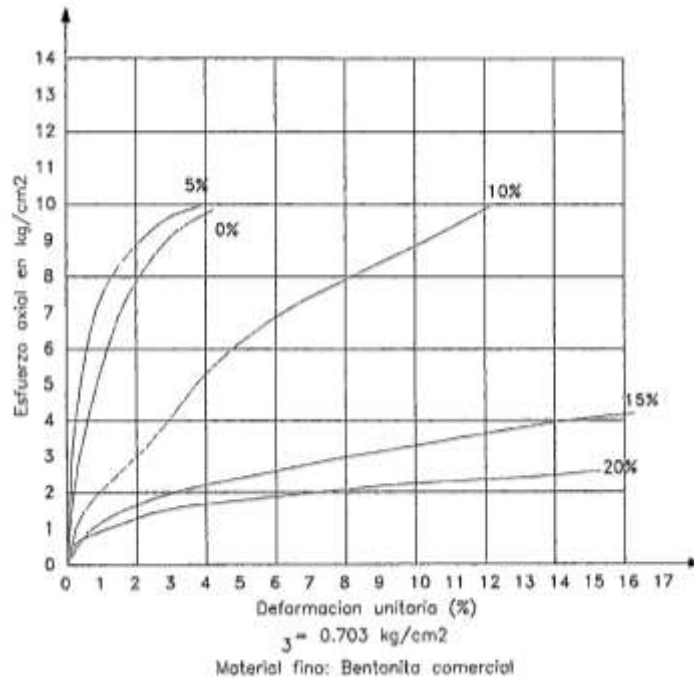


Figura 3. Gráfico esfuerzo-deformación para suelos con diferentes porcentajes de bentonita. Fuente: (Ugaz, 2006)

Para el diseño de mezcla de dos suelos y la resultante de un tercero que presente granulometría que garantice propiedades requeridas por especificaciones técnicas; existen diversos métodos con el mismo objetivo.

Se presenta un suelo en varias fracciones y se conoce el porcentaje de cada una; para variar uno o más de los porcentajes adicionando una proporción de otro suelo de granulometría conocida. Así si A, B, C,... son los porcentajes pasantes de cierta malla en un conjunto de suelos 1, 2, 3,... y que se van a mezclar para la formación de un único suelo y si a, b, c,... son porcentajes de los mencionados suelos que se consideran en la mezcla, el porcentaje resultante que pasará por cierta malla estará dado por la ecuación:

$$P = aA + bB + cC + \dots \quad (1)$$

La problemática de mezclas es por varios aspectos; algunas veces se tiene que obtener toda la curva granulométrica de la mezcla y otras veces bastará con garantizar algún o algunos porcentajes apropiados, de tamaños específicos; un aspecto del último

caso sería la modificación de la fracción fina de suelo para mejorar su plasticidad o su permeabilidad.

Si se presentan mezclas de sólo dos suelos, entonces la ecuación (1) queda:

$$p = aA + bB \dots \dots \dots (2)$$

Evidentemente  $a + b = 100\%$  de donde:  $a = 1 - b$

Sustituyendo en la ecuación (2) se tiene:

$$p = (1 - b)A + bB = A - Aa + bB$$

$$p - A = b (B - A)$$

De donde se obtiene:

$$b = \frac{p - A}{B - A} \dots \dots \dots (3)$$

De la misma forma se puede llegar al:

$$a = \frac{p - B}{A - B} \dots \dots \dots (4)$$

Las expresiones (3) y (4) dan los porcentajes en que los suelos 1 y 2 deben combinarse para que la mezcla tenga el porcentaje  $p$  pasando la malla que se haya elegido como base del cálculo. Obviamente  $p$  debe ser seleccionado por el proyectista, en base de sus necesidades prácticas. (Ugaz, 2006)

### **2.2.8. Ensayos de laboratorio**

Los ensayos de laboratorio para determinar las características físico-mecánicas y químicas de los materiales de las canteras se efectuarán de acuerdo al manual de

Carreteras del ministerio de Transportes y Comunicaciones en sus Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013. (MTC, 2013)

Tabla 1. Requerimientos granulométricos para base y subbase granular.

Tamiz	Porcentaje que pasa (%)			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100		
25 mm (1")		75 – 95	100	100
<b>Capa Base</b> 9,5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4,75 mm (Nº4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2,0 mm (Nº10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
425 µm (Nº40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 µm (Nº200)	2 – 8	5 – 15	5 - 15	5 – 15

Fuente: (MTC, 2013)

Tabla 3. Requerimientos del agregado fino y grueso para base granular.

Ensayo	Método de Ensayo	Base Granular			
		< 3000 msnm		≥ 3000 msnm	
		Agregado Grueso	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agregado Fino
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	80 % Min.		80 % Máx.	
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	40 % Min		50 % Min	
Abrasión de Los Ángeles	MTC E 207	40 % Máx		40 % Máx	
Partículas chatas y alargadas	ASTM D 4791	15 % Máx		15 % Máx	
Sales solubles	MTC E 219	0.5 % Máx	0.5 % Máx	0.5 % Máx	0.5 % Máx
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209			18% Máx.	15% Máx.
Índice Plástico	MTC E 111		4% Máx.		2% Máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114		35% Min.		45% Min.

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013

## 2.2.9. Análisis granulométrico de suelos MTC E 107, NTP 339.134

### 2.2.9.1. Definición de análisis granulométrico de suelos

Este proceso consiste en separar las partículas de un suelo, utilizando una sucesión de mallas con abertura cuadrada, se tamiza y se registra el peso de cada porción de suelo retenido en cada malla. Este método clasifica las partículas de un Suelo hasta un tamaño mínimo de 0.074 mm., correspondiente a la malla N° 200. (Paquita, 2015)

Esta es una prueba definitiva para juzgar la calidad de un material, de acuerdo con el fin a qué se destina y se verifica mediante la obtención de los tamaños de las partículas que forman el Suelo, por el procedimiento de cribado o por el de sedimentación. (Juárez y Rico, 2005)

### 2.2.9.2. Pendiente granulométrica

Se considera una mala distribución granulométrica si las curvas son muy verticales. Se considera una buena gradación si las curvas tienen una pendiente moderada. En el caso de los limos y arcillas las mayormente son curvas horizontales que representan igualmente una mala distribución granulométrica. (Braja, 2012)

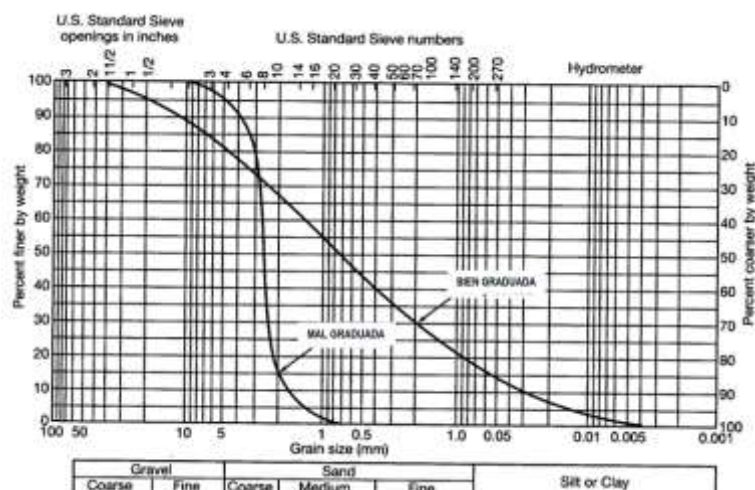


Figura 4. Curva granulométrica.  
Fuente: (Huanca, 2014)

### 2.2.9.3. Sistema de Clasificación AASHTO

En 1929 se iniciaba un sistema de clasificación en la evaluación de suelos por el departamento de Caminos Públicos de Estados para la construcción de obras viales a nivel de subrasante. En 1945 se modifican sus características, para ser conocido como el renovado sistema AASHTO.

El mencionado sistema hace clasificación de suelos en siete grupos, basándose en los resultados de los ensayos: granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. Para reemplazarlos en un "índice de grupo" y calcular con la siguiente fórmula empírica:

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

Donde:

**F200:** Porcentaje que pasa el tamiz N°200, expresado como un número entero.

**LL:** Límite líquido del suelo; **LP:** Límite plástico del suelo.

El IG debe ser establecido en números enteros; si es negativo se indica como cero.

El índice de grupo resultante indicará la clasificación de los suelos granulares y su calidad relativa para ser usados en la conformación de la capa base. Para esto se deben cruzar los resultados de ensayos de izquierda a derecha en la interactiva Tabla 3. Todos los valores límites deben ser enteros; si alguno de los cuales es decimal, se aproximará al entero más cercano. El valor del IG debe ir siempre entre paréntesis después del símbolo del grupo, como: A-2-5 (1). (Díaz, 2016)

Este método define la clasificación con tamices de abertura como:

- **Grava:** Material que pasa por la malla 80 mm y es retenido por la de 2mm.
- **Arena gruesa:** Material comprendido entre 2 mm y 0.5 mm.

- **Arena fina:** Material comprendido entre 0.5 y 0.08 mm.

- **Limo, arcilla:** Material que pasa la malla 0.08 mm.

Cuando el suelo no presenta índice de plasticidad (NP) o el límite líquido no es determinado, el índice de grupo se debe considerar cero.

Si el suelo presenta alto contenido orgánico, se puede clasificar como A-8 sólo con una inspección visual, sin considerar el porcentaje que pasa 0.08 mm, su límite líquido o índice de plasticidad. (Díaz, 2016)

Tabla 2. Clasificación AASHTO.

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

Fuente: (Díaz, 2016)

#### 2.2.9.4. Sistema de clasificación SUCS

A. Casagrande desarrolla el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) para identificar y agrupar suelos en obras de aeropuertos durante la segunda guerra mundial. El sistema se revisa y adopta en 1952. En la actualidad, es bastante usado por los ingenieros y normado con la prueba ASTM D-2487.

Este sistema divide los suelos en dos grandes grupos: suelos gruesos y suelos finos, separados a través de la malla N°200. Las partículas gruesas son retenidas en

dicha malla y las finas son las que pasan. Se considera el suelo como grueso si más del 50% de las partículas son retenidas, y fino si más de la mitad en pesos pasan la malla N°200.

Los símbolos de grupo gruesos comienzan con un prefijo G o S que significan suelo gravoso y suelo arenoso respectivamente, por sus siglas en inglés de las palabras gravel y sand. Los símbolos de grupo finos comienzan con un prefijo M, representa a un limo inorgánico, C a la arcilla inorgánica, O a los limos y arcillas orgánicos y Pt se usa para turbas.

La nomenclatura utilizada para la grava es: GW, GP, GM, GC, GCGM, GW-GM, GW-GC, GP-GM Y GP-GC. De igual manera, la nomenclatura para suelos finos es; CL, ML, OL, CH, OH, MH, CL-ML, y Pt así como las arenas SW, SM, SC, SP. (Díaz, 2016)

Donde:

**W:** Bien graduado.

**P:** Mal graduado.

**L:** Baja compresibilidad; limite líquido menor que 50.

**H:** Alta compresibilidad; limite liquido mayor que 50.

A continuación se muestra dos cuadros sinópticos con las divisiones mencionadas

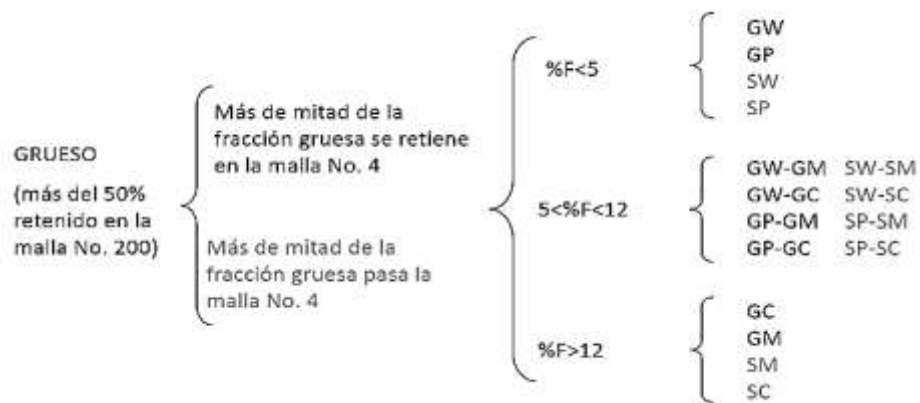


Figura 5. Clasificación SUCS de suelo granular.  
Fuente: (Huanca, 2014)

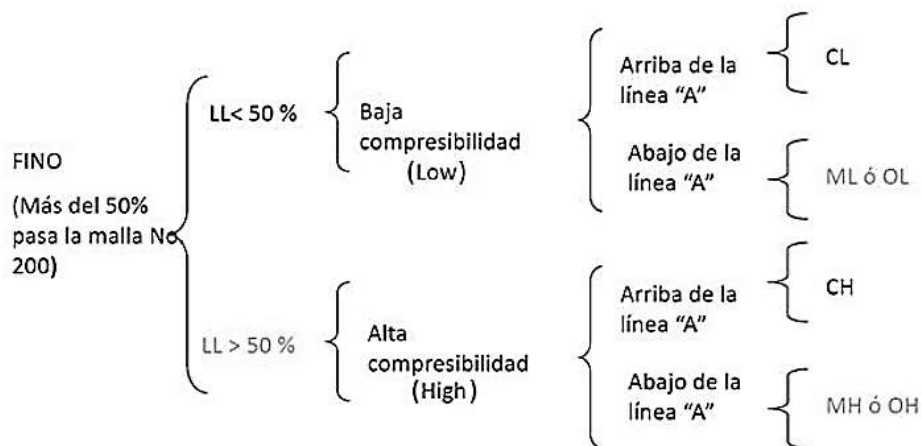


Figura 6. Clasificación SUCS finos.  
Fuente: (Huanca, 2014)

### 2.2.10. Equivalente de Arena MTC E-114, NTP 339.146

Se requiere que un camino tenga una buena cimentación, por ello debe tener la menor cantidad de finos, para ser más preciso arcillas, que son los materiales que en contacto con el agua causa un gran daño al pavimento, por ende es necesario conocer si la cantidad de finos que tiene el suelo empleado en la estructura del pavimento es la adecuada; por tanto, es fundamental plantear una manera sencilla que nos arroje dichos resultados; con suma importancia cuando se detectan los bancos de materiales. (MTC, 2016)

El objetivo del ensayo, es la obtención del indeseable porcentaje de agregado fino, principalmente el de arcillas que al contacto con el agua le provocan daños a la estructura del pavimento. Este proceso muestra un valor empírico a la cantidad relativa y características del material fino encontrados en una muestra de ensayo formado por suelos granulares que pasan por el tamiz N°4 (4.75mm), se calcula con la siguiente expresión. (Paquita, 2015)

$$SE = \left( \frac{\text{lectura de arena}}{\text{lectura de arcilla}} \right) \times 100 \text{ [\%]}$$

➤ **SE** = equivalente de arena expresado en porcentaje. (%)

### 2.2.11. Índice Plástico NTP 339.129

Se determina el índice plástico de un suelo cohesivo mediante la resta entre su Límite Líquido y su Límite Plástico:

$$I_p = LL - LP$$

Donde:

**IP:** Índice plástico.

**LL:** Límite líquido.

**LP:** Límite plástico.

En ciertos casos el Índice plástico presenta valores negativos. No se podrá determinar en los siguientes casos:

- ❖ Cuando el LL o LP no pueden ser determinados, se reconocerá como (NP).
- ❖ Cuando el suelo presenta mucha arena, el LP se determinará antes del LL. Si el LP no se puede determinar, indicar ambos como NP.

- ❖ Cuando el LP es igual o mayor que le LL, indíquese el IP como NP.

### 2.2.12. Contenido de Sales Solubles Totales MTC E-219, NTP 339.152

Si hay agregados contaminados con un elevado contenido de sulfatos o cloruros, adheridos a su superficie, como es el caso de la arena que resulta el agregado de mayor peligro, por su elevada medida de superficie específica, estas sales no pueden ser detectadas por la vista ni por el gusto, ya que pequeñas cantidades son suficientes para representar un peligro para el pavimento rígido (basta el 1 % de sulfatos, en masa, o el 0.1 % de cloruros, en masa). Los sulfatos atacan al pavimento produciendo reacciones expansivas que agrietan y desmoronan su estructura, en el caso de las estructuras que cuentan con acero, el cloruro lo corroe, perdiendo sus condiciones resistentes, aumenta el volumen y agrieta las secciones del concreto. (Núñez, 2013)

Por ello, el MTC determina el contenido de cloruros y sulfatos, que son solubles en agua, de los agregados utilizados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas a través de un procedimiento analítico de cristalización.

Una muestra de agregado se sujeta a continuos lavados con agua destilada a la temperatura de ebullición, hasta la extracción total de las sales. Estas sales se observan mediante reactivos químicos que, al menor contenido de sales, forman precipitados fácilmente visibles. Del total de agua de lavado se toma una muestra y se procede a cristalizar para obtener la cantidad de sales presentes. (MTC, 2016)

Se determina mediante la siguiente expresión:

$$\text{Sales solubles (\%)} = \frac{I}{\frac{C \times A}{D \times B} - 1} \times 100$$

Donde:

**A:** Muestra seca.

**B:** Líquidos sobrenadantes acumulados.

**C:** Volumen de alícuota tomada de la muestra homogeneizada.

**D:** Alícuota cristalizada.

### **2.2.13. Porcentaje de partículas con cara fracturada ASTM D 5821, MTC E 210**

Este método de ensayo determina en masa o cantidad el contenido de partículas fracturadas que reúnen requerimientos especificados de una muestra de agregado grueso. Un propósito de tales requerimientos es maximizar el esfuerzo cortante en el incremento de fricción y adherencia entre partículas. (MTC, 2016)

Se toma un material previamente lavado realizándole un cuarteo técnico para obtener una muestra homogénea posteriormente, se inicia un conteo manual donde el principal objetivo es el de determinar si las partículas del material presentan caras fracturadas ásperas o quebradas formada por la trituración si se tiene un área proyectada equivalente a un cuarto de la máxima área proyectada (sección transversal máxima). Después de observar el material con caras fracturadas se deja en diferentes recipientes y se procede a pesar. (Herrera y Vargas, 2015)

Existen especificaciones técnicas que tienen requisitos relacionados al porcentaje de agregado grueso con caras fracturadas, con la finalidad de maximizar la resistencia al esfuerzo cortante con el incremento de la fricción entre las partículas. Otra finalidad es proveer estabilidad a los agregados empleados para carpeta de rodadura, dar fricción y textura a agregados empleados en pavimentación.

La forma de la partícula de los agregados afecta la trabajabilidad durante su uso, también en la cantidad de fuerza de compactación para obtener la densidad requerida y la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida de servicio.

Las partículas del agregado con forma irregular y angular resisten el desplazamiento en el pavimento porque se entrelazan al ser compactadas. El mejor entrelazamiento se da, con partículas de forma cubica con bordes puntiagudos, que se obtienen por trituración. (Minaya y Ordoñez, 2006)

#### **2.2.14. Ensayo de Abrasión Los Ángeles ASTM C 131, MTC E 207, NTP 400.019**

Los suelos granulares deben ser capaces de resistir las condiciones de esfuerzo-deformación, por las cargas vehiculares transmitidas a la superficie del pavimento a través de las llantas con presión vertical de manera uniforme. La función estructural del pavimento es la de distribuir los esfuerzos, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima en la subrasante.

Por esta razón los suelos granulares que están cerca de la superficie, conformados en la capa base y carpeta asfáltica, deben ser más resistentes que los agregados usados en las capas inferiores.

Por tanto, el ensayo de Abrasión de Los Ángeles mide la resistencia de los puntos de contacto del agregado frente al desgaste y/o a la abrasión. El porcentaje se calcula como la diferencia del peso inicial menos el peso final de la muestra ensayada, entre el peso inicial. (Minaya y Ordoñez, 2006)

Los suelos granulares a usar en pavimentos flexibles deben estar caracterizados por dureza y resistencia al desgaste por efectos de pulidos y abrasivos internos de las cargas vehiculares repetidas. La estimación más aceptada es la dureza para agregados gruesos es la prueba de abrasión de Los Ángeles. La máquina a usar en este ensayo consiste en un cilindro de acero tambor hueco, montado en ejes giratorios.

En la ejecución del ensayo, se coloca dentro del tambor cilíndrico una porción de muestra limpia del agregado grueso juntamente con esferas de acero como cargas abrasivas. El tambor cilíndrico gira 500 veces a una velocidad de 30 a 33 RPM, después se debe retirar la muestra granular y cernir en una malla del No. 12 (1,70 mm). El material retenido en el tamiz se lava, se seca hasta tener masa constante y ser pesada. Se reporta como porcentaje de desgaste la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra expresada como porcentaje. (UMSS, 2004)

El significado de la palabra abrasión refiere a la causa de acción y efecto de desgastar por fricción. En los suelos granulares una de las propiedades físicas de mayor importancia e indispensable conocer es la resistencia a la abrasión o desgaste del agregado. Esta característica es importante porque con ella determinamos la durabilidad y resistencia que desempeñará el concreto y las capas de pavimento. Los agregados deben estar preparados para evitar el aplastamiento, degradación y desintegración.

Por tal razón los suelos granulares superiores serán más resistentes que los agregados de capas inferiores de la estructura del pavimento. Para esto, el ensayo de desgaste de Los Ángeles, mide básicamente la resistencia de los agregados al desgaste y/o a la Abrasión. (Huamán, 2016)

#### **2.2.15. Partículas Chatas y Alargadas ASTM D 4791**

Método de determinación de los porcentajes de partículas chatas o alargadas en el agregado grueso.

Las partículas chatas o alargadas pueden interferir con la consolidación y dificultar la colocación de los materiales.

Este método permite verificar si se cumple con las especificaciones técnicas que limitan a tales partículas o determinar la forma característica del agregado grueso. (MTC, 2016)

Se ha demostrado en diversas investigaciones, que el exceso de partículas chatas y alargadas, perjudican el comportamiento de la estructura del pavimento.

La carga proveniente de los ejes equivalentes de tráfico puede quebrar las partículas y modificar la estructura de pavimento original. Se denomina partícula alargada cuando la relación largo/ancho es mayor de 1/3; y chata cuando la relación ancho/espesor es mayor de 1/3. (Minaya y Ordoñez, 2006)

Las partículas chatas y alargadas se definen como aquellas cuya dimensión última es menor que 0.6 veces su dimensión promedio y aquellas que son mayores a 1.8 veces la dimensión promedio respectivamente. Es decir, la dimensión promedio es definida como el tamaño medio entre las dos aberturas 1" a  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{3}{4}$ " a  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{1}{2}$ " a  $\frac{3}{8}$ " etc. Los agregados son detenidos al ser tamizados. (Paquita, 2015)

#### **2.2.16. California Bearing Ratio (CBR) ASTM D 1883, MTC E 132, NTP 339.145**

P.J. Porter, en el estado de California propuso el valor de soporte CBR (California Bearing Ratio) como primer intento de dimensionar a los pavimentos flexibles con una base racional que estandarice un modelo de ensayo que determine la resistencia del suelo.

Se aplicará esta prueba para conocer si el material cumple con los parámetros para emplearse en las capas de un pavimento. En el caso de bases la prueba se realiza con especímenes compactados por métodos dinámicos. (Díaz, 2016)

El ensayo se realiza sobre los suelos granulares preparados en el laboratorio con condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno. (Lozada, 2018)

El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1 o 0.2 pulgadas de penetración, expresada en porcentaje en su respectivo valor estándar. Mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada, el

ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado, ya que se aplica sólo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo. (Crespo, 1976)

El CBR se obtiene mediante una prueba de penetración, en la que un vástago de 19.4 cm De área se hace penetrar en un espécimen de suelo previamente compactado a razón de 0.127 cm/min. Mide la carga aplicada para penetraciones que varíen en 0.25 cm. El CBR se define como la relación, expresada como porcentaje, entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm y la presión requerida para tener la misma penetración en un material arbitrario, adoptando como patrón, que es piedra triturada. (Paquita, 2015)

$$CBR = \left( \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patron}} \right) \times 100 \quad (\%)$$

La muestra de suelo con el que se hace la prueba está confinada en un molde de 15.2 cm (6") de diámetro y 20.3 cm (8") de altura, equipado con un collarín de extensión de 5.1 cm de altura y una placa de base perforada. La muestra introducida en el molde se satura en un periodo de 3 a 4 días con la finalidad de representar las condiciones más desfavorables que puedan presentarse en el futuro pavimento y para determinar el porcentaje de expansión, el cual se mide cada 24 horas.

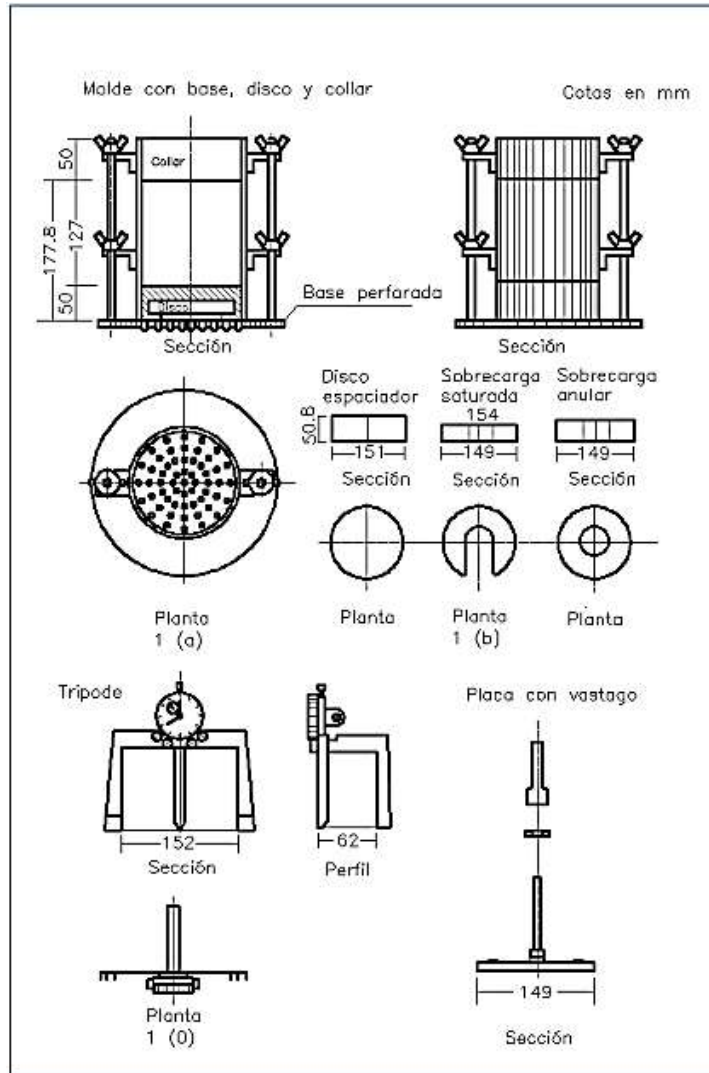


Figura 7. Moldes de CBR.  
Fuente: (MTC, 2016)

Para idealizar la sobrecarga que vaya a tener la capa del pavimento en estudio por efecto del peso de las capas superiores, se coloca sobre el material a ensayar una placa que comunice al espécimen una presión equivalente a la sobrecarga que se tendrá en el pavimento. La placa presenta una perforación en el centro para permitir que el pistón efectúe la penetración. Los resultados se llevan a una gráfica carga vs penetración, obteniendo la curva del CBR. Los factores que más afectan a los valores obtenidos en la prueba son la textura del suelo, su contenido de agua y su condición de compactación.

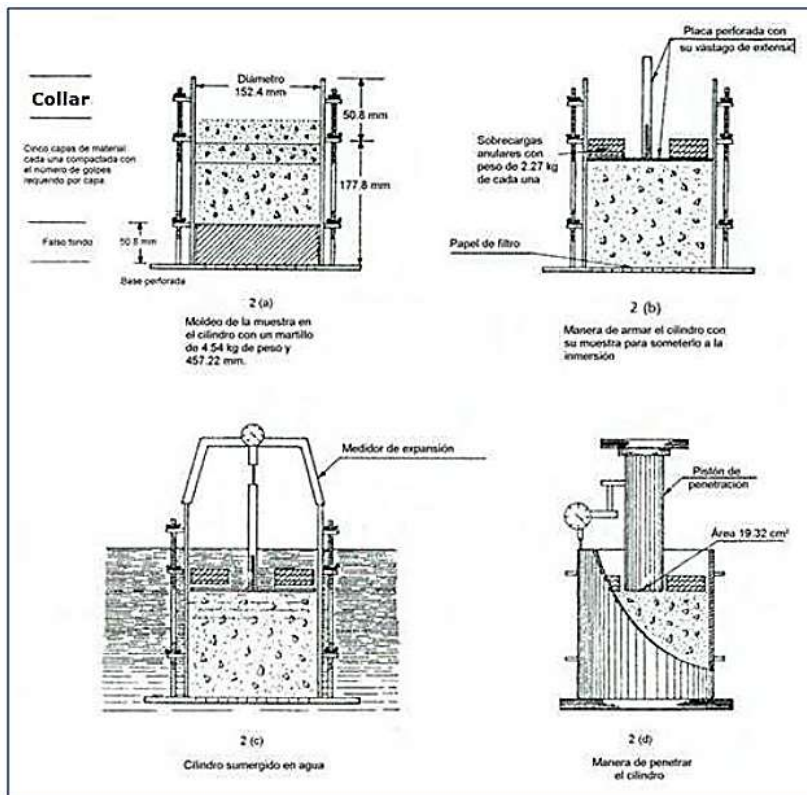


Figura 8. Determinación del valor de Soporte en el laboratorio.  
Fuente: (MTC, 2016)

El manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales para la construcción”, en la sección 403 “Bases Granulares”, establece los parámetros de valor relativo de soporte de acuerdo al estudio de tráfico, como se muestra en la siguiente tabla. (MTC, 2016)

Tabla 3. Requerimientos de valor relativo soporte según estudio de tráfico.

<b>Valor Relativo de soporte, CBR (1)</b>	Tráfico en ejes equivalentes (<math> < 10^6 </math>)	Min. 80%
	Tráfico en ejes equivalentes (>math> > 10^6 </math>)	Min. 100%

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de carga 0.1” (2.5mm)

Fuente: (MTC, 2013)

### **2.3. Definición de términos básicos**

**Abrasión:** Deterioro mecánico de rocas y agregados, los cuales son resultado del impacto y/o fricción.

**Agregado:** Materia granulada o material granular de estructura mineralógica como grava, arena, escoria o roca triturada, empleados con el fin de ser combinados en diferentes tamaños.

**Agregado fino:** También definido como árido fino, derivado de la desintegración artificial o natural de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo ordinario pasa la malla N°4 (4.75 milímetros) y contiene finos.

**Agregado grueso:** Material derivado de la descomposición artificial o natural de partículas, donde la granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general es retenida en la malla N°4 (4.75 milímetros).

**Base:** Capa de un pavimento asfáltico que se encuentra bajo la capa de rodadura. Debido a la cercanía con la superficie, es necesario poseer alta resistencia a la deformación. Con el fin de resistir las presiones que recibe. Se construye con suelos granulares estabilizados o procesados; eventualmente con algunos materiales marginales.

**Cantera:** Fuente primordial de materiales pétreos o suelos granulares, los cuales se establecen en una de las materias primas esenciales en el sector de la construcción de pavimentación y obras civiles.

**Muestra:** Es una porción que se elige del lote y que se considera representativa de él. Puede estar constituida por un determinado número de muestras parciales.; para nuestra investigación suelos granulares.

**Contenido de humedad:** Relación que existe entre el volumen del agua comprendida en el material en estado natural y el peso del elemento luego de ser secado en el horno, ante una temperatura que varía entre los 105-110°C.

**Consolidación:** Proceso de duración variable, según sus propias características, que sigue una capa de suelo o firme, sometida a cargas, hasta alcanzar un volumen estable.

**Compactación:** aumento de la “densidad” de un determinado suelo o capa del firme al comprimirlo empleando medios mecánicos.

**Densidad:** Es la propiedad que nos admite medir la pesadez o ligereza de un elemento. Las bajas densidades nos muestran que el elemento es débil, poroso y de alta absorción. Y las altas densidades en un material nos reflejaran que será más pesado.

**Dureza:** Se especifica como dureza de un agregado a su resistencia a la abrasión o erosión, en general al desgaste. La dureza de los elementos va a depender de sus constituyentes.

**Granulometría:** Nos muestra la distribución de tamaños que posee el agregado durante el tamizado, siguiendo las especificaciones técnicas. Desde este punto se puede estimar con menor o mayor aproximación las propiedades que puedan interesar.

**Límite líquido:** Delimitado entre los estados plásticos y semilíquido. Es el contenido de humedad expresado en porcentaje respecto al peso seco de muestra.

**Límite plástico:** Delimitado entre los estados semisólidos y plásticos. Es el contenido de humedad más bajo, donde el suelo empieza a fracturarse, esto se da cuando es amasado en rollos de 3mm de diámetro.

**Índice de plasticidad:** Se define como propiedad de un elemento el cual permite resistir deformaciones rápidas, sin agrietarse, sin cambiar de volumen y ni desagregarse.

**Muestra:** Es una fracción que se toma del lote y que se considera representativa de él. Puede estar formada por un determinado número de muestras parciales.

**Cohesión:** Cualidad donde las partículas del terreno se encuentran unidas en virtud de fuerzas internas. Tienden a unirse en suelos plásticos, tales como las arcillas.

## Capítulo III. Materiales y Métodos

### 3.1. Hipótesis

#### 3.1.1. Hipótesis general

HG: La evaluación del índice CBR de suelos granulares en laderas de cerro y lecho de río para capa base en pavimentos flexibles; cumplen la normativa de calidad establecida por el Manual de Carreteras EG – 2013.

#### 3.1.2. Hipótesis específicas

HE1: La caracterización físico-mecánica y química de suelos granulares en ladera de cerro y lecho de río, corresponden a los parámetros preestablecidos por el Manual de Carreteras EG – 2013.

HE2: Los índices de CBR de suelos granulares en ladera de cerro y lecho de río, no alcanzan el requerimiento determinado por el Manual de Carreteras EG – 2013.

HE3: La caracterización de los diseños de mezcla entre los suelos granulares de ladera de cerro y lecho de río, son aptos bajo los parámetros normativos establecidos por el Manual de Carreteras EG – 2013.

### 3.2. Variables

**Variable independiente:** Características físicas, mecánicas y químicas.

**Variable dependiente:** índice de CBR.

### 3.3. Definición Conceptual

**Características físicas, químicas y mecánicas.** Representa el proceso metodológico de ensayos en laboratorio bajo parámetros del manual MTC “EG-2013”.

**Índice de CBR.** Mide la capacidad portante de los suelos granulares para pavimentos, expresado en porcentaje.

### 3.4. Operación de variables

Tabla 4. Operación de variables.

<b>Variables de investigación</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Características físicas, mecánicas y químicas</b>	Granulometría	MTC E 107
	Porcentaje de partículas fracturadas	MTC E 210
	Abrasión de Los Ángeles	MTC E 210
	Porcentaje de partículas chatas y alargadas	ASTM D 4791
	Contenido de sales solubles	MTC E 219
	Índice plástico	MTC E 111
	Equivalencia de arena	MTC E 114
<b>Índice de CBR</b>	Porcentaje	MTC E 132

### 3.5. Enfoque de la investigación

La caracterización de suelos granulares; plantea la mejora y un enfoque cualitativo del material correspondiente a capa base granular, que mejora propiedades internas en su desempeño. (Borja S., 2012)

### 3.6. Tipo de investigación

En beneficio de la conservación de vías del tipo flexibles; se presenta la caracterización físico mecánica de suelos granulares que conforman la base como apoyo de la carpeta de rodadura. El producto final refiere a una investigación aplicada. (Borja S., 2012)

### 3.7. Diseño de la Investigación

Se entiende como diseño de investigación, a establecer procesos que conlleven a validar o no la hipótesis; éstas pueden ser del tipo experimental y no experimental. Para el presente proyecto, se manipularán intencionalmente muestras representativas de la variable independiente. Y así poder observar si esta manipulación tiene efecto o

no en la variable dependiente. De acuerdo con la definición anterior, es una investigación experimental. (Borja S., 2012)

### **3.8. Método de investigación**

El presente refiere a una investigación explicativa por su búsqueda de hechos mediante la relación causa - efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas en la caracterización físico-mecánica y química, como de los efectos positivos en el producto de aplicación, mediante la prueba de hipótesis. (Borja S., 2012)

Para la toma de decisión respecto a los diseños de mezcla de los suelos granulares entre ladera de cerro y lecho de río, se tomará en consideración el planteamiento por Vásquez (2019), el cual utiliza los suelos granulares de la cantera El Guitarrero con piedra chancada del río Chonta en los siguientes porcentajes: 80% de muestra de cantera El Guitarrero y 20% de piedra chancada, 70% de material de cantera El Guitarrero y 30% de piedra chancada, 60% de material de cantera El Guitarrero y 40% de piedra chancada. Obteniendo resultados favorables con el último diseño mencionado. Cabe mencionar que el autor utiliza la teoría de diseño de mezcla de suelo mencionada por Ugaz (2006), que fue detallada en el marco teórico de la presente investigación.

### 3.9. Población y Muestra

#### 3.9.1. Población

Es el conjunto de elementos que serán motivo de estudio. La población determinada para esta investigación se aplica a menos de 3000 m.s.n.m., será en la ladera de cerro Cuncacucho y el lecho de río Rímac sector Ñaña – Lima - Perú, para obtención de suelos granulares para fines evaluativos y de caracterización para su aplicación en capas base para pavimentos. (Borja S., 2012)



Figura 6. Ubicación de la población en estudio.

#### 3.9.2. Muestra

La extracción de muestras se desarrolla con los propósitos de la investigación. Las muestras se tomarán en proporción a lo requerido en los ensayos de laboratorio bajo las normas establecidas en el manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013, con las recomendaciones para no alterar el comportamiento hidráulico en lecho de río, ni condiciones geométricas de taludes en

ladera de cerro; Asimismo, con la obtención de perfiles estratigráficos por punto de inspección. Siendo 310 kg de cantera ladera de cerro y 190 kg de cantera lecho de río.

Tabla 5. Coordenadas WGS84 de los puntos de exploración.

PUNTO DE EXPLORACIÓN	COORDENADAS	COTA (m.s.n.m.)
Ladera de cerro	11°59'11"S 76°50'41"W	606
Lecho de río	11°59'32"S 76°50'09"W	503

### 3.10. Descripción del lugar

#### 3.10.1. Ubicación geográfica

La ubicación geográfica del lugar de estudio:

**Distrito** : Lurigancho Chosica.

**Provincia** : Lima.

**Departamento** : Lima.

**Clima** : Cálido y desértico.

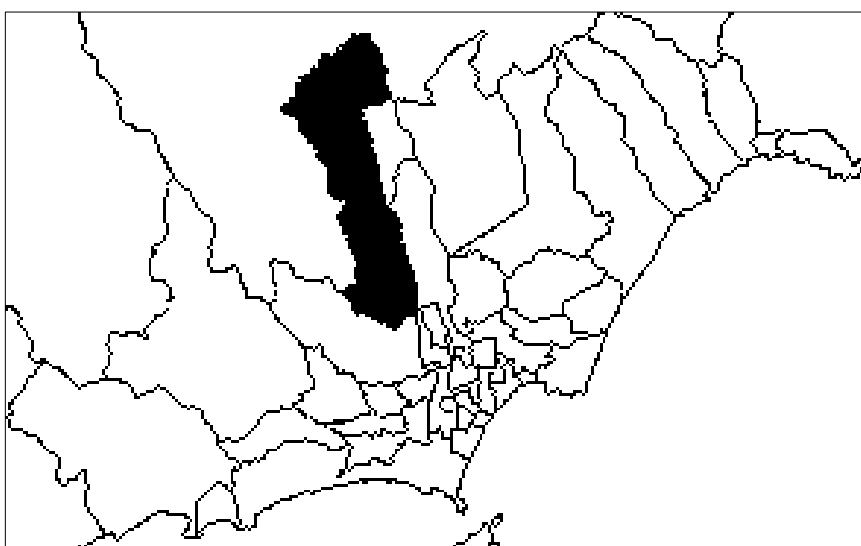


Figura 9. Mapa de Lima - Perú, ubicación del lugar de estudio.

### 3.10.2. Zona de estudio

La exploración y extracción de suelos granulares se realizan en la ladera del cerro Cuncacucho en el interior del campus de la Universidad Peruana Unión y el lecho del río Rímac en la localidad de los Sauces, Ñaña, Lurigancho Chosica, Lima, Perú.



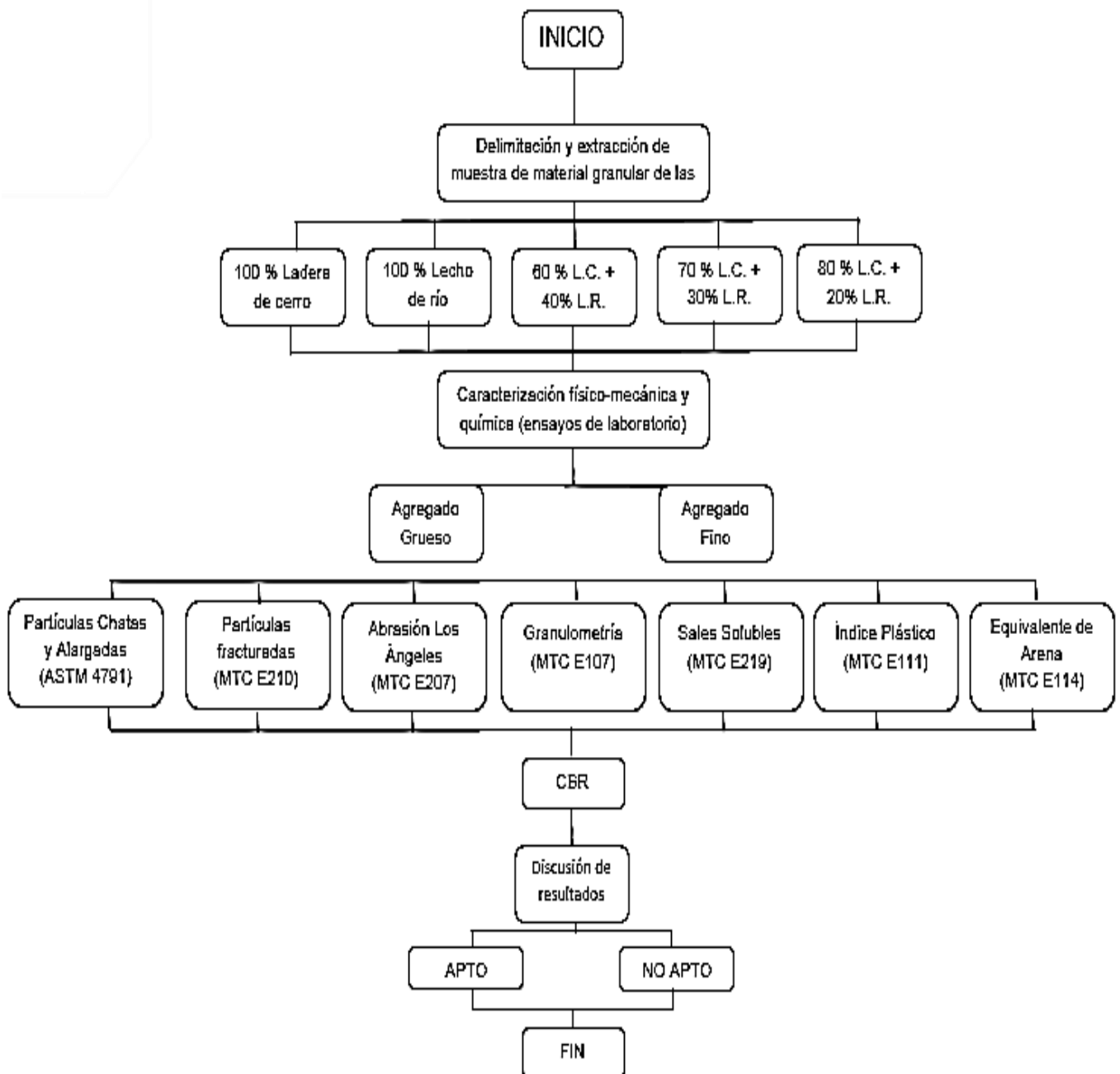
Figura 10. Muestra 01 Ladera de cerro Cuncacucho.



Figura 11. Muestra 02 Lecho de río Rímac.

### 3.11. Metodología

Se presenta en el siguiente diagrama de flujo.



Se procede en la elección de los puntos de exploración en ladera de cerro y lecho de río, para la extracción manual de los suelos granulares y posterior transporte a laboratorio.

En las instalaciones definimos la secuencia de ensayos en el siguiente orden: Cuarteo de dos tipos de suelos para la obtención de muestra uniforme y ensayo granulométrico, equivalencia de arena y contenido de sales solubles para agregado fino; porcentaje de caras fracturadas, partículas chatas – alargadas y abrasión de los ángeles para agregado grueso. . Estos resultados inciden en el ensayo para obtener el índice CBR, evaluados en cinco diseños de mezcla expresados en porcentaje, 100 % ladera de cerro, 100% lecho de río, 60% ladera de cerro con 40% lecho de río, 70% ladera de cerro con 30% lecho de río y 80% ladera de cerro con 20% lecho de río; estas fueron obtenidas del reemplazo de una porción de muestra de ladera de cerro por grava – arena de diámetro menor a 3/4” de la muestra lecho de río. Finalmente se presenta la discusión, resultados y recomendaciones respecto a la contrastación de la hipótesis.

### **3.12. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.12.1. Técnicas**

Se establecen con el propósito de recaudar información necesaria para el logro de los objetivos de la investigación.

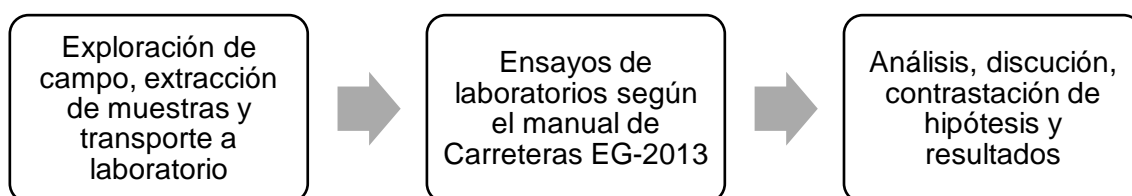


Figura 12. Técnicas para la recolección de datos.

### **3.12.2. Instrumentos**

Palas, picos, barretas, sacos, balanzas milimétricas, horno  $110 \pm 5$  °C, recipientes para muestreo, cepillo, brocha, juego de tamices, aparato Copa Casagrande, juego de espátulas, juego de fiolas, probetas y pipetas, papel filtro, frascos de agua destilada, guantes de asbesto, pinzas, dispositivo calibrador proporcional, moldes metálicos cilíndricos, pisón de compactación, la máquina de Los Ángeles, juego de embudos.

### **3.12.3. Ensayos de laboratorio**

#### ***3.12.3.1 Obtención de muestras representativas en laboratorio (Cuarteo)***

Realizar procedimientos de mezcla uniforme, del total de suelos granulares extraídos de la calicata para obtener una muestra representativa.

#### **Equipos y materiales**

- Tamiz de 2.5”.
- Regla de aluminio.
- Badilejo y cucharón.
- Brocha de limpieza.

#### **Procedimiento**

- Se tamiza por la malla 2.5” y coloca la muestra sobre una superficie dura, limpia y horizontal evitando cualquier pérdida de material o la adición de sustancias extrañas.



Figura 13. Tamizado 2.5" de muestra ladera de cerro.



Figura 14. Tamizado 2.5" de muestra lecho de río.

- Se mezcla bien hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación cuatro veces.
- Cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del mismo.
- Cuidadosamente se aplanar y extiende la pila cónica hasta darle una base circular, espesor y diámetro uniforme, presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarteo del sector contenga el material original. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor.
- Se procede luego a dividir diametralmente el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino, limpiando con cepillo o brocha los espacios libres.



Figura 15. Cuarteo para obtención de muestra representativa.

### **3.12.3.2. Granulometría**

Posterior al cuarteo de muestra; con un juego de tamices de diámetro establecido y el equipo de vibración circular. Se colocan 5 kilogramos de la muestra para conocer su composición porcentual en tamaño de partículas.

#### **Equipos y materiales**

- Dos balanzas para pesado de agregado fino y grueso.
- Horno; capaz de mantener temperaturas uniformes.
- Platos hondos para el manejo y secado de las muestras.
- Cepillo y brocha; para limpiar las mallas de los tamices.
- Juego de tamices de malla cuadrada 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°10, N°16, N°30, N°40, N°50, N°60, N°100 y N°200.

#### **Procedimiento**

- Llevar la muestra al juego de tamices y colocar en equipo de vibración por 10 minutos.
- Tomar registro de pesos retenidos en los tamices.
- Almacenar muestras en recipientes, por separado.
- Comprobar la sumatoria de pesos retenidos con el peso total de ensayo.



Figura 16. Juego de tamices, platos hondos, balanzas y fichas de registro.

### **Cálculos**

De la ecuación, se hallan los porcentajes que componen la muestra y posteriormente presentados en tablas para visualizar la gradación correspondiente.

### **Cálculo del índice de plasticidad**

Del suelo fino encontrado en el fondo que pasa la malla N°200, no presenta límite líquido y plástico; por tanto, se representa como N.P. (no presenta).

### **3.12.3.3. Contenido Sales Solubles**

Determinamos el contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua del agregado fino de ambas muestras, este método nos sirve para medir la existencia de sales y las posibles reacciones en los pavimentos.

### **Equipos y materiales**

- Balanza, para el pesado de suelo fino.
- 600 mililitros de agua destilada.
- Fiola para combinar la muestra de suelo y agua destilada.
- Papel filtro para colar muestra del agua destilada.
- Horno; para secado de muestra.

### **Procedimiento**

- Se utilizan 200 gramos de suelo tamizado por la malla N°10.
- Combinar muestra con 600 mililitros de agua destilada en la fiola.
- Agitar durante 1 hora.
- Pesar 200 gramos de agua pasado por un papel filtro y colocar al horno para el día siguiente determinar el contenido de sales totales.



Figura 17. Proceso de ensayo para contenido de sales solubles.

#### **3.12.3.4. Partículas chatas y alargadas**

Determina los porcentajes de partículas chatas y/o alargadas del agregado grueso. Estas pueden interferir en la consolidación y dificultar la colocación de la capa base.

#### **Equipos y materiales**

Dispositivo calibrador proporcional: Consiste en una base plana con dos postes fijos y un brazo giratorio entre ellos de tal modo que las distancias entre los extremos del brazo y los postes, mantengas una relación constante. Se evaluará la relación 1:2 para la presente investigación.

## Procedimiento

- Tamizar la muestra, para reducir cada fracción mayor a 3/8 pulgadas, hasta obtener aproximadamente 100 partículas.
- Ensayar cada partícula de cada fracción medida y colocarlas en uno de los tres grupos: Chatas, Alargadas y Ni chatas ni alargadas.
- Ensayo de partículas chatas: Ajustar la abertura entre el brazo mayor y el poste, al ancho de las partículas. La partícula es chata si su espesor pasa por la abertura menor.
- Ensayo de partícula alargada: Ajustar la abertura mayor a la longitud de la partícula. La partícula es alargada si su ancho pasa por la abertura menor.



Figura 18. Muestra lavada para tamizado y posterior ensayo – conteo de partículas.

### **3.12.3.5. Porcentaje de caras fracturadas**

#### **Equipos y materiales**

- Balanza; con aproximación al 0,1% de la masa.
- Tamices de 1”.
- Cuarteador de muestras apropiado.
- Espátula; para ayudar en la mezcla de las partículas de agregado.

#### **Procedimiento**

- Lavar la muestra sobre el tamiz de 1” para la determinación de partículas fracturadas.
- Determinar la masa de la muestra.
- Extender la muestra seca sobre una superficie larga, plana y limpia para inspeccionar cada partícula.
- Verificar que la partícula entra en el criterio de fracturada; si la cara constituye al menos un cuarto de la máxima sección transversal de la partícula de roca.

#### **Cálculos**

En la ecuación, se representa como la división de la masa de partículas fracturadas con al menos el número especificado de caras fracturadas con la suma de esta más la masa de partículas que no entran en el criterio de partícula fracturada multiplicado por cien.



Figura 19. Después del tamizado 1", se procede a seleccionar la muestra para peso y conteo.

#### **3.12.3.6. *Equivalente de arena***

En este método se identifica los suelos arcillosos o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz N°4 (4,75mm). Esto se expresa como el concepto de que la mayor parte de los suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables con indeseables arena, arcillas o finos plásticos y polvo.

#### **Equipos y materiales**

- Un cilindro graduado, transparente de plástico acrílico.
- Tapón de jebe.
- Tubo irrigador, dispositivo de pesado de pie y ensamblaje del sifón.
- Horno.

- Agitador mecánico, diseñado para sostener el cilindro plástico graduado requerido.
- Lata cilíndrica de aproximadamente 2¼ pulgadas de diámetro, con una capacidad de 85 mililitros.
- Tamiz N°4.
- Embudo, de boca ancha, para transferir los especímenes de ensayo dentro del cilindro graduado.
- Botellas, dos de 1 galón para almacenar las soluciones.
- Platillo plano, para mezclar.
- Reloj, con lecturas en minutos y segundos.
- Papel filtro.

### **Procedimiento**

- Verter el agregado para evitar la pérdida de finos durante las operaciones de cuarteo. Tener cuidado al añadir humedad a la muestra, para mantener un condición libre de flujo de material.
- Usando el recipiente, se ha tomado tres de estas medidas de la muestra; se golpea el extremo inferior del recipiente sobre una mesa de madera por lo menos cuatro veces y se sacude ligeramente para producir una medida de material consolidado a nivel y ligeramente redondeado sobre el extremo.
- Determinar y registrar la cantidad de material contenido en esas tres medidas por peso en un cilindro plástico seco.
- Retornar el material a la muestra y proceder a cuartear la muestra haciendo los ajustes necesarios para obtener el peso. Cuando estos pesos son obtenidos, dos operaciones adicionales sucesivas de cuarteo sin ajuste, deberán proporcionar la cantidad apropiada de agregado para rellenar el recipiente, y proporcionar por lo tanto el espécimen de ensayo.

- Secar el espécimen de ensayo a peso constante.
- Ajustar el dispositivo del sifón a una botella de 1,0 galón de la solución de trabajo de cloruro de calcio.
- Coloque la botella a 90 cm sobre la superficie de trabajo.
- Empezar el sifón conectándolo a la parte superior de la botella con la solución mediante un pedazo corto de tubo, mientras se abre el sujetador.
- Verter uno de los especímenes de ensayo en el cilindro de plástico usando el embudo para evitar derramarlo.
- Golpear ligeramente el fondo del cilindro sobre la palma de la mano varias veces para liberar las burbujas de aire y para conseguir el humedecimiento total del espécimen.
- Mantener al espécimen humedecido y al cilindro con turbiedad por 10 min.
- Al final de los 10 min del periodo de humedecimiento, parar el cilindro, y aflojar luego al material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo simultáneamente.

### **Cálculo**

Se calcula como la lectura de arena sobre la lectura de arcilla.



Figura 20. Proceso de funcionamiento sifón.



Figura 21. Arenas vs. Limos.

### **3.12.3.7. Abrasión de los Ángeles**

La composición del agregado grueso a ensayar comprende los tamaños nominales retenidos de 3/8 a 1 pulgada, para ser colocados en el tambor cilíndrico de acero que contiene 12 esferas de acero de peso aproximado 5 kilogramos.

En gradaciones granulométricas del tipo B y D, como la muestra de lecho río (5010 gramos) y ladera de cerro (4999 gramos) respectivamente se consideran 500 rotaciones a velocidad de 30 RPM por 15 minutos, creando un efecto de trituración por impacto. Finalmente, retiramos el agregado para medir su degradación en porcentaje de pérdida.

#### **Equipos y materiales**

- Máquina de Los Ángeles; tambor cilíndrico hueco de acero, cerrado en ambos extremos.
- Tamiz N°12, 1.70 mm de diámetro.
- Balanza.
- Horno 110°C.
- 12 esferas de acero, diámetro 4,5 centímetros y peso 450 gramos cada una.

#### **Procedimiento**

- Colocar la muestra de ensayo y las esferas de acero en el tambor cilíndrico, para rotarla 500 revoluciones a velocidad de 30 RPM por 15 minutos.
- Descargar el agregado de la máquina y realizar una separación preliminar con el tamiz N°12 (1.70 mm).
- Tamizar la porción más fina que 1,70 mm.
- Lavar el material más grueso que la malla de 1,70 mm.
- Secar al horno, determinar la masa con aproximación de pérdida de 1 gramo.

## Cálculos

Calcular la pérdida como diferencia entre la masa inicial y final de la muestra, expresado en porcentaje.



Figura 22. Máquina de trituración los Ángeles.

### 3.12.3.8. California Bearing Ratio - CBR

Se determina el índice CBR a la resistencia de los suelos. Denominado como relación de soporte, la muestra es preparada en el laboratorio con condiciones determinadas de humedad y densidad.

#### Equipos y materiales

- Prensa compresora, utilizada para forzar la penetración del cabezal con pistón en la muestra.

- El desplazamiento entre la base y el cabezal se debe poder regular a una velocidad uniforme de 1,27 milímetros por minuto y de carga 44,5 kN.
- Moldes de metal cilíndrico de 152,4 milímetros de diámetro interior y de 177,8 milímetros de altura, provisto de un collar metálico suplementario de 50,8 milímetros de altura y una placa base perforada de 9,53 milímetros de espesor.
- Pisón de compactación como el descrito en la operación del ensayo Proctor Modificado.

Aparato medidor de expansión compuesto por:

- Una placa de metal perforada, por cada molde de 149,2 milímetros de diámetro, cuyas perforaciones no excedan en 1.6 milímetros de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura.
- Dos pesas anulares de metal de 4.54 kilogramos y pesas ranuradas de metal de 2.27 kilogramos.
- Pistón de penetración metálico de sección transversal circular de 49,63 milímetros de diámetro.
- Dos diales con recorrido de 25 milímetros y divisiones lecturas en 0,025 milímetros, uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.
- Tanque, para la inmersión de los moldes con muestra en agua.
- Horno.
- Balanzas, una de 20 kilogramo de capacidad y otra de 1000 gramos.
- Tamices No. 4, 3/4" y 2".

## Procedimiento

- La muestra deberá ser preparada por el material que pasa el tamiz 3/4", toda la graduación deberá usarse en la preparación de las muestras a compactar.
- Cuando la fracción retenida en el tamiz 3/4" sea superior a un 25% en peso, se separa el material retenido en dicho tamiz y se sustituye por una proporción igual de material comprendido entre los tamices de 3/4" y N°4.
- De la muestra preparada se toman 10 kilogramos por cada molde CBR.
- Se determina la humedad óptima y la densidad máxima.



Figura 23. Muestra de diseño de mezcla para CBR.

- Se compacta cuatro especímenes con variación en su contenido de agua, con el fin de establecer definitivamente la humedad óptima y el peso unitario máximo.
- De esta forma, los resultados se grafican en un diagrama de contenido de humedad vs peso unitario.
- Se determina la humedad natural del suelo mediante secado en el horno.

- Conocida la humedad natural del suelo, añadimos la cantidad de agua faltante para alcanzar la humedad fijada.
- En la elaboración de especímenes, se pesa el molde con su base, se coloca el collar y el disco espaciador, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro.
- Una vez preparado el molde, se compacta el espécimen en su interior, aplicando el sistema de Proctor Modificado.
- Se utilizarán cuatro moldes por cada muestra, dando 55, 26 y 12 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente a la óptima
- Terminada la compactación, se quita el collar y se engrasa.
- Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base. Procedemos a pesar.
- Se toma la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del dial con el de la placa perforada y se anota la lectura en el día y la hora.
- A continuación, se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 4 días con constantes mediciones.



Figura 24. Muestras en inmersión.

- Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento.
- Después del periodo de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y a continuación se retira la sobrecarga y la placa perforada. Inmediatamente se pesa y se procede al ensayo de penetración.



Figura 25. Desmolde de muestras para ensayo de penetración.

- En la penetración se aplica una sobrecarga igual al peso del pavimento.

El valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada. Las características de la muestra patrón son las siguientes:

Tabla 6. Cuadro de Penetración vs. Presión.

Penetración		Presión		
Milímetros	Pulgadas	MN/m <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	Lb/plg <sup>2</sup>
<b>2.54</b>	0.1	6.90	70.31	1.0
<b>5.08</b>	0.2	10.35	105.46	1.5

Para calcular el índice CBR se procede como sigue:

- Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta punto de inflexión se toman los valores correspondientes a 0,1" de penetración.
- De la curva corregida tómense los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 0,1" y se calculan los valores de relación de soporte correspondientes, dividiendo el esfuerzo corregido entre los esfuerzos de referencia 6,9 MPa (1000 lb/pulg<sup>2</sup>) por 100.



Figura 26. Máquina de penetración CBR.

## Capítulo IV. Resultados y Discusión

### 4.1. Resultados

Se presenta la caracterización físico-mecánica y química de suelos granulares en ladera de cerro y lecho de río.

#### 4.1.1. Análisis granulométrico

Las curvas granulométricas resultantes, son comparadas dentro de los límites porcentuales de las gradaciones B, C y D establecidos por el manual de Carreteras EG – 2013 MTC; asimismo, no se toma en cuenta la gradación A por tratarse de muestras ubicadas a menos de 3000 m.s.n.m.

**Ladera de cerro Cuncacucho.** La figura 27, presenta la curva obtenida de la muestra que se ajusta al tipo de gradación D, siendo requisito apto para la conformación de capa base en pavimentos flexibles según el manual de Carreteras EG-2013.

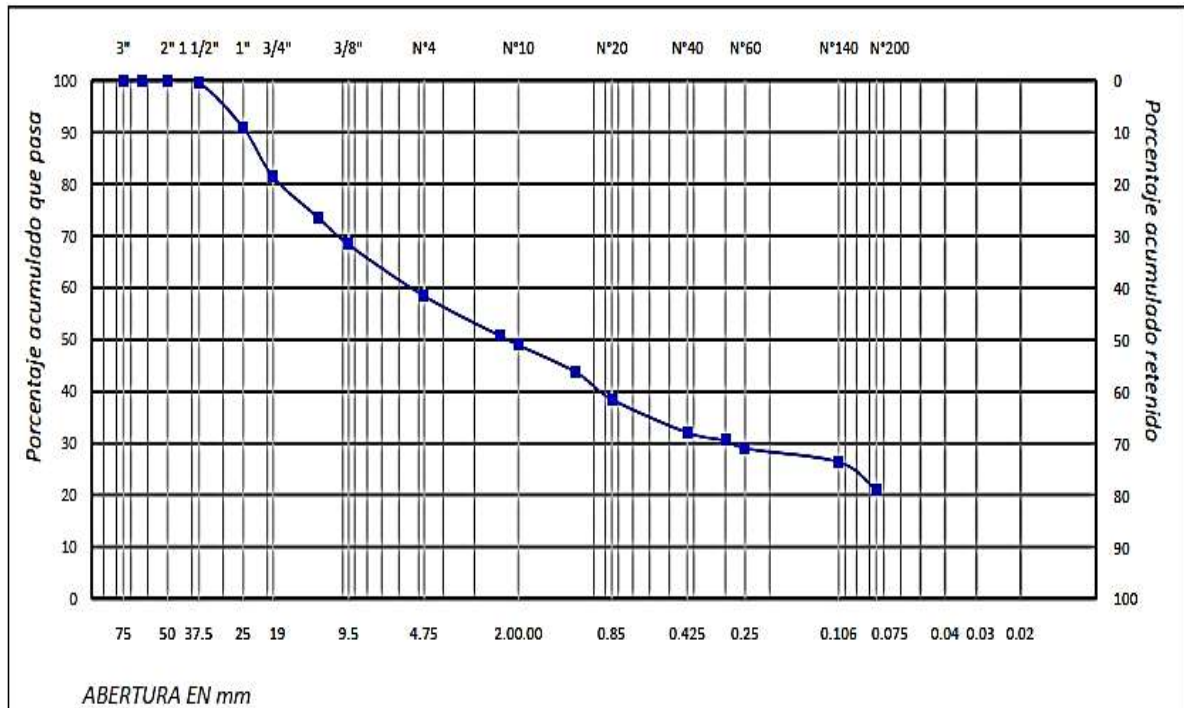


Figura 27. Curva granulométrica de muestra ladera de cerro.

**Lecho de río Rímac.** La figura 28, presenta la curva obtenida de la muestra que se ajusta al tipo de gradación B, siendo requisito apto para la conformación de capa base en pavimentos flexibles según el manual de Carreteras EG-2013.

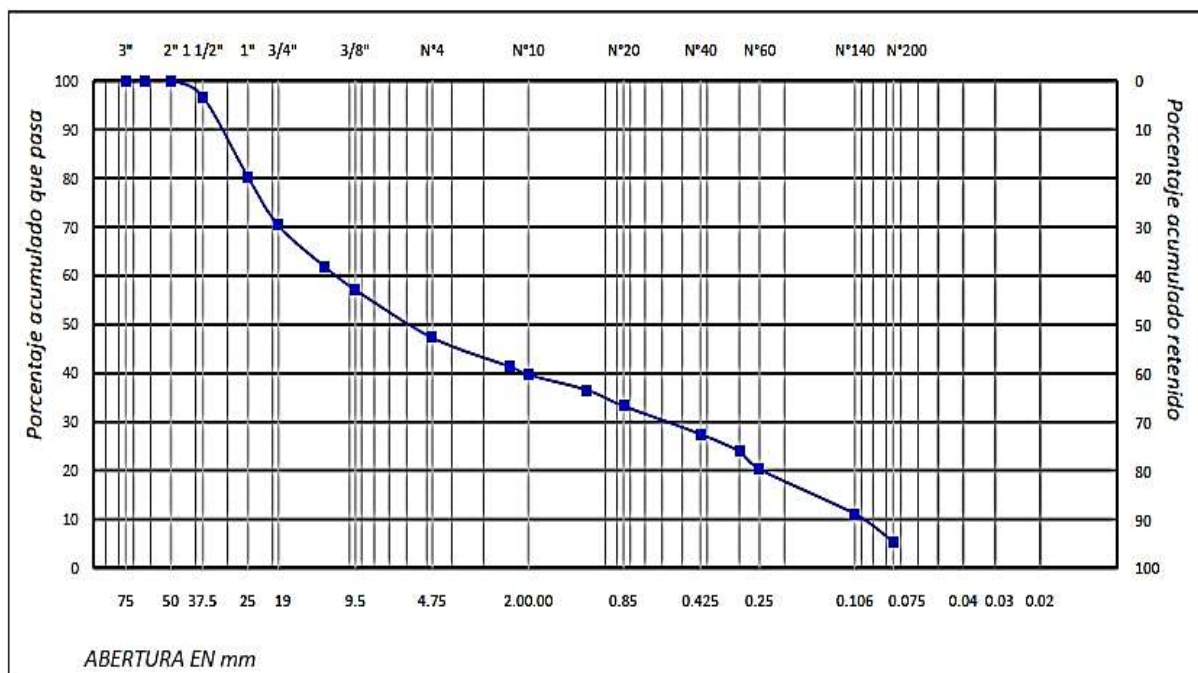


Figura 28. Curva granulométrica de muestra lecho de río.

#### 4.1.2. Clasificación de suelos

Tabla 7. Límites de consistencia.

Muestra	Ladera de cerro	Lecho de río
SUCS	GM	GP – GM
AASHTO	A – 1- b (0)	A – 1- a (1)

Los suelos granulares de ladera de cerro representan a una grava limosa y la de lecho de río representa a una grava pobremente graduada.

#### 4.1.3. Límites de consistencia

Tabla 8. Límites de consistencia.

Muestra	Ladera de cerro	Lecho de río
Índice de plasticidad	N.P.	N.P.

Las muestras no presentan índice plástico debido al mayor porcentaje de arenas que finos (arcillas).

#### 4.1.4. Contenido de Sales Solubles

La tabla 9, expresa el porcentaje y cantidad de sales en partes por millón de las muestras de estudio.

Tabla 9. Contenido de sales solubles en ppm.

Muestra	Ladera de cerro	Lecho de río
Contenido de sales solubles	20730 ppm (2.73%)	1732 ppm (0.17%)

Se establece la malla N<sup>4</sup> como la transición de agregado grueso a fino, estos no deben contener más de 0.5% de sales solubles según la EG-2013; por tanto, la muestra de ladera de cerro no cumple con el requerimiento, que debe ser mejorada con grava-arena menor a 3/4" del lecho de río en los porcentajes propuestos.

#### 4.1.5. Equivalente de arena

Se representa como la medida de contenido de polvo limo en suelos finos; con los siguientes resultados para nuestras muestras en la tabla 10.

Tabla 10. Contenido de sales solubles en ppm.

Muestra	Ladera de cerro	Lecho de río	Lecho de río 40% Ladera de cerro 60%
Equivalente de arena	20 %	66 %	24 %

La presencia de finos arcillosos en la capa base ocasionan alteración interna al contacto con el agua, como producto las fisuras a causa de los fenómenos de contracción y expansión. El requerimiento de la EG-2013 es de mínimo el 35%; entendiéndose que la muestra de cerro presenta menor cantidad de arenas, que la muestra de lecho de río.

#### 4.1.6. Partículas chatas y alargadas

Tabla 11. Resultados porcentuales de partículas chatas y alargadas.

Muestra	Ladera de cerro	Lecho de río
<b>Partículas chatas y alargadas</b>	9.1 %	0.6 %

Se acepta máximo el 15% estipulado en la EG-2013 en agregados gruesos; los tamaños nominales de partículas seleccionadas son 2", ¾", 1" y 3/8" en ladera de cerro, indican resultado apto para conformación de capa base; en cambio, la muestra de lecho de río carece de partículas chatas y alargadas para adherencia en proceso de compactación.

#### 4.1.7. Partículas con una o dos caras fracturadas

Tabla 12. Resultados de partículas con una o dos fracturadas.

Muestra	Ladera de cerro	Lecho de río
<b>Con una cara fracturada</b>	100 %	27.9 %
<b>Con dos caras fracturadas</b>	97.5 %	15.1 %

Se requiere mínimo el 80% para partículas de una cara fracturada y 40% de dos caras fracturadas señalado en la EG-2013 en agregados gruesos; siendo la muestra de ladera de cerro apta para la conformación de capa base para pavimentos flexibles, contribuyendo con mayor resistencia al deslizamiento en su desempeño.

#### 4.1.8. Abrasión de los ángulos

Tabla 13. Resultados porcentuales al desgaste y abrasión los ángulos.

<b>Muestra</b>	<b>Ladera de cerro</b>	<b>Lecho de río</b>
<b>Con una cara fracturada</b>	25 %	22 %

El desgaste de partículas de agregado grueso debe ser representando como máximo en 40%; ambas muestras representan adecuada dureza a efectos de compactación y posible trituración a causa del paso vehicular que altere la granulometría inicial.

Asimismo, se puede interpretar que los agregados provienen de rocas ígneas y que su forma es de desventaja en caras fracturadas.

#### 4.1.9. California Bearing Ratio CBR

Se determina y analiza el índice CBR de suelos granulares en ladera de cerro, lecho de río y los diseños de mezcla propuestos; estas se hacen posibles en un intercambio de partículas para la evaluación, donde se establece la ladera de cerro como muestra base a mezclarse en los porcentajes propuestos con agregado menor a 3/4" de la muestra lecho de río.

Asimismo, se realizan los ensayos de proctor modificado para cada diseño de mezcla.

#### Ladera de cerro 100% (L.C.).

La figura 29, presenta una curva de compactación en laboratorio utilizando energía modificada (25 golpes en 5 capas) para la conformación de la capa base.

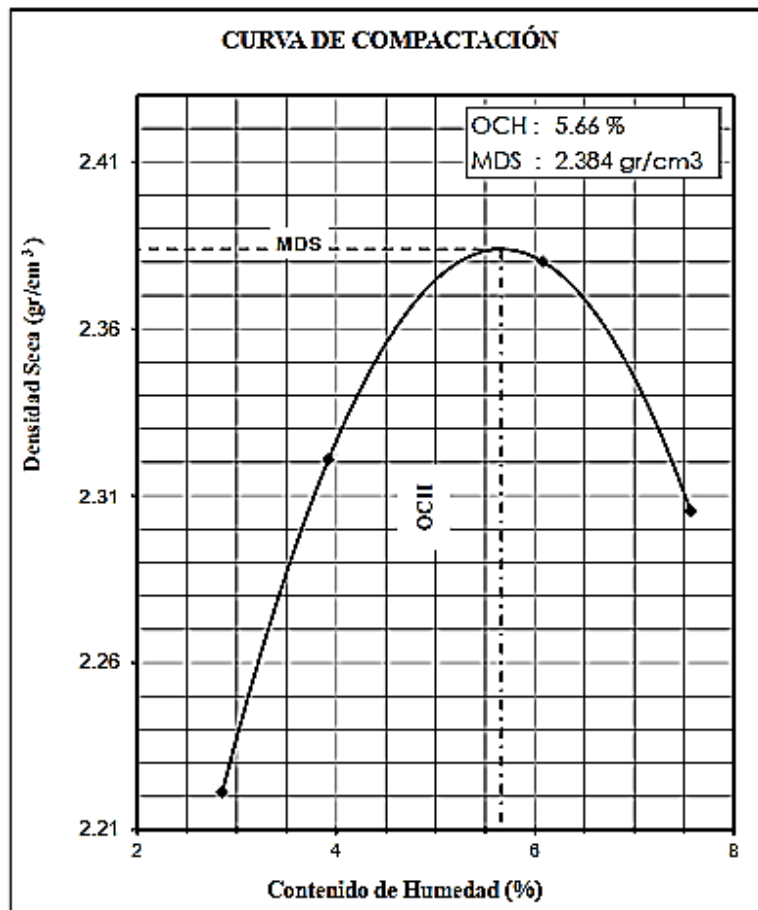


Figura 29. Curva compactación 100% ladera de cerro.

Se observa que la máxima Densidad Seca Compactada (MDS) es 2.384 gr/cm<sup>3</sup> con un óptimo contenido de humedad (OCH) de 5.66%, con estos resultados se realizó el ensayo de **C.B.R. al 0.1” de penetración de carga y al 100% de la máxima Densidad Seca** señalado por el EG-2013; llegando a **obtener 145.43%**.

#### Lecho de río 100% (L.R.).

La figura 30, presenta una curva de compactación en laboratorio utilizando energía modificada (25 golpes en 5 capas) para la conformación de la capa base.

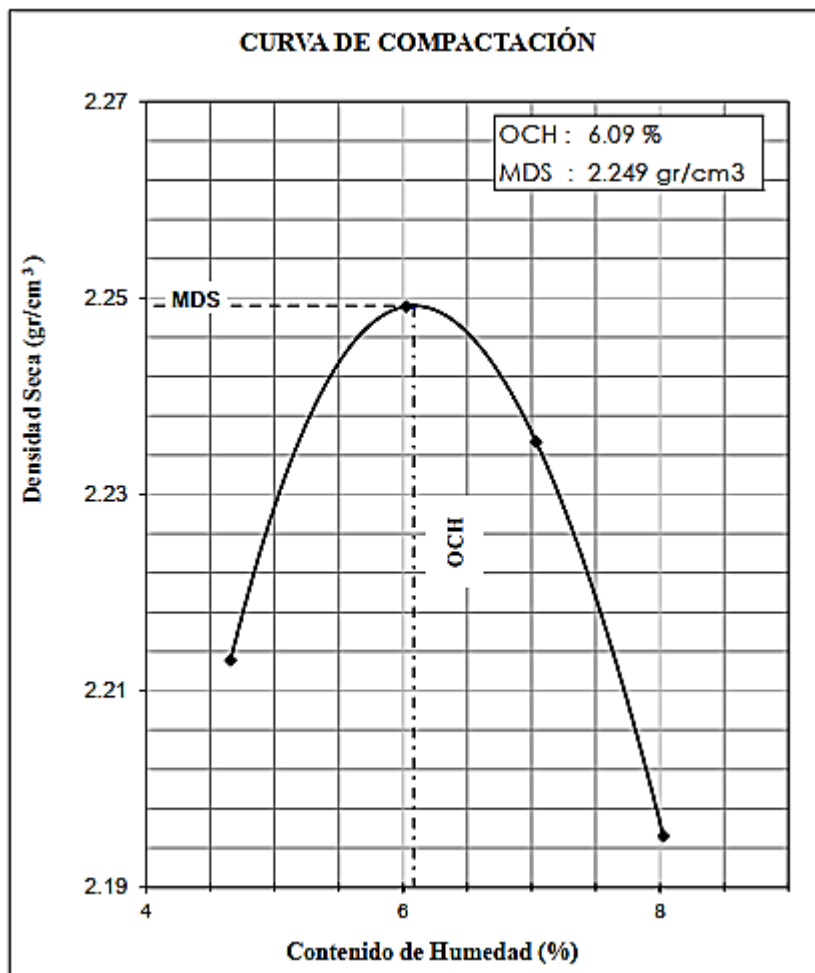


Figura 30. Curva compactación 100% lecho de río.

Se observa que la máxima Densidad Seca Compactada (MDS) es 2.249 gr/cm<sup>3</sup> con un óptimo contenido de humedad (OCH) de 6.09%, con estos resultados se realizó el ensayo de **C.B.R. al 0.1” de penetración de carga y al 100% de la máxima Densidad Seca** señalado por el EG-2013; llegando a **obtener 171.05%**.

#### Ladera de cerro 60% + Lecho de río 40%

La figura 31, presenta una curva de compactación en laboratorio utilizando energía modificada (25 golpes en 5 capas) para la conformación de la capa base.

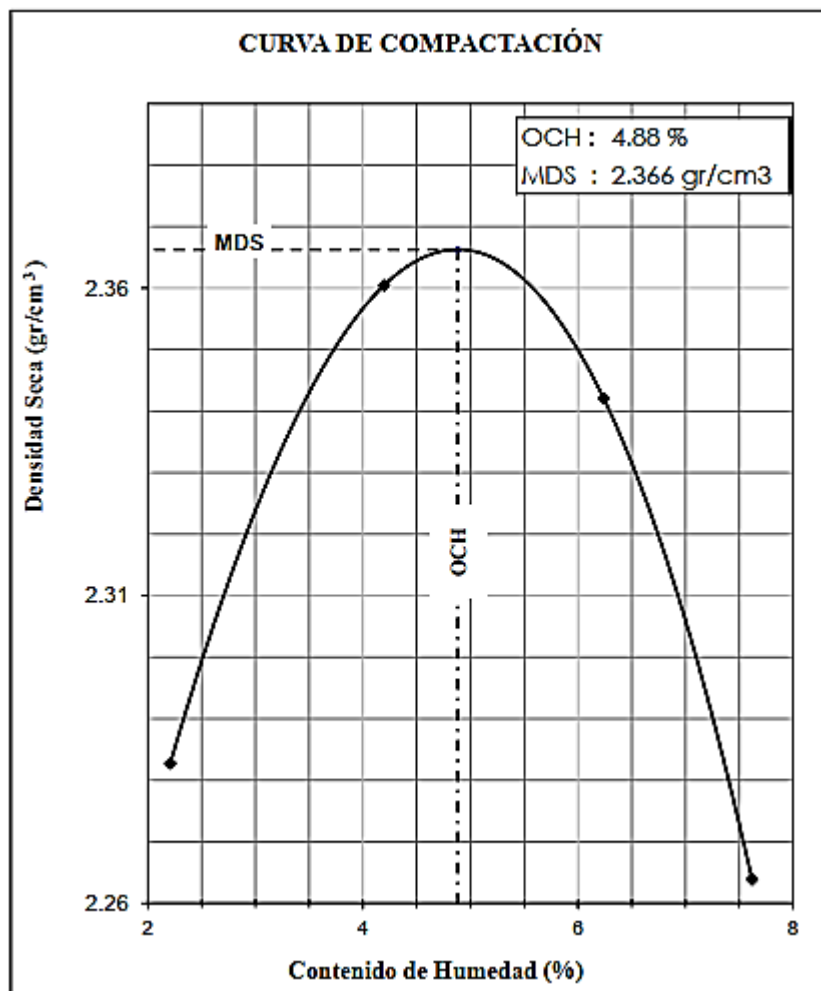


Figura 31. Curva compactación mezcla de 60% ladera de cerro + 40% lecho de río.

Se observa que la máxima Densidad Seca Compactada (MDS) es 2.366 gr/cm<sup>3</sup> con un óptimo contenido de humedad (OCH) de 4.88%, con estos resultados se realizó el

ensayo de **C.B.R. al 0.1” de penetración de carga y al 100% de la máxima Densidad Seca** señalado por el EG-2013; llegando a **obtener 150.78%**.

**Ladera de cerro 70% + Lecho de río 30%**

La figura 32, presenta una curva de compactación en laboratorio utilizando energía modificada (25 golpes en 5 capas) para la conformación de la capa base.

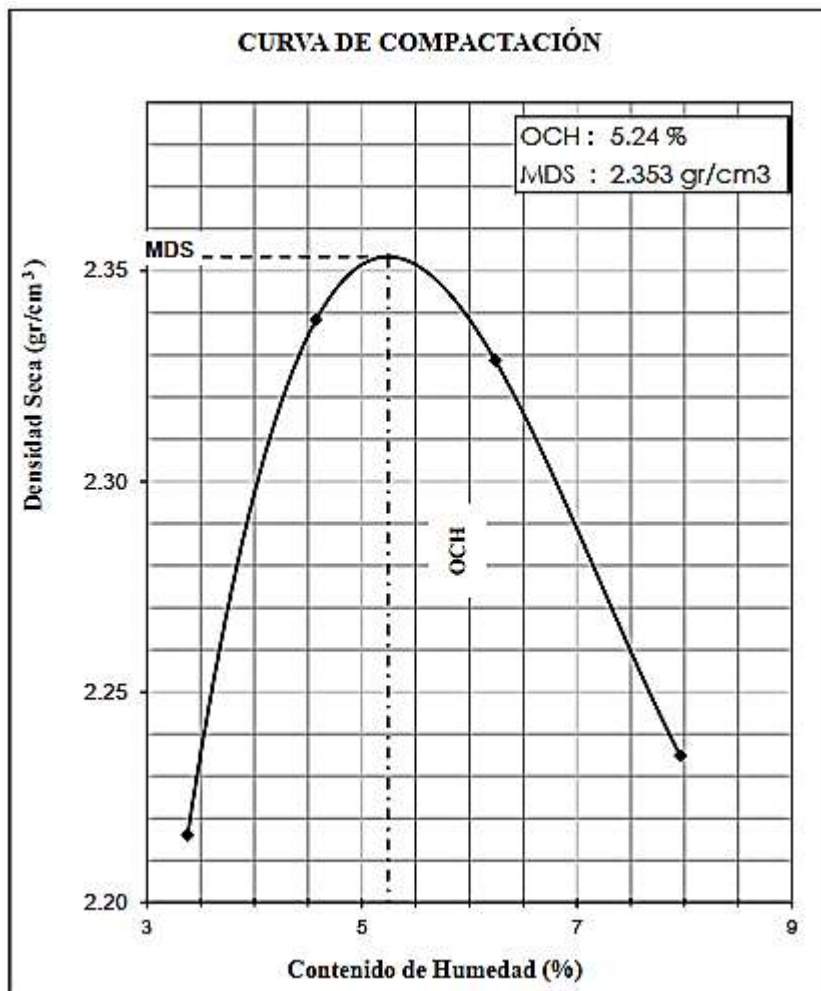


Figura 32. Curva compactación mezcla de 70% ladera de cerro + 30% lecho de río.

Se observa que la máxima Densidad Seca Compactada (MDS) es 2.353 gr/cm3 con un óptimo contenido de humedad (OCH) de 5.24%, con estos resultados se realizó el

ensayo de **C.B.R. al 0.1” de penetración de carga y al 100% de la máxima Densidad Seca** señalado por el EG-2013; llegando a **obtener 148.90%**.

**Ladera de cerro 80% + Lecho de río 20%**

La figura 33, presenta una curva de compactación en laboratorio utilizando energía modificada (25 golpes en 5 capas) para la conformación de la capa base.

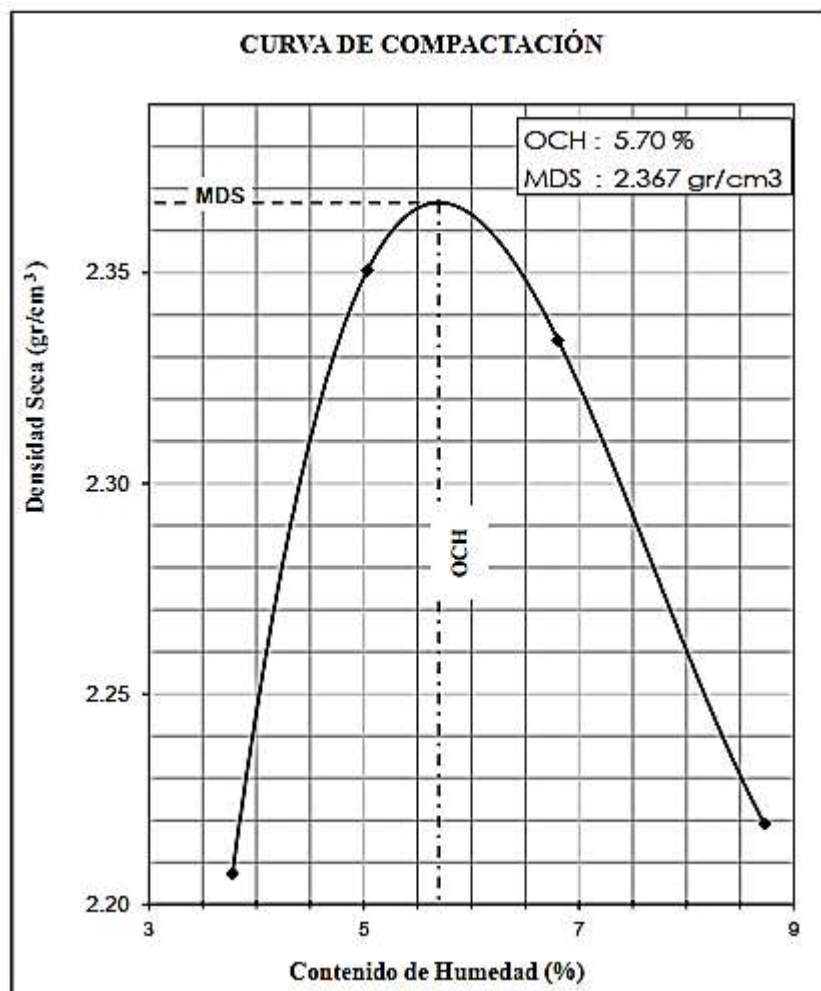


Figura 33. Curva compactación mezcla de 80% ladera de cerro + 20% lecho de río.

Se observa que la máxima Densidad Seca Compactada (MDS) es 2.367 gr/cm3 con un óptimo contenido de humedad (OCH) de 5.70%, con estos resultados se realizó el

ensayo de **C.B.R. al 0.1” de penetración de carga y al 100% de la máxima Densidad Seca** señalado por el EG-2013; llegando a **obtener 147.39%**.

#### **4.1.10. Contrastación de hipótesis**

La hipótesis se declara válida debido a que Los suelos granulares de ladera de cerro y lecho de río superan el requerimiento de resistencia al esfuerzo cortante (CBR) según lo establecido en el manual de carreteras en sus Especificaciones Técnicas para la Construcción EG-2013 en los ensayos de laboratorio; excepto en la conformación de los suelos de lecho río que, debido a su poca cohesión, sin moldes de contención se desmoronan fácilmente en la práctica.

#### **4.2. Discusión**

Los resultados obtenidos en la caracterización físico-mecánica y química de los suelos granulares de lecho de río Rímac, aparentemente son aptos; sin embargo, no son recomendados para su utilización como base granular para pavimentos flexibles. Este resultado tiene como antecedente la investigación de Acosta y Macías (2006), donde los suelos del río de Oro en algunas ocasiones cumplen independientemente con los parámetros de exigencia, más no en el desempeño conjunto.

Los diseños de mezclas aptos obtenidos en la presente investigación, se refleja en las tesis de Macías (2011) y Herrera – Vargas (2015) con la experimentación en la mezcla porcentual de agregados de diferentes canteras, hasta alcanzar las características solicitadas.

Las investigaciones nacionales de Huamán (2016) y Lozada (2018) presentan resultados positivos en la mezcla e intercambio de partículas entre canteras de cerro y río para mejoramiento de suelos granulares; por tanto, se comprueba que los porcentajes de mezcla son recomendables.

Los índices CBR obtenidos en la presente superan el 100% referido a MDS (100%) y penetración de carga 0.1", con mejor resultado que lo obtenido por Vásquez (2019) que concluyó que el 60% de la cantera El Guitarrero y el 40% piedra chancada, tiene un valor inferior al 80% requerido para capa base granular.

## **Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones**

### **5.1. Conclusiones**

La caracterización físico-mecánica y química de los suelos granulares de ladera de cerro, lecho de río y sus mezclas, mejoran entre sí para cumplir con lo solicitado en la EG-2013, concluyendo que la metodología desarrollada y resultados óptimos obtenidos son de carácter académico.

Los suelos granulares de ladera de cerro y lecho de río, se ajustan a las gradaciones granulométricas D y B respectivamente, señalando una uniforme distribución porcentual de partículas gravas, arenas y limos que nos da la idea de un adecuado desempeño en sus características físicas.

Las muestras de estudio no presentan índice plástico; sin embargo, la cantidad porcentual de finos son suficientes para un correcto desempeño cohesivo en la conformación de capa base a un óptimo contenido de humedad.

El contenido de sales solubles en el suelo de ladera de cerro supera lo permitido por la EG-2013; por tanto, debe ser reducido con la mezcla en los porcentajes de diseño del suelo de lecho de río.

Las características físicas y mecánicas del agregado grueso en ambas muestras son admitidas por la EG-2013, como partículas chatas y alargadas, de una o dos caras fracturadas y abrasión de los ángulos son adecuadas para aumentar la resistencia al esfuerzo cortante por la acción de compactación o efecto trituración por el paso vehicular.

La tabla 14, presenta el resumen de la evaluación del índice CBR de cinco diseños de mezcla en estudio para la conformación de la capa base en pavimentos flexibles.

Tabla 14. Resumen de CBR.

<b>Muestra</b>	<b>CBR</b>
<b>100% Ladera de cerro (L.C)</b>	145.43 %
<b>100% Lecho de río (L.R.)</b>	171.05 %
<b>60% L.C. + 40% L.R.</b>	150.78 %
<b>70% L.C. + 30% L.R.</b>	148.90 %
<b>80% L.C. + 20% L.R.</b>	147.39 %

En la evaluación del índice CBR de los cinco diseños de mezcla se aprecia el incremento de la resistencia al esfuerzo cortante de cada diseño de mezcla en relación al aumento porcentual de agregado (grava y arena) de tamaño menor a 3/4" de la muestra de lecho de río sobre la muestra base de ladera de cerro, carente de porcentaje necesario en el equivalente de arena.

Los porcentajes índice CBR obtenidos cumplen con la demanda de suelos granulares aptos para carreteras de segunda clase, tercera clase, bajo volumen de tránsito, o con tráfico en ejes equivalentes  $<10^6$  mínimo 80% CBR y carreteras de primera clase, multicarril, autopistas; o con tráfico en ejes equivalentes  $\geq 10^6$  mínimo 100%, referido a MDS (100%) y penetración de carga 0.1".

El alto porcentaje de índice CBR obtenido al ensayar el suelo granular de lecho de río muestra una aparente calidad para su uso en capa base; sin embargo, en la experimentación de laboratorio se observa que es por el molde de contención, mas no como propiedad. Por tanto; se declara como suelo no apto por tender a desmoronarse a causa del escaso porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso.

## 5.2. Recomendaciones

Se recomienda la aplicación y uso de los suelos granulares de ladera de cerro Cuncacucho y lecho de río Rímac para la conformación de capa base en obras de pavimentación flexible; previo zarandeo por mallas cuadradas de 1 1/2" indicados en los tipos de gradación granulométrica.

Recomendamos el uso de mezclas de diseño 60%-40%, 70%-30% y 80%-20% entre los suelos de ladera de cerro y lecho de río; respecto a la adición de agregado de diámetro menor a 3/4" de los suelos de lecho de río.

De las mezclas de diseño desarrolladas para fines de aplicación a obras viales, se recomienda la trituración de gravas de lecho de río para alcanzar el porcentaje de partículas con caras fracturadas requerido por la EG-2013.

El espesor de conformación para compactación, según AASHTO dependerá del tráfico en ejes equivalente, para vías  $<10^6$  será mínimo de 4 pulgadas (10 centímetros) y para vías de  $\geq 10^6$  será mínimo 6 pulgadas (15 centímetros). También se recomienda el tendido uniforme de suelos granulares con la ayuda de maquinaria, para una compactación ideal.

Verificar el óptimo contenido de humedad de los suelos granulares para garantizar el mayor alcance de índice CBR y por ende mayor resistencia al esfuerzo cortante en su desempeño.

Emplear la metodología y el requerimiento de ensayos según el manual de carreteras en sus Especificaciones Técnicas Generales de Construcción EG – 2013, para avalar la calidad de suelos granulares a usar en obras de pavimentación.

## Referencias

- Acosta Sánchez, F. J., & Macias Valencia, J. P. (2006). *Estudios sobre materiales granulares de la cantera del río Oro utilizados como bases granulares para pavimentos flexibles*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander. <https://doi.org/10.16258/j.cnki.1674-5906.2006.01.022>
- Borja S., M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo, Perú: Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo.
- Braja M., D. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones (VII)*. México: Congage learning.
- Crespo Villalaz, C. (1976). *Mecánica de suelos y cimentaciones (Quinta)*. Monterrey, México: LIMUSA, Noriega editores.
- Díaz Rito, J. A. (2016). *Análisis de los procedimientos constructivos de bases y sub-bases granulares para pavimentos flexibles*. México: Universidad Autónoma de México.
- Herrera Díaz, Y. J., & Vargas Tamayo, L. C. (2015). *Caracterización de los materiales pétreos procedentes del río Ariari del municipio de Cubarral, Puerto Ariari - Meta*. Villavicencio, Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Huamán, H. (2016). *Evaluación de los materiales de canteras utilizados como base y sub-base de pavimentos en la ciudad de Barranca – 2016*. Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Huanca Borda, A. (2014). *Mecánica de suelos experimental e instrumentación para ensayos de laboratorio y campo*. Ica, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú - sede Ica.

- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de suelos*, Tomo I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos. *Mecánica de Suelos*. México: LIMUSA, Noriega editores.
- Lozada Tiglla, E. F. (2018). *Estudio de las características físicas y mecánicas de las canteras Hualango como material de afirmado en carreteras - provincia de Utcubamba*. Pimentel, Perú: Universidad Señor de Sipán.
- Macias Zambrano, R. A. (2011). *Estudio y caracterización de la cantera la Chicha, para el empleo en forma natural o estabilizada de los materiales como base de pavimentos*. Portoviejo, Manabí. Ecuador: Universidad Técnica de Manabí.
- Minaya Gonzáles, S., & Ordoñez Huamán, A. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos* (Segunda). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- MTC. (2013). *Manual de carreteras; suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima, Perú: Diario El Peruano.
- Núñez Campos, N. (2013). *Evaluación de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la cantera de río Huayobamba provincia de San Marcos con fines de uso en la construcción*. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Paquita Merma, E. N. (2015). *Evaluación geológica y geotécnica de la carretera del circuito turístico Lago Sagrado de los Incas, tramo km. 00+000 al km. 10+000 Ccota-Charcas-Punol*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Pastor Bazán, C. F. (2013). *Evaluación de canteras para realizar la construcción de trocha carrozable a nivel de afirmado de Campo Alegre - Peña Blanca, distrito de Namora, provincia de Cajamarca*. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.

Sopla Cotrina, A., & Zavaleta Vilchez, D. (2015). *Caracterización físico mecánico de los materiales de cantera Tucilla para su uso en obras de infraestructura en la localidad de Chachapoyas*. Chachapoyas, Perú: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.

Ugaz Palomino, R. M. (2006). *Estabilización de suelos y su aplicación en el mejoramiento de subrasante* (Volumen I). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

UMSS. (2004). *Pavimentos*. Cochabamba, Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.

Vásquez Torres, J. (2019). *Evaluación de la mezcla de agregados de las canteras el Guitarrero y piedra Chancada del río Chonta para bases y sub bases de pavimentos en la ciudad de Cajamarca*. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.

Vivar Romero, G. (1994). *Diseño y construcción de pavimentos* (Libro VI). Lima, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú.