



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL
DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR
CEMENTO PORTLAND, 2016.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Fredy Iván Benavides Sempértegui

Asesor:

Ing. Alejandro Cubas Becerra

Cajamarca – Perú

2016

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **Fredy Iván Benavides Sempértegui**, denominada:

**COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE
PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.**

Ing. Alejandro Cubas Becerra
ASESOR

Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga
PRESIDENTE

M. Cs. Ing. Fabián Sánchez Portal
SECRETARIO

Ing. Gerson Quispe Rodríguez
VOCAL

DEDICATORIA

A mis padres, quienes con su sabiduría y paciencia, han inspirado siempre en mí la perseverancia y el esfuerzo a lo largo de mi camino.

A mis abuelos, quienes con su apoyo constante, me han ayudado a superar los obstáculos de la vida.

A mi familia y amigos en general, por su apoyo incondicional a lo largo de este proceso.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Alejandro Cubas Becerra, quien con su buena voluntad me supo brindar la confianza y oportunidad para el desarrollo de la presente investigación.

Al Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga, por su apoyo brindado durante el desarrollo de la investigación.

Al Sr. Víctor Cuzco Minchán, encargado del laboratorio por su compromiso, disposición y esfuerzo a lo largo del proyecto.

Finalmente mi sincero agradecimiento a la Universidad Privada del Norte y a cada uno de los docentes de la carrera por haberme apoyado durante esta etapa de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

<u>APROBACIÓN DE LA TESIS</u>	ii
<u>DEDICATORIA</u>	iii
<u>AGRADECIMIENTO</u>	iv
<u>ÍNDICE DE CONTENIDOS</u>	v
<u>ÍNDICE DE TABLAS</u>	vii
<u>ÍNDICE DE FIGURAS</u>	ixx
<u>ÍNDICE DE ECUACIONES</u>	xix
<u>RESUMEN</u>	xiii
<u>ABSTRACT</u>	xiii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Realidad problemática	14
1.2. Formulación del problema.....	15
1.3. Justificación	15
1.4. Objetivos	16
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	16
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	16
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes	17
2.2. Bases teóricas	18
2.2.1. <i>Generalidades de las estabilizaciones</i>	18
2.2.2. <i>Estabilización se suelos con cemento</i>	18
2.2.3. <i>Comportamiento de capas estabilizadoras en pavimentos</i>	19
2.2.4. <i>Base Granular</i>	19
2.2.5. <i>Husos granulométricos</i>	21
2.2.6. <i>Calidad de agregados</i>	22
2.2.7. <i>Ensayos de materiales en laboratorio</i>	23
2.3. Definición de términos básicos	31
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	33
3.1. Hipótesis	33
3.2. Operacionalización de variables	33
3.3. Diseño de investigación	33
3.4. Unidad de estudio	33
3.5. Población	33
3.6. Muestra (muestreo o selección)	34

3.7.	Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.....	34
3.8.	Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos	35
3.8.1.	<i>Procedimiento general.....</i>	35
3.8.2.	<i>Método analítico o tanteos sucesivos (Granulometría).....</i>	35
3.8.3.	<i>Ensayo de contenido de humedad</i>	36
3.8.4.	<i>Ensayo de análisis granulométrico</i>	37
3.8.5.	<i>Determinación del límite líquido de los suelos.</i>	38
3.8.6.	<i>Ensayo de porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso.</i>	39
3.8.7.	<i>Ensayo de equivalente de arena para suelos y agregado fino.</i>	40
3.8.8.	<i>Ensayo de compactación proctor modificado</i>	41
3.8.9.	<i>Ensayo de CBR (California bearing ratio)</i>	42
CAPÍTULO 4.	RESULTADOS	44
4.1.	Resultados de laboratorio	44
4.1.1.	<i>Ensayo de contenido de humedad</i>	44
4.1.2.	<i>Ensayo de análisis granulométrico</i>	44
4.1.3.	<i>Ensayo de los límites de Atterberg</i>	47
4.1.4.	<i>Ensayo de abrasión de los ángeles</i>	48
4.1.5.	<i>Ensayo de porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso</i>	48
4.1.6.	<i>Ensayo de equivalente de arena para suelos y agregado fino</i>	49
4.1.7.	<i>Ensayo de compactación proctor modificado.</i>	49
4.1.8.	<i>Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)</i>	51
CAPÍTULO 5.	DISCUSIÓN	63
5.1.	Límites de Atterberg.	63
5.2.	Abrasión de los ángeles.....	63
5.3.	Porcentaje de partículas fracturadas.....	64
5.4.	Equivalente de arena y agregado fino.	65
5.5.	Proctor modificado.	65
5.6.	California Bearing Ratio (CBR).....	67
CONCLUSIONES.....		69
RECOMENDACIONES.....		70
REFERENCIAS		71
ANEXOS		72
Fotografías de los Ensayos		72
Protocolos de los Ensayos de laboratorio		89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla n.º 1. Requerimientos granulométricos para base granular.....	19
Tabla n.º 2. Valores relativos.....	20
Tabla n.º 3. Requerimientos agregado grueso.....	20
Tabla n.º 4. Requerimientos agregado fino.....	21
Tabla n.º 5. Requerimientos agregado grueso.....	23
Tabla n.º 6. Cantidad mínima de muestra.....	24
Tabla n.º 7. Factores del límite líquido.....	25
Tabla n.º 8. Cargas por tipo de gradación.....	25
Tabla n.º 9. Gradación de las muestras de ensayo.....	26
Tabla n.º 10. Pesos mínimos de partículas largas y achatadas	27
Tabla n.º 11. Tamaño máximo por tamiz.....	28
Tabla n.º 12. Operacionalización de variables.....	33
Tabla n.º 13. Análisis granulométrico de la cantera río Chonta.....	44
Tabla n.º 14. Análisis granulométrico de la cantera El Gavilán.....	45
Tabla n.º 15. Granulometría de la combinación de agregados.....	46
Tabla n.º 16. Límites de Atterberg – cantera río Chonta.....	47
Tabla n.º 17. Límites de Atterberg – cantera El Gavilán.....	47
Tabla n.º 18. Abrasión de los ángeles de la combinación de agregados	48
Tabla n.º 19. Porcentaje de partículas fracturadas – cantera río Chonta.....	48
Tabla n.º 20. Porcentaje de partículas fracturadas – cantera El Gavilán.....	48
Tabla n.º 21. Proctor modificado.....	51
Tabla n.º 22. Resultados del ensayo de carga - penetración de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán).....	52
Tabla n.º 23. Resultados del ensayo de esfuerzo de 0.1'' y 0.2'' de penetración de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán).....	53
Tabla n.º 24. Resultados del ensayo CBR – Densidad seca de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán).....	53
Tabla n.º 25. Resultados del ensayo de carga - penetración de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 2% de cemento Portland tipo I.....	54
Tabla n.º 26. Resultados del ensayo de esfuerzo de 0.1'' y 0.2'' de penetración de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 2% de cemento Portland tipo I.....	55

Tabla n.º 27. Resultados del ensayo CBR – Densidad seca de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 2% de cemento Portland tipo I.....	56
Tabla n.º 28. Resultados del ensayo de carga - penetración de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 4% de cemento Portland tipo I.....	57
Tabla n.º 29. Resultados del ensayo de esfuerzo de 0.1'' y 0.2'' de penetración de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 4% de cemento Portland tipo I.....	58
Tabla n.º 30. Resultados del ensayo CBR – Densidad seca de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 4% de cemento Portland tipo I.....	58
Tabla n.º 31. Resultados del ensayo de carga - penetración de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 6% de cemento Portland tipo I.....	59
Tabla n.º 32. Resultados del ensayo de esfuerzo de 0.1'' y 0.2'' de penetración de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 6% de cemento Portland tipo I.....	60
Tabla n.º 33. Resultados del ensayo CBR – Densidad seca de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 6% de cemento Portland tipo I.....	61
Tabla n.º 34. California Bearing Ratio (CBR).....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n.º 1. Huso granulométrico para materiales de subbase y base granular (MTC)-Gradaciones A y B.....	21
Figura n.º 2. Huso granulométrico para materiales de subbase y base granular (MTC)-Gradaciones C y D.....	22
Figura n.º 3. Caras fracturas.....	27
Figura n.º 4. Granulometría de la cantera río Chonta – Gradación C.....	45
Figura n.º 5. Granulometría de la cantera El Gavilán – Gradación C.....	46
Figura n.º 6. Granulometría de la combinación de agregados – Gradación C.....	47
Figura n.º 7. Densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad de la muestra patrón.....	49
Figura n.º 8. Densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad de la muestra con adición de 2% de cemento Portland tipo I.....	50
Figura n.º 9. Densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad de la muestra con adición de 4% de cemento Portland tipo I.....	50
Figura n.º 10. Densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad de la muestra con adición de 6% de cemento Portland tipo I.....	51
Figura n.º 11. Curva esfuerzo – deformación de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán).....	52
Figura n.º 12. Curva CBR – Densidad seca de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán).....	54
Figura n.º 13. Curva esfuerzo – deformación de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 2% de cemento Portland tipo I.....	55
Figura n.º 14. Curva CBR – Densidad seca de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 2% de cemento Portland tipo I.....	56
Figura n.º 15. Curva esfuerzo – deformación de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 4% de cemento Portland tipo I.....	57
Figura n.º 16. Curva CBR – Densidad seca de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 4% de cemento Portland tipo I.....	59
Figura n.º 17. Curva esfuerzo – deformación de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 6% de cemento Portland tipo I.....	60
Figura n.º 18. Curva CBR – Densidad seca de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 6% de cemento Portland tipo I.....	61
Figura n.º 19. Comparación de índices de plasticidad.....	63
Figura n.º 20. Comparación del desgaste por graduación.....	64

Figura n.º 21. Comparación de porcentajes de caras fracturadas.....	64
Figura n.º 22. Comparación de equivalente de arena de agregado fino.....	65
Figura n.º 23. Comparación de la densidad seca máxima de la combinación de agregados (cantera río Chonta y El Gavilán) con la dosificación de cemento Portland tipo I.....	66
Figura n.º 24. Comparación del óptimo contenido de humedad de la combinación de agregados (cantera río Chonta y El Gavilán) con la dosificación de cemento Portland tipo I.....	66
Figura n.º 25. Comparación del CBR de la combinación de agregados (cantera río Chonta y El Gavilán) con la dosificación de cemento Portland tipo I.....	67

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 1. Ecuación para cantidades mínimas de agregados finos.....	24
Ec. 2. Ecuación para determinar el límite líquido.....	24
Ec. 3. Ecuación para calcular el desgaste del agregado grueso.....	26
Ec. 4. Ecuación para determinar el porcentaje de caras fracturadas.....	28
Ec. 5. Ecuación para determinar el valor equivalente de arena.....	29
Ec. 6. Ecuación para determinar la densidad húmeda.....	30
Ec. 7. Ecuación para determinar la densidad seca.....	30
Ec. 8. Ecuación para determinar el peso unitario.....	31
Ec. 9. Ecuación para determinar el CBR.....	31
Ec. 10. Ecuación para determinar los porcentajes de agregados.....	35

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación es determinar el comportamiento estructural del material de base de pavimentos flexibles al adicionar 2%, 4% y 6% de cemento Portland tipo I. Para el desarrollo de esta investigación, inicialmente se extrajeron muestras de las canteras río Chonta y El Gavilán para luego realizar los ensayos de laboratorio indicados en el manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016. Luego en el laboratorio se realizaron los siguientes ensayos: Análisis granulométrico, índice de plasticidad, desgaste por graduación, equivalente de arena, partículas fracturadas, compactación (proctor modificado) y California bearing ratio (CBR). Siendo los más importantes para lograr el objetivo principal, el ensayo de compactación y CBR. Luego de procesar los datos se realizó una combinación de agregados, porque por si sola una cantera no cumple con las especificaciones que exige el huso granulométrico (gradación C); esta combinación de agregados se utilizó para el ensayo de compactación y CBR, en el primero se determinó la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad los cuales sirvieron para determinar el CBR al 95%, según proctor modificado. Los resultados demostraron que el CBR de la combinación de agregados (muestra patrón) es 86.30%, el CBR adicionando 2% de cemento Portland tipo I es 95.80%, el CBR adicionando 4% de cemento Portland tipo I es 106.50% y el CBR al adicionar 6% de cemento Portland tipo I es 122.10%.

ABSTRACT

The main objective of this research is to determine the structural behaviour of the material base of resilient floor coverings by adding 2%, 4% and 6% of Portland cement type I. The development of this research initially samples from las canteras river Chonta and the Hawk were extracted then make the laboratory tests indicated in the manual of the Ministry of transport and Communications highways, 2016. Then in the laboratory is conducted the following trials: analysis particle size, index of plasticity, wear by gradation, equivalent of sand, particles fractured, compaction (proctor modified) and California bearing ratio (CBR). Being the most important to achieve the main objective of compaction and CBR test. After processing the data was a combination of aggregates, because a single quarry does not comply with specifications requiring the particle size spindle (gradation C); This combination of aggregates used for the compaction test and CBR, the first was determined the maximum dry density and optimum moisture content which served to determine the CBR to 95%, according to modified proctor. The results showed that the CBR from the combination of aggregate (sample pattern) is 86.30%, the CBR adding 2% of Portland cement type I is 95.80%, the CBR adding 4% of Portland cement type I is 106.50% and the CBR to add 6% of Portland cement type I is 122.10%

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Se tienen evidencias de caminos de hace más de seis mil años en la zona del Cáucaso y el Golfo Pérsico que al ser caminos para vehículos con ruedas fueron dotados de gradientes adecuadas, superficies más lisas y mayores anchos. El Imperio Romano desarrollo un sistema vial que le permitió comunicaciones rápidas y seguras, estableciendo diferentes categorías de vías, postas y un sistema eficiente de mantenimiento. Las calzadas eran de 5 a 6 m, con 4.5 m la calzada central para el paso de los vehículos llegando a desarrollar una red de 90.000 kilómetros (Instituto de construcción y gerencia, 2012).

Los pavimentos flexibles se vienen construyendo desde finales del siglo XIX, su primera aplicación tuvo lugar en algunas calles de las ciudades de Europa, pasando después a los Estados Unidos, desarrollándose en estos países rápidamente la tecnología para la construcción de pavimentos. En el continente americano, Chile y Argentina acumulan igualmente gran experiencia y muchas obras de pavimentaciones durante el siglo XX, teniendo un magnífico comportamiento durante muchísimos años (Gutiérrez, 1994).

La red vial del Perú está compuesta por tres grandes vías longitudinales que atraviesan de sur a norte, la carretera Panamericana, la carretera Longitudinal de la sierra y la carretera Marginal de la selva (Rodríguez, 2004). La red vial en el Perú está compuesta por más de 78.000 km de carreteras, organizada en tres grandes grupos: las carreteras longitudinales, las carreteras de penetración y las carreteras de enlace. La categorización de las carreteras corre a cargo del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC, 2017).

Los pavimentos flexibles generalmente están formados por una capa bituminosa apoyada sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase (Montejo, 2002). En esta investigación me enfocaré al estudio de la capa base, ya que como estructura de un pavimento es muy importante que su diseño sea óptimo y así cumpla con su periodo de vida útil.

En España se han realizado estudios en la que el cemento mezclado íntimamente con el suelo desarrolla una red de enlaces durante las reacciones de hidratación que proporciona a la mezcla, una buena capacidad de soporte e incluso, con la dotación adecuada, una cierta resistencia mecánica a corto plazo, y mejora tanto su durabilidad, entendiéndose por tal la resistencia a los agentes físicos y químicos agresivos, como su estabilidad dimensional. La gama de suelos que se pueden estabilizar con cemento es muy amplia. Aunque son los suelos granulares los que presentan una mejor y más rápida mejora de resultados ante una reducida aportación de cemento, según IECA (Instituto español del cemento y sus aplicaciones, 2013).

Uno de los motivos para realizar este trabajo es el estado de conservación de las vías de pavimentos flexibles en Cajamarca, si bien el deterioro puede ser por el acelerado crecimiento del parque automotor o por falta de mantenimiento; este deterioro también puede ser por un mal proceso constructivo. Como es de suponerse si se realiza un buen procedimiento al momento de hacer las diferentes capas del pavimento flexible, éstos podrían tener mayor durabilidad.

En la actualidad, se viene desarrollando el uso y estabilización de suelos, alrededor de todo el mundo, con el fin de obtener una mayor durabilidad de los materiales que conforman la estructura del pavimento, además de tener capas de mayor capacidad de soporte y que de igual forma sean más resistentes a los agentes atmosféricos (Murillo, 2010).

En este trabajo se pretende determinar la variación del comportamiento estructural de una base de pavimento flexible al adicionar cemento Portland tipo I. Por teoría se sabe que el agregado de una cantera (por si sola) no cumple con las especificaciones que necesita una base para un pavimento flexible, para ello primero se tiene que escoger dos canteras (una de cantera de río y una cantera de cerro), luego se tiene que realizar diversos ensayos en el laboratorio para determinar la calidad de los agregados. Además con la adición de cemento se prevé reducir el espesor de la capa base, disminuir la cantidad de agregados y por ende aminorar en parte el desgaste de las canteras.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la variación del comportamiento estructural del material de base de pavimentos flexibles, al adicionar cemento Portland tipo I?

1.3. Justificación

1.3.1 Justificación Teórica.

Como sabemos la capa base es muy importante para que el comportamiento estructural de un pavimento sea bueno y cumpla para lo que fue diseñado, para ello es necesario realizar esta investigación que consiste en adicionar cemento Portland tipo I a la base de un pavimento flexible.

Esta investigación también se realiza porque no existen estudios hechos en este tema, la mayoría de investigaciones se enfocan a estabilizaciones a nivel de subrasante y a nivel de la capa de subbase.

1.3.2 Justificación Práctica.

Se pretende adicionar cemento Portland tipo I a una combinación de agregados que va a ser utilizado para la capa base de un pavimento flexible y que cumple con las especificaciones la norma de carreteras.

Con los resultados obtenidos, luego de hacer la compactación y el CBR de las muestras se podrá analizar si al agregar cemento Portland tipo I, el comportamiento estructural disminuye o aumenta.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar el comportamiento estructural del material de base de pavimentos flexibles, al adicionar cemento Portland tipo I.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Determinar las propiedades físico – mecánicas del material para bases en pavimentos flexibles (canteras río Chonta y El Gavilán).
2. Dosificar el material granular para bases con adición de cemento Portland tipo I en 2%, 4% y 6% en el ensayo de proctor modificado y CBR.
3. Verificar los parámetros de diseño de bases granulares para pavimentos.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Uso de cloruro de sodio en bases granulares. Según Reyes et. al., 2006, en este trabajo de investigación concluye que en la medida que se adicione mayor porcentaje de cloruro de sodio al material granular, la humedad óptima disminuye y la densidad seca máxima no presenta cambios significativos. Además La resistencia del material granular determinada por el ensayo CBR se incrementa, especialmente para el nivel de energía bajo (12 golpes), alcanzando incrementos hasta de 12 veces su valor inicial. Para la energía mayor (55 golpes) el cambio de resistencia es poco significativo.

Para Garzón et. al., 2006, en su estudio sobre efectos de la compactación y estabilización con cemento y cal en los suelos de filitas, cuyo objetivo principal es mejorar las propiedades mecánicas y la capacidad de soporte del suelo, concluye que ambos aditivos son adecuados para la estabilización de suelos, el CBR del suelo base es 1.7%, al adicionar 3% de cal el suelo presenta un índice CBR de 19.6%, con adición de 5% de cal presenta un índice CBR de 21.2% y con la adición de 7% de cal presenta un índice CBR de 22.2%. Por otro lado con la adición de un 5% de cemento el suelo presenta un índice CBR de 15.0%, con adición de un 7% de cemento el suelo presenta un índice CBR de 28.4% y con la adición de un 9% de cemento el suelo presenta un índice CBR de 35.6%.

Para Ruano, 2012, es su estudio sobre la estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva, el objetivo principal es realizar de manera precisa y mecánica el estudio de investigación de estabilización de suelos cohesivos con arenas volcánicas y cal viva, con muestras y ensayos en el laboratorio de suelos y la obtención y comprobación de resultados. Obteniendo como resultados que las mezclas propuestas van del 10%, 25% y 50% de arena sobre el material a estabilizar logrando obtener desde un valor de CBR de 52.60% a 91.50%, lo que da un amplio margen de valores que podemos seleccionar según sea la utilidad que necesitemos aplicar.

Efectos de la alta compactación de la capa de base en pavimentos flexibles. Según, Morales et. al., 2009, en este trabajo de investigación concluye que el cambio de la granulometría del material de cada banco (granulometría modificada), tiene un mayor efecto en el ensayo de CBR, ya que los incrementos van desde 1.5% hasta un 16% aproximadamente, mientras que en el ensayo de compresión los incrementos son en un rango de 0.5% hasta 2.0% aproximadamente. También que el aumento en el número de golpes por capa de material, provoca un cambio en la granulometría debido al peso y altura de caída del mazo modificado.

Al final de la prueba, por apreciación visual, se obtiene un material con un mayor porcentaje de finos.

Estabilización de la sub rasante mediante el uso de escoria de hornos eléctricos en la pavimentación del Jr. Bolognesi del pasaje Dos de mayo – Chimbote. Según León & Peña, 2013, esta investigación tiene como objetivo principal demostrar que con la estabilización de la sub rasante, mediante el uso de escoria de acería de hornos eléctricos en el Jr. Bolognesi del pasaje Dos de mayo, se obtiene una estructura de pavimento flexible menor a la de un pavimento flexible convencional y concluye lo siguiente: Se comprobó que estabilizando la sub rasante (con 30% de escoria), el espesor de la estructura del pavimento, disminuyó de 18" (45.72 cm) a 11.50" (29.21 cm), es decir, disminuyó un 36.11%.

Para Carrión, 2016, en su estudio sobre capacidad portante (CBR) de un suelo a ser utilizado como material de base adicionando diatomita, Cajamarca 2016, el objetivo principal es determinar la capacidad portante (CBR) de un suelo a ser utilizado como material de base con adición de porcentajes de diatomita. En donde concluye que la diatomita no aumenta la capacidad portante al ser utilizado como material de base, sino al contrario disminuye en 24.0%, 74.0% y 79.7% al mezclar con 5%, 7.5% y 10% de diatomita respectivamente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Generalidades de las estabilizaciones

Estabilizar un suelo natural consiste en mejorar sus características físicas y/o mecánicas, tales como la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o compresibilidad, la estabilidad volumétrica ante la presencia de agua, entre otro, buscando en todos los casos un buen comportamiento esfuerzo-deformación de los suelos y de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil (Brazzini, 2011).

2.2.2. Estabilización de suelos con cemento

Cualquier suelo que no tenga cantidades excesivas de materia orgánica puede ser tratado con cemento para mejorar su comportamiento mecánico (resistencia, etc.); las únicas limitaciones estriban en lo difícil que pueda resultar un adecuado mezclado de cemento, lo que llega a ser muy difícil en arcillas suaves y húmedas o las que puedan surgir en suelos muy gruesos limpios, que no suelen requerir estabilización por tener propiedades suficientemente buenas y en las que el uso de cemento no conduce a mejoramientos substanciales de esas propiedades, pero puede, en cambio, introducir graves problemas de agrietamiento en suelos tratados (Rico & Del Castillo, 1977).

2.2.3. Comportamiento de capas estabilizadoras en pavimentos

Existe poca literatura en conexión con el comportamiento de capas estabilizadas con cemento, cal o asfalto en pavimentos construidos bajo diferentes climas y niveles de tránsito y menos aún, que abarquen periodos suficientes de tiempo para poder llegar a conclusiones de valor general.

El suelo – cemento ha sido seguramente el más estudiado en este sentido, quizá por pensarse que este estabilizante es el que puede producir una mezcla cuyas propiedades difieran más de las del producto original.

En términos generales, se recurre al uso de cemento cuando se desea una capa resistente, de resistencia uniforme, capaz de proporcionar un buen apoyo homogéneo, tal como podría ser el caso de la subbase de un pavimento rígido o de la base o la subbase de un pavimento flexible sujeto a la acción de un tránsito pesado muy importante (Rico & Del Castillo, 1977).

2.2.4. Base Granular

2.2.4.1. Granulometría

La composición final de los materiales presentará una granulometría continua, bien graduada y según los requerimientos de una de las franjas granulométricas que se indican en la tabla n.º 1 (Tabla n.º 403-01), según el Ministerio de Transportes y comunicaciones (EG, 2013).

Para las zonas con altitud iguales o mayores a 3,000 msnm se deberá seleccionar la gradación "A", MTC (EG, 2013)

Tabla n.º 1. Requerimientos granulométricos para base granular

Tamiz	Porcentaje que pasa en Peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 - 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
4.75 mm (Nº 4)	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
2.0 mm (Nº 10)	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
4.25 mm (Nº 40)	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
75 um (Nº 200)	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

Fuente: ASTM D 1 241, 2001.

El material de base granular deberá cumplir además con las siguientes características físico-mecánicas y químicas que se indican en la Tabla n.º 2 (Tabla n.º 403-02, según EG, 2013).

Tabla n.º 2. Valores relativos.

Valor relativo de soporte, CBR (1)	Tráfico ligero y medio	Mín. 80%
	Tráfico pesado	Mín. 100%

Fuente: MTC (EG, 2013).

Según el MTC (EG, 2013) está referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.10" (2.50 mm).

2.2.4.2. Agregado grueso

Se denominará así a los materiales retenidos en la malla N° 4, que podrán provenir de fuentes naturales, procesados o combinación de ambos.

Deberán cumplir las características, indicadas en la Tabla n.º 3 (Tabla n.º 403-03, según EG, 2013).

Tabla n.º 3. Requerimientos agregado grueso

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimientos	
				Altitud	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821	---	80% mín.	80% mín.
Partículas con dos caras fracturada	MTC E 210	D 5822	---	40% mín.	50% mín.
Abrasión los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx.	40% máx.
Partículas Chatas y Alargadas (1)	MTC E 221	D 4791	---	15% máx.	15% máx.
Sales solubles totales	MTC E 219	D 1888	---	0.5% máx.	0.5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC 209	C 88	T 104	---	18% máx.

Fuente: MTC (EG, 2013).

2.2.4.3. Agregado fino

Se denominará así a los materiales que pasan la malla N° 4, que podrán provenir de fuentes naturales, procesados o combinación de ambos.

Deberán cumplir las características, indicadas en la Tabla n.° 4 (Tabla n.° 403-04, según EG, 2013).

Tabla n.° 4. Requerimientos agregado fino

Ensayo	Norma	Requerimientos de Altitud	
		< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Índice Plástico	MTC E 111	4% máx.	2% mín.
Equivalente de arena	MTC E 114	35% mín.	45% mín.
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	---	15%

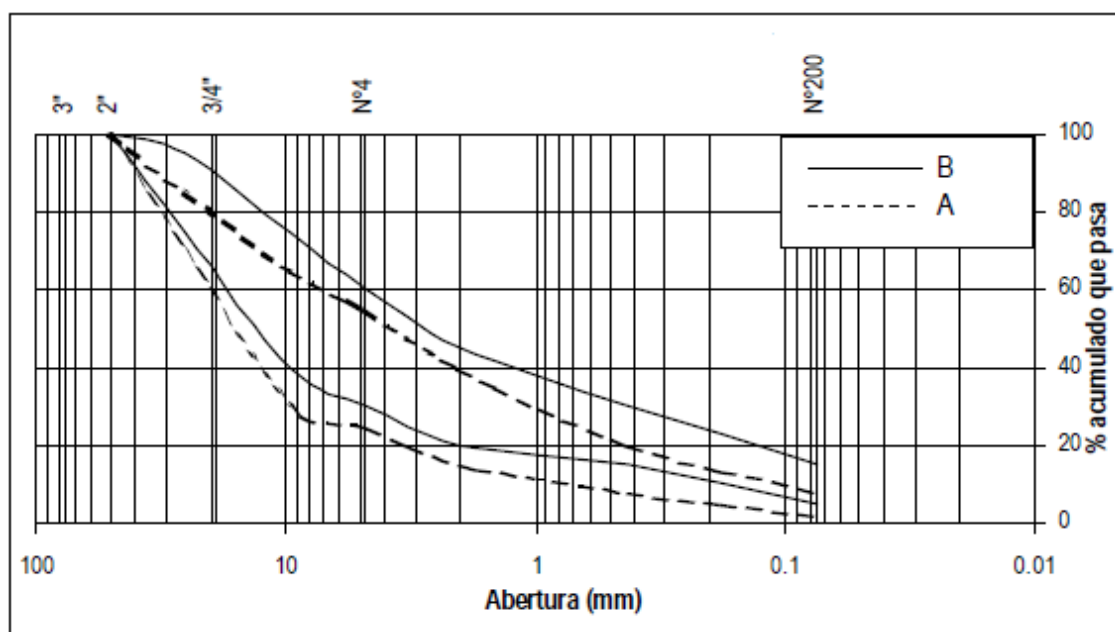
Fuente: MTC (EG, 2013).

2.2.5. Husos granulométricos

Se utilizan para delimitar la granulometría de bases y subbases de los agregados.

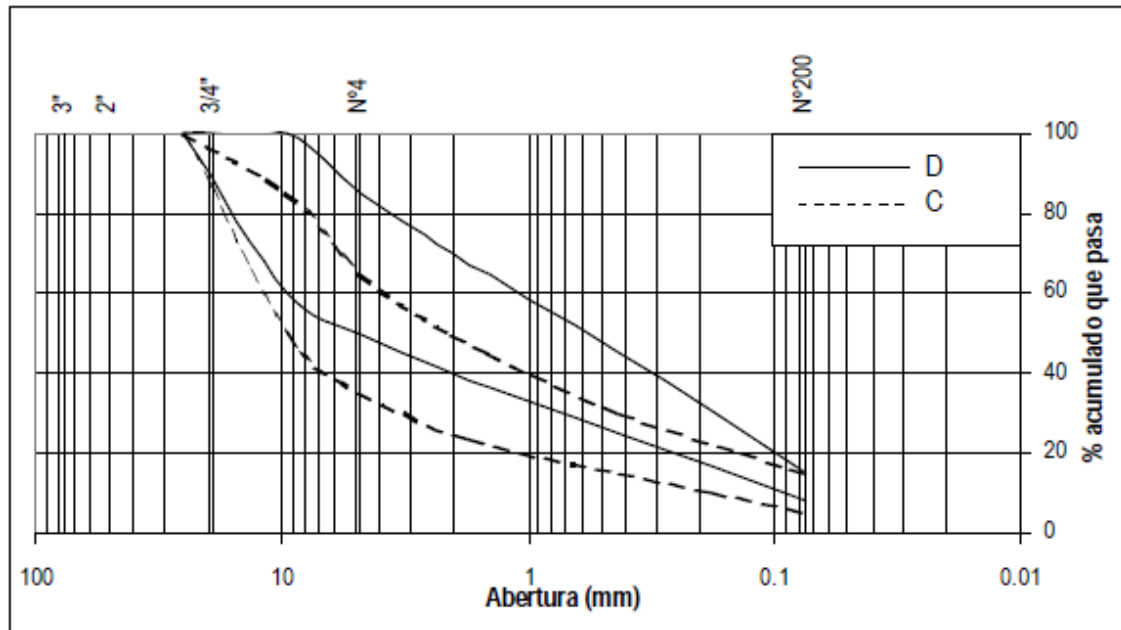
Las diferentes gradaciones están descritas en la tabla n.° 1. A continuación se muestran las figuras de los husos granulométricos.

Figura n.° 1. Huso granulométrico para materiales de subbase y base granular (MTC) - Gradaciones A y B.



Fuente: MTC, 2000.

Figura n.º 2. Huso granulométrico para materiales de subbase y base granular (MTC) - Gradaciones C y D.



Fuente: MTC, 2000.

2.2.6. Calidad de agregados

Para verificar la calidad de un determinado banco de materiales, estos deben ser sometidos a ensayos de suelos, debiendo cumplir con las especificaciones técnicas emitidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Los materiales que serán empleados como material de afirmado o subbase podrá ser agregado natural, triturado o una combinación de ambos. Los agregados para bases deberán ser chancados. (Minaya & Ordoñez, 2010).

Todos los agregados utilizados como afirmados, subbase y base serán resistentes, sin exceso de partículas chatas o alargadas, no podrán presentar terrones de arcilla ni materia orgánica. (Minaya & Ordoñez, 2010).

Los ensayos a los que están sometidos los suelos son: abrasión los ángeles, equivalente de arena, ensayo de proctor modificado, CBR asociados a la máxima densidad seca y al óptimo contenido de humedad del proctor, partículas chatas y alargadas, caras de fractura, sales solubles y contenido de impurezas orgánicas. (Minaya & Ordoñez, 2010).

2.2.7. Ensayos de materiales en laboratorio

2.2.7.1. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (MTC E 204 Y C 136).

Se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos para uso como agregados o los que están siendo usados como tales. Los resultados serán usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos exigidos en la especificación técnica de la obra y proporcionar datos necesarios para el control de producción de agregados.

Agregado fino: La cantidad de muestra de agregado fino, después de secado, debe ser de 300 g. mínimo.

Agregado grueso: La cantidad de muestra de agregado grueso, después de secado, debe ser de acuerdo a lo establecido en la siguiente tabla.

Tabla n.º 5. Requerimientos agregado grueso.

Tamaño máximo nominal (Abertura cuadrada)		Cantidad mínima de muestra de ensayo
Mm	(pulg)	Kg
9.5	(3/8)	1
12.5	(1/2)	2
19.0	(3/4)	5
25.0	(1)	10
37.5	(1 1/2)	15
50.0	(2)	20
63.0	(2 1/2)	35
75.0	(3)	60
90.0	(3 1/2)	100
100.0	(4)	150
125.0	(5)	300

Fuente: MTC, 2016.

2.2.7.2. Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200) por lavado (MTC E 202).

Los resultados de este ensayo son incluidos en el cálculo del ensayo de granulometría y la cantidad total del material más fino que el tamiz de 75 μm (Nº 200) además del obtenido por tamizado en seco en la misma muestra es reportado con los resultados de

granulometría. Usualmente, la cantidad adicional del material más fino que 75 µm obtenido en el proceso de tamizado en seco es una cantidad pequeña. Si ésta es muy grande, la eficiencia de la operación de lavado debe ser chequeada. Esto también puede ser indicativo de degradación del agregado.

Las cantidades que se usan, se describen en la siguiente tabla.

Tabla n.º 6. Cantidad mínima de muestra.

Tamaño máximo nominal de agregados		Peso nominal de la muestra (g)
4.75 mm	Nº 4 o menor	300
9.5 mm	3/8	1 000
19.0 mm	3/4	2 500
37.5 mm	1 1/2 o mayor	5 000

Fuente: MTC, 2016.

Cálculos

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100 \dots Ec. (1)$$

Donde:

A = Porcentaje del material fino que pasa el tamiz de 75 µm (Nº 200) por lavado.

B = Peso seco de la muestra original, en gramos.

C = Peso seco de la muestra después de lavado, en gramos.

2.2.7.3. Límite líquido (MTC E 110 y D 4318).

Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2") cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.

Cálculos

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad \text{O} \quad LL = kW^n \dots Ec. (2)$$

Donde:

N = Números de golpes requeridos para cerrar la ranura para el contenido de humedad.

Wⁿ = Contenido de humedad del suelo.

K = Factor dado en la tabla n.º 7.

Tabla n.º 7. Factores del límite líquido.

N (Número de golpes)	K (Factores para Límite Líquido)
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

Fuente: MTC, 2016.

2.2.7.4. Abrasión los ángulos al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2") (MTC E 207 y C 131)

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

Debido a las condiciones de esfuerzo-deformación, la carga de la rueda es transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima en la subrasante.

La carga dependiendo de la degradación de la muestra se describe en las siguientes tablas.

Tabla n.º 8. Cargas por tipo de gradación

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

Fuente: MTC, 2016.

Tabla n.º 9. Gradación de las muestras de ensayo.

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado (g)			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
1 1/2"	1"	1,250 ± 25			
1"	3/4"	1,250 ± 25			
3/4"	1/2"	1,250 ± 10	2,500 ± 10		
1/2"	3/8"	1,250 ± 10	2,500 ± 10		
3/8"	1/4"			2,500 ± 10	
1/4"	Nº 4			2,500 ± 10	
Nº 4	Nº 8				5,000 ± 10
TOTAL		5,000 ± 10	5,000 ± 10	5,000 ± 10	5,000 ± 10

Fuente: MTC, 2016.

Cálculos

El resultado del ensayo se expresa en porcentaje de desgaste, calculándose como la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra de ensayo con respecto al peso inicial.

$$\%desgaste = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}} \times 100 \dots Ec. (3)$$

2.2.7.5. Partículas chatas y alargadas en agregados (MTC E223 y ASTM D 4791).

Con este ensayo encontramos 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 provee el medio para verificar si se cumple con las especificaciones que limitan tales partículas o, para determinar la forma característica del agregado grueso.

El peso de los agregados después de secado conformarán los mínimos requeridos de acuerdo a lo indicado en la siguiente tabla.

Tabla n.º 10. Pesos mínimos de partículas largas y achatadas

Tamaño máximo nominal - malla cuadrada (pulg)	Peso mínimo de la muestra de ensayo (kg)
3/8"	1.0
1/2"	2.0
3/4"	5.0
1"	10.0
1 1/2"	15.0
2"	20.0
2 1/2"	35.0
3"	60.0

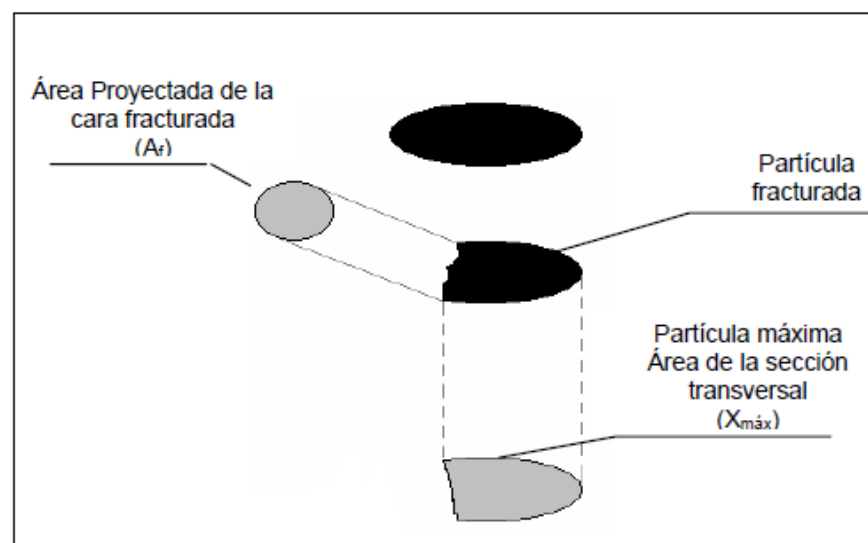
Fuente: MTC, 2016.

2.2.7.6. Método de ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso (MTC E 210 y ASTM D 5821).

Algunas especificaciones técnicas contienen requisitos relacionados al porcentaje de agregado grueso con caras fracturadas con el propósito de maximizar la resistencia al esfuerzo cortante con el incremento de la fricción entre las partículas. Otro propósito es dar estabilidad a los agregados empleados para carpeta o afirmado; y dar fricción y textura a agregados empleados en pavimentación.

La forma de la partícula de los agregados puede afectar la trabajabilidad durante su colocación; así como la cantidad de fuerza necesaria para compactarla a la densidad requerida y la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida de servicio.

Figura n.º 3. Caras fracturadas.



Fuente: MTC, 2016.

Una cara será considerada como una cara de fractura si tiene: $A_f \geq 0.25 X_{m\acute{a}x}$.

Tabla n.º 11. Tamaño máximo por tamiz

Tamaño máximo nominal de muestras de ensayo mín. (pulg)	Abertura cuadrada, masa en gramos
3/8"	200
1/2"	500
3/4"	1 500
1"	3 000
1 1/2"	7 500
2"	15 000
2 1/2"	30 000
3"	60 000
3 1/2"	90 000

Fuente: MTC, 2016.

Cálculos

$$P = \left[\frac{F + Q/2}{F + Q + N} \right] \times 100 \dots Ec. (4)$$

Donde:

P: Porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas.

F: Peso o cantidad de partículas fracturadas con al menos el número especificado de caras fracturadas.

Q: Peso o cantidad de partículas cuestionables.

N: Peso o cantidad de partículas en la categoría de no fracturadas que no cumplen el criterio de fractura.

2.2.7.7. Ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino (MTC E 114 y D 2419).

El propósito de este método es indicar, bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de suelos arcillosos o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz N° 4.

El término "equivalente de arena", expresa el concepto de que la mayor parte de los suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena y generalmente arcillas o finos plásticos y polvo, indeseables.

Este método de ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, fineza, y carácter del material arcilloso presente en el espécimen de ensayo. Se puede especificar un valor mínimo del equivalente de arena para limitar la cantidad permisible de finos arcillosos en los agregados.

Este método de ensayo provee un método rápido de campo para determinar cambios en la calidad de los agregados durante la producción o colocación.

Cálculos

$$SE = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{lectura de finos}} \dots \text{Ec. (5)}$$

Donde:

SE= Arena equivalente.

2.2.7.8. Compactación en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado) (MTC E 115).

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en laboratorio, para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101.6 o 152.4 mm (4" o 6") de diámetro con un pisón de 44.5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18"), produciendo una energía de compactación de (2 700 KN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³).

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

METODO "A"

- Molde: 101.6 mm de diámetro (4")
- Material: Se emplea el que pasa por el tamiz 4.75 mm (Nº 4).
- Número de capas: 5.
- Golpes por capa: 25.
- Uso: Cuando el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz 4.75 mm (Nº 4).
- Otros Usos: Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando el método B o C.

METODO "B"

- Molde: 101.6 mm (4") de diámetro.
- Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz de 9.5 mm (3/8").
- Número de Capas: 5.
- Golpes por capa: 25.
- Usos: Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4.75 mm (Nº 4) y 20% o menos de peso del material es retenido en el tamiz 9.5 mm (3/8").
- Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando el método C.

METODO "C"

- Molde: 152.4 mm (6") de diámetro.
- Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz 19.0 mm (3/4").
- Número de Capas: 5.
- Golpes por Capa: 56.
- Uso: Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9.5 mm (3/8") y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19.0 mm (3/4").
- El molde de 152.4 mm (6") de diámetro no será usado con los métodos A o B.

Cálculos

Peso unitario seco: Calcular la densidad húmeda (ecuación 1), la densidad seca (ecuación 2) y luego el peso unitario seco (ecuación 3) como sigue:

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V} \dots Ec. (6)$$

Donde:

ρ_m = Densidad húmeda del espécimen compactado (Mg/m³).

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

M_{md} = Masa del molde de compactación (kg).

V = Volumen del molde de compactación (m³).

$$\rho_d = \frac{P_m}{1 + \frac{W}{100}} \dots Ec. (7)$$

ρ_d = Densidad seca del espécimen compactado (Mg/m^3).

W = Contenido de agua (%).

$$\gamma_d = 62,43 \rho_d \text{ en } \frac{lbf}{pie^3}$$

$$\gamma_d = 9,807 \rho_d \text{ en } \frac{KN}{m^3} \dots Ec. (8)$$

Donde:

γ_d = Peso unitario seco del espécimen compactado.

2.2.7.9. CBR (California bearing ratio) en laboratorio (MTC E 132 y ASTM D 1883).

Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California bearing ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.

Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimento flexible.

$$CBR = 100 \times \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} \dots Ec. (9)$$

2.3. Definición de términos básicos

Pavimento: El Pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura (MTC, 2013).

Base: Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ($CBR \geq 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento (MTC, 2013).

Cemento: Es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido que amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad bajo el agua (IECA, 2013).

Comportamiento: El comportamiento estructural del pavimento está asociado a la capacidad estructural que tiene para soportar o resistir las solicitaciones de carga al que estará sometido durante su período de vida útil; ya que las cargas de los vehículos pesados producen una pérdida lenta y progresiva de la capacidad de soporte de la estructura del pavimento (MTC, 2013).

Estabilización: Con la estabilización mecánica de suelos se pretende mejorar el material del suelo existente, sin cambiar la estructura y composición básica del mismo. Como herramienta para lograr este tipo de estabilización se utiliza la compactación, con la cual se reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo (MTC, 2013).

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Hipótesis

El comportamiento estructural del material de base mejora, aumentando hasta en un 15% al adicionar 6% de cemento Portland tipo I.

3.2. Operacionalización de variables

Tabla n.º 12. Operacionalización de variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES	UNIDAD
Independiente: Adición de cemento Portland tipo I	Es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido que amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación (IECA, 2013)	Adición de cemento Portland tipo I al 2%.	%
		Adición de cemento Portland tipo I al 4%.	%
		Adición de cemento Portland tipo I al 6%.	%
Dependiente: Comportamiento estructural	Está asociado a la capacidad estructural que tiene para soportar o resistir las solicitaciones de carga al que estará sometido durante su período de vida útil (MTC, 2013).	Compactación (Proctor modificado al 95%)	%
		CBR	%

Fuente: Elaboración propia, 2016

3.3. Diseño de investigación

Experimental.

3.4. Unidad de estudio

Material de base con adición de cemento Portland tipo I para determinar su comportamiento estructural.

3.5. Población

Especímenes de material de base para pavimentos flexibles, con adición de cemento Portland tipo I y determinar el comportamiento estructural.

3.6. Muestra (muestreo o selección)

Especímenes de material de base para pavimentos flexibles, con adición de cemento Portland tipo I y determinar el comportamiento estructural.

- Cuatro muestras de proctor modificado (Cada una con 5 capas y 56 golpes por capa), para la muestra del material combinado o muestra patrón.
- Cuatro muestras de proctor modificado (Cada una con 5 capas y 56 golpes por capa), para la muestra del material combinado con adición de 2% de cemento.
- Cuatro muestras de proctor modificado (Cada una con 5 capas y 56 golpes por capa), para la muestra del material combinado con adición de 4% de cemento.
- Cuatro muestras de proctor modificado (Cada una con 5 capas y 56 golpes por capa), para la muestra del material combinado con adición de 6% de cemento.
- Tres muestras de CBR (De 13, 27 y 55 golpes, cada muestra de 5 capas respectivamente), para la muestra del material combinado o muestra patrón.
- Tres muestras de CBR (De 13, 27 y 55 golpes, cada muestra de 5 capas respectivamente), para la muestra del material combinado con adición de 2% de cemento.
- Tres muestras de CBR (De 13, 27 y 55 golpes, cada muestra de 5 capas respectivamente), para la muestra del material combinado con adición de 4% de cemento.
- Tres muestras de CBR (De 13, 27 y 55 golpes, cada muestra de 5 capas respectivamente), para la muestra del material combinado con adición de 6% de cemento.

3.7. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

Los ensayos que se realizan al agregado del río Chonta y del Gavilán para determinar el comportamiento estructural de la base al adicionar cemento Portland tipo I en porcentajes 2%, 4% y 6%, son ensayos conforme al manual y la norma estipulada para éstos. Todos los ensayos serán supervisados por el personal calificado del laboratorio.

Los ensayos que se realizarán son los siguientes:

- Análisis granulométrico
MTC E 204 (ASTM C 136)
- Límite líquido
MTC E 110 (ASTM D 4318)

- Índice de plasticidad
MTC E 111 (ASTM D 4318)
- Abrasión de los ángeles
MTC E 207 (ASTM C 131)
- Equivalente de arena
MTC E 114 (ASTM D 2419)
- Partículas fracturadas
MTC E 210 (ASTM D 5821)
- Compactación
MTC E 116 (ASTM D 4718)
- CBR
MTC E 132 (ASTM D1883)

3.8. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

3.8.1. Procedimiento general

En la presente investigación se busca conocer la influencia de la adición de cemento Portland tipo I en el California bearing ratio (CBR), después de ser estabilizado con diferentes porcentajes de cemento Portland tipo I al 2%, 4% y 6%.

En el mes de septiembre se buscó agregados de río, el cual fue obtenido en la cantera Río Chonta y el agregado de cerro de la cantera El Gavilán, el material fue trasladado hasta la ciudad de Cajamarca a las instalaciones de la Universidad Privada del Norte, lugar donde fueron ensayados en el respectivo laboratorio, para obtener sus características y ver su comportamiento.

Para esta investigación se usaron los siguientes programas computacionales: Microsoft Word y Microsoft Excel.

3.8.2. Método analítico o tanteos sucesivos (Granulometría)

Este método nos sirvió para encontrar los porcentajes de agregados del río Chonta y El Gavilán, que cumplan con el huso granulométrico de gradación C.

Según el Instituto del Asfalto, 2010, este método consiste en determinar en forma rápida, los porcentajes (%) de cada uno de los agregados, estudiando los diferentes tamices y

considerando cuál de los agregados controlara la cantidad del material que pasa en un determinado tamiz.

Al hacer la combinación de los agregados es deseable, siempre que sea factible, producir una granulometría que se aproxime lo más posible a la media de los límites de las especificaciones.

Nos permite observar que para un tamiz determinado el % con que contribuye un tipo de agregado a la mezcla deseada se obtiene multiplicando el % total que pasa por el tamiz (expresado en decimal), por el % de agregado de ese tipo contenido en la mezcla. El % del material combinado que pasa por un tamiz determinado se obtiene sumando las cantidades de material de cada tipo que pasa por dicho tamiz.

$$P = Aa + Bb + Cc + \dots + Nn \dots Ec. (10)$$

$$a + b + c + \dots + n = 1$$

Donde:

P: % pasante o retenido, correspondiente a un tamiz cualquiera. Este % es la media aritmética de las especificaciones.

A, B, C... N: % de material que pasa por un tamiz dado para cada uno de los agregados empleados en la combinación.

a, b, c.....n: proporciones expresadas en forma decimal resultantes de la combinación para cada uno de los materiales empleados y cuyo valor es igual a 1.

3.8.3. Ensayo de contenido de humedad

El ensayo de contenido de humedad de la muestra se realizó de acuerdo a lo establecido en el MTC E 108. Este ensayo se realizó para los agregados de las canteras, río Chonta y El Gavilán.

a. Equipo y herramientas

- Balanza con aproximación de 0.1 gr.
- Horno de secado a una temperatura $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Recipientes.

b. Muestra

- La determinación de contenido de humedad se realiza tan pronto como sea posible después del muestreo en campo.

c. Procedimiento

- Se escogió un espécimen de ensayo húmedo.
- Se colocó el espécimen en un contenedor, para luego ser pesado.
- Se llevó el contenedor con el material al horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.
- Luego se retiró el contenedor con la muestra para luego ser pesado y poder definir en gabinete el contenido de humedad de la muestra.

3.8.4. Ensayo de análisis granulométrico

El presente ensayo se realizó siguiendo el procedimiento establecido en el manual MTC E 204 (ASTM C 136), para las 2 canteras río Chonta y Gavilán.

a. Equipos y herramientas

- Balanza digital de precisión 0.1 gr.
- Horno eléctrico de temperatura hasta $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Juego de tamices: 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 10, N° 30, N° 40, N° 60, N° 100, N° 200 y cazoleta.
- Bandejas metálicas.

b. Muestra

- Se tomó una muestra representativa de acuerdo al manual de ensayos de materiales del MTC E 201.
- Se mezcló en forma homogénea la muestra y luego se cuarteó manualmente, de las cuales se escoge 2 muestras al azar.
- Agregado fino: se obtuvo una muestra de 500 gr.
- Agregado grueso, la cantidad de muestra de agregado grueso, después de secado, se hizo de acuerdo a lo establecido en la tabla n.º 5.
- Se mezcla el agregado grueso y fino, la muestra será separada en dos tamaños, mayores y menores al tamiz N° 4 (4.75 mm).

c. Procedimiento

Agregado grueso:

- Primero se secó la muestra a temperatura de ambiente, para luego ser llevado al laboratorio en donde por cuarteo se seleccionó la muestra.

- Luego se pasó la muestra seleccionada por los tamices N° 4, 3/8", 1/2", 3/4", 1" y 1 1/2".
- Posteriormente se pesó las muestras retenidas en cada tamiz.
- Finalmente se elabora la curva granulométrica en gabinete.

Agregado fino:

- Se cuarteó y se seleccionó una muestra representativa de 500 gr.
- Se lavó la muestra en el tamiz N° 200 ejerciendo presión con los dedos, para liberar las partículas limo-arcillosas.
- Se continuó con el lavado hasta que el agua este lo más transparente posible.
- Posteriormente se continuó el secado en el horno a una temperatura de 110 °C, hasta que la muestra esté seca. Se retiró la muestra y se dejó secar a temperatura de ambiente.
- Se tamizó la muestra en las mallas N° 200, N° 100, N° 60, N° 40, N° 30, N° 20 y N° 10. Para luego ser pesado los retenidos en cada malla.
- Finalmente se dibujó la curva granulométrica.

3.8.5. Determinación del límite líquido de los suelos.

El presente ensayo se realizó siguiendo el procedimiento establecido en el manual MTC E 110 (ASTM D 4318), para las 2 canteras río Chonta y Gavilán.

a. Equipos y herramientas

- Balanza digital de precisión 0.1 gr.
- Aparato de límite líquido o copa de Casagrande.
- Una vasija de porcelana de 115 mm (4 1/2") de diámetro aproximadamente.
- Acanalador.
- Horno eléctrico de temperatura hasta 110 °C ± 5 °C.
- Espátula de hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3"- 4") de longitud y 20 mm (3/4") de ancho aproximadamente.

b. Muestra

- Se obtuvo una porción representativa de la muestra total, suficiente para proporcionar 150 g a 200 g de material pasante del tamiz 4.25 mm (N° 40). Las muestras cohesivas se mezclaron totalmente en un recipiente con una espátula y se obtendrá una porción representativa de la masa total extrayéndola dos veces con la cuchara.

c. Procedimiento

- Luego de haber secado el material, se procedió a tamizar por la malla N° 40, seleccionando una muestra representativa de 200 g.

- A la muestra se le colocó agua en la vasija de porcelana y se realizó el mezclado por un periodo de 15 minutos.
- Se verificó la calibración de la copa de Casagrande (altura de caída libre de la cazuela) que esté de acuerdo a la norma (1 cm.).
- Luego de haber terminado de mezclar se procedió al ensayo del límite líquido: se colocó la pasta en la cuchara de la copa de Casagrande y se pulió una parte con la espátula.
- Utilizando el acanalador se dividió la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa.
- se dejó caer la cuchara desde una altura regulada por el instrumento (1 cm.) a una velocidad de 2 golpes por segundo, hasta que se cerró la ranura a una distancia mínima de 13 mm. Este proceso se repitió hasta obtener 5 valores de interpolación en el gráfico contenido de humedad vs n° de golpes.
- Se procedió a pesar la muestra húmeda en una balanza con precisión de 0.01 g.
- Luego se colocó la muestra en el horno y al día siguiente se pesó la muestra.

NOTA: La muestra ensayada no tuvo límite plástico ya que por ser un material arenoso no logró llegar a los 25 golpes en la copa de Casagrande.

3.8.6. Ensayo de porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso.

Este ensayo se realizó siguiendo el procedimiento establecido en el manual MTC E 210 (ASTM D 5821), para las 2 canteras río Chonta y El Gavilán.

a. Equipos y herramientas

- Tamices 3/8", 1/2" y 3/4".
- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Horno eléctrico de temperatura hasta 110 °C ± 5 °C.

b. Muestra

- Se obtuvo una muestra representativa de acuerdo a la tabla n.º 11.

c. Procedimiento

- Luego de haber secado el material, se procedió a tamizar por la malla N° 4 para separar el material fino del grueso.
- Se cuarteó el material retenido en la malla N° 4 (agregado grueso), luego se hizo pasar por los tamices especificados y se obtuvo las cantidades especificadas en la tabla n.º 11.

- Se procedió a escoger visualmente las partículas con caras fracturadas y las no fracturadas (de acuerdo al manual del MTC)
- Luego se determinó la cantidad en masa de partículas en la categoría de partícula fracturada y de las partículas que no reunieron el criterio de fractura especificado.

3.8.7. Ensayo de equivalente de arena para suelos y agregado fino.

Este ensayo se realizó siguiendo el procedimiento establecido en el manual MTC E 114 (ASTM D 2419), para las 2 canteras río Chonta y Gavilán.

a. Equipos y herramientas

- Tres cilindros graduados, transparentes de plástico acrílico.
- Tapón de jebe.
- Tubo irrigador.
- Ensamblaje del sifón.
- Lata de medición: Una lata cilíndrica de aproximadamente 57mm (2¼ pulg) de diámetro, con una capacidad de 85 ± 5 mL.
- Tamiz N°4 (4.75mm).
- Embudo, de boca ancha, para transferir los especímenes de ensayo dentro de los cilindros graduados.
- Reloj, con lecturas en minutos y segundos
- Cloruro cálcico Anhidro, 454g (1,00 lb) de grado técnico
- Glicerina USP, 2050g (1 640 mL).
- Formaldehído, (40 volumen % solución) 47g (45 mL).

b. Muestra

- Se obtuvo 1500 g de material pasante del tamiz N° 4.

c. Procedimiento

- Se ajustó el dispositivo del sifón a una botella de 1,0 gal (3,8 L) de la solución de trabajo de cloruro de calcio. Se colocó la botella sobre la superficie de trabajo.
- Empezó el sifonaje conectándolo a la parte superior de la botella con la solución mediante un pedazo corto de tubo, mientras se abre el sujetador.
- Se llenaron de solución los cilindros graduados hasta una tercera parte de su capacidad.
- Luego con la lata de medición se obtuvo un poco de muestra y se procedió a verter en cada cilindro graduado, usando el embudo para no derramar material.
- Se golpeó con la palma de la mano varias veces el fondo del cilindro para liberar las burbujas de aire y para conseguir el humedecimiento total del espécimen.

- Luego de 10 minutos se agitó manualmente el cilindro, para prevenir derrames se colocó el tampón de jebe.
- Luego de 20 min del periodo de sedimentación, se dio lectura y se registró el nivel de la parte superior de la suspensión de arcilla (lectura de arcilla).
- Después de que se tomó la lectura de arcilla, se colocó el dispositivo de pesado de pie sobre el cilindro y se bajó lentamente el dispositivo, hasta que descansa sobre la arena, se tomó lectura y a este valor se denominó lectura de arena.

3.8.8. Ensayo de compactación proctor modificado

El presente ensayo se realizó siguiendo el procedimiento establecido en el manual MTC E 115 (ASTM D 1557), para las la combinación de agregados en proporciones: 60% de río y 40% de cerro.

a. Equipos y herramientas

- Equipo proctor modificado (molde cilíndrico, placa de base y anillo de extensión).
- Pisón proctor modificado.
- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Estufa con control de temperatura.
- Probeta de 1000 ml.
- Recipiente de 6 kg, de capacidad.
- Espátula.
- Recipientes identificados.
- Papel filtro.
- Tamiz de 3/4".

b. Muestra

- Se obtuvo una muestra de 24 kg en total para el ensayo, la cual fue separada en muestras de 6 kg y también preparada de acuerdo a la granulometría obtenida.

c. Procedimiento

- Primero se verificó el análisis granulométrico para ver que método se va a utilizar.
- Se obtuvo la muestra seca para el ensayo, utilizando el método C.
- Se ensambló el molde cilíndrico con la placa de base, collar de extensión y el papel filtro en la base.
- Se preparó 4 muestras con una determinada cantidad de agua, que iniciaron en 3% y fueron incrementando de 2 en 2%.
- Luego con el mismo procedimiento anterior se adicionó cemento en 2%, 4% y 6%.

- Se compactó cada muestra en 5 capas y cada capa con 56 golpes (de acuerdo al método C), al terminar de compactar la última capa, se retiró el collar de extensión, se enrasó con la espátula, se pesó el molde cilíndrico con la muestra, se sacaron dos muestras de la parte inferior y superior del cilindro y se pusieron a secar en el horno.
- Finalmente se determinó el contenido de humedad de cada muestra compactada (W %), utilizando las muestras representativas de la parte superior e inferior y también se determinó las densidades secas de cada muestra compactada (Ds).

3.8.9. Ensayo de CBR (California bearing ratio)

El ensayo de CBR se desarrolló de acuerdo al manual del MTC E 132 (ASTM D1883), en donde se usó el contenido óptimo de humedad obtenido en el ensayo de proctor modificado y también nos dice que para suelos arenosos se debe de colocar en agua por 24 horas y no presenta hinchamiento. Se realizó el procedimiento anterior para la muestra patrón como también a las muestras con las dosificaciones de 2%, 4% y 6% de cemento Portland tipo I. Este ensayo se realizó en dos partes, las cuales se describen a continuación.

a. Equipos y herramientas

- Equipo CBR (modelos cilíndricos con placa de base y collar de extensión, 3 discos espaciadores, 3 placas de expansión, 3 sobrecargas cada una de 4.5 kg de peso.
- Pisón proctor modificado.
- Balanza con precisión de 1 gr.
- Estufa con control de temperatura.
- Probeta de 1000 ml.
- Recipiente de 6 kg de capacidad.
- Espátula.
- papel filtro.
- Taras identificadas.

b. Muestra

- Se obtuvo una muestra de 18 kg para cada ensayo de CBR, la cual fue separada en muestras de 6 kg y también preparada de acuerdo a la granulometría obtenida.

c. Procedimiento

- Por tratarse de un material arenoso y no cohesivo sólo presenta 2 fases: ensayo de compactación CBR y ensayo de carga – penetración.

c.1. Ensayo de compactación CBR

- Se preparó la muestra con el contenido óptimo de humedad determinado en el ensayo de compactación proctor modificado.
- Se ensambló los moldes cilíndricos con sus placas de base, collares de extensión, discos espaciadores y papeles filtro
- Luego se compactó la muestra en los 3 moldes CBR, cada uno de ellos en 5 capas, el primero con 13 golpes, el segundo con 27 golpes y el tercero con 55 golpes por capa.
- Se determinó la densidad húmeda y el contenido de humedad de las muestras de cada molde.
- Luego se invirtió las muestras, se colocó la placa de expansión y la sobrecarga.
- Se colocaron los moldes debidamente equipados en un recipiente lleno de agua por 24 horas.
- Se determinó la densidad seca de las muestras de cada molde.

c.2. Ensayo carga - penetración

- Después de las 24 horas se sacaron los moldes del recipiente y se dejó drenar durante 15 minutos.
- Se colocó la sobrecarga en cada molde y se llevó a la prensa hidráulica, se procedió a realizar el ensayo de penetración aplicando un pisón una velocidad de 0.05 pulg/min, registrándose las lecturas de carga y de penetración de cada muestra.
- Se determinó nuevamente la densidad húmeda y el contenido de humedad de las muestras de cada molde.
- Se dibujó 03 curvas de esfuerzo – deformación correspondiente a las muestras de cada molde, en escala natural.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Resultados de laboratorio

Luego de haber concluido con los ensayos de laboratorio y también con el procesamiento de datos, a continuación se muestran los resultados obtenidos.

4.1.1. Ensayo de contenido de humedad

Al trabajar con dos canteras se obtuvieron los siguientes resultados.

El resultado promedio obtenido de la cantera del río Chonta es de 6.40% de humedad.

El resultado promedio obtenido de la cantera El Gavilán es de 1.34% de humedad.

4.1.2. Ensayo de análisis granulométrico

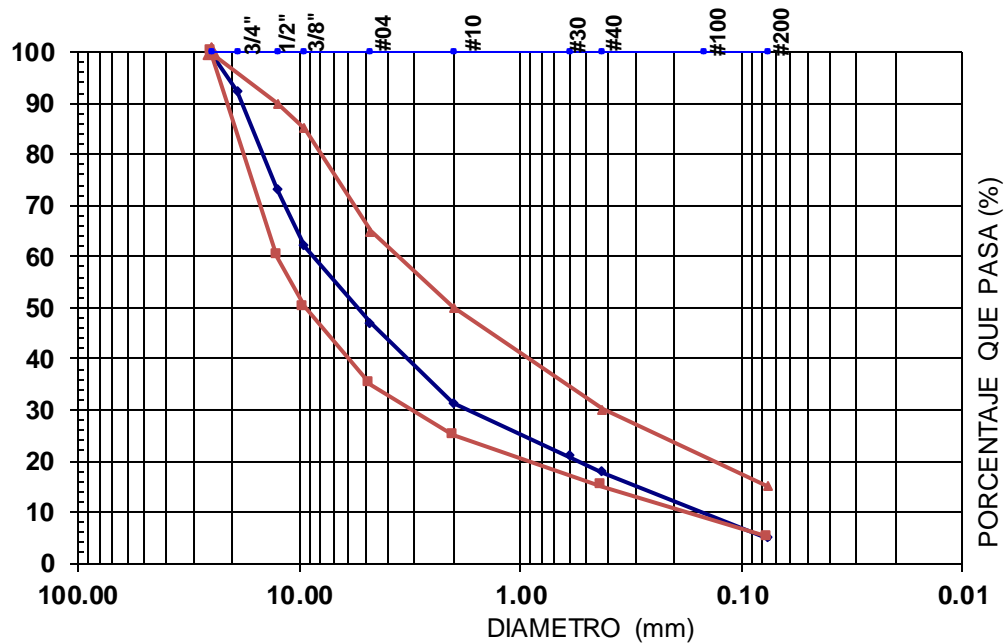
A continuación se muestran los diferentes porcentajes de muestra que pasa por cada tamiz, de las canteras del río Chonta y El Gavilán respectivamente, asimismo de la combinación de agregados.

Tabla n.º 13. Análisis granulométrico de la cantera río Chonta.

ANALISIS DE LA FRACCIÓN GRUESA			
Tamiz	Abert. (mm)	% que pasa	Especificaciones
1"	25	100	100
3/4"	19	92.23	
1/2"	12.5	73.16	
3/8"	9.5	62.04	50 - 85
Nº4	4.76	46.94	35 - 65
ANALISIS DE LA FRACCIÓN FINA			
Tamiz	Abert. (mm)	% que pasa	
Nº10	2	31.28	25 - 50
Nº20	0.84	23.91	
Nº30	0.59	20.86	
Nº40	0.42	17.85	15 - 30
Nº60	0.25	12.19	
Nº100	0.15	7.8	
Nº200	0.074	4.79	5 - 15

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura n.º 4. Granulometría de la cantera río Chonta – Gradación C



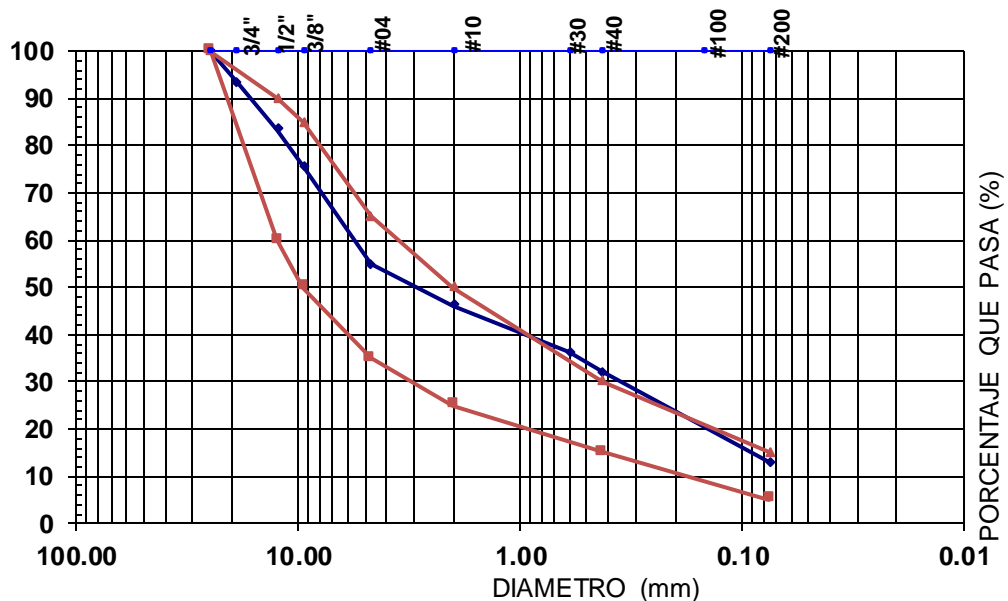
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla n.º 14. Análisis granulométrico de la cantera El Gavilán

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN GRUESA			
Tamiz	Abert. (mm)	% que pasa	Especificaciones
1"	25	100	100
3/4"	19	93.48	
1/2"	12.5	83.37	
3/8"	9.5	75.55	50 - 85
Nº4	4.76	54.76	35 - 65
ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN FINA			
Tamiz	Abert. (mm)	% que pasa	
Nº10	2	46.22	25 - 50
Nº20	0.84	39.39	
Nº30	0.59	36.15	
Nº40	0.42	32.05	15 - 30
Nº60	0.25	24.55	
Nº100	0.15	17.88	
Nº200	0.074	12.87	5 - 15

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura n.º 5. Granulometría de la cantera El Gavilán – Gradación C



Fuente: Elaboración propia, 2016.

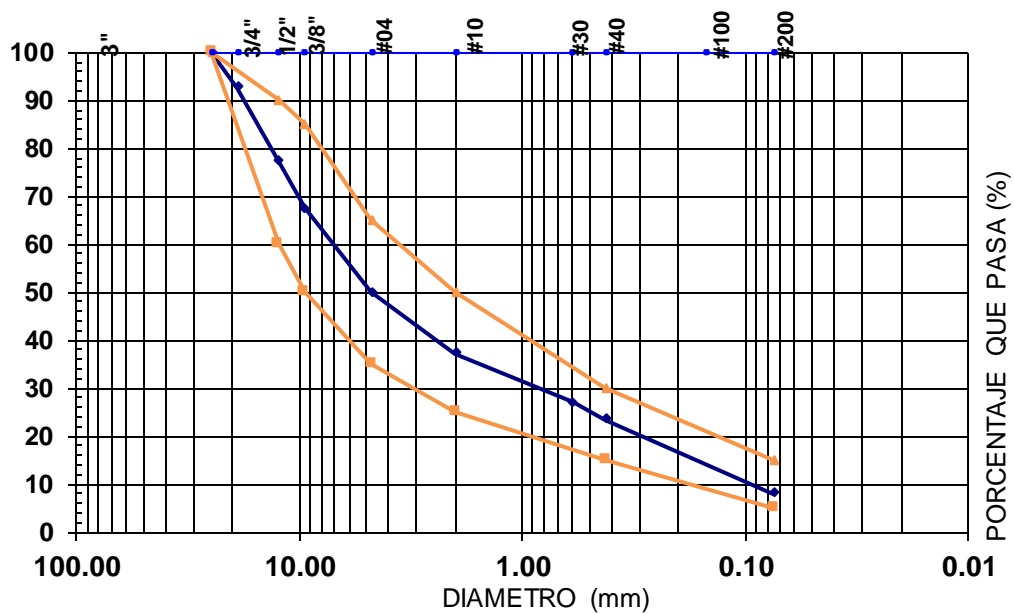
Luego, haciendo la combinación de agregados para cumplir con la gradación C del huso granulométrico para bases de pavimentos, los cálculos nos indican que tener que usar 60% de agregado de la cantera río Chonta y 40% de agregado de la cantera El Gavilán.

Tabla n.º 15. Granulometría de la combinación de agregados

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN GRUESA			
Tamiz	Abert. (mm)	% que pasa	Especificaciones
1"	25	100.00	100
3/4"	19	92.73	
1/2"	12.5	77.24	
3/8"	9.5	67.45	50 - 85
Nº4	4.76	50.07	35 - 65
ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN FINA			
Tamiz	Abert. (mm)	% que pasa	
Nº10	2	37.26	25 - 50
Nº20	0.84	30.10	
Nº40	0.42	23.53	15 - 30
Nº60	0.25	17.13	
Nº100	0.15	11.83	
Nº200	0.074	8.02	5 - 15

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura n.º 6. Granulometría de la combinación de agregados – Gradación C



Fuente: Elaboración propia, 2016.

4.1.3. Ensayo de los límites de Atterberg

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de límite líquido y límite plástico para las canteras río Chonta y el Gavilán.

Tabla n.º 16. Límites de Atterberg – cantera río Chonta

Datos	Límite líquido					Límite plástico
Nº de golpes	13.00	13.00	16.00	18.00	17.00	NP
LL y LP	18.61 %					NP
Índice de plasticidad	No plástico					

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla n.º 17. Límites de Atterberg – cantera El Gavilán

Datos	Límite líquido					Límite plástico
Nº de golpes	17.00	13.00	15.00	15.00	14.00	NP
LL y LP	16.67 %					NP
Índice de plasticidad	No plástico					

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Las muestras no presentan límite plástico, ya que al hacer el ensayo en la copa Casagrande se logra unir antes de los 25 golpes, esto se debe a que las muestras están constituidas en su gran mayoría por arena.

4.1.4. Ensayo de abrasión de los ángeles

A continuación se muestran los resultados del ensayo de la combinación de agregados.

Tabla n.º 18. Abrasión de los ángeles de la combinación de agregados.

DESGASTE A LA ABRASIÓN – GRADACIÓN B						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	Promedio
A	Peso muestra total	gr	5,008.00	5,002.00	5,005.00	
B	Peso retenido en tamiz N° 12	gr	3,022.70	3,087.50	3,032.40	
D	Desgaste a la abrasión los ángeles $D = (A - B) * 100 / A$	%	39.64	38.27	39.41	39.11

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En el ensayo de abrasión el resultado es de 39.11%.

4.1.5. Ensayo de porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso

A continuación se muestran los resultados del ensayo de las dos canteras.

Tabla n.º 19. Porcentaje de partículas fracturadas – cantera río Chonta

Descripción	Cantidad (%)
Porcentaje con una cara fracturada	81.84
Porcentaje con dos o más caras fracturadas	61.99

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla n.º 20. Porcentaje de partículas fracturadas – cantera El Gavilán

Descripción	Cantidad (%)
Porcentaje con una cara fracturada	86.37
Porcentaje con dos o más caras fracturadas	80.92

Fuente: Elaboración propia, 2016.

4.1.6. Ensayo de equivalente de arena para suelos y agregado fino

Al realizar este ensayo se obtuvieron los siguientes resultados.

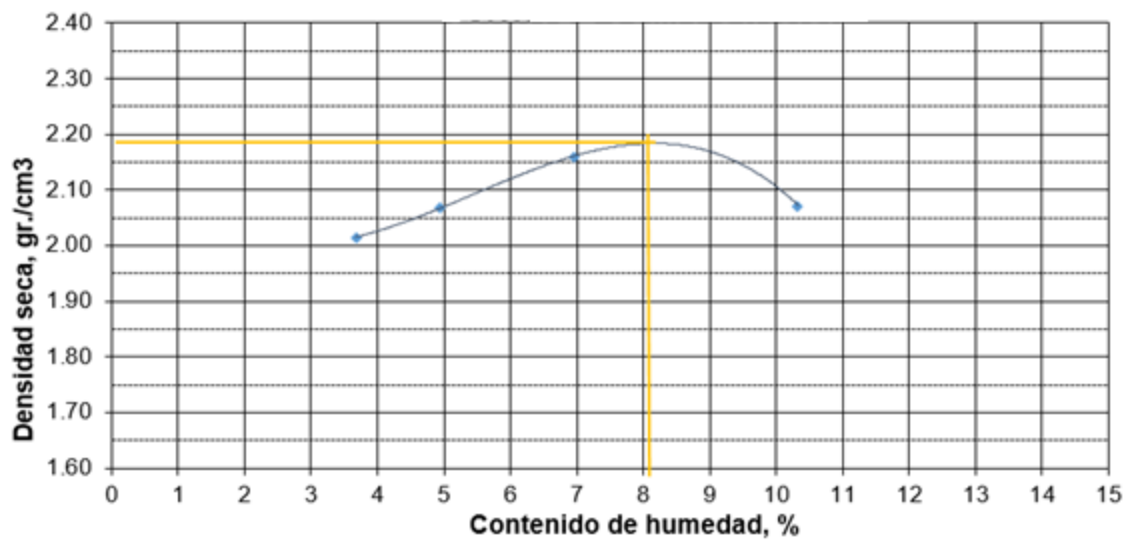
El equivalente de arena para la cantera Río Chonta es 44.75%.

El equivalente de arena para la cantera El Gavilán es 40.43%.

4.1.7. Ensayo de compactación proctor modificado.

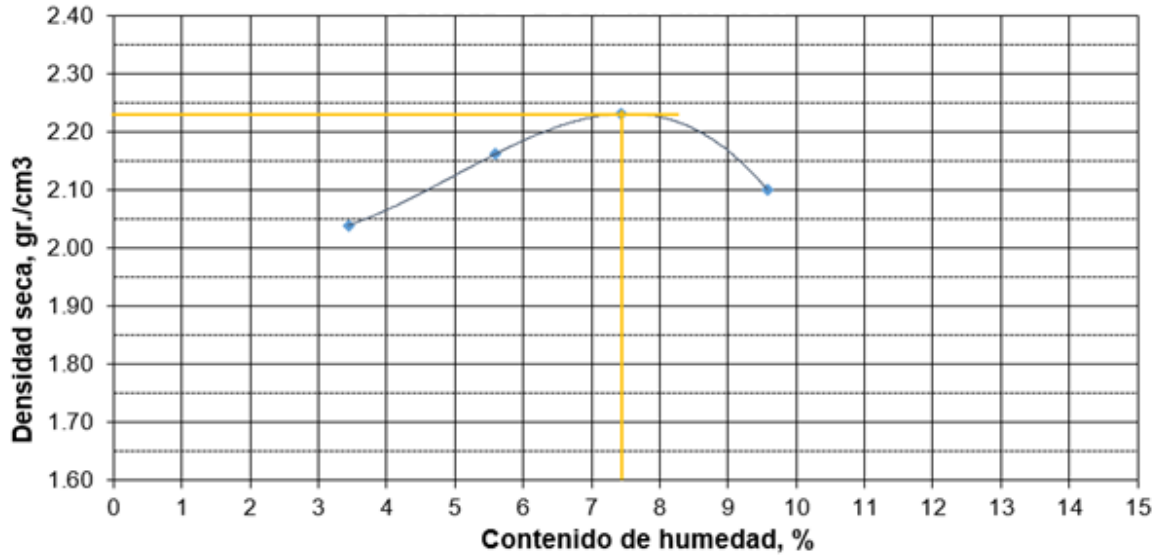
A continuación se presentan las figuras obtenidas del ensayo de compactación, desde la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán).

Figura n.º 7. Densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad de la muestra patrón.



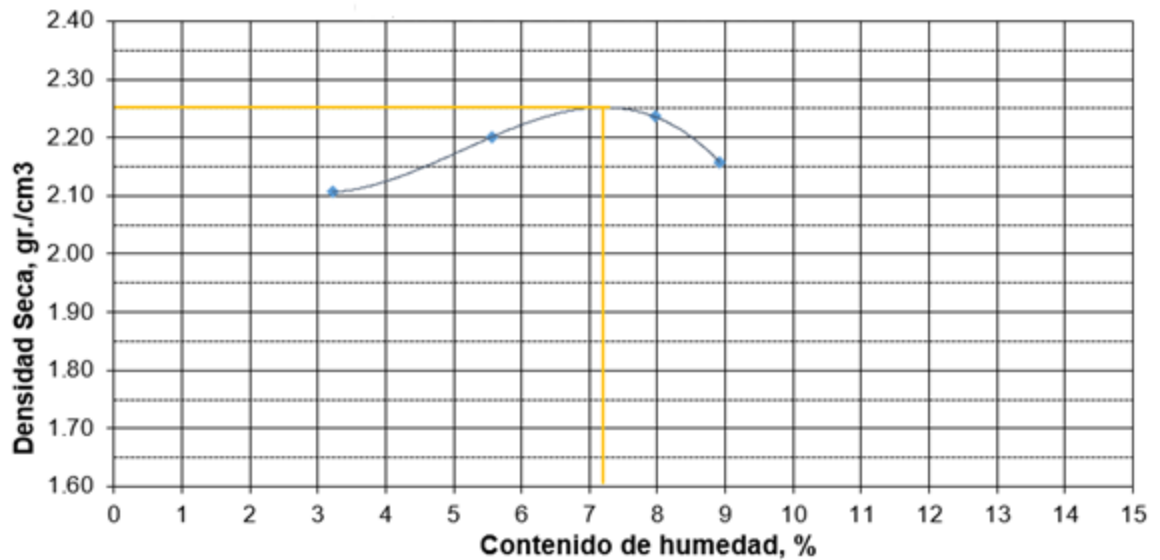
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura n.º 8. Densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad de la muestra con adición de 2% de cemento Portland tipo I.



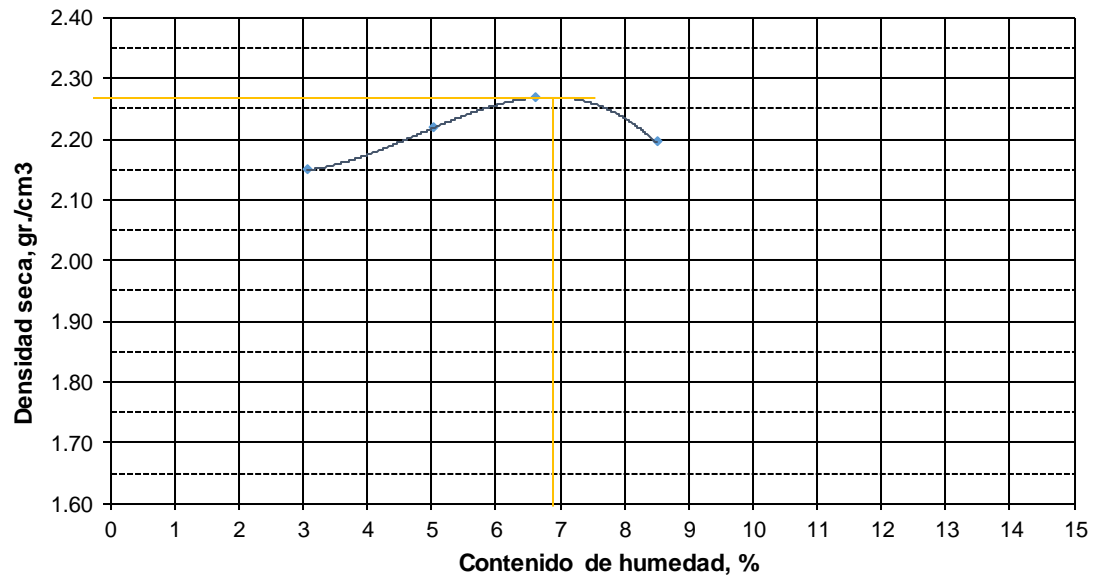
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura n.º 9. Densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad de la muestra con adición de 4% de cemento Portland tipo I.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura n.º 10. Densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad de la muestra con adición de 6% de cemento Portland tipo I.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la tabla n.º 21 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de proctor modificado: Densidad máxima seca y la humedad óptima.

Tabla n.º 21. Proctor modificado

Descripción		Muestra patrón	Muestra + 2% de cemento	Muestra + 4% de cemento	Muestra + 6% de cemento
Proctor modificado	Densidad máxima seca (gr/cm ³)	2.183	2.234	2.252	2.273
	Humedad óptima (%)	8.195	7.437	7.204	6.875

Fuente: Elaboración propia, 2016.

4.1.8. Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)

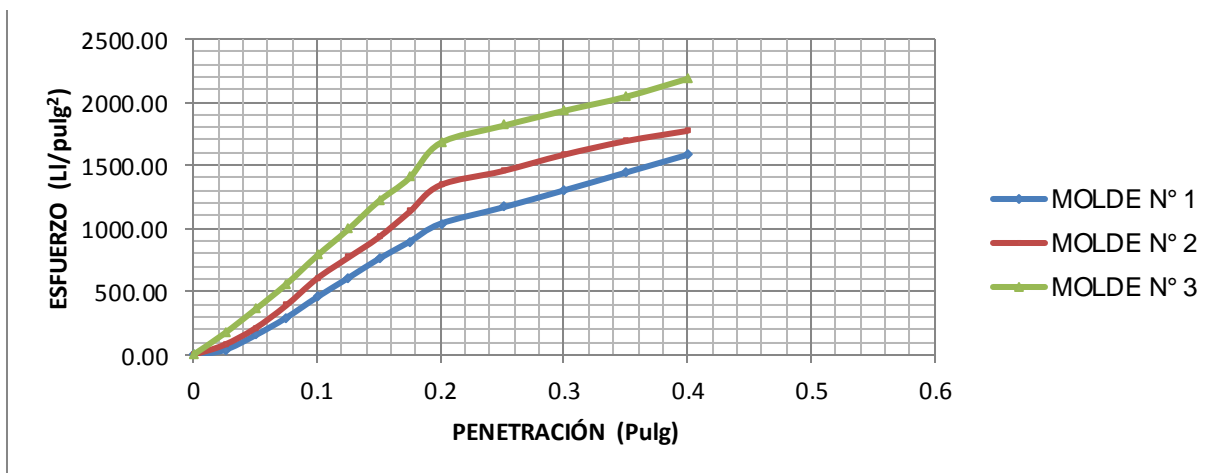
A continuación se muestran las tablas y figuras obtenidos luego del procesamiento de datos, desde la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) hasta las muestras con adiciones de 2%, 4% y 6%.

Tabla n.º 22. Resultados del ensayo de carga - penetración de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán).

LECTURAS DE PENETRACION - MUESTRA PATRÓN											
PENETRACION			Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
			N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg ²)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg ²)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg ²)
Me di da	mm	Pulg									
1	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
2	0.64	0.025	15.00	112.50	36.91	32.00	240.00	78.74	68.00	510.00	167.32
3	1.27	0.050	62.00	465.00	152.56	85.00	637.50	209.16	145.00	1087.50	356.79
4	1.91	0.075	118.00	885.00	290.36	158.00	1185.00	388.78	226.00	1695.00	556.11
5	2.54	0.100	184.00	1380.00	452.76	245.00	1837.50	602.86	318.00	2385.00	782.49
6	3.17	0.125	245.00	1837.50	602.86	312.00	2340.00	767.72	402.00	3015.00	989.18
7	3.81	0.150	307.00	2302.50	755.42	378.00	2835.00	930.13	494.00	3705.00	1215.56
8	4.45	0.175	362.00	2715.00	890.75	460.00	3450.00	1131.90	569.00	4267.50	1400.11
9	5.08	0.200	420.00	3150.00	1033.47	547.00	4102.50	1345.97	682.00	5115.00	1678.16
10	6.35	0.250	472.00	3540.00	1161.43	592.00	4440.00	1456.70	737.00	5527.50	1813.50
11	7.62	0.300	527.00	3952.50	1296.76	645.00	4837.50	1587.12	786.00	5895.00	1934.07
12	8.89	0.350	584.00	4380.00	1437.02	689.00	5167.50	1695.39	831.00	6232.50	2044.80
13	10.16	0.400	641.00	4807.50	1577.28	722.00	5415.00	1776.59	889.00	6667.50	2187.52
14	11.43	0.450	692.00	5190.00	1702.77						
15	12.70	0.500									

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura n.º 11. Curva esfuerzo – deformación de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán).



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla n.º 23. Resultados del ensayo de esfuerzo de 0.1'' y 0.2'' de penetración de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán).

ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACION						
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDES N°3	
Penetración (")	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Esfuerzo Terreno (lb/plg2)	452.76	1033.47	602.86	1345.97	782.49	1678.16
Esfuerzo Patrón (lb/plg2)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	45.28	68.90	60.29	89.73	78.25	111.88

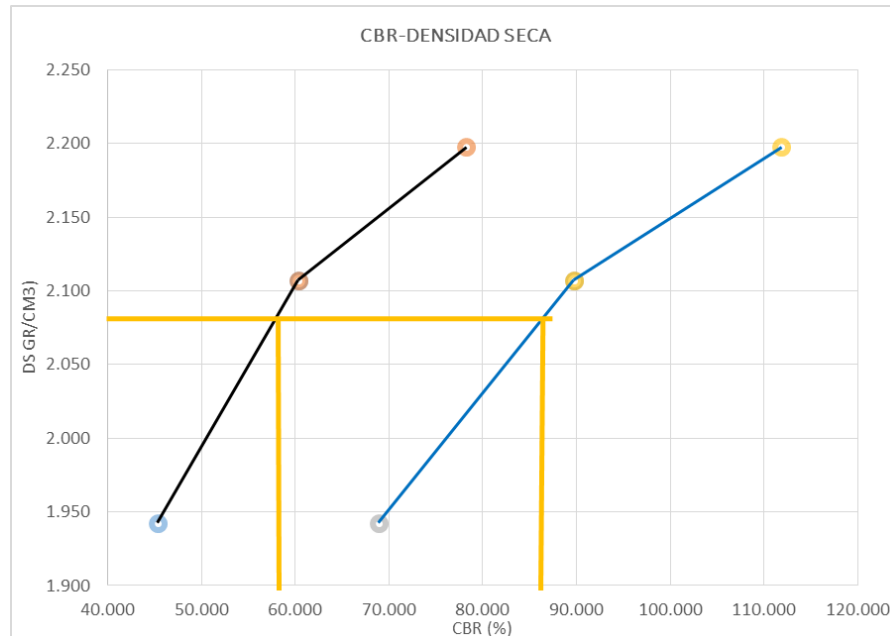
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla n.º 24. Resultados del ensayo CBR – Densidad seca de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán).

CBR Y DENSIDAD SECA – MUESTRA PATRÓN						
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDES N°3	
Penetración (")	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
CBR (%)	45.276	68.898	60.29	89.73	78.25	111.88
Ds (gr/cm3)	1.943		2.107		2.197	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura n.º 12. Curva CBR – Densidad seca de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán).



Ds. Máx =	2.18 gr/cm3	CBR (0.1")	58.20%
95% Ds. Máx=	2.08 gr/cm3	CBR(0.2")	86.30%

Fuente: Elaboración propia, 2016.

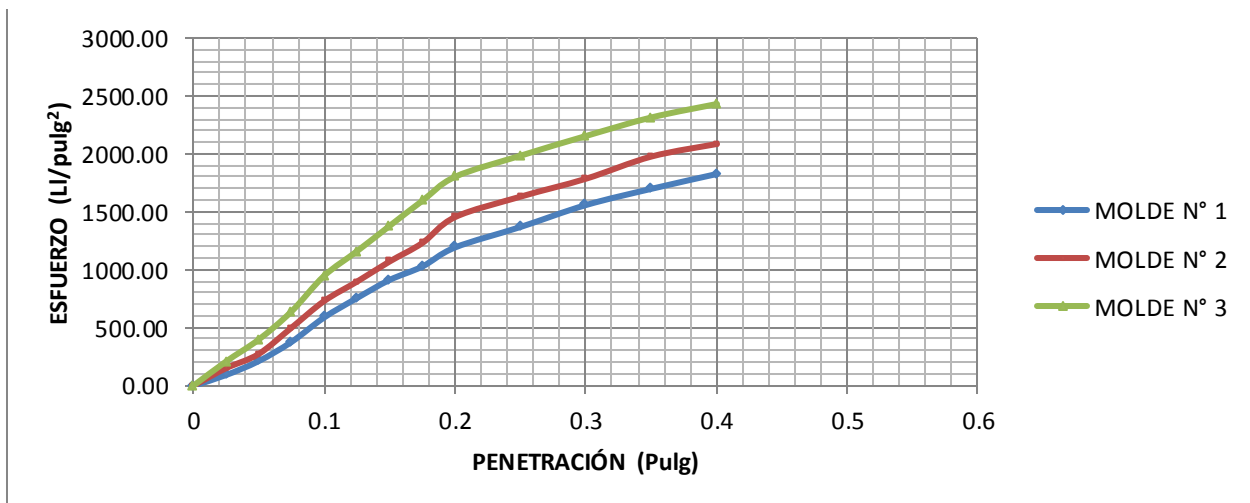
Tabla n.º 25. Resultados del ensayo de carga - penetración de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 2% de cemento Portland tipo I.

LECTURAS DE PENETRACION - 2% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I											
PENETRACION			Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
			N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg2)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg2)
Medida	mm	Pulg									
1	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
2	0.64	0.025	38.00	285.00	93.50	62.00	465.00	152.56	85.00	637.50	209.16
3	1.27	0.050	87.00	652.50	214.08	112.00	840.00	275.59	162.00	1215.00	398.63
4	1.91	0.075	154.00	1155.00	378.94	204.00	1530.00	501.97	260.00	1950.00	639.77
5	2.54	0.100	240.00	1800.00	590.56	298.00	2235.00	733.27	385.00	2887.50	947.35
6	3.17	0.125	308.00	2310.00	757.88	366.00	2745.00	900.60	471.00	3532.50	1158.97
7	3.81	0.150	372.00	2790.00	915.36	437.00	3277.50	1075.30	560.00	4200.00	1377.96
8	4.45	0.175	419.00	3142.50	1031.01	502.00	3765.00	1235.25	648.00	4860.00	1594.50
9	5.08	0.200	486.00	3645.00	1195.88	593.00	4447.50	1459.16	732.00	5490.00	1801.19
10	6.35	0.250	558.00	4185.00	1373.04	665.00	4987.50	1636.33	806.00	6045.00	1983.28
11	7.62	0.300	635.00	4762.50	1562.51	728.00	5460.00	1791.35	875.00	6562.50	2153.07

12	8.89	0.350	692.00	5190.00	1702.77	806.00	6045.00	1983.28	940.00	7050.00	2313.01
13	10.16	0.400	744.00	5580.00	1830.72	850.00	6375.00	2091.55	987.00	7402.50	2428.66
14	11.43	0.450									
15	12.70	0.500									

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura n.º 13. Curva esfuerzo – deformación de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 2% de cemento Portland tipo I.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla n.º 26. Resultados del ensayo de esfuerzo de 0.1'' y 0.2'' de penetración de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 2% de cemento Portland tipo I.

ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACION - 2% CEMENTO PORTLAD TIPO I						
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDES N°3	
Penetración (")	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Esfuerzo Terreno (lb/plg2)	590.56	1195.88	733.27	1459.16	947.35	1801.19
Esfuerzo Patrón (lb/plg2)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	59.06	79.73	73.33	97.28	94.73	120.08

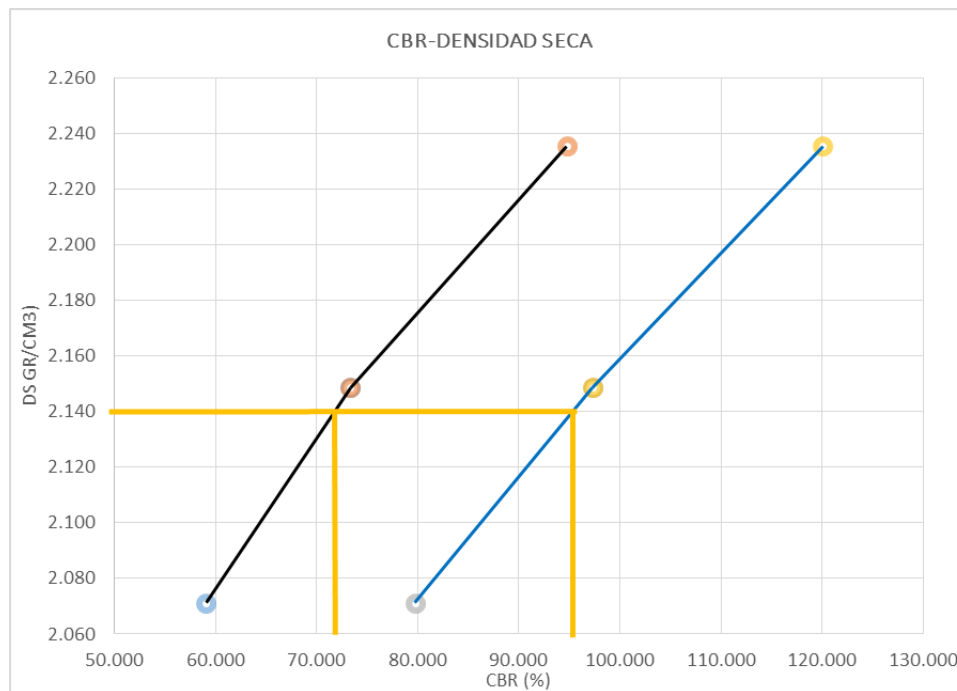
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla n.º 27. Resultados del ensayo CBR – Densidad seca de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 2% de cemento Portland tipo I.

CBR Y DENSIDAD SECA - 2% CEMENTO PORTLAND TIPO I						
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDES N°3	
Penetración (")	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
CBR (%)	59.056	79.725	73.33	97.28	94.73	120.08
Ds (gr/cm ³)	2.071		2.149		2.235	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura n.º 14. Curva CBR – Densidad seca de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 2% de cemento Portland tipo I.



Ds. Máx =	2.23 gr/cm ³	CBR (0.1")	72.10%
95% Ds. Máx=	2.14 gr/cm ³	CBR(0.2")	95.80%

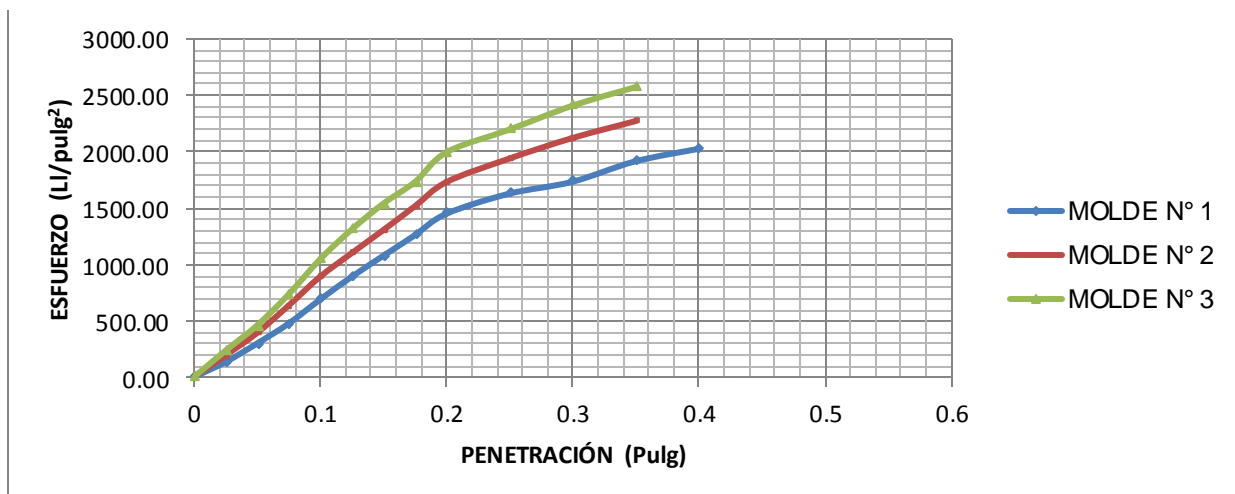
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla n.º 28. Resultados del ensayo de carga - penetración de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 4% de cemento Portland tipo I.

LECTURAS DE PENETRACION - 4% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I											
PENETRACION			Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
			N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg ²)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg ²)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg ²)
Medida	mm	Pulg									
1	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
2	0.64	0.025	54.00	405.00	132.88	78.00	585.00	191.93	95.00	712.50	233.76
3	1.27	0.050	121.00	907.50	297.74	159.00	1192.50	391.24	186.00	1395.00	457.68
4	1.91	0.075	193.00	1447.50	474.91	258.00	1935.00	634.85	298.00	2235.00	733.27
5	2.54	0.100	280.00	2100.00	688.98	362.00	2715.00	890.75	425.00	3187.50	1045.78
6	3.17	0.125	362.00	2715.00	890.75	447.00	3352.50	1099.91	532.00	3990.00	1309.06
7	3.81	0.150	438.00	3285.00	1077.76	530.00	3975.00	1304.14	625.00	4687.50	1537.91
8	4.45	0.175	512.00	3840.00	1259.85	616.00	4620.00	1515.76	703.00	5272.50	1729.84
9	5.08	0.200	590.00	4425.00	1451.78	703.00	5272.50	1729.84	810.00	6075.00	1993.13
10	6.35	0.250	663.00	4972.50	1631.41	788.00	5910.00	1938.99	892.00	6690.00	2194.90
11	7.62	0.300	706.00	5295.00	1737.22	862.00	6465.00	2121.08	978.00	7335.00	2406.51
12	8.89	0.350	780.00	5850.00	1919.31	923.00	6922.50	2271.18	1045.00	7837.50	2571.38
13	10.16	0.400	825.00	6187.50	2030.03						
14	11.43	0.450									
15	12.70	0.500									

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura n.º 15. Curva esfuerzo – deformación de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 4% de cemento Portland tipo I.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla n.º 29. Resultados del ensayo de esfuerzo de 0.1" y 0.2" de penetración de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 4% de cemento Portland tipo I.

ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACION - 4% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I						
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDE N°3	
Penetración (")	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Esfuerzo Terreno (lb/plg²)	688.98	1451.78	890.75	1729.84	1045.78	1993.13
Esfuerzo Patrón (lb/plg²)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	68.90	96.79	89.08	115.32	104.58	132.88

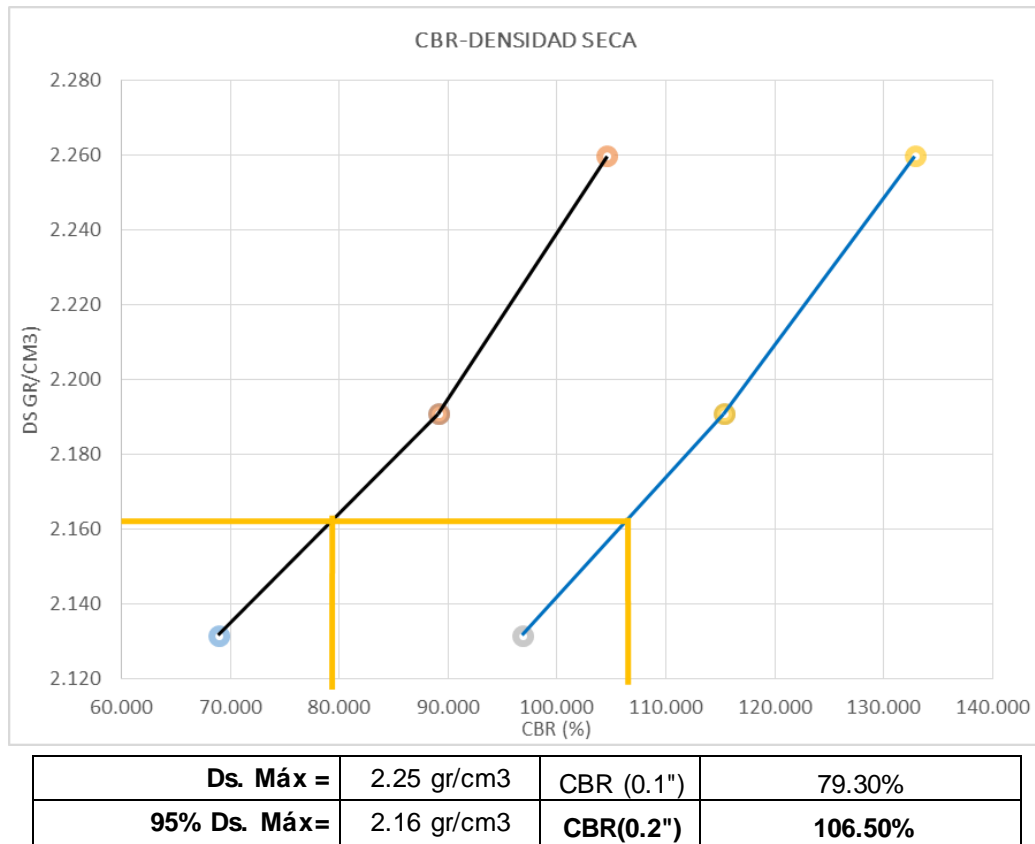
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla n.º 30. Resultados del ensayo CBR – Densidad seca de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 4% de cemento Portland tipo I.

CBR Y DENSIDAD SECA - 4% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I						
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDE N°3	
Penetración (")	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
CBR (%)	68.898	96.785	89.08	115.32	104.58	132.88
Ds (gr/cm³)	2.132		2.191		2.260	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura n.º 16. Curva CBR – Densidad seca de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 4% de cemento Portland tipo I.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

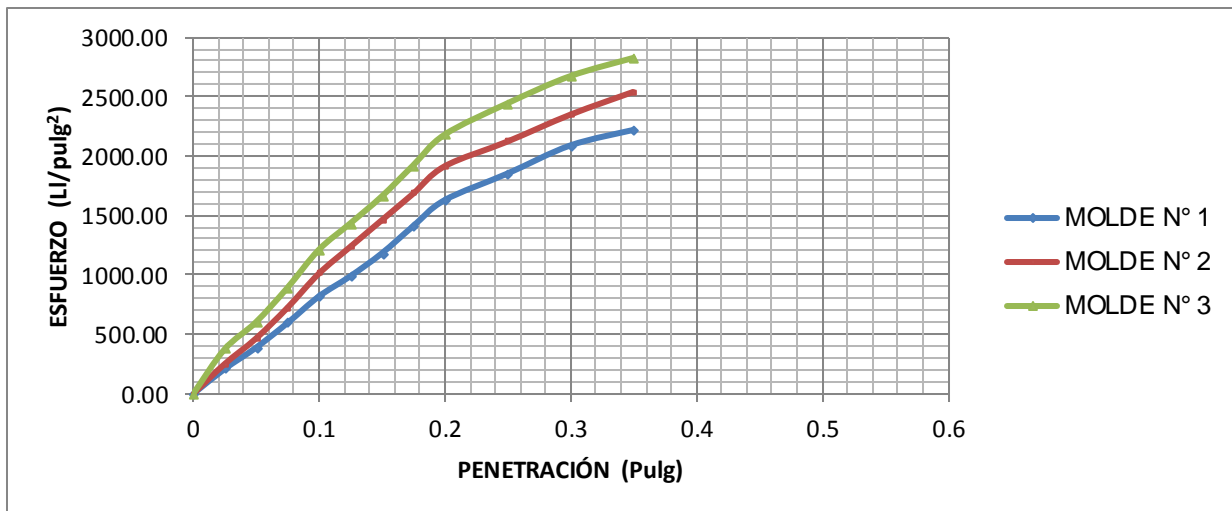
Tabla n.º 31. Resultados del ensayo de carga - penetración de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 6% de cemento Portland tipo I.

LECTURAS DE PENETRACION - 6% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I											
PENETRACION			Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
			N° de Divisio nes	Carga (lb)	Esfuerzo(l b/pulg2)	N° de Divisio nes	Carga (lb)	Esfuerzo(l b/pulg2)	N° de Divisio nes	Carga (lb)	Esfuerzo(l b/pulg2)
Medida	mm	Pulg									
1	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
2	0.64	0.025	85.00	637.50	209.16	102.00	765.00	250.99	152.00	1140.00	374.02
3	1.27	0.050	158.00	1185.00	388.78	190.00	1425.00	467.52	245.00	1837.50	602.86
4	1.91	0.075	242.00	1815.00	595.48	295.00	2212.50	725.89	362.00	2715.00	890.75
5	2.54	0.100	333.00	2497.50	819.40	412.00	3090.00	1013.79	492.00	3690.00	1210.64
6	3.17	0.125	402.00	3015.00	989.18	504.00	3780.00	1240.17	582.00	4365.00	1432.10
7	3.81	0.150	480.00	3600.00	1181.11	595.00	4462.50	1464.09	674.00	5055.00	1658.48
8	4.45	0.175	573.00	4297.50	1409.95	686.00	5145.00	1688.00	780.00	5850.00	1919.31

9	5.08	0.200	662.00	4965.00	1628.95	780.00	5850.00	1919.31	885.00	6637.50	2177.67
10	6.35	0.250	753.00	5647.50	1852.87	865.00	6487.50	2128.46	992.00	7440.00	2440.96
11	7.62	0.300	849.00	6367.50	2089.09	957.00	7177.50	2354.84	1085.00	8137.50	2669.80
12	8.89	0.350	902.00	6765.00	2219.50	1035.0	7762.50	2546.77	1147.00	8602.50	2822.36
13	10.16	0.400									
14	11.43	0.450									
15	12.70	0.500									

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura n.º 17. Curva esfuerzo – deformación de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 6% de cemento Portland tipo I.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla n.º 32. Resultados del ensayo de esfuerzo de 0.1'' y 0.2'' de penetración de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 6% de cemento Portland tipo I.

ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACION - 6% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I						
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDES N°3	
	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Esfuerzo Terreno (lb/plg2)	819.40	1628.95	1013.79	1919.31	1210.64	2177.67
Esfuerzo Patrón (lb/plg2)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	81.94	108.60	101.38	127.95	121.06	145.18

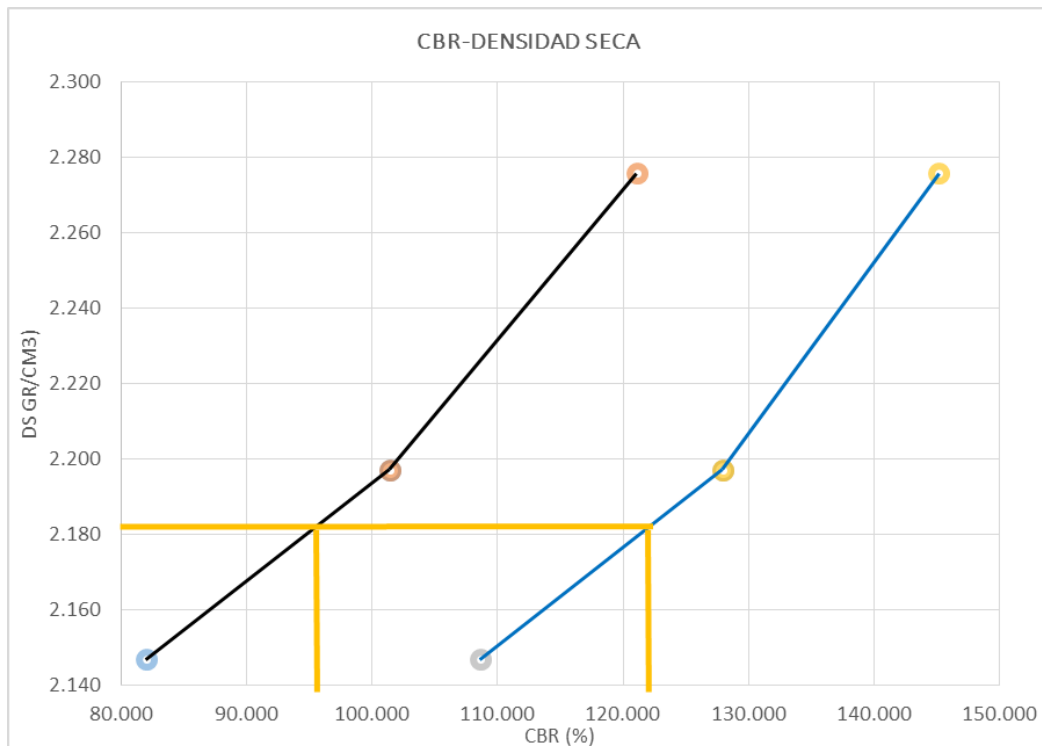
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla n.º 33. Resultados del ensayo CBR – Densidad seca de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 6% de cemento Portland tipo I.

CBR Y DENSIDAD SECA - 6% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I						
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDES N°3	
Penetración (")	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
CBR (%)	81.940	108.597	101.38	127.95	121.06	145.18
Ds (gr/cm ³)	2.147		2.197		2.276	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura n.º 18. Curva CBR – Densidad seca de la muestra patrón (60% río Chonta y 40% El Gavilán) adicionando 6% de cemento Portland tipo I.



Ds. Máx =	2.27 gr/cm ³	CBR (0.1")	95.60%
95% Ds. Máx=	2.18 gr/cm ³	CBR(0.2")	122.10%

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la tabla n.º 34 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de California Bearing Ratio (CBR), tanto para 0.1'' y 0.2''.

Tabla n.º 34. California Bearing Ratio (CBR)

Descripción		Muestra patrón	Muestra + 2% de cemento	Muestra + 4% de cemento	Muestra + 6% de cemento
California Bearing Ratio (CBR)	CBR 0.1" (%)	58.20	72.10	79.30	95.60
	CBR 0.2" (%)	86.30	95.80	106.50	122.10

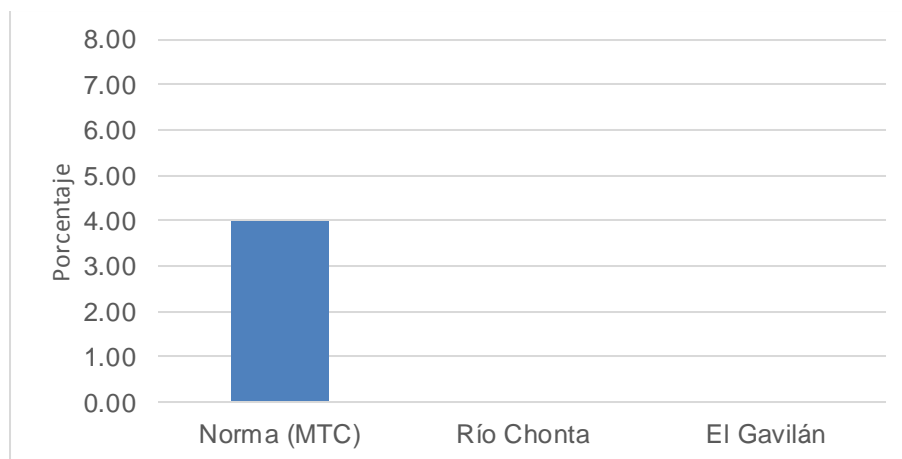
Fuente: Elaboración propia, 2016.

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

5.1. Límites de Atterberg.

Se realizó el ensayo de límites de Atterberg para determinar el índice de plasticidad de los agregados.

Figura n.º 19. Comparación de índices de plasticidad



Fuente: Elaboración propia, 2016.

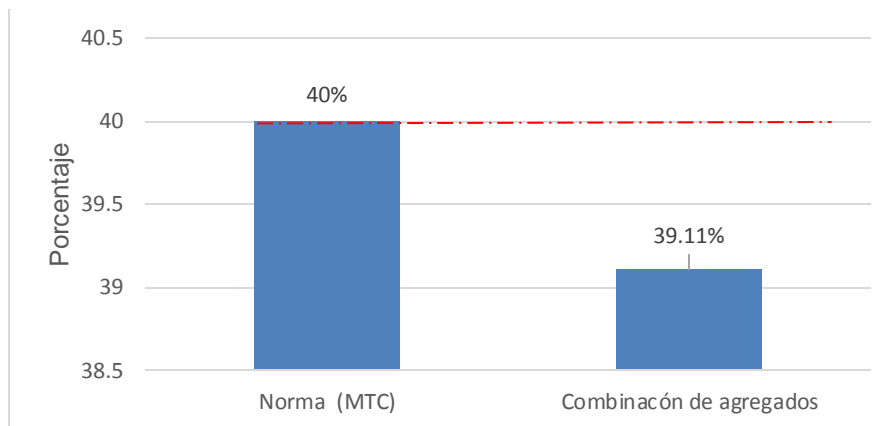
Las muestras de las canteras del Río Chonta y El Gavilán no presentan índice plástico porque el límite plástico no pudo determinarse.

Según el MTC (EG, 2013), menciona que si luego de varias pruebas a contenidos de humedad sucesivamente más altos, la pasta de suelo se sigue deslizando en la copa o si el número de golpes necesarios para cerrar la ranura es siempre menor de 25, se registrará que el límite no pudo determinarse y se reportará al suelo como no plástico sin realizar el ensayo de límite plástico.

5.2. Abrasión de los ángeles.

Se realizó el ensayo de abrasión para determinar el desgaste por graduación de los agregados.

Figura n.º 20. Comparación del desgaste por graduación.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

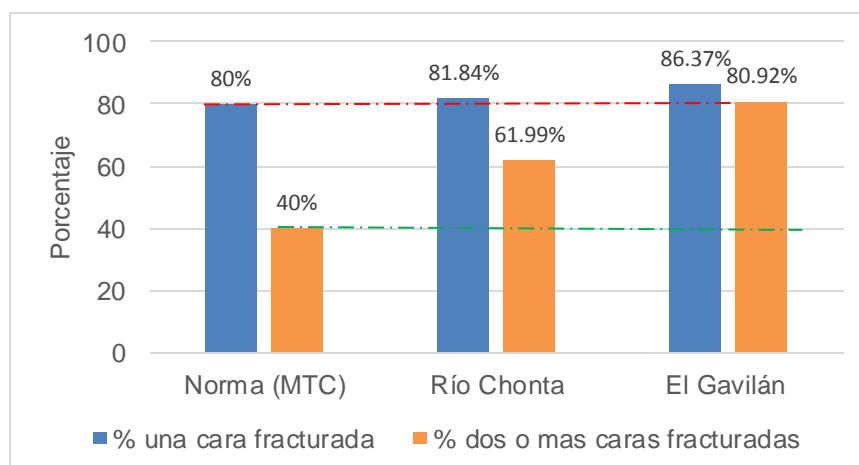
El resultado de realizar el ensayo de desgaste por graduación es 39.11%, dicho valor es menor a 40% que está estipulado en la norma del MTC (EG, 2013).

Por lo tanto este valor está dentro del parámetro estipulado en la tabla n.º 3.

5.3. Porcentaje de partículas fracturadas.

Se realizó el ensayo de partículas de caras fracturadas para determinar el estado de los agregados y el deterioro natural (agentes atmosféricos) o artificial (modificación y extracción).

Figura n.º 21. Comparación de porcentajes de caras fracturadas



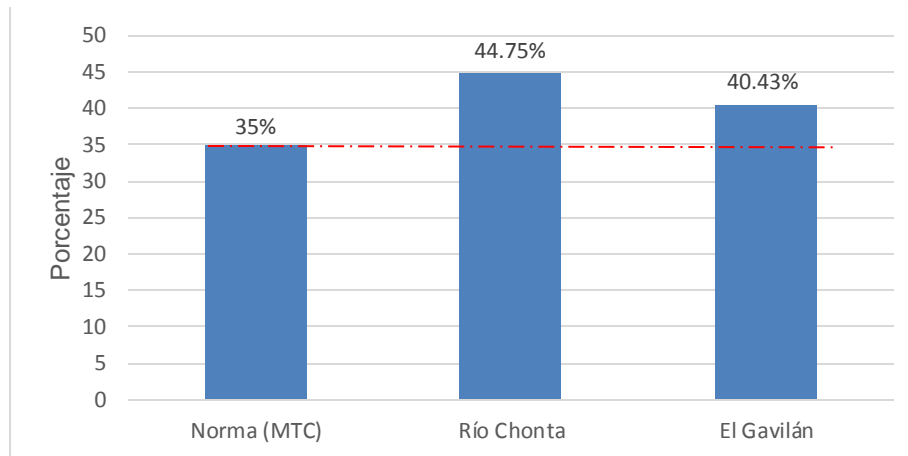
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Los parámetros para porcentajes de caras fracturadas estipulados en la norma están dados en la tabla n.º 3.

De los resultados obtenidos y presentados en la figura n.º 21, se puede observar que las canteras tanto del río Chonta y El Gavilán cumplen con los parámetros de la norma, esto se debe a que en ambas canteras el material es tratado artificialmente para reducir su tamaño.

5.4. Equivalente de arena y agregado fino.

Figura n.º 22. Comparación de equivalente de arena de agregado fino.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Los parámetros para porcentajes de equivalente de arena de agregado fino estipulados en la norma del MTC (EG, 2013), están dados en la tabla n.º 4.

De los resultados obtenidos y presentados en la figura n.º 22, se puede observar que el equivalente de arena para las canteras del río Chonta y El Gavilán están dentro del parámetro mínimo que es 35%; esto quiere decir que la cantidad de finos (limos y arcillas) y arena es apta para la base de un pavimento.

5.5. Proctor modificado.

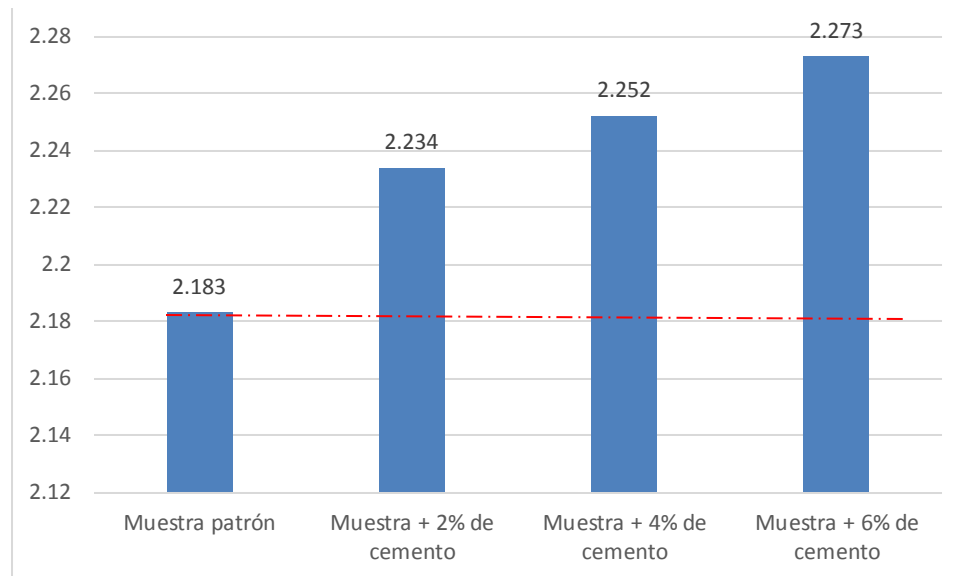
En este ensayo se obtuvieron resultados para densidad seca y óptimo contenido de humedad.

Para la densidad seca presenta un incremento al aumentar la dosificación de cemento en 2%, 4% y 6%. Por otro lado el óptimo contenido de humedad presenta una disminución al aumentar las dosificaciones de cemento.

A continuación se muestran las figuras de los resultados obtenidos.

Densidad seca máxima: De los resultados obtenidos observamos que la densidad seca aumenta conforme se agrega las proporciones de cemento.

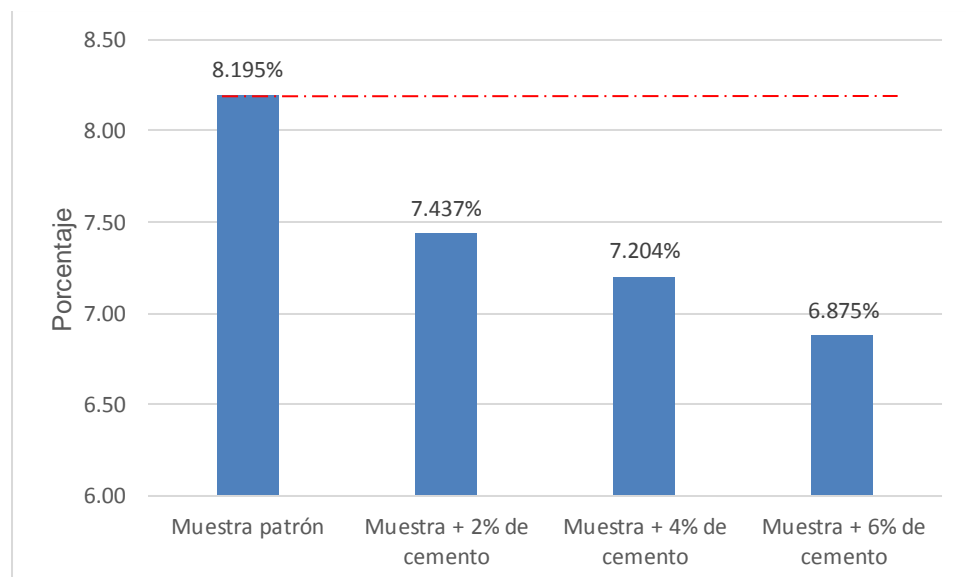
Figura n.º 23. Comparación de la densidad seca máxima de la combinación de agregados (Cantera río Chonta y El Gavilán) con la dosificación de cemento Portland tipo I.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Óptimo contenido de humedad: De los resultados obtenidos al contrario de la densidad seca, el óptimo contenido de humedad disminuye conforme se aumenta la dosificación de cemento.

Figura n.º 24. Comparación del óptimo contenido de humedad de la combinación de agregados (Cantera río Chonta y El Gavilán) con la dosificación de cemento Portland tipo I.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

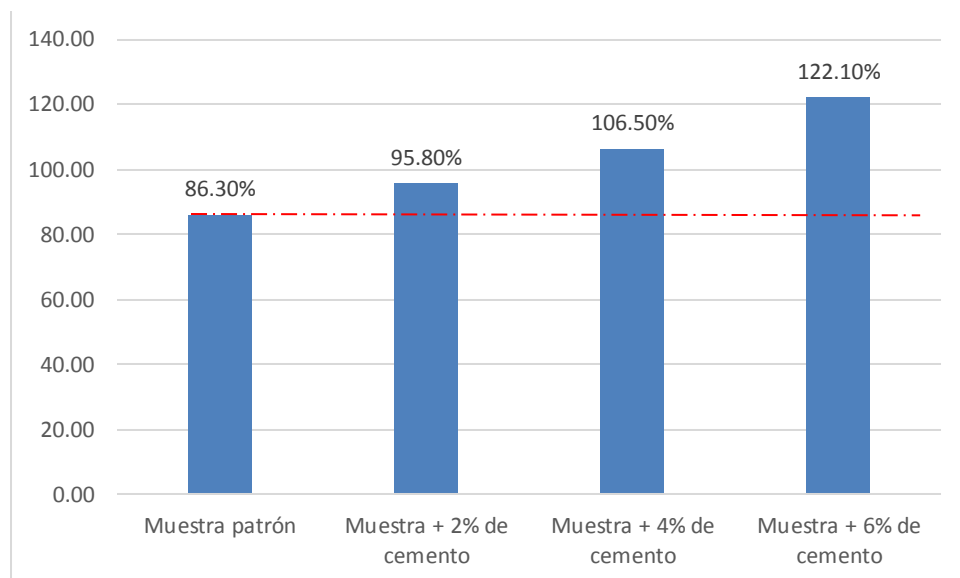
5.6. California Bearing Ratio (CBR)

De acuerdo a los resultados obtenidos del ensayo de CBR, tenemos lo siguiente.

El CBR obtenido de la muestra patrón fue de 86.30%, al adicionar 2% de cemento el CBR obtenido es 95.80%, al adicionar 4% de cemento el CBR obtenido es 106.50% y al adicionar 6% de cemento el CBR obtenido es 122.10%.

A continuación se muestra la figura de los resultados obtenidos.

Figura n.º 25. Comparación del CBR de la combinación de agregados (Cantera río Chonta y El Gavilán) con la dosificación de cemento Portland tipo I.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Como se puede observar en la figura n.º 25, el CBR aumenta, conforme se incrementa la adición de cemento Portland tipo I.

La muestra patrón (combinación de agregados de la cantera río Chonta y El Gavilán) dio un CBR de 86.3%, el cual cumple con las especificaciones para bases granulares (Tabla n.º 2).

Al adicionar 2% de cemento Portland tipo I el CBR aumenta a 95.80%, teniendo un incremento de 9.50%, cumpliendo con las especificaciones para bases granulares (Tabla n.º 2).

Al adicionar 4% de cemento Portland tipo I el CBR aumenta a 106.5%, teniendo un incremento de 20.20%, cumpliendo con las especificaciones para bases granulares (Tabla n.º 2).

Al adicionar 6% de cemento Portland tipo I el CBR aumenta a 122.10%, teniendo un incremento de 35.80%, cumpliendo con las especificaciones para bases granulares (Tabla n.º 2).

CONCLUSIONES

1. Se determinó que la hipótesis planteada se cumple parcialmente, es decir, cumple al adicionar 2% de cemento ya que el CBR aumentó en 9.50%; pero no cumple cuando se adiciona 4% y 6% de cemento ya que el CBR se incrementó en 20.20% y 35.80% respectivamente.
2. Se determinaron las propiedades físico – mecánicas estipuladas en las especificaciones para bases granulares, del ensayo de granulometría se determinó que debe de hacerse una combinación de agregados (60% del río Chonta y 40% de El Gavilán) para cumplir con la gradación C.
3. Se dosificó el material granular adicionando cemento, obteniendo en el ensayo de proctor modificado parámetros de densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad, para la primera, la muestra patrón tiene un valor de 2.183 gr/cm³ incrementando hasta 2.273 gr/cm³ al adicionar 6% de cemento; por otro lado el óptimo contenido de humedad de la muestra patrón es 8.195% disminuyendo hasta 6.875% al adicionar 6% de cemento.
4. Se determinó el CBR para la combinación de agregados, obteniendo para la muestra patrón un CBR de 86.30%, adicionando de 2% de cemento el CBR es 95.80%, adicionando 4% de cemento el CBR es 106.50% y adicionando 6% de cemento el CBR es 122.10%.

RECOMENDACIONES

1. Seguir la investigación para determinar en cuanto puede disminuir el espesor de una base granular adicionando cemento Portland tipo I, al diseñar un pavimento flexible.
2. Realizar una investigación donde se pueda encontrar el óptimo contenido de cemento portland tipo I que debe de tener una base granular, para tener un CBR máximo.
3. Realizar otra investigación tomando otros porcentajes de agregados del río Chonta y el Gavilán, pero que estén dentro de los parámetros del huso granulométrico.

REFERENCIAS

1. Brazzini, G. (2011). *Suelos estabilizados, una buena alternativa para la conservación de caminos no pavimentados*. Lima.
2. Carrión, K. (2016). *Capacidad portante (CBR) de un suelo a ser utilizado como material de base adicionando diatomita, Cajamarca 2016*. (Tesis grado de bachiller). Universidad Privada del Norte, Perú.
3. Céspedes, J. (2002). *Los Pavimentos en las Vías Terrestres*. Lima: Universitaria de la UNC.
4. Garzón, E., Sánchez P. & Raigón M. (2006). *Efectos de la compactación y estabilización con cemento y cal en los suelos de filitas*. Universidad de Almería – Universidad de Sevilla, España.
5. Gutiérrez, D. (1994). *Técnicas de reparación, conservación y rehabilitación de pavimentos asfálticos*. (Tesis grado de bachiller). Universidad de Piura, Perú.
6. Instituto de construcción y gerencia – ICG (2012). *Pavimentos*. Tercera edición. Guía técnica. Lima
7. Instituto del Asfalto (2010). *Manual del Asfalto*. Urmo ediciones. España.
8. Instituto español del cemento y sus aplicaciones (2013). *Estabilización de suelos con cemento*. Guía técnica. España.
9. León, D. & Peña, E. (2013). *Estabilización de la sub rasante mediante el uso de escoria de hornos eléctricos en la pavimentación del Jr. Bolognesi del PP. JJ Dos de Mayo – Chimbote*. (Tesis grado de bachiller). Perú.
10. Minaya, S. & Ordoñez, A. (2001). *Manual de Laboratorio – Ensayos para Pavimento*. Volumen I. Lima.
11. Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Segunda edición. Bogotá: Ágora.
12. Morales P., Chávez O. & López L. (2009). *Efectos de la alta compactación de la capa base en pavimentos flexibles*. Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua.
13. MTC. (2013). *Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*. Perú. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
14. MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Perú. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
15. Reyes O., Camacho J. & Troncoso J. (2006). *Uso de cloruro de sodio en bases granulares*. Universidad Militar de Nueva Granada, Colombia.
16. Rico, A. & Del Castillo, H. (1977). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*. Volumen II. México.
17. Rodríguez, V (2004). *Diagnóstico y Recuperación Vial*. Perú.
18. Ruano, D. (2012). *Estabilización de los suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva*. (Tesis maestría). Guatemala.

ANEXOS

Fotografías de los Ensayos

Fotografía n.º 1. Se observa al tesista extrayendo material por cuarteo, de la cantera el Gavilán.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 2. Se observa al tesista extrayendo material por cuarteo, de la cantera río Chonta.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 3. Se muestra la colocación del material al horno para obtener su contenido de humedad.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 3. Secado del material para posteriormente realizar los ensayos en el laboratorio.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 5. Cuarteo para el ensayo granulométrico del agregado de la cantera río Chonta.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 6. Cuarteo para el ensayo granulométrico del agregado de la cantera el Gavilán.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 7. Lavado del agregado fino en la malla N° 200.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 8. Secado en el horno del agregado fino retenido en la malla N° 200.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 9. Se observa el tamizado del agregado fino.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 10. Tamizado en la malla N° 40 para realizar el ensayo de límite líquido, para la cantera río Chonta.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 11. Ensayo de límite líquido para el agregado de la cantera río Chonta, en la copa de Casagrande.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 12. Tamizado en la malla N° 40 para realizar el ensayo de límite líquido, para la cantera el Gavilán.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 13. Ensayo de límite líquido para el agregado de la cantera el Gavilán, en la copa de Casagrande.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 14. Colocación al horno de las muestras del ensayo de límite líquido, para determinar su humedad.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 15. Cuarteo del material para realizar el ensayo de Partículas fracturadas.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 16. Se observa que se están escogiendo las partículas fracturadas.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 17. Se observa que se está pesando el agregado grueso para realizar el ensayo de partículas chatas y alargadas.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 18. Se observa que se está clasificando a las partículas chatas y a las alargadas.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 19. Se observa que está preparando el material para el ensayo de proctor modificado.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 20. Se vierte agua en diferentes porcentajes para determinar el contenido de humedad óptimo y la máxima densidad seca



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 21. Se observa al asesor de tesis, verificando el ensayo de proctor modificado.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 22. Se observa al asesor de tesis y al tesista.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 23. Ensayo de proctor modificado de la muestra patrón.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 24. Se muestra que se va a adicionar 2% de cemento.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 25. Ensayo de proctor modificado con adición del 2% de cemento.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 26. Se muestra que se va a adicionar 4% de cemento.



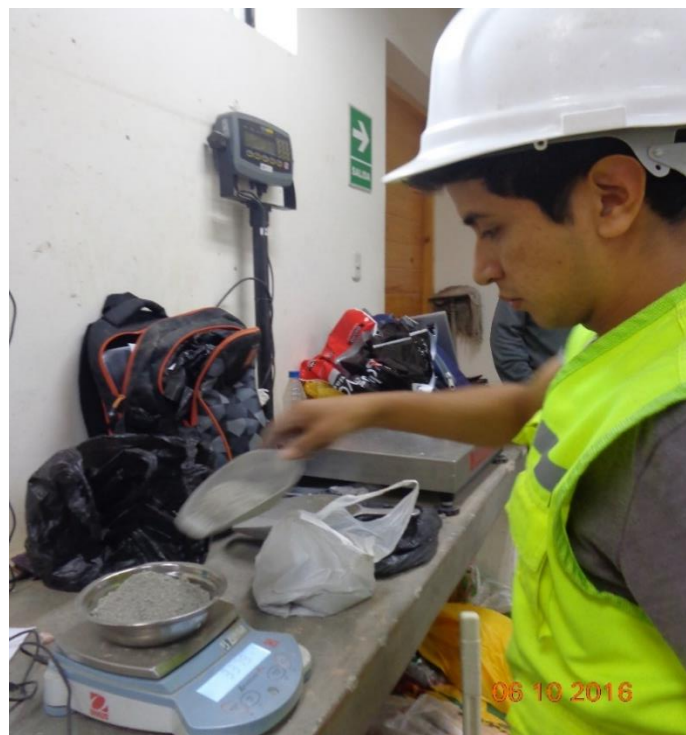
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 27. Ensayo de proctor modificado con adición de 4% de cemento.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 28. Se muestra que se va a adicionar 6% de cemento.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 29. Mezcla del material más el 6% de cemento.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 30. Ensayo de equivalente de arena para el agregado de la cantera río Chonta.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 31. Ensayo de equivalente de arena para el agregado de la cantera el Gavilán.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 32. Se muestran los moldes para el ensayo de CBR, antes de ser sumergidos.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 33. Se muestran los moldes para el ensayo de CBR sumergidos.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fotografía n.º 34. Toma de datos del ensayo de penetración.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Protocolos de los Ensayos de laboratorio



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
NORMA:	MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127	CH-LS-UPNC: 1
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	
CANTERA:	El Chonta	UBICACIÓN: Baños del Inca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL: Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	21-09-2016	RESPONSABLE: Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	21-09-2016	REVISADO POR: Alejandro Cubas Becerra

Temperatura de Secado

60 °C / 110 °C / Ambiente

Método

Horno 110 ± 5 °C

CONTENIDO DE HUMEDAD

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara		T-1	T-2	T-3
B	Peso del Recipiente	gr	51.30	26.80	51.90
C	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	146.50	118.40	149.20
D	Recipiente + Suelo Seco	gr	140.60	113.00	143.40
E	Peso del agua (Ww) C - D	gr	5.90	5.40	5.80
F	Peso Suelo Seco (Ws) D - B	gr	89.30	86.20	91.50
W%	Porcentaje de humedad (E / F) * 100	%	6.61	6.26	6.34
G	Promedio Porcentaje Humedad	%	6.40		

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

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CH-LS-UPNC: 2
NORMA:	MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	
CANTERA:	El Gavilán	UBICACIÓN: Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL: Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	21-09-2016	RESPONSABLE: Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	21-09-2016	REVISADO POR: Alejandro Cubas Becerra

Temperatura de Secado

60 °C / 110 °C / Ambiente

Método

Horno 110 ± 5 °C

CONTENIDO DE HUMEDAD

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara		T-4	T-5	T-6
B	Peso del Recipiente	gr	82.70	50.90	43.90
C	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	361.50	147.00	141.10
D	Recipiente + Suelo Seco	gr	357.00	145.70	139.80
E	Peso del agua (Ww) C - D	gr	3.60	1.30	1.30
F	Peso Suelo Seco (Ws) D - B	gr	275.20	94.80	96.00
W%	Porcentaje de humedad (E / F) * 100	%	1.31	1.37	1.35
G	Promedio Porcentaje Humedad	%	1.34		

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

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA



PROTOCOLO

ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESOS Y FINOS	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: AGTS-LS-UPNC: 3
NORMA:	MTC E 204 / ASTM C136	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	

CANTERA:	Río Chonta	UBICACIÓN:	Boños del Inca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	22-09-2016	RESPONSABLE:	Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	22-09-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

Peso muestra seca total 10000 gr

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN GRUESA					
mallá	Abert. (mm)	P.R.P.	% RP	% RA	% que pasa
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	776.52	7.77	7.77	92.23
1/2"	12.50	1907.17	19.07	26.84	73.16
3/8"	9.50	1112.00	11.12	37.96	62.04
Nº4	4.76	1510.50	15.11	53.06	46.94
Total				W% =	46.94
ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN FINA					
Corrección de la muestra (W%/Ws)					0.09
Peso de la porción seca (Ws)					500.00
Tamiz	Abert. (mm)	P. Retenido	% RP	%RA	% que pasa
Nº 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº10	2.00	166.80	33.36	68.72	31.28
Nº20	0.84	78.50	15.70	76.09	23.91
Nº30	0.59	32.50	6.50	79.14	20.86
Nº40	0.42	32.10	6.42	82.15	17.85
Nº60	0.25	60.30	12.06	87.81	12.19
Nº100	0.15	46.70	9.34	92.20	7.80
Nº200	0.074	32.10	6.42	95.21	4.79
Cazoleta		51.00	10.20	100.00	

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESOS Y FINOS	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: AGTS-LS-UPNC:
NORMA:	MTC E 204 / ASTM C136	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	
CANTERA:	El Gavilán	UBICACIÓN: Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL: Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	23-09-2016	RESPONSABLE: Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	23-09-2016	REVISADO POR: Alejandro Cubas Becerra

Peso muestra seca total 10000 gr

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN GRUESA					
mallá	Abert. (mm)	P.R.P.	% RP	% RA	% que pasa
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	652.30	6.52	6.52	93.48
1/2"	12.50	1010.32	10.10	16.63	83.37
3/8"	9.50	782.38	7.82	24.45	75.55
Nº4	4.76	2079.00	20.79	45.24	54.76
Total				W ₁ =	54.76
ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN FINA					
Corrección de la muestra (W%/Ws)					
Peso de la porción seca (Ws)					
Tamiz	Abert. (mm)	P. Retenido	% RP	%RA	% que pasa
Nº 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº10	2.00	78.00	15.60	53.78	46.22
Nº20	0.84	62.30	12.46	60.61	39.39
Nº30	0.59	29.60	5.92	63.85	36.15
Nº40	0.42	37.50	7.50	67.95	32.05
Nº60	0.25	68.40	13.68	75.45	24.55
Nº100	0.15	60.90	12.18	82.12	17.88
Nº200	0.074	45.80	9.16	87.13	12.87
Cazoleta		117.50	23.50	100.00	

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Victor Guzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:

**LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA****PROTOCOLO**

ENSAYO:	LÍMITES DE PLASTICIDAD	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: LP-LS-UPNC: 5
NORMA:	ASTM D4318 / NTP E339.130 – NTP E111	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	

CANTERA:	Río Chonta	UBICACIÓN:	Beños del Inca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	26-09-2016	RESPONSABLE:	Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	26-09-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5
A	Identificación de Recipiente	N°	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	69.30	43.80	69.30	69.10	72.20
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	66.30	41.90	66.50	66.40	69.40
D	Peso de Recipiente	gr	51.40	26.90	50.90	51.50	53.70
E	Peso del Agua	gr	3.00	2.70	2.80	2.70	2.80
F	Peso Suelo Seco	gr	14.90	14.20	15.60	14.90	15.70
G	Número de Golpes	N	13.00	13.00	16.00	18.00	17.00
H	Contenido de Humedad	%	20.13	19.01	17.95	18.12	17.83

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5
A	Identificación de Recipiente	N°	-	-	-	-	-
B	Suelo Húmedo + Tara	gr	-	-	-	-	-
C	Suelo Seco + Tara	gr	-	-	-	-	-
D	Peso de Tara	gr	-	-	-	-	-
E	Peso del Agua	gr	-	-	-	-	-
F	Peso Suelo Seco	gr	-	-	-	-	-
G	Contenido de Humedad	%	NP	NP	NP	NP	NP
H	Promedio Límite Plástico		NP	NP	NP	NP	NP

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO



ENSAYO:	LÍMITES DE PLASTICIDAD	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: LP-LS-UPNC: 6
NORMA:	ASTM D4318 / NTP E339.130 – NTP E111	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	

CANTERA:	El Gavilán	UBICACIÓN:	Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregados
FECHA DE MUESTREO-LAB:	26-09-2016	RESPONSABLE:	Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	26-09-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5
A	Identificación de Recipiente	Nº	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	103.20	46.60	46.20	59.60	57.80
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	100.30	43.70	43.30	56.30	54.70
D	Peso de Recipiente	gr	82.70	26.70	25.80	36.30	36.20
E	Peso del Agua	gr	2.90	2.90	2.90	3.30	3.10
F	Peso Suelo Seco	gr	17.60	17.00	17.50	20.00	18.50
G	Número de Golpes	N	17	13	15	15	14
H	Contenido de Humedad	%	16.48	17.06	16.57	16.50	16.76

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5
A	Identificación de Recipiente	Nº	-	-	-	-	-
B	Suelo Húmedo + Tara	gr	-	-	-	-	-
C	Suelo Seco + Tara	gr	-	-	-	-	-
D	Peso de Tara	gr	-	-	-	-	-
E	Peso del Agua	gr	-	-	-	-	-
F	Peso Suelo Seco	gr	-	-	-	-	-
G	Contenido de Humedad	%	NP	NP	NP	NP	NP
H	Promedio Límite Plástico		NP	NP	NP	NP	NP

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:

LABORATORIO DE CONCRETO – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA



PROTOCOLO

ENSAYO	ABRASIÓN LOS ANGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 ½")	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: ALA-LC-UPNC:
NORMA	MTC E207 – ASTM C 131 – NTP 400.019	
PROYECTO	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	

CANTERA:	Chonta-Gavilán	UBICACIÓN:	Baños del Inca – Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	15-10-2016	RESPONSABLE:	Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	16-10-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

GRANULOMETRÍA DE ENSAYO

GRADACIÓN	"A"	"B"	"C"	"D"
CARGA ABRASIVA (N° de esferas de acero)	12	11	8	6

GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PARA ENSAYO

Tamiz (pasa)	Tamiz (retiene)	"A" (gr)	"B" (gr)	"C" (gr)	"D" (gr)
1 ½"	1"	1250 ± 25			
1"	¾"	1250 ± 25			
¾"	½"	1250 ± 10	2500 ± 10		
½"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	¼"			2500 ± 10	
¼"	N° 4			2500 ± 10	
N° 4	N° 8				5000 ± 10
TOTALES		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

DESGASTE A LA ABRASIÓN – GRADACIÓN B

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	P R O M E D I O
A	Peso muestra total	gr	5008.00	5002.00	5000.50	
B	Peso retenido en tamiz N° 12	gr	3022.70	3087.50	3032.40	
D	Desgaste a la abrasión Los Ángeles $D = (A - B) * 100 / A$	%	39.64	38.27	39.41	

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	PARTÍCULAS FRACTURADAS DEL AGREGADO GRUESO	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: LP-LS-UPNC: 8
NORMA:	MTC E 210 / ASTM D 4318	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	

CANTERA:	Río Chonta	UBICACIÓN:	Baños del Inca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	27-09-2016	RESPONSABLE:	Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	27-09-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

TAMAÑO DEL AGREGADO		A (gr)	B (gr)	C (B/A)*100	D (%)	E (C*D)
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ					
1"	3/4"	1500	1217.60	81.17	67.64	5490.93
3/4"	1/2"	500	411.50	82.30	22.86	1881.47
1/2"	3/8"	200	170.90	85.45	9.49	811.30
TOTAL		2200	1800.00		100.00	8183.69
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA (%)					81.84	

TAMAÑO DEL AGREGADO		A (gr)	B (gr)	C (B/A)*100	D (%)	E (C*D)
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ					
1"	3/4"	1500	958.60	63.91	70.46	4503.16
3/4"	1/2"	500	289.50	57.90	21.28	1232.14
1/2"	3/8"	200	112.30	56.15	8.25	463.51
TOTAL		2200	1360.40		100.00	6198.81
PORCENTAJE CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS (%)					61.99	

$$\% \text{ de caras fracturadas} = \frac{\sum E}{\sum D}$$

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	PARTÍCULAS FRACTURADAS DEL AGREGADO GRUESO	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: LP-LS-UPNC:
NORMA:	MTC E 210 / ASTM D 4318	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	

CANTERA:	El Gavilán	UBICACIÓN:	Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	27-09-2016	RESPONSABLE:	Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	27-09-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

TAMAÑO DEL AGREGADO		A (gr)	B (gr)	C (B/A)*100	D (%)	E (C*D)
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ					
1"	3/4"	1500	1342.10	89.47	74.56	6671.23
3/4"	1/2"	500	395.23	79.05	21.96	1735.63
1/2"	3/8"	200	156.50	78.25	8.69	680.34
TOTAL		2200	1893.83		105.21	9087.20
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA (%)					86.37	

TAMAÑO DEL AGREGADO		A (gr)	B (gr)	C (B/A)*100	D (%)	E (C*D)
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ					
1"	3/4"	1500	1268.70	84.58	93.26	7887.87
3/4"	1/2"	500	342.50	68.50	25.18	1724.58
1/2"	3/8"	200	156.90	78.45	11.53	904.79
TOTAL		2200	1768.10		129.97	10517.25
PORCENTAJE CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS (%)					80.92	

$$\% \text{ de caras fracturadas} = \frac{\sum E}{\sum D}$$

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzeo Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA



PROTOCOLO

ENSAYO:	EQUIVALENTE DE ARENA	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CH-LS-UPNC:	
NORMA:	MTC E 114 / ASTM D 2419		
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.		
CANTERA:	Río Chonta	UBICACIÓN:	Baños del Inca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	12-10-2016	RESPONSABLE:	Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	12-10-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

Descripción	Muestra 1 (tiempo)	Muestra 2 (tiempo)	Muestra 3 (tiempo)
H. entrada	18:09	18:10	18:11
H. entrada de saturación	18:10	18:11	18:12
H. salida de saturación	18:20	18:21	18:22
H. entrada de cantación	18:21	18:23	18:25
H. salida de cantación	18:41	18:43	18:45
Altura de material fino	7.00	7.10	7.02
Altura de arena	3.20	3.10	3.15
Equivalente de arena	45.71	43.66	44.87
Prom. equivalente de arena	44.75		

$$(Eq. Arena) = \frac{Altura arena}{Altura de finos} * 100$$

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO



ENSAYO:	EQUIVALENTE DE ARENA	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CH-LS-UPNC:
NORMA:	MTC E 114 / ASTM D 2419	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	

CANTERA:	El Gavilán	UBICACIÓN:	Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	12-10-2016	RESPONSABLE:	Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	13-10-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

Descripción	Muestra 1 (tiempo)	Muestra 2 (tiempo)	Muestra 3 (tiempo)
H. entrada	12:25	12:26	12:27
H. entrada de saturación	12:26	12:27	12:28
H. salida de saturación	12:36	12:37	12:38
H. entrada de cantación	12:37	12:39	12:41
H. salida de cantación	12:57	12:59	13:01
Altura de material fino	8.10	8.30	7.50
Altura de arena	3.10	3.35	3.20
Equivalente de arena	38.27	40.36	42.67
Prom. equivalente de arena	40.43		

$$(Eq. Arena) = \frac{Altura arena}{Altura de finos} * 100$$

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA



PROTOCOLO

ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CPM-LS-UPNC:
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	

CANTERA:	Chonta-Gavilán	UBICACIÓN:	Baños del Inca - Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	03-10-2016	RESPONSABLE:	Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	03-10-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO - MUESTRA PATRÓN

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
			a	b	a	b	a	b	a	b
A	Peso Molde	gr	4162.00		4162.00		4162.00		4162.00	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6120.00		6195.00		6328.00		6305.00	
C	Peso Muestra Húmeda	gr	1958.00		2033.00		2166.00		2143.00	
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	937.38		937.38		937.38		937.38	
F	Densidad húmeda; Dh	gr/cm ³	2.09		2.17		2.31		2.29	
G	Recipiente	N°								
H	Peso Recipiente	gr	51.30	51.50	50.90	82.70	72.10	73.90	51.50	27.70
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	318.40	346.10	340.80	516.1	355.1	379.6	353.5	287.6
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	309.8	334.8	326.8	496.2	333.8	362.9	333.1	257.0
K	Peso del Agua	gr	8.6	11.3	14.0	19.9	21.3	16.7	20.4	30.8
L	Peso Muestra seca	gr	258.5	283.3	275.9	413.5	261.7	289.0	281.6	229.3
M	Contenido de Humedad W%	%	3.3	4.0	5.1	4.8	8.1	5.8	7.2	13.4
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	3.66		4.94		6.96		10.34	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	2.02		2.07		2.16		2.07	

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Victor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141	CPM-LS-UPNC:
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	
CANTERA:	Chonta - Gavián	UBICACIÓN: Baños del Inca - Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL: Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	04-10-2016	RESPONSABLE: Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	04-10-2016	REVISADO POR: Alejandro Cubas Becerra

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO - 2% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
			a	b	a	b	a	b	a	b
A	Peso Molde	gr	4162.00		4162.00		4162.00		4162.00	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6140.00		6302.00		6410.00		6320.00	
C	Peso Muestra Húmeda	gr	1978.00		2140.00		2248.00		2158.00	
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	937.38		937.38		937.38		937.38	
F	Densidad húmeda; Dh	gr/cm ³	2.11		2.28		2.40		2.30	
G	Recipiente	Nº								
H	Peso Recipiente	gr	50.9	51.3	51.5	50.9	51.3	27.7	72.3	73.9
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	273.9	313.7	294.7	332.5	278.3	210.1	381.5	328.4
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	266.3	305.2	281.5	318.0	262.3	197.7	353.5	307.0
K	Peso del Agua	gr	7.6	8.5	13.2	14.5	16.0	12.4	28.0	21.4
L	Peso Muestra seca	gr	215.4	253.9	230.0	267.1	211.0	170.0	281.2	233.1
M	Contenido de Humedad W%	%	3.5	3.3	5.7	5.4	7.6	7.3	10.0	9.2
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	3.44		5.59		7.44		9.57	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	2.04		2.16		2.23		2.10	

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA



PROTOCOLO

ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CPM-LS-UPNC:
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	

CANTERA:	Chonta-Gavilán	UBICACIÓN:	Baños del Inca - Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	05-10-2016	RESPONSABLE:	Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	05-10-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO – 4% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4162.00	4162.00	4162.00	4162.00	4162.00	4162.00	4162.00	4162.00
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6200.00	6340.00	6425.00	6425.00	6425.00	6425.00	6365.00	6365.00
C	Peso Muestra Húmeda	gr	2038.00	2178.00	2263.00	2263.00	2263.00	2263.00	2203.00	2203.00
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	937.38	937.38	937.38	937.38	937.38	937.38	937.38	937.38
F	Densidad húmeda; Dh	gr/cm ³	2.17	2.32	2.41	2.41	2.41	2.41	2.35	2.35
G	Recipiente	Nº	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	82.8	41.1	51.3	27.7	27.0	27.7	50.9	26.8
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	377.9	256.4	264.4	182.5	214.9	191.0	249.8	161.7
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	369.4	249.2	254.5	173.4	201.0	179.0	234.8	149.8
K	Peso del Agua	gr	8.5	7.2	9.9	9.1	13.9	12.0	15.0	11.9
L	Peso Muestra seca	gr	286.6	208.1	203.2	145.7	174.0	151.3	183.9	123.0
M	Contenido de Humedad W%	%	3.0	3.5	4.9	6.2	8.0	7.9	8.2	9.7
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	3.22		5.56		7.96		8.92	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	2.11		2.20		2.24		2.16	

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:	CPM-LS-UPNC:
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.		
CANTERA:	Chonta - Gavilón	UBICACIÓN:	Baños del Inca - Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	06-10-2016	RESPONSABLE:	Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	06-10-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO – 6% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
			a	b	a	b	a	b	a	b
A	Peso Molde	gr	4162.00		4162.00		4162.00		4162.00	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6238.00		6345.00		6429.00		6393.00	
C	Peso Muestra Húmeda	gr	2076.00		2183.00		2267.00		2231.00	
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	937.38		937.38		937.38		937.38	
F	Densidad húmeda; Dh	gr/cm ³	2.22		2.33		2.42		2.38	
G	Recipiente	Nº								
H	Peso Recipiente	gr	26.6	73.9	82.7	41.1	51.5	27.1	26.6	73.9
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	182.3	368.2	333.4	257.1	252.3	227.4	179.8	371.5
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	176.6	361.5	320.9	247.2	239.4	215.4	166.1	351.6
K	Peso del Agua	gr	5.7	6.7	12.5	9.9	12.9	12.0	13.7	19.9
L	Peso Muestra seca	gr	150.0	287.6	238.2	206.1	187.9	188.3	139.5	277.7
M	Contenido de Humedad W%	%	3.8	2.3	5.2	4.8	6.9	6.4	9.8	7.2
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	3.07		5.03		6.62		8.50	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	2.15		2.22		2.27		2.19	

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CBR-LS-UPNC:
NORMA:	MTC E132 / ASTM D188	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	

CANTERA:	Chonta-Govilañ	UBICACIÓN:	Baños del Inca - Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	11-10-2016	RESPONSABLE:	Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	11-10-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

CALIFORNIA BEARING RATIO – CBR PARA MUESTRA PATRÓN

DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3	
		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.
Nº Golpes		5		5		5	
Nº Golpes por Capa		13		27		55	
Condición de Muestra		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.
Peso Molde	gr	7212.00	7212.00	8029.00	8029.00	7956.00	7956.00
Peso Muestra húmeda + Molde	gr	12052.00	12075.00	13285.00	13312.00	13402.00	13433.00
Peso Muestra húmeda	gr	4840.00	4863.00	5256.00	5283.00	5446.00	5477.00
Volumen Muestra húmeda	cm ³	2296.81	2296.81	2296.81	2296.81	2296.81	2296.81
Densidad húmeda ; Dh	gr/cm ³	2.11	2.12	2.29	2.30	2.37	2.42

CONTENIDO DE HUMEDAD

Ensayo	Nº	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Peso Recipiente	gr	51.3	51.5	27.7	50.9	26.9	26.9	27.7	27.7	27.7
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	237.0	273.0	198.5	279.1	204.9	164.3	203.2	182.8	151.6
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	221.9	256.4	184.2	261.3	190.6	154.1	190.5	171.3	142.6
Peso del Agua	gr	15.1	16.6	14.3	17.8	14.3	10.2	12.7	11.5	9.0
Peso Muestra Seca	gr	170.6	204.9	156.5	210.4	163.7	127.2	162.8	143.6	114.9
Contenido de Humedad ; W%	%	8.85	8.10	9.14	8.46	8.74	8.02	7.80	8.01	7.83
Promedio Contenido de Humedad	%	8.48			8.60			7.90		
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm ³	1.94		1.94	2.11		2.13	2.20		2.24

Dimensiones MOLDE (cm)	
Altura	17.80
Diámetro	15.08
Disco espaciador (cm)	
Altura	5.00
Diámetro	14.93
Peso de la muestra (gr)	
	6000.00

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CBR-LS-UPNC:
NORMA:	MTC E132 / ASTM D188	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	

CANTERA:	Chonta-Gavilán	UBICACIÓN:	Baños del Inca - Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	11-10-2016	RESPONSABLE:	Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	11-10-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

LECTURAS DE PENETRACION - MUESTRA PATRÓN

PENETRACION			Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
			N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)
M	edi	da									
	mm	Pulg									
1	0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
2	0.64	0.025	15	112.50	36.91	32	240.00	7674	68	510.00	167.32
3	1.27	0.050	62	465.00	152.56	85	637.50	209.16	145	1087.50	356.79
4	1.91	0.075	118	885.00	290.36	158	1185.00	386.78	226	1695.00	556.11
5	2.54	0.100	184	1380.00	452.76	245	1837.50	602.86	318	2385.00	782.49
6	3.17	0.125	245	1837.50	602.86	312	2340.00	767.72	402	3015.00	989.18
7	3.81	0.150	307	2302.50	755.42	378	2835.00	930.13	494	3705.00	1215.56
8	4.45	0.175	362	2715.00	890.75	460	3450.00	1131.90	569	4267.50	1400.11
9	5.08	0.200	420	3150.00	1033.47	547	4102.50	1345.97	682	5115.00	1678.16
10	6.35	0.250	472	3540.00	1161.43	592	4440.00	1456.70	737	5527.50	1813.50
11	7.62	0.300	527	3952.50	1296.76	645	4837.50	1587.12	786	5895.00	1934.07
12	8.89	0.350	584	4380.00	1437.02	689	5167.50	1695.39	831	6232.50	2044.80
13	10.16	0.400	641	4807.50	1577.28	722	5415.00	1776.59	889	6667.50	2187.52
14	11.43	0.450	692	5190.00	1702.77						
15	12.70	0.500									

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CBR-LS-UPNC:
NORMA:	MTC E132 / ASTM D188	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	

CANTERA:	Chonta-Gavilán	UBICACIÓN:	Baños del Inca - Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	12-10-2016	RESPONSABLE:	Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	12-10-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

CALIFORNIA BEARING RATIO – CBR PARA 2% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3	
N° Golpes		5		5		5	
N° Golpes por Capa		13		27		55	
Condición de Muestra		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.
Peso Molde	gr	7212.00	7212.00	8029.00	8029.00	7956.00	7956.00
Peso Muestra húmeda + Molde	gr	12312.00	12340.00	13441.00	13360.00	13489.00	13510.00
Peso Muestra húmeda	gr	5100.00	5128.00	5312.00	5331.00	5533.00	5555.00
Volumen Muestra húmeda	cm ³	2296.81	2296.81	2296.81	2296.81	2296.81	2296.81
Densidad húmeda ; Dh	gr/cm ³	2.22	2.23	2.31	2.32	2.41	2.42

CONTENIDO DE HUMEDAD

Ensayo	N°	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Peso Recipiente	gr	51.40	51.60	27.7	26.9	27.7	27.7	27.7	26.6	26.90
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	248.2	281.5	131.6	184.7	200.5	141.2	151.4	179.4	140.3
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	235.0	266.0	124.5	173.0	188.8	133.1	142.0	169.0	132.3
Peso del Agua	gr	13.20	15.50	7.10	11.70	11.70	8.10	9.40	10.40	8.00
Peso Muestra Seca	gr	183.6	214.4	96.8	146.1	161.1	105.4	114.3	142.4	105.4
Contenido de Humedad ; W%	%	7.19	7.23	7.33	8.06	7.26	7.69	8.22	7.30	7.59
Promedio Contenido de Humedad	%	7.21			7.64			7.76		
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm ³	2.071		2.080	2.149		2.155	2.235		2.248

Dimensiones MOLDE (cm)	
Altura	17.80
Diámetro	15.08
Disco espaciador (cm)	
Altura	5.00
Diámetro	14.93
Peso de la muestra (gr)	
	6000.00

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO



ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CBR-LS-UPNC:
NORMA:	MTC E132 / ASTM D188	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	

CANTERA:	Chonta-Gavilán	UBICACIÓN:	Baños del Inca - Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	12-10-2016	RESPONSABLE:	Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	12-10-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

LECTURAS DE PENETRACION - 2% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

PENETRACION			Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
			N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)
M	edi	da									
	mm	Pulg									
1	0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
2	0.64	0.025	38	285.00	93.50	62	465.00	152.56	85	637.50	209.16
3	1.27	0.050	87	652.50	214.08	112	840.00	275.59	162	1215.00	398.63
4	1.91	0.075	154	1155.00	378.94	204	1530.00	501.97	260	1950.00	639.77
5	2.54	0.100	240	1800.00	590.56	298	2235.00	733.27	385	2887.50	947.35
6	3.17	0.125	308	2310.00	757.88	366	2745.00	900.60	471	3532.50	1158.97
7	3.81	0.150	372	2790.00	915.36	437	3277.50	1075.30	560	4200.00	1377.96
8	4.45	0.175	419	3142.50	1031.01	502	3765.00	1235.25	648	4860.00	1594.50
9	5.08	0.200	486	3645.00	1195.88	593	4447.50	1459.16	732	5490.00	1801.19
10	6.35	0.250	558	4185.00	1373.04	665	4987.50	1636.33	806	6045.00	1983.28
11	7.62	0.300	635	4762.50	1562.51	728	5460.00	1791.35	875	6562.50	2153.07
12	8.89	0.350	692	5190.00	1702.77	806	6045.00	1983.28	940	7050.00	2313.01
13	10.16	0.400	744	5580.00	1830.72	850	6375.00	2091.55	987	7402.50	2428.66
14	11.43	0.450									
15	12.70	0.500									

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CBR-LS-UPNC:
NORMA:	MTC E132 / ASTM D188	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	

CANTERA:	Chonta-Govilón	UBICACIÓN:	Baños del Inco - Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	13-10-2016	RESPONSABLE:	Fredy J. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	13-10-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

CALIFORNIA BEARING RATIO – CBR PARA 4% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3	
Nº Golpes		5		5		5	
Nº Golpes por Capa		13		27		55	
Condición de Muestra		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.
Peso Molde	gr	7212.00	7212.00	8029.00	8029.00	7956.00	7956.00
Peso Muestra húmeda + Molde	gr	12482.00	12510.00	13433.00	13450.00	13500.00	13525.00
Peso Muestra húmeda	gr	5270.00	5298.00	5404.00	5421.00	5544.00	5569.00
Volumen Muestra húmeda	cm ³	2296.81	2296.81	2296.81	2296.81	2296.81	2296.81
Densidad húmeda ; Dh	gr/cm ³	2.29	2.31	2.35	2.36	2.41	2.42

CONTENIDO DE HUMEDAD

Ensayo	Nº	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Peso Recipiente	gr	51.3	51.6	26.9	26.9	27.7	27.7	27.2	27.7	27.7
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	283.0	309.7	176.6	200.9	163.8	180.6	187.9	191.8	176.8
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	266.0	292.0	166.5	190.4	153.3	170.0	177.0	182.0	167.1
Peso del Agua	gr	17.0	17.7	10.1	10.5	10.5	10.6	10.9	9.8	9.7
Peso Muestra Seca	gr	214.7	240.4	139.6	163.5	125.6	142.3	149.8	154.3	139.4
Contenido de Humedad ; W%	%	7.92	7.36	7.23	6.42	8.36	7.45	7.28	6.35	6.96
Promedio Contenido de Humedad	%	7.64			7.39			6.81		
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm ³	2.132		2.151	2.191		2.197	2.260		2.267

Dimensiones MOLDE (cm)	
Altura	17.80
Diámetro	15.08
Disco espaciador (cm)	
Altura	5.00
Diámetro	14.93
Peso de la muestra (gr)	
	6000.00

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO



ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CBR-LS-UPNC:
NORMA:	MTC E132 / ASTM D188	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	

CANTERA:	Chonta-Gaulán	UBICACIÓN:	Baños del Inca - Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	13-10-2016	RESPONSABLE:	Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	13-10-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

LECTURAS DE PENETRACION - 4% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

PENETRACION			Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
			N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)
M	edi	da									
	mm	Pulg									
1	0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
2	0.64	0.025	54	405.00	132.88	78	585.00	191.93	95	712.50	233.76
3	1.27	0.050	121	907.50	297.74	159	1192.50	391.24	186	1395.00	457.68
4	1.91	0.075	193	1447.50	474.91	258	1935.00	634.85	298	2235.00	733.27
5	2.54	0.100	280	2100.00	688.98	362	2715.00	890.75	425	3187.50	1045.78
6	3.17	0.125	362	2715.00	890.75	447	3352.50	1099.91	532	3990.00	1309.06
7	3.81	0.150	438	3285.00	1077.76	530	3975.00	1304.14	625	4687.50	1537.91
8	4.45	0.175	512	3840.00	1259.85	616	4620.00	1515.76	703	5272.50	1729.84
9	5.08	0.200	590	4425.00	1451.78	703	5272.50	1729.84	810	6075.00	1993.13
10	6.35	0.250	663	4972.50	1631.41	788	5910.00	1938.99	892	6690.00	2194.90
11	7.62	0.300	706	5295.00	1737.22	862	6465.00	2121.08	978	7335.00	2406.51
12	8.89	0.350	780	5850.00	1919.31	923	6922.50	2271.18	1045	7837.50	2571.38
13	10.16	0.400	825	6187.50	2030.03						
14	11.43	0.450									
15	12.70	0.500									

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Victor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CBR-LS-UPNC:
NORMA:	MTC E132 / ASTM D188	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	

CANTERA:	Chonto-Gavilán	UBICACIÓN:	Baños del Inca - Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	18-10-2016	RESPONSABLE:	Fredy J. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	18-10-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra.

CALIFORNIA BEARING RATIO – CBR PARA 6% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3	
		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.
Nº Golpes		5		5		5	
Nº Golpes por Capa		13		27		55	
Condición de Muestra		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.
Peso Molde	gr	7212.00	7212.00	8029.00	8029.00	7956.00	7956.00
Peso Muestra húmeda + Molde	gr	12460.00	12482.00	13423.00	13444.00	13555.00	13579.00
Peso Muestra húmeda	gr	5248.00	5270.00	5394.00	5415.00	5599.00	5623.00
Volumen Muestra húmeda	cm ³	2296.81	2296.81	2296.81	2296.81	2296.81	2296.81
Densidad húmeda ; Dh	gr/cm ³						

CONTENIDO DE HUMEDAD

Ensayo	Nº	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Peso Recipiente	gr	82.7	27.2	27.7	73.9	51.3	27.7	37.6	51.6	26.9
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	390.3	216.6	191.8	332.5	281.8	166.0	266.5	271.7	198.8
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	372.3	204.8	180.5	314.7	268.0	156.5	251.8	256.6	189.2
Peso del Agua	gr	18.0	11.8	11.3	17.8	13.8	9.5	14.7	15.1	9.6
Peso Muestra Seca	gr	289.6	177.6	152.8	240.8	216.7	128.8	214.2	205.0	162.3
Contenido de Humedad ; W%	%	6.22	6.64	7.40	7.39	6.37	7.38	6.86	7.37	5.91
Promedio Contenido de Humedad	%	6.43			6.88			7.11		
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm ³	2.147	2.136		2.197	2.196		2.276		2.311

Dimensiones MOLDE (cm)	
Altura	17.80
Diámetro	15.08
Disco espaciador (cm)	
Altura	5.00
Diámetro	14.93
Peso de la muestra (gr)	
	6000.00

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Víctor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA:



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CBR-LS-UPNC:
NORMA:	MTC E132 / ASTM D188	
PROYECTO:	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL DE BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, AL ADICIONAR CEMENTO PORTLAND, 2016.	

CANTERA:	Chonta-Govilañ	UBICACIÓN:	Baños del Inca - Cajamarca
FECHA DE MUESTREO-CAMPO:	21-09-2016	TIPO DE MATERIAL:	Agregado
FECHA DE MUESTREO-LAB:	18-10-2016	RESPONSABLE:	Fredy I. Benavides Sempértegui
FECHA DE ENSAYO:	18-10-2016	REVISADO POR:	Alejandro Cubas Becerra

LECTURAS DE PENETRACION - 6% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

PENETRACION			Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
			N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)
M	edi	da									
	mm	Pulg									
1	0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
2	0.64	0.025	85	637.50	209.16	102	765.00	250.99	152	1140.00	374.02
3	1.27	0.050	158	1185.00	388.78	190	1425.00	467.52	245	1837.50	602.86
4	1.91	0.075	242	1815.00	595.48	295	2212.50	725.89	362	2715.00	890.75
5	2.54	0.100	333	2497.50	819.40	412	3090.00	1013.79	492	3690.00	1210.64
6	3.17	0.125	402	3015.00	989.18	504	3780.00	1240.17	582	4365.00	1432.10
7	3.81	0.150	480	3600.00	1181.11	595	4462.50	1464.09	674	5055.00	1658.48
8	4.45	0.175	573	4297.50	1409.95	686	5145.00	1688.00	780	5850.00	1919.31
9	5.08	0.200	662	4965.00	1628.95	780	5850.00	1919.31	885	6637.50	2177.67
10	6.35	0.250	753	5647.50	1852.87	865	6487.50	2128.46	992	7440.00	2440.96
11	7.62	0.300	849	6367.50	2089.09	957	7177.50	2354.84	1085	8137.50	2669.80
12	8.89	0.350	902	6765.00	2219.50	1035	7762.50	2546.77	1147	8602.50	2822.36
13	10.16	0.400									
14	11.43	0.450									
15	12.70	0.500									

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	DOCENTE
NOMBRE: Fredy Benavides Sempértegui	NOMBRE: Victor Cuzco Minchán	NOMBRE: Alejandro Cubas Becerra
FECHA:	FECHA:	FECHA: